

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

Matheus Marques Fernandes Aguiar

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE APLICADA A ATIVOS RODOVIÁRIOS
NO DER-MG**

Belo Horizonte
2024

Matheus Marques Fernandes Aguiar

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE APLICADA A ATIVOS RODOVIÁRIOS
NO DER-MG**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para Obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Gestão na Construção Civil.

Orientador: Professor Doutor Paulo Roberto Pereira Andery

Belo Horizonte
2024

A282a

Aguiar, Matheus Marques Fernandes.

Avaliação da sustentabilidade aplicada a ativos rodoviários no DER-MG [recurso eletrônico] / Matheus Marques Fernandes Aguiar. - 2024.
1 recurso online (179 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Paulo Roberto Pereira Andery.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 144-179.

Bibliografia: f. 137-143.

1. Construção civil - Teses. 2 Sustentabilidade - Teses. 3. Rodovias - Manutenção e reformas - Teses. 4. Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais - Teses. 5. Gestão - Teses. I. Andery, Paulo R. P. (Paulo Roberto Pereira). II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

MATHEUS MARQUES FERNANDES AGUIAR

Realizou-se no dia 27 de agosto de 2024 às 09:00 horas, via plataforma online com interação em áudio e vídeo (Microsoft Teams) a defesa de dissertação intitulada AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE APLICADA A ATIVOS RODOVIÁRIOS NO DER-MG, apresentada por MATHEUS MARQUES FERNANDES AGUIAR, número de registro 2022663190, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Construção Civil na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, à seguinte Comissão Examinadora: Prof. Paulo Roberto Pereira Andery (Orientador), Prof^a. Sidnea Eliane Campos Ribeiro e Prof. Marcelo Franco Porto.

A Comissão considerou a dissertação:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, foi lavrada a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada eletronicamente pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 27 de agosto de 2024.

Documento assinado digitalmente
 PAULO ROBERTO PEREIRA ANDERY
Data: 23/09/2024 19:31:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Roberto Pereira Andery (Orientador) – DEMC/UFMG

Documento assinado digitalmente
 SIDNEA ELIANE CAMPOS RIBEIRO
Data: 23/09/2024 20:33:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Sidnea Eliane Campos Ribeiro – DEMC/UFMG

Documento assinado digitalmente
 MARCELO FRANCO PORTO
Data: 06/10/2024 11:35:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Franco Porto – DETG/UFMG



FOLHA DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE APLICADA A ATIVOS RODOVIÁRIOS NO DER-MG

MATHEUS MARQUES FERNANDES AGUIAR

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Construção Civil, como requisito para obtenção do grau de MESTRE EM CONSTRUÇÃO CIVIL, área de concentração Tecnologia na Construção Civil.

Aprovada em 27 de agosto de 2024, pela banca constituída pelos membros:

Documento assinado digitalmente
 PAULO ROBERTO PEREIRA ANDERY
Data: 23/09/2024 19:32:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Paulo Roberto Pereira Andery (Orientador) – DEMC/UFMG

Documento assinado digitalmente
 SIDNEA ELIANE CAMPOS RIBEIRO
Data: 23/09/2024 20:34:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Sidnea Eliane Campos Ribeiro – DEMC/UFMG

Documento assinado digitalmente
 MARCELO FRANCO PORTO
Data: 06/10/2024 11:35:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Marcelo Franco Porto – DETG/UFMG

Belo Horizonte, 27 de agosto de 2024.

DEDICATÓRIA

À minha esposa, por me motivar a crescer como pessoa e tornar minha vida mais feliz. Aos meus pais por me apoiarem em todas as etapas da minha vida, me proporcionando oportunidades de estudar e crescer como pessoa. Ao meu orientador pelo incentivo e apoio na construção desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Nessa certeza agradeço primeiramente a Deus, por seu infinito amor e misericórdia.

À minha esposa por sempre estar ao meu lado me apoiando em todos os projetos.

Aos meus pais, Fernando e Cláudia, pelos ensinamentos de vida. À minha irmã, a todos meus familiares, que estão sempre me incentivando.

Por fim, agradeço, especialmente meu orientador, Paulo Andery pelos ensinamentos e dedicação ao longo de todo esse trabalho.

“Muitos propósitos hão no coração do homem, mas o desígnio do SENHOR permanecerá”
Pv 19.21.

“As pessoas felizes lembram o passado com gratidão, alegram-se com o presente e encaram o futuro sem medo”. Epicuro

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo geral propor um conjunto de parâmetros para a avaliação da sustentabilidade no processo de gestão da malha rodoviária do DER/MG. Para isso, a pesquisa desenvolveu-se utilizando o método Design Science Research e um estudo de caso. Iniciou-se com uma revisão sistemática da literatura, abrangendo normas técnicas e pesquisas sobre gestão sustentável da malha rodoviária e estudos sob processos de avaliação de sustentabilidade. O estudo de caso foi realizado no DER-MG, estudando os principais projetos e ações do órgão relacionados ao tema da pesquisa. O estudo de caso permitiu concluir que para avaliação da sustentabilidade para ativos rodoviários é necessário a identificar a base de ativos necessários para avaliação e a indicação de critérios técnicos necessários para uma gestão sustentável desses ativos. A partir da análise dos dados e tendo como referência modelos de avaliação da sustentabilidade propostos na literatura, foram propostas diretrizes para avaliação da sustentabilidade de ativos rodoviários. Foi elaborado um modelo preliminar para avaliação de sustentabilidade de ativos rodoviários que foi avaliado por especialistas. O modelo proposto examinou os critérios mais utilizados para avaliação da sustentabilidade na literatura, sendo esses adaptados para o órgão estudado. O presente trabalho contribuiu para a criação de um modelo de avaliação de sustentabilidade adequado para criação de políticas públicas sustentáveis com uma ferramenta de avaliação para órgãos rodoviários no Brasil, bem como auxiliar na execução de programas de manutenção e investimento público no setor rodoviário.

Palavras-chave: avaliação da sustentabilidade; ativos rodoviários; rodovias sustentáveis; Gestão de ativos.

ABSTRACT

The general objective of this study was to propose a set of parameters for assessing sustainability in the management process of the DER/MG road network. To this end, the research was developed using the Design Science Research method and a case study. It began with a systematic review of the literature, covering technical standards and research on sustainable management of the road network and studies on sustainability assessment processes. The case study was carried out at DER-MG, studying the main projects and actions of the agency related to the research theme. The case study allowed us to conclude that to assess the sustainability of road assets, it is necessary to name the base of assets necessary for assessment and the sign of technical criteria necessary for the sustainable management of these assets. Based on the analysis of the data and taking as reference sustainability assessment models proposed in the literature, guidelines were proposed for assessing the sustainability of road assets. A preliminary model for assessing the sustainability of road assets was developed and evaluated by experts. The proposed model examined the most used criteria for assessing sustainability in the literature, which were adapted for the agency studied. This work contributed to the creation of a sustainability assessment model suitable for the creation of sustainable public policies with an assessment tool for road agencies in Brazil, as well as an aid in the execution of maintenance and public investment programs in the road sector.

Keywords: sustainability assessment; road assets; sustainable highways; Asset management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ranking de competitividade das Rodovias 2019.....	22
Figura 2 - Componentes da ferramenta MARS.....	36
Figura 3 - Priorização de critérios de preferência	43
Figura 4 -Imagem da avaliação de critérios da ferramenta INVEST	54
Figura 5 - Requisitos do sistema Greenroads	56
Figura 6 - Componentes mínimos para avaliação de sustentabilidade na ISO 21931-2:2019 .	62
Figura 7 - Organograma do DER-MG	66
Figura 8 - Levantamento FWD em Minas Gerais	67
Figura 9 - Construção do modelo	10909

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Benefícios da utilização de cada ferramenta metodológica.....	33
Tabela 2 - Ferramentas de classificação e sistemas de certificação	33
Tabela 3 - Comparação qualitativa entre ferramentas de avaliação de sustentabilidade	38
Tabela 4 - Visão geral dos modelos (variáveis x autores)	44
Tabela 5 - Critérios e indicadores para avaliação de sustentabilidade rodoviária na literatura	45
Tabela 6 - Módulos e Pontuações do INVEST	53
Tabela 7 - Desenvolvimento de itens sustentáveis para projetos de rodovias.....	59
Tabela 8 - Estrutura mínima para avaliação de sustentabilidade de acordo com a ISO 21931- 2:2019.....	63
Tabela 9 - Série de pesquisas com aderência ao tema por bases ao longo dos anos	71
Tabela 10 - Resumo da malha viária do Estado de Minas Gerais	80
Tabela 11 - Execução Orçamentária da Despesa.....	81
Tabela 12 - Resumo dos resultados da Avaliação subjetiva	83
Tabela 13 - Critérios de avaliação da irregularidade de um pavimento medida pelo IRI.....	88
Tabela 14 - Conceitos ICPF	89
Tabela 15 - Conceito IES	90
Tabela 16 - Bases conceituais para diretrizes do modelo	106
Tabela 17 - Ficha de apresentação dos indicadores do modelo proposto	111
Tabela 18 - Avaliação de sustentabilidade de ativos rodoviários.....	119
Tabela 19 - Avaliação do critério técnico	122
Tabela 20 - Avaliação do critério ambiental	124
Tabela 21 - Avaliação critério social	126
Tabela 22 - Avaliação critério econômico	128
Tabela 23 - Resultado: Comentários finais dos especialistas.....	129

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução do custo total estimado dos acidentes rodoviários, do total pago em investimentos em rodovias federais e a diferença entre ambos – 2016 a 2021	24
Gráfico 2 - Série de Publicações ao longo dos anos	70
Gráfico 3 - Pesquisas selecionadas por bases científicas	71
Gráfico 4 - Viabilidade do critério técnico.....	123
Gráfico 5 - Viabilidade do critério ambiental.....	125
Gráfico 6 - Viabilidade do critério social.....	127
Gráfico 7 - Viabilidade do critério econômico	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADB	<i>Asian Development Bank</i>
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
ATR	Afundamento de Trilha de Roda
CIDE	Contribuição da Intervenção no Domínio Econômico
CNT	Confederação Nacional de Transporte
CREMA	Contrato de Restauração e Manutenção
DER-MG	Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre
DPMG	Defensoria Pública de Minas Gerais
DRPF	Departamento de Polícia Rodoviária Federal
DSR	<i>Design Science Research</i>
EPL	Empresa de Planejamento e Logística S.A
ESG	<i>Enviromental, Social and Governance</i>
FD	Fatores de Correção Diária
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
FM	Fatores de Correção Mensal
FS	Fatores de Correção Semanal
FUNTRANS	Fundo estadual de desenvolvimento de transportes
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GEE	Gases de efeito estufa.
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i>
HDM	<i>Highway Development and Management</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	<i>International Copper Association</i>
ICPF	Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis

IDAL	Índice de Desempenho Ambiental para renovação de Licença ambiental
IDE	Infraestrutura de Dados Especiais
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IES	Índice do Estado de Superfície do Pavimento
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INVEST	<i>Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool</i>
IPEA	O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IRI	<i>International Roughness Index</i> ou Índice de Irregularidade Internacional
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCPC	<i>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées</i>
LOA	Lei Orçamentária Anual
LVC	Levantamento Visual Contínuo
LVD	Levantamento Visual Detalhado
MCDA	<i>Multicriteria decision analysis</i>
MPMG	Ministério Público de Minas Gerais
NBC	Norma Brasileira de Contabilidade
OAE	Obra de Arte Especial
PAV	Rodovias pavimentadas
PLA	Rodovias planejadas
PIB	Produto Interno Bruto
PNV	Plano Nacional de Viação
PPAG	Plano Plurianual de Ação Governamental
PPP	Parceria Público-Privada
PAIC	Pesquisa Anual da Indústria da Construção
ONU	Organização das Nações Unidas
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

Seinfra	Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SISEMA	Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SRE	Sistema Rodoviário Estadual
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TJMG	Tribunal de Justiça de Minas Gerais
TRE	Trilha de roda externa
TRI	Trilha de roda interna
TRRL	<i>Transport and Road Research Laboratory</i>
VMD	Volumes Médios Diários anuais de tráfego

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Problema de Pesquisa	16
1.2. Objetivos da Pesquisa	17
1.2.1 Hipótese	17
1.2.2 Objetivo Geral	18
1.2.3 Objetivos específicos	18
1.3 Justificativa da Pesquisa	18
1.4 Metodologia	19
1.5. Organização da Dissertação	20
2. REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Panorama introdutório do Sistema Rodoviário no Brasil	21
2.2 Gestão de Ativos – Referenciais normativos ISO 55000	25
2.2.1. Principais conceitos da série de Normas ISO 55000 e a importância da Gestão de ativos em Organizações	25
2.2.2. Gestão de ativos em Sistemas Rodoviários.....	27
2.3 Avaliação de sustentabilidade em empreendimentos rodoviários.....	29
2.3.1. Análise de decisão Multicritério.....	40
2.3.2. Sistemas de classificação e ferramentas de certificação	50
2.3.2.1. <i>Invest</i>	51
2.3.2.2 <i>Greenroads</i>	54
2.3.3.3 <i>Global Reporting Initiative</i> – GRI.....	57
2.4 Métodos de avaliação do desempenho ambiental, social e econômico das obras de construção civil conforme Norma ISO 21931-2: 2019	61
3. MÉTODO DE PESQUISA	64
3.1. <i>Design Science Research</i>	64
3.2 Descrição das etapas do Método	65
3.2.1 Fase 1 – Entendimento do problema	67
3.2.1.1 Construção do problema da pesquisa	67
3.2.1.2 Revisão da Literatura.....	69
3.2.1.3 Definições do estudo de caso	71
3.2.2 Fase 2 – Elaboração do Modelo Preliminar	73
3.2.3 Fase 3 – Validação do artefato	74
4. ESTUDO DE CASO	76
4.1. Caracterização da empresa objeto do Estudo de Caso.....	76

4.1.1	Gestão da malha viária mineira.....	79
4.2	Sistema de Gerência de Pavimentos do DER-MG	84
4.2.1	Requisitos do SGP.....	86
4.2.1.1	Sistema de Referência	86
4.2.1.2	Avaliação de pavimentos.....	87
4.2.1.3	Determinação das prioridades.....	94
4.2.1.4	Elaboração do Programa Plurianual de Investimentos.....	96
4.3	Discussão dos Resultados e Diálogo com a Literatura.....	97
4.3.1	Critérios utilizados	97
4.4	Síntese do Estudo de Caso e Considerações para o Modelo Preliminar.....	101
5.	MODELO PRELIMINAR.....	103
5.1	Objetivos do Modelo e Limitações.....	103
5.2	Bases conceituais para o Modelo	105
5.3	Premissas do Modelo	108
5.4	Versão inicial do Modelo.....	109
5.5	Avaliação do Modelo.....	121
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	131
	REFERÊNCIAS.....	133
	APÊNDICE A - REFERÊNCIAS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	140
	APÊNDICE B – MAPA RODOVIAS MINEIRAS	149
	APÊNDICE C – MAPA CRITÉRIOS AMBIENTAIS.....	150
	APÊNDICE D – MAPA CRITÉRIOS SÓCIOECONÔMICOS.....	151
	APÊNDICE E – MAPA TURISMO EM MINAS GERAIS	152
	APÊNDICE F – CARTILHA PARA AVALIADORES	153
	APÊNDICE G - FORMULÁRIO.....	164

1. INTRODUÇÃO

Não há como pensar em organizações eficientes sem que estas sejam sustentáveis e a consideração de critérios ambientais, sociais e de Governança Corporativa (GC) devem ser pilares para que empresas e governos busquem melhor efetividade.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), divulgou a última Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC) revelando que, em 2020, o setor da construção envolveu um total de 131,8 mil empresas ativas que empregaram 2 milhões de pessoas. Ao mesmo tempo, a pesquisa divide o setor da construção civil em três grandes segmentos: construção de edifícios, obras de infraestrutura e serviços especializados para construção. Em 2020 a participação da construção de edifícios foi a mais relevante com 45,3% da participação do valor de incorporações, seguido por 32,7 % do setor de obras de infraestrutura e 22 % de serviços especializados (IBGE, 2020).

Existe diferentes definições para o termo Sustentabilidade, porém a maioria dos estudos afirma que “sustentabilidade é composta de três dimensões que se relacionam: econômica, ambiental e social. Essas dimensões são também conhecidas como *triple bottom line*”. (Claro, 2008, p.3)

Conforme afirma Barbosa (2016, p.37) “a construção é um setor que, pela sua natureza, apresenta elevados impactos ambientais”. Isso posto, salienta-se a importância da indústria da construção civil na economia do Brasil e o impacto que essa pode trazer à sustentabilidade.

Quando se analisa a rede de infraestrutura terrestre do Brasil, fica evidenciada a importância das rodovias para o setor de infraestrutura da Construção Civil:

O modal rodoviário é o maior responsável pelo transporte de bens e de pessoas no país. Em virtude disso, gargalos físicos relativos à má conservação das rodovias sobreoneram o transportador, uma vez que pavimentos degradados elevam o consumo de combustível fóssil e, portanto, aumentam a quantidade de GEE liberados na atmosfera. Todo esse impacto é refletido negativamente na sociedade, podendo haver elevação do preço final das mercadorias e agravamento das mudanças climáticas e seus reflexos na vida das pessoas”. (CNT, 2021, p. 188)

De acordo com a mesma pesquisa (CNT, 2021), a gestão dos ativos rodoviários tem sido um desafio para os entes governamentais, devido à escassez orçamentária para novos investimentos, bem como para manutenção da malha rodoviária. Quando referência a norma ABNT NBR 55000, lê-se que o “ativo é um item, algo ou entidade que tem valor real ou potencial para uma organização. Este valor pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro”.

Logo, a gestão de ativos rodoviários envolve todos os elementos rodoviários como pavimentos, obras de arte especial, equipamentos de sinalização, drenagem e faixas de domínio. Ou seja, todo patrimônio da instituição.

Marcondes e Silva (2021) especificam que as empresas, ao implantar um sistema de gestão de ativos, em conformidade com a norma internacional, série ISO 55000, acabam por buscar maior previsibilidade e agregar valor ao negócio. Os autores evidenciam que os ganhos com a implantação de um sistema de gestão de ativos podem reduzir em até 20% dos custos anuais de manutenção e 75% de redução na quantidade de planos de manutenção. Marcondes e Silva (2021) ainda destacam que a gestão de ativos é essencial para a melhoria de indicadores de sustentabilidade em conformidade com os Desafios do Milênio apontados pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Parte-se da premissa de que a gestão de uma extensa malha rodoviária, um sistema de gestão de ativos eficiente, pode prolongar a vida útil dos diversos ativos rodoviários, reduzindo custos com manutenção corretiva, maior segurança viária, otimização do uso de recursos, redução dos impactos ambientais e a melhoria da satisfação dos usuários. Dessa forma um sistema de gestão de ativos rodoviários desempenha um papel crucial na busca pela sustentabilidade.

De acordo com a publicação da ONU (2015), em 2015, o Brasil, em conjunto com outros 192 países e com grupos e partes interessadas da sociedade civil se reuniram na Cúpula da ONU para elaborar uma nova agenda de desenvolvimento sustentável. Essa reunião resultou em novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que se basearam nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM).

Também conhecido como Agenda 2030, os 17 ODS contam com 169 metas específicas que levam em conta o legado dos ODM e procuram, até 2030, obter avanços nas metas não alcançadas. Ademais, os ODS envolvem temáticas diversificadas, como erradicação da pobreza, segurança alimentar e agricultura, saúde, educação, igualdade de gênero, água e saneamento, infraestrutura, redução das desigualdades e outros.

Os ODS precisam nortear as políticas nacionais e subnacionais, devendo cada ente federativo assumir um papel de protagonista do desenvolvimento. Assim, para que a Agenda 2030 seja efetivamente implementada, os governos devem assumir a responsabilidade pela gestão de diversas políticas que contribuam para o alcance dos ODS. Nos dizeres de Altonian (2014) está:

A Administração Pública, em decorrência de seu poder de compra, é um agente indutor na implementação de ações sustentáveis. Por esse motivo, é essencial que todos os gestores públicos estabeleçam, no planejamento das aquisições efetuadas

com recursos públicos, diretrizes que assegurem não apenas o menor preço, mas a aquisição da proposta mais vantajosa e aquela que assegure parâmetros de sustentabilidade em todos seus aspectos. (Altounian, 2014, p. 436)

Nesse contexto, o tema do presente trabalho ganha relevância, tendo em vista a necessidade de correlação da engenharia Civil Rodoviária com a obtenção dos objetivos de desenvolvimento sustentável - ODS. Nesse sentido, faz-se necessário trabalhar a questão da Gestão de ativos como ferramenta fundamental para posicionamento estratégico das empresas diante às mudanças climáticas, econômicas e sociais. Delecrodio *et al.* (2021) explicitam em sua pesquisa, que ainda há uma carência de estudos que tratem do tema considerando o panorama da indústria 4.0, proporcionando uma melhor aprendizagem e entendimento de melhores tecnologias.

A presente dissertação tem foco no Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais – DER-MG. O DER-MG de acordo com o Decreto 47839 de 2020 é uma autarquia com autonomia administrativa e financeira, vinculada à Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade - Seinfra com competência de “planejar e executar obras de engenharia rodoviária, de edificações e infraestrutura de interesse da Administração Pública” (MINAS GERAIS, 2020, p.1), além de manter as condições de operação, com segurança e conforto, das estradas de rodagem sob jurisdição e responsabilidade e em parceria com os órgãos e entidades da Federação.

A maior malha viária do país está concentrada no Estado de Minas Gerais, fato que leva a competência de gestão do DER de Minas Gerais a um enorme desafio e corrobora ainda mais com a importância da pesquisa. A gestão dos ativos rodoviários para o Estado de Minas Gerais pode ser um caso a ser tomado como exemplo, até mesmo em níveis nacionais, uma vez que muitos países não possuem uma extensão de malha rodoviária como o Estado mineiro (MINAS GERAIS, 2020)

Tendo em vista a quantidade de itens a serem monitorados, o desafio da gestão da malha viária em Minas Gerais torna-se expressiva, e o processo de gestão de ativos da organização pode estabelecer mecanismos para transformar a intenção estratégica em tarefas, decisões, atividades técnicas e financeiras com metas definidas no sentido de agregar valor aos ativos, reforçando ainda mais a importância e a relevância do estudo aqui proposto.

1.1 Problema de Pesquisa

A prática de gestão sustentável na operação dos ativos rodoviários busca contribuir para que sejam alcançados os objetivos de uma maior segurança viária, maior desenvolvimento

econômico, redução de poluição ambiental e a racionalidade no uso de materiais, trazendo como consequências, manutenções mais eficientes.

Giamberardino, *et. al.* (2022) especificam que a incorporação de variáveis ambientais nos processos de contratações públicas em obras rodoviárias estão sendo cada vez mais demandadas aos gestores públicos. Além dessa necessidade inerente de incorporação de Contratações Públicas sustentáveis, devem ser incorporados modelos que incorporem todo ciclo de vida de um empreendimento, desde sua fase de concepção e planejamento até mesmo a sua fase de manutenção.

A pesquisa então, busca sugerir critérios para avaliação de sustentabilidade de ativos rodoviários, considerando o contexto atual tendo como referência parâmetros e/ou modelos apresentados na literatura recente.

1.2. Objetivos da Pesquisa

Tendo em vista a necessidade de conservação da malha rodoviária do Estado de Minas Gerais, além da necessidade de investimentos em obras rodoviárias, contemplando maior segurança ao usuário, torna-se necessário discutir a gestão da malha rodoviária estadual. Essa gestão da malha rodoviária apresenta múltiplos aspectos que se conectam, como é o caso da dimensão de impacto ambiental, eficiência operacional, aspectos técnicos associados ao gerenciamento dos projetos (*desing*), a gestão do empreendimento como um todo (*Project*).

Nesse sentido, o presente trabalho propõe como propósitos de pesquisa, o estabelecimento de parâmetros para a avaliação da sustentabilidade aplicada a ativos rodoviários do DER-MG. Ou seja, pretende-se identificar um conjunto prioritário de parâmetros a serem considerados na avaliação do desempenho sustentável de ativos rodoviários.

A pesquisa então, seguem em uma análise de indicadores de sustentabilidade, considerando o contexto atual, a partir do seguinte problema de pesquisa: Em que medida um sistema de gestão que avalie ativos rodoviários proporciona ações orientadas à garantia de sustentabilidade nos processos de tomada de decisão, para melhor gestão da malha rodoviária?

1.2.1 Hipótese

A hipótese considerada para o presente estudo é: baseando-se em princípios de gestão de ativos e considerando os principais referenciais de avaliação de sustentabilidade de ativos

de construção, é possível identificar diretrizes para a criação de uma avaliação de sustentabilidade de ativos rodoviários com base em parâmetros e/ou modelos de avaliação de sustentabilidade apresentados na literatura.

1.2.2 Objetivo Geral

Sendo assim, o objetivo geral do trabalho é propor um conjunto de parâmetros para a avaliação da sustentabilidade no processo de gestão da malha rodoviária do DER/MG.

1.2.3 Objetivos específicos

Especificamente o trabalho pretende:

- a) Caracterizar a base de ativos que atenderá a demanda de sustentabilidade;
- b) Avaliar os critérios definidos para manutenção da malha rodoviária de forma sustentável;
- c) Propor possíveis parâmetros (modelo preliminar) para a criação de um sistema de avaliação de sustentabilidade de rodovias.

Por parâmetros entende-se um conjunto de conceitos e proposta preliminar de um fluxo de desenvolvimento de avaliação de sustentabilidade, sem que se configure propriamente como um modelo pronto para implementação.

A proposta se desenvolve no contexto de gestão de ativos, por isso uma das referências conceituais do trabalho, que é brevemente explorada na revisão bibliográfica, contempla modelos para gestão de ativos da construção, com destaque para os ativos rodoviários.

1.3 Justificativa da Pesquisa

Sob o ponto de vista acadêmico, este trabalho se justifica, pois, ainda há uma carência de pesquisas que atuam sob o tema de gestão de ativos, principalmente se tratando de ativos rodoviários no Brasil e poucas que associam a aplicação da Norma de Gestão de ativos à sustentabilidade. Não obstante, o trabalho ao analisar o estudo de caso do DER/MG, propondo um mecanismo de avaliação de gestão de ativos rodoviários que pode influenciar a forma de gestão estratégica para os gestores públicos e Engenheiros Civis do DER/MG que traz

benefícios para a própria autarquia e outras pertencentes à outras unidades federativas, ao ser dada como exemplo a ser implementado e aperfeiçoado.

Portanto, ao beneficiar a gestão de órgãos públicos contratantes, a pesquisa também se justifica sob o ponto de vista mercadológico. Vale ressaltar, ainda, que a pesquisa busca tratar de uma preocupação grande da indústria da construção civil, que é a questão ambiental, reconhecidamente um tema de máxima importância para a sociedade.

1.4 Metodologia

De acordo com Carstensen e Bernhard (2016), métodos de pesquisa qualitativa são importantes para aplicações em Engenharia e o Design Science Research – DSR é um método adequado para geração de conhecimento sobre a proposição de uma aplicação prática de Engenharia, como é a proposta do presente trabalho.

A pesquisa busca propor uma nova forma de trabalho que oferece apoio aos órgãos de Engenharia Rodoviária, trazendo um conjunto de diretrizes para avaliação de sustentabilidade em ativos rodoviários que já se encontram em operação na malha viária.

Nesse limiar, pode-se dizer que a metodologia se estrutura em três etapas distintas, a citar:

- A etapa 1 busca compreender melhor o tema da pesquisa através de revisão sistêmica da literatura e normas sobre gestão sustentável da malha rodoviária e estudos sob processos de avaliação de sustentabilidade;
- A etapa 2 foi organizada para criar um conjunto de diretrizes que atendem a avaliação de sustentabilidade no DER-MG, por meio de:
 - a) Fundamentação teórica amparada em métodos de avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários;
 - b) Estudo exploratório no DER-MG, mediante de observação assistemática, análise documental e entrevistas com gestores do órgão; e
 - c) Criação de um conjunto de diretrizes que subsidiam a criação de um modelo de avaliação da sustentabilidade para ativos rodoviários.
- A etapa 3 seguiu na avaliação do modelo preliminar proposto na etapa anterior com um conjunto de especialistas sobre o tema proposto, promovendo uma análise de opiniões sobre a sua aplicabilidade.

1.5. Organização da Dissertação

A estrutura da dissertação contempla 6 (seis) capítulos, sendo o primeiro, de caráter introdutório. O segundo destina-se ao referencial teórico que embasou a pesquisa, tratando sobre parâmetros para avaliação de sustentabilidade em projetos rodoviários e a gestão sustentável de ativos rodoviários. Além de evidenciar parâmetros de avaliação de sustentabilidade no setor da Construção Civil com um todo. Assim, são descritos modelos de certificação ambiental consolidados em todo setor construtivo, objetivando a formulação de modelos mais adaptáveis à Engenharia Rodoviária.

O terceiro capítulo busca evidenciar o método da pesquisa em prol do alcance dos objetivos geral e específicos. Nesse sentido, são descritos modelos de certificação ambiental consolidados em todo setor construtivo.

O quarto capítulo apresenta o Estudo de caso, apresentando a empresa estudada, sua estrutura organizacional e seus principais projetos que objetivam uma gestão sustentável da infraestrutura rodoviária.

O quinto capítulo traz a versão inicial do artefato para avaliação da sustentabilidade aos ativos rodoviários do Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais. Esse é avaliado por especialistas de sustentabilidade do mercado da construção civil, bem como especialistas da instituição estudada.

Por fim, o sexto capítulo conclui o trabalho, descrevendo o alcance dos resultados de acordo com cada objetivo e as contribuições da pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo apresenta, inicialmente, uma contextualização sobre a evolução da infraestrutura rodoviária no Brasil e seu impacto direto ou indireto no Desenvolvimento Sustentável. Tem-se as análises de pesquisas que correlacionam parâmetros de sustentabilidade com a qualidade das rodovias no Brasil e no mundo. Considera-se ainda, a avaliação da importância da Gestão de ativos para empresas no mundo. Assim, compreende-se a exposição das Normas ISO 5001 e sua aplicação em instituições, visando a melhoria de indicadores sustentáveis. Posteriormente, são elucidados os caminhos para identificação de modelos ou processos de avaliação de sustentabilidade em empreendimentos rodoviários.

2.1 Panorama introdutório do Sistema Rodoviário no Brasil

O transporte rodoviário, é relacionado a mudanças socioeconômicos e ambientais. Sob o ponto de vista econômico, sistemas rodoviários eficientes elevam o deslocamento de bens e produtos entre regiões, promovendo o desenvolvimento econômico. Sob o ponto de vista ambiental, vias adequadas garantem melhor eficiência energética aos veículos, minimizando o consumo de combustível e conseqüentemente a redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Já sob o ponto de vista social, vias mais seguras reduzem o número de acidentes, facilitam o deslocamento de demandas sociais como saúde e educação (Litman, 2015).

No Brasil o transporte rodoviário apresenta maior participação entre toda matriz de transportes, concentrando 65% das movimentações de mercadorias e de 95% de passageiros. Destaca-se assim a importância do estudo em rodovias no país, uma vez que o Desenvolvimento econômico e social está intimamente relacionado com a capacidade do país manter uma infraestrutura logística com elevado nível de qualidade e eficiência. (CNT, 2021)

Litman (2015); Wisetjindawat *et al.* (2015); Wolff, Abreu e Caldas (2019) especificam que a escolha de cada modo de transporte é baseada em sete características:

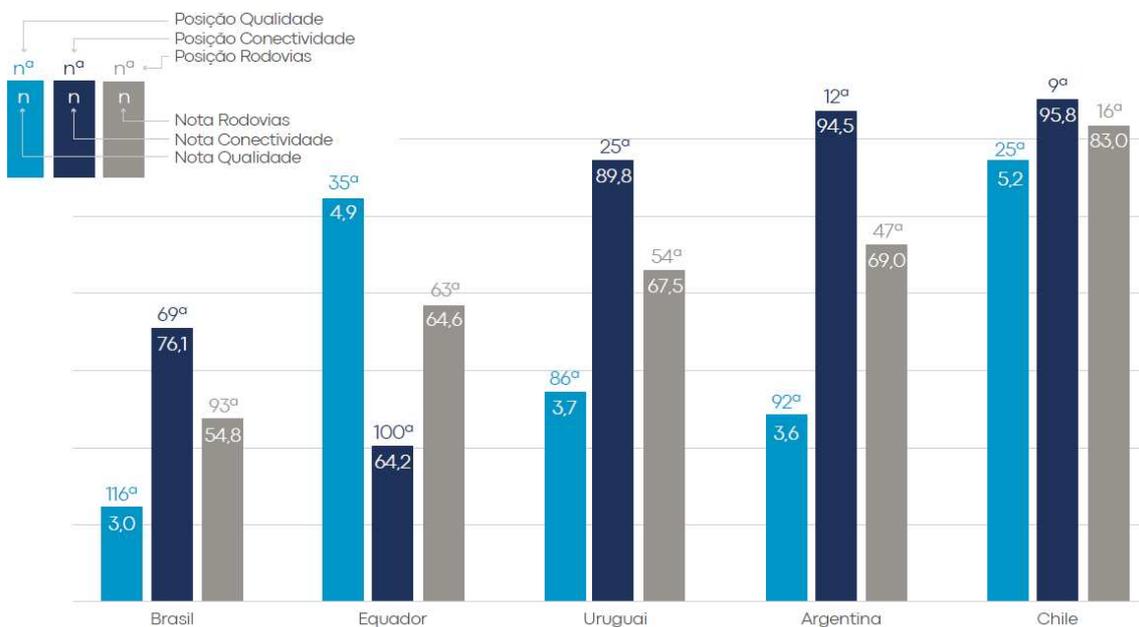
- Volume do Tráfego possível;
- Custo inicial para construção do trecho;
- Custo de operação para infraestrutura de transporte;
- Segurança ao usuário;
- Garantia das melhores rotas;
- Disponibilidade para transportar o nível exigido de carga;

- Impacto social gerado à população.

Ainda assim o Brasil optou por uma rede de infraestrutura rodoviária. Sendo assim, torna-se necessária conhecer as rodovias brasileiras em seus aspectos técnicos e sociais. A Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2021) ainda identificou que o Brasil apresenta apenas 12,4% de sua malha viária total pavimentada e 78,5 % de malha não pavimentada, evidenciando assim um *gap* na infraestrutura terrestre do país. Tal fato, impacta diretamente no tempo de deslocamento entre mercadorias e passageiros e reduz assim a capacidade de desenvolvimento.

O problema torna-se ainda maior quando evidenciado a qualidade das rodovias pavimentadas, o Brasil foi classificado na 93ª posição no total de 141 países, estando atrás de diversos países da América Latina. A pesquisa (CNT, 2021) analisou indicadores para aumento da competitividade, como a conectividade entre as principais cidades, a qualidade da via e a posição final das Rodovias ranqueadas, como pode ser evidenciado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Ranking de competitividade das Rodovias 2019



Fonte: CNT (2021, p.19)

Os indicadores examinados podem estar relacionados a diversos fatores, como o aumento da frota de veículos, a falta de manutenção adequada ou de investimentos rodoviários

em um cenário de escassez de recursos. Enfim, esses critérios, a longo prazo, direcionam para uma piora das condições das rodovias, o que implicará na piora de indicadores ambientais e socioeconômicos.

Um estudo de Wolff, Abreu e Caldas (2019) analisou 35 variáveis e 23 modelos para avaliar investimentos em transporte de cargas no Brasil sob a ótica da sustentabilidade. O tempo de viagem (61% dos modelos) se destacou como a principal variável, seguido pelos impactos ambientais (57%), como emissões e qualidade do ar. Os impactos econômicos (35%) consideraram a redução do tempo de viagem, custos operacionais dos veículos e número de acidentes. O estudo oferece subsídios para decisões sobre investimentos, considerando a importância da sustentabilidade para um sistema de transporte eficiente, ambientalmente responsável e economicamente viável.

Em outra pesquisa, pode-se extrair o seguinte posicionamento:

O setor de transportes é frequentemente o centro do debate político e científico sobre sustentabilidade devido às externalidades negativas produzidas pelo movimento diário de mercadorias e pessoas que impactam tanto no meio ambiente quanto na qualidade de vida”. Portanto, é de grande interesse estimar o impacto do transporte a nível social, econômico e ambiental. (Henke et al. 2019, p.1)

Segundo Torres-Machi *et al.* (2014), o nível de qualidade de uma rodovia segundo a avaliação dos usuários, está ligado ao estado de conservação do pavimento. Além disso, segundo sua pesquisa, mundialmente, são gastos mais de 400 bilhões de dólares anualmente na construção e manutenção de pavimentos, um alto valor que necessariamente deveria estar atribuído a um processo definido de avaliação sustentável, considerando aspectos, econômicos, sociais e ambientais.

Somada a questão da condição dos pavimentos temos o panorama que o Brasil apresenta baixos índices de segurança viária. Nessa condição, observa-se:

De acordo com dados do Departamento de Polícia Rodoviária Federal – DPRF, somente no ano de 2016, 6.398 pessoas perderam a vida e cerca de 87 mil ficaram feridas em 96 mil acidentes ocorridos nas rodovias federais brasileiras. São, aproximadamente, 18 mortos por dia. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA calculou que, somente no ano de 2014, os custos com acidentes em rodovias federais somaram 12,3 bilhões de reais, e, no sistema rodoviário como um todo, o valor foi de 49 bilhões. Nesse íterim no tocante às rodovias federais, os custos de despesas hospitalares, atendimentos, tratamentos e perda de produção das pessoas foram estimados em 7,9 bilhões de reais no ano, ao passo que os custos com perda de cargas, danos e remoção de veículos somaram 4,3 bilhões de reais (BRASIL, 2018, p.5).

A segurança da rodovia está diretamente ligada a quatro fatores: o fator veicular, ou seja, a condição mecânica do automóvel, o fator humano, comportamento do usuário na condução, os fatores ambientais, como o clima impactando diretamente na habilidade de

condução e na redução da eficiência do veículo e por fim o fator viário, que se relaciona com as características da rodovia, como pavimento, sinalização e geometria da via. Portanto, um sistema rodoviário sustentável deve prover políticas que tenham uma gestão de portfólio que visa projetos rodoviários eficientes, programas de manutenção rotineiros e programas de segurança viária, considerando os fatores acima.

Considerando um panorama entre o custo dos acidentes rodoviários no Brasil com o nível de investimentos na malha rodoviária. O **Gráfico 1** demonstra que o custo com acidentes é superior ao orçamento executado em toda série histórica.

Gráfico 1 - Evolução do custo total estimado dos acidentes rodoviários, do total pago em investimentos em rodovias federais e a diferença entre ambos – 2016 a 2021



*Valor total pago de 2021 até outubro. Acidentes considerados até setembro.

** Valores atualizados pelo IPCA de outubro de 2021.

Fonte: Elaboração CNT, com dados de PRF (2021), Siga Brasil (2021) e Ipea, Denatran e ANTP (2020).

Fonte: CNT (2021, p. 216)

O sistema rodoviário nacional possui uma estrutura organizacional definida, tendo o Ministério da Infraestrutura como formulador das políticas nacionais de infraestrutura no Brasil. Esse possui como órgãos vinculados o Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre – DNIT, a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT e a Empresa de Planejamento e Logística – EPL. Em níveis estaduais a estrutura organizacional para governança do sistema rodoviário varia em cada estado. Em Minas Gerais o papel do citado Ministério da Infraestrutura está atribuído à Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade e o papel do DNIT é atribuído ao DER-MG.

Nesse contexto organizacional, o sistema rodoviário necessita de uma gestão eficiente para seus diversos ativos. Porém essa gestão torna-se um grande desafio em virtude do cenário de escassez de recursos para investimentos na malha viária que, conforme abordado, possui tendência de deterioração.

As alternativas para enfrentamento ao problema imposto são, por um lado, as iniciativas de políticas Ambiental, Social e Governança (ASG)¹, cujo mercado e administração pública, necessitam de estabelecer estratégias urgentes. Por outro lado, uma alternativa para redução do custo fixo de aportes de recursos públicos em investimentos rodoviários é a concessão de ativos públicos para a iniciativa privada, através de Parceria Público-Privada – PPP e Concessões.

2.2 Gestão de Ativos – Referenciais normativos ISO 55000

A presente seção objetiva apresentar os principais conceitos presentes na série de normas ISO 55001:2014 (*Asset Management*) com o objetivo de contextualizar melhor o cenário gerencial para definição de parâmetros de sustentabilidade dos ativos rodoviários. Inicialmente são apresentados os principais conceitos inseridos em cada Norma de Gestão de ativo, posteriormente é analisada a importância da aplicação da gestão de ativos nas Organizações e meios para sua implementação. Adiante, tem-se uma análise bibliográfica da aplicação da gestão de ativos para rodovias e um modelo de maturidade para gestão de ativos de forma sustentável.

2.2.1. Principais conceitos da série de Normas ISO 55000 e a importância da Gestão de ativos em Organizações

A série de Normas publicadas em 2014, ISO 55000 conhecida como Pacote de Gestão de Ativos é composta por 3 normas distintas: ABNT NBR ISO 55000, ABNT NBR ISO 55001 e ABNT NBR ISO 55002. Segundo Minnaar *et. al.* (2013), as normas apresentam diretrizes do que deve ser feito para Gestão de ativos em empresas, porém não determinam como deve ser feito. Por isso, é essencial analisar exemplos práticos da aplicação das Normas em instituições distintas.

A norma ABNT ISO 5500 proporciona uma ampla visão dos princípios e terminologias fundamentais à gestão de ativos. Enquanto a ABNT ISO 55001 delinea os requisitos essenciais

¹ ASG deriva da sigla em inglês ESG (*Environmental, Social and Governance*)

para sistemas de gestão de ativos e a ABNT ISO 55002 apresenta as diretrizes para aplicação da ISO 55001 em contextos particulares de ativos ou ambientes específicos. De acordo com a ICA (2015), a ABNT NBR ISO 55001, adaptada à realidade brasileira, compreende precisamente o mesmo conteúdo da ISO 55001 internacional.

Segundo a norma, ativo é um item, algo ou entidade que tem valor real ou potencial para uma organização. Este valor pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro, e inclui a consideração de riscos e passivos. Ele pode ser positivo ou negativo, em diferentes estágios da vida do ativo.

Os ativos físicos geralmente referem-se a equipamentos, estoques e propriedades de posse da organização. Os ativos físicos são o oposto de ativos intangíveis, que são ativos não físicos, como contratos, marcas, ativos digitais, direitos de uso, licenças, direitos de propriedade intelectual, reputação ou acordos.

O agrupamento de ativos referidos como um sistema de ativo também pode ser considerado como um ativo (ICA, 2015, p. 15).

Segundo Lima e Costa (2019), organizações de todos os setores da economia têm utilizado a norma ISO 55000:2014 *Asset Management* com o objetivo de melhor gerir seus ativos. Isto para obter o gerenciamento dos ativos de forma eficaz em todo seu ciclo de vida. As normas apresentam quatro princípios da gestão de ativos, como se vê:

- Ativos existem para fornecer valor para a organização e partes interessadas;
- A Gestão de ativos transforma a intenção estratégica em tarefas, decisões, atividades técnicas e financeiras;
- A liderança e a cultura do local de trabalho são determinantes da percepção de valor;
- A Gestão de ativos fornece garantia de que os ativos vão cumprir e desempenhar sua função.

Os resultados da implantação de sistemas de gestão de ativos em empresas, segundo ICA (2015) podem ser resumidos nos seguintes itens:

- a) Melhoria da eficiência: Ao adotar as normas ISO 55000, as organizações são capazes de melhorar a eficiência e a eficácia de suas operações, ao garantir que seus ativos sejam gerenciados de forma eficaz. Isso pode levar a uma maior produtividade e redução de custos, melhorando a rentabilidade da organização.
- b) Maior transparência: A aplicação das normas ISO 55000 também promove maior transparência e prestação de contas, ajudando as organizações a entenderem melhor o desempenho de seus ativos ao longo do tempo e a tomar decisões informadas em relação à alocação de recursos.

- c) Redução de riscos: A gestão eficaz de ativos pode ajudar a reduzir os riscos associados à operação de equipamentos e instalações, minimizando os efeitos de falhas de equipamentos e atrasos na produção. Isso pode levar a uma maior segurança para os funcionários e clientes da organização, bem como uma redução no impacto ambiental.
- d) Conformidade regulatória: As normas ISO 55000 também podem ajudar as organizações a cumprirem as regulamentações locais e internacionais, bem como a evitar penalidades e multas associadas à não conformidade.
- e) Melhora na tomada de decisão: A aplicação das normas ISO 55000 pode ajudar as organizações a tomarem decisões mais bem informadas e baseadas em dados em relação à gestão de seus ativos, ao fornecer uma estrutura clara e abrangente para o gerenciamento de ativos.

Portanto, torna-se conveniente a implantação da norma nas Organizações. Algumas pesquisas incluem estudos de caso e indicam caminhos para implementação, todos esses têm como base as etapas do ciclo Planejar, Desenvolver, Checar e Agir (PDCA) que é um alicerce do sistema de gestão.

A pesquisa ICA (2015) apresenta um conjunto de exemplos de instituições nacionais que implementaram Sistema de Gestão de Ativos e tiveram os resultados esperados. Na pesquisa é apontado o caso da AES Tietê, da Elektro, CEMIG, em Mineradores e em Projetos de Capital.

2.2.2. Gestão de ativos em Sistemas Rodoviários

A *Asian Development Bank*, ADB (2018) define que a gestão de ativos rodoviários procura otimizar a alocação de recursos para manutenção de estradas em relação aos resultados de médio e longo prazo sobre as condições das estradas e os custos dos usuários. Para tanto, a gestão de ativos rodoviários é baseada em uma análise de dados rodoviários relacionados como inventário, condição da malha, tráfego, custos unitários e modelos de deterioração rodoviária.

De acordo com a referida instituição, um sistema de gestão de ativos rodoviários necessita de coleta de dados da rede rodoviária. Para tanto, é necessário o levantamento de dados em campo sobre a condição da malha, volume de tráfego que são dados que necessitam de atualização regular e levantamento de dados que não mudam, como características geométricas da via, topografia, tipo de pavimento. Posteriormente deve ser realizado o

gerenciamento dos dados coletados que seria o cruzamento dos atributos coletados com nome da estrada, extensão dela, dados georreferenciados do cadastro inventariado. Por fim cruzam-se todos os dados para gerar cenários de programação orçamentária para investimentos em manutenção rodoviária mais eficientes.

Logo, o trabalho da ADB (2018) indica as melhores práticas para a introdução e desenvolvimento de gestão de ativos rodoviários. São eles:

- Limitar os dados a serem coletados;
- Facilitar a estruturação de um banco de dados;
- Começar com software simples;
- Institucionalizar o sistema na empresa desde o início;
- Publicar estatísticas anuais de desempenho;
- Integrar aos processos de tomada de decisão;
- Fornecer financiamento suficiente e previsível;
- Gestão separada da implementação;
- Garantir suporte de alto nível;
- Continuar o suporte ao desenvolvimento;
- Desenvolver a capacidade de implementação de obras.

Sinha, Labi e Agbelie (2017) justificam em seu trabalho a necessidade de utilização de práticas de gestão de ativos em Agências Rodoviárias no Estados Unidos. Segundo os autores o primeiro motivo seria o atendimento de requisitos legais, pois em alguns Estados, se tem a obrigatoriedade de desenvolver um plano de gerenciamento de ativos baseado nos riscos das estradas, além da exigência de emitir relatórios financeiros para seus ativos, especificando estimativas de programação orçamentária para financiamentos no sistema rodoviário.

Outra motivação apontada por Sinha, Labi e Agbelie (2017), é a necessidade contínua de melhor coordenação entre as diferentes instâncias da Administração Pública (Federal, Estadual e Municipal). Além disso, a necessidade de as agências acomodarem as preocupações das partes interessadas mediante o uso de várias medidas de desempenho, demonstrando a condição real da qualidade das rodovias em resposta a cenários de planejamento programados através da gestão de ativos, podendo avaliar os *tradeoffs* que dão suporte às decisões.

Sendo assim, é visível que o Brasil ainda está iniciando o processo de aplicação da série de Normas, no setor rodoviário, enquanto países como Estados Unidos já se encontra em estágio bem avançado da utilização da Gestão de ativos.

Sinha, Labi e Agbelie (2017) ainda afirmam que a gestão de ativos rodoviários é um conceito complexo por pelo menos três razões: o grande número de classes de ativos e suas classes de interdependência; a ampla gama de critérios de desempenho que atravessam as diferentes classes de ativos e as interações entre eles e o grande número de decisões que abrangem o processo de desenvolvimento de ativos (desde a fase de planejamento até o final da vida) e a natureza interconectada de tais decisões.

2.3 Avaliação de sustentabilidade em empreendimentos rodoviários

A aplicação do conceito de sustentabilidade tem sido cada vez mais priorizado no setor privado quanto no público. Na Engenharia de Transportes, isso se reflete na concepção e operação de empreendimentos rodoviários, onde se torna essencial avaliar seu desempenho ambiental, social e econômico - isto é, avaliar a sustentabilidade.

Nesse sentido, recorreu-se a pesquisas bibliográficas nas bases *Scopus*, *Web Of Science* e *ASCE* de modo a identificar na literatura as principais ferramentas adotadas na avaliação de sustentabilidade. Além disso, foi realizada pesquisa na *web* para analisar ferramentas utilizadas no mercado que proporcionam a avaliação da sustentabilidade em ativos rodoviários.

Bueno, Vassallo e Cheung (2015) apresentam uma revisão da literatura das principais ferramentas para avaliação de sustentabilidade em projetos rodoviários, quais sejam: sistemas de classificação, técnicas tradicionais de tomada de decisão, listas de verificação e diferentes quadros e modelos de avaliação. Os autores especificam que a avaliação da sustentabilidade considera os aspectos econômicos, sociais e ambientais na qual o projeto se insere e a avaliação necessariamente deve incluir todo ciclo de vida de um empreendimento, desde sua concepção, construção, operação, manutenção e pós uso.

É importante ressaltar que a escolha da metodologia a ser utilizada deve considerar as características específicas do empreendimento rodoviário, como seu tamanho, localização, contexto socioeconômico e ambiental. Ainda conforme Bueno, Vassallo e Cheung (2015), classificam-se as ferramentas e métodos de avaliação da sustentabilidade da seguinte maneira:

- Métodos de avaliação de projetos para tomada de decisão;
- Técnicas para avaliação dos impactos ambientais e sociais;

- Sistemas de classificação, *frameworks* e diretrizes de avaliação.

Como métodos de avaliação para tomada de decisão são descritos o *Cost-benefit analysis* -CBA e a abordagem multicritério ou *Multi-criteria decision analysis* - MCDA. Como técnicas para avaliação dos impactos ambientais e sociais, *Lyfe Cycle assessment* - LCA e *Social Lyfe Cycle Assessment* -SLCA.

Como metodologias para avaliação de sustentabilidade, ferramentas de auto avaliação desenvolvidas para infraestrutura civil em geral (como o Esquema de Avaliação e Qualidade Ambiental da Engenharia Civil - CEEQUAL, o sistema de classificação e reconhecimento de infraestrutura desenvolvido pelo Programa Zofnass para Infraestrutura Sustentável e o Instituto de Infraestrutura Sustentável - EnvisionTM e o Sistema de classificação de liderança em energia e design ambiental para desenvolvimento de bairros - LEEDw), bem como sistemas de classificação focados em estradas (por exemplo, o sistema de classificação voluntário desenvolvido pela Universidade de Washington e CH2M HILL - GreenroadsTM e a classificação de sustentabilidade ambiental de liderança verde em transporte programa — GreenLITES).

Além desses modelos existem diversos softwares no mercado que avaliam a sustentabilidade em empreendimentos rodoviários. Contreras e Gloria (2017), em sua pesquisa avaliam através do software *Envision sustainable infrastructure*, 38 projetos rodoviários na região da América Latina e Caribe. Os resultados derivados dessas descobertas indicaram que o tipo de projeto é reconhecido como um dos principais impulsionadores do desempenho sustentável, enquanto a influência do clima não foi adequadamente considerada nos projetos avaliados na região.

Conforme especificado por Bueno, Vassallo e Cheung (2015), o método mais utilizado para avaliação de projetos é a análise de Custo-benefício- CBA (*Cost-benefit analysis*). A técnica apoia os tomadores de decisão em projetos rodoviários, permitindo comparações entre diversas alternativas e é uma abordagem *Ex-ante* do projeto, objetivando rentabilizar os benefícios dos usuários, bem como o custo do investimento. Como exemplos de atributos analisados, a economia do tempo de viagem, consumo de energia, uso de recursos ambientais e financeiros e emissões de gás carbônico na atmosfera.

Segundo TORRES-MACHI *et al.* (2014), CBA em suma identifica o benefício líquido de um investimento comparando seus custos e benefícios presentes e futuros. A CBA considera que a seleção de um projeto se justifica se o valor dos benefícios for superior ao dos custos.

A Análise Custo-Benefício (CBA) é uma ferramenta fundamental para avaliar o retorno econômico de um projeto, comparando os custos e benefícios monetários ao longo do tempo. Embora a CBA seja principalmente focada em aspectos econômicos, ela também pode ser utilizada para avaliar outros aspectos da sustentabilidade, como os impactos ambientais e sociais de um projeto.

A Análise Custo-Benefício (CBA) em si não envolve diretamente a análise do ciclo de vida (LCA). A CBA é uma ferramenta que se concentra na comparação dos custos e benefícios monetários de um projeto ao longo do tempo, com ênfase nos aspectos econômicos.

No entanto, a análise do ciclo de vida (LCA) é uma abordagem separada que avalia os impactos ambientais de um produto ou projeto ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. Embora a CBA não inclua diretamente a análise do ciclo de vida, é possível integrar a LCA como parte de uma avaliação mais abrangente da sustentabilidade de um projeto de transporte, permitindo a consideração dos impactos ambientais em conjunto com os aspectos econômicos e sociais

Ainda A análise do ciclo de vida é uma abordagem que permite avaliar os impactos ambientais de um produto ou projeto ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. Portanto, ao desdobrar a análise do ciclo de vida em parâmetros específicos, é possível avaliar e considerar os diversos aspectos da sustentabilidade, incluindo não apenas os impactos econômicos, mas também os impactos ambientais e sociais.

Bueno, Vassallo e Cheung (2015), apresentam prós e contras da utilização do CBA. Como vantagens da utilização dessa metodologia, tem-se:

- Ferramenta rigorosa transparente e formal;
- Metodologia útil nos processos de tomada de decisão;
- Permite visão tangível e racional.

Como desvantagens do CBA, os autores apresentam algumas limitações da ferramenta, como:

- avaliar o que muitas vezes não é mensurável, isto é, valores não econômicos;
- considerações limitadas sobre equidade distributiva na distribuição dos recursos da sociedade;

- ferramenta não é apta para avaliar o *triple bottom line* de maneira precisa, uma vez que considera a monetização de valores intangíveis;
- Pode não abranger todo ciclo de vida.

Outro método utilizado para avaliação de projetos refere-se a análise de decisão multicritério ou *Multi-criteria decision analysis* – MCDA, é uma abordagem para tomar decisões em que várias opções precisam ser avaliadas em relação a múltiplos critérios, envolvendo objetivos conflitantes, para determinar a melhor opção ou um conjunto de opções aceitáveis. Esses critérios podem incluir fatores financeiros, técnicos, sociais e ambientais.

De acordo com Bueno, Vassallo e Cheung (2015), a MCDA é considerada uma metodologia adequada para avaliar empreendimentos de infraestrutura de transportes, porém o processo de avaliação tende a ser subjetivo.

Bueno, Vassallo e Cheung (2015) explicitam que a LCA é reconhecida como uma ferramenta valiosa para avaliar a performance ambiental de produtos, atividades ou processos, observando todo o ciclo de vida, desde a extração de materiais até o descarte final. O LCA fornece uma abordagem abrangente para avaliar os impactos ambientais ao longo de todas as etapas do ciclo de vida de um produto ou projeto.

No entanto, como mencionado por Reap et al., (2008) *apud* Bueno, Vassallo e Cheung (2015), o LCA também apresenta algumas áreas problemáticas que podem reduzir a precisão da ferramenta. Essas áreas problemáticas incluem dificuldades na seleção de categorias de impacto, indicadores e modelos, variação espacial, valores subjetivos usando ponderações e problemas em métodos de monetização, entre outros, afirma que a LCA é uma ótima ferramenta para avaliar tomadas de decisão envolvendo avaliação da performance ambiental, observando todo ciclo de vida Reap et al., (2008)² *apud* Bueno, Vassallo e Cheung (2015).

² Reap, J., Roman, F., Duncan, S., & Bras, B. (2008). A survey of unresolved problems in life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(5), 374–388. doi:10.1007/s11367-008-0009-9

Tabela 1 - Benefícios da utilização de cada ferramenta metodológica

Custo da Instituição	LCA	CBA
Design e Engenharia	✓	✓
Compra de terreno	✓	✓
Construção	✓	✓
Reconstrução e reabilitação	✓	✓
Preservação	✓	✓
mitigação	✓	✓
Efeitos sobre usuários		
Acidentes	✓	✓
Tempo de viagem	✓	✓
Custo operacional do veículo	✓	✓
Efeitos sobre usuários durante operação normal		
Acidentes		✓
Tempo de viagem		✓
Custo operacional do veículo		✓
Externalidades		
Emissões		✓
Ruídos		✓
Outros impactos		✓

Fonte: adaptado de Torres-Machi *et al.* (2014, p.52)

Em complementação da LCA foi desenvolvida a SLCA, ou *Social Lyfe-Cycle assessment*, que é a inclusão da abordagem social à metodologia LCA, que segundo autores ainda apresenta diversas limitações, como a definição de impactos sociais e uma avaliação que se limita a aspetos qualitativos.

Outras ferramentas para avaliar a sustentabilidade são os sistemas de classificação e ferramentas de certificação, que são uma coleção de boas práticas, associadas com indicadores e métricas para avaliação da sustentabilidade. A **Tabela 2** apresenta as ferramentas e suas principais características.

Tabela 2 - Ferramentas de classificação e sistemas de certificação

Setor	Nome	País de origem	Características
Infraestrutura em geral	CEEQUAL	Reino Unido	Desenvolvido pelo Institution of Civil Engineers (ICE)
			9 categorias incluídas: estratégia de projeto, gerenciamento de projeto, pessoas e comunidades, uso da terra e paisagem, comunidades, ambiente histórico, ecologia e biodiversidade, ambiente aquático, recursos físicos e transporte.
			Principais recursos: pode ser usado em outros locais fora do Reino Unido, existe também um esquema para avaliar termos de contratos.

	Envision	Estados Unidos	<p>Desenvolvido pelo Zofnass Program for Sustainable Infrastructure baseado em Harvard Graduate School of Design e o Institute of Sustainable Infrastructure (ISI)</p> <p>5 categorias incluídas: Qualidade de vida, liderança, alocação de recursos, clima e risco.</p> <p>Principais recursos: Possui uma categoria única de clima e risco que responde por riscos naturais e mitigação das mudanças climáticas e adaptação. O Envision inclui alguns elementos de planejamento em sua classificação.</p>
	LEED	Estados Unidos	<p>Desenvolvido pelo The US Green Building Council</p> <p>7 categorias incluídas: locais sustentáveis, eficiência hídrica, energia e atmosfera, materiais e recursos, interior qualidade ambiental, inovação em design, prioridade regional.</p> <p>Principais recursos: é o sistema de classificação sustentável mais aceito e difundido. Tem forte ênfase no projeto de construção. Isto fornece uma definição, amplamente aceita pela indústria da construção, para o que atualmente constitui um “edifício verde”.</p>
Transportes	GreenLITES	Estados Unidos	<p>Desenvolvido pelo The New York State Department of Transport</p> <p>5 categorias incluídas: locais sustentáveis, qualidade da água, recursos materiais, atmosfera, inovação.</p> <p>Principais recursos: Forte ênfase nos impactos na comunidade. Contexto específico (clima, orientação)</p>
	Greenroads	Estados Unidos	<p>Desenvolvido pelo The University of Washington and CH2M HILL</p> <p>7 categorias incluídas: requisitos do projeto, meio ambiente e água, acesso e equidade, atividades de construção, materiais e recursos, tecnologias de pavimentação, créditos personalizados</p> <p>Principais recursos: tende a se concentrar em questões de material e design, com uma categoria separada para pavimento. O sistema é orientado em relação aos aspectos ambientais dos projetos, embora o acesso e a equidade sejam abordados.</p>
	I-LAST	Estados Unidos	<p>Desenvolvido pelo The Illinois Department of Transportation, the American Consulting Engineers Council and the Illinois Road and Transportation Builders Association</p> <p>6 categorias incluídas: Projeto, qualidade ambiental, transporte, iluminação, materiais e inovação</p> <p>Principais recursos: forte ênfase em critérios ambientais. Não é um esquema de certificação, de natureza consultiva</p>
	INVEST	Estados Unidos	<p>Desenvolvido pelo US Department of Transport FHWA</p> <p>3 categorias incluídas: planejamento de sistemas, desenvolvimento de projetos, operação e manutenção</p> <p>Principais recursos: É utilizado como ferramenta das rodovias federais para incentivar projetos rodoviários sustentáveis. Também possui uma extensa lista de critérios e uma estrutura para comunicação com as partes interessadas</p>
	BE2ST-In-Highways™	Estados Unidos	<p>Desenvolvido pelo Centro de recursos de materiais reciclados com sede na College of Engineering da University of Wisconsin</p>

			9 categorias incluídas: Requisitos sociais, emissões de gases de efeito estufa, redução de resíduos, consumo de água e carbono social.
			Principais recursos: seu foco principal é quantificar o impacto de sustentabilidade do uso de materiais reciclados em pavimentos. Restrito a questões ambientais, econômicas e sociais relacionadas a materiais e processos de construção quantificáveis

Fonte: adaptado Bueno, Vassallo e Cheung (2015).

Além das certificações e sistemas de classificação outros modelos foram desenvolvidos para atender a demanda de avaliação de sustentabilidade. Entretanto essas ferramentas são voltadas para o processo de avaliação em si, porém não avaliam o processo de tomada de decisão, pois cada gestor toma sua decisão através de diversos outros aspectos e não apenas os aspectos de sustentabilidade.

Por exemplo, Itad e Assaf (2022) propõem um modelo dinâmico de sistemas de reabilitação sustentável de estradas, pensando na gestão da manutenção, objetivando avaliar a condição atual da estrada, identificar os possíveis impactos da reabilitação e prever o desempenho futuro da estrada. O modelo também leva em consideração as emissões de carbono geradas pela reabilitação, permitindo a avaliação do impacto ambiental da intervenção.

Os supracitados autores aplicaram o modelo a um estudo de caso de uma estrada na Jordânia e demonstraram que a abordagem integrada pode levar a uma redução nos custos e impactos ambientais da reabilitação da estrada. O modelo também permite que os tomadores de decisão avaliem diferentes opções de reabilitação e identifiquem a melhor solução em termos técnicos, econômicos e ambientais.

Hashemi, Ghoddousi e Nasirzadeh (2020) apresentam uma proposta para seleção dos principais indicadores para avaliação de sustentabilidade. Para tanto, o primeiro passo é criar um comitê de especialistas do tema, posteriormente coletar e identificar a lista de indicadores de sustentabilidade para avaliação de cada critério. Por fim, prover matrizes de decisão com a avaliação final de cada especialista.

Papajohn *et al.* (2016), por sua vez avalia os sistemas de classificação e certificação de sustentabilidade através do desenvolvimento de um *metaframework* para avaliar os sistemas de classificação e certificação sustentável. A ferramenta é chamada de MARS – *Metaframework for Assessing Ratings for Sustainability* e pode ser usada para:

- Avaliar os sistemas de classificação de sustentabilidade existentes em edificações e infraestrutura;

- Desenvolver sugestões para aprimorar os sistemas de classificação existentes;
- Comparar os sistemas existentes;
- Guiar a criação de novos sistemas de classificação de sustentabilidade.
- Guiar a criação de novos sistemas de classificação de sustentabilidade.

A ferramenta MARS considera 19 critérios para avaliar a performance de sustentabilidade e esses são organizados em 5 componentes, conforme pode ser observado na Figura 2:

Figura 2 - Componentes da ferramenta MARS

	1. Abordagem	2. Contexto	Componentes		5. Aplicação
			3. Informações	4. Resultados	
Critério	a. <i>Triple Bottom line</i>	a. Escala	a. Quantitativo e qualitativo	a. Validade	a. Suporte para tomada de decisão
	b. Integração	b. Tipo de projeto	b. Usabilidade	b. Confiabilidade	b. Referências
	c. Ciclo de vida	c. Adaptabilidade	c. Pesos	c. Compreensibilidade	c. Comparações
	d. Partes interessadas		d. Compatibilidade	d. Incerteza	
	e. <i>Flexibilidade futura</i>				

Fonte: Adaptado de Papajohn *et al.*, (2016, p. 14)

De acordo com Papajohn *et al.*, (2016), a ferramenta MARS foi testada por meio da aplicação no sistema Envision. Os resultados indicaram que o sistema Envision não se destacou na avaliação de certos componentes e critérios em projetos de infraestrutura. É importante ressaltar que esses resultados foram obtidos a partir de um teste piloto, o que significa que são preliminares e não definitivos.

Os referidos autores recomendam que o MARS seja implementado de forma mais abrangente utilizando o software Envision em uma escala maior. Isso permitirá uma avaliação mais completa e precisa do desempenho do sistema Envision em relação aos critérios de sustentabilidade. Portanto, é necessário realizar uma implementação completa do MARS com o Envision para obter resultados mais conclusivos e significativos.

Com tantas metodologias e ferramentas disponíveis na literatura e no mercado, o questionamento de qual seria a melhor forma para avaliação da sustentabilidade para os diversos ativos rodoviários é realizado. Bueno, Vassallo e Cheung (2015), fazem uma comparação qualitativa dos métodos e ferramentas para avaliação da sustentabilidade em projetos de infraestrutura rodoviária, ela se baseia em cinco *sine qua non* requisitos especiais para avaliação de sustentabilidade:

- Abordagem completa, ou seja, contemplando todos os elementos do *triple bottom line*;
- Abordagem de todo ciclo de vida, tratando de todas as fases do empreendimento.
- Analisar *trade offs* rigorosos, ou seja, definir pesos para diferentes critérios para medir melhor o seu impacto relativo. Implica em estabelecer até que ponto um critério de sustentabilidade supera um outro;
- Abordagem transparente, ou seja, ferramentas de avaliação de sustentabilidade devem ser instrumentos transparentes, racionais e formais para dar clareza à metodologia, garantindo sua consistência e precisão;
- Adaptabilidade ao contexto, considerando a sensibilidade dos critérios no contexto geográfico e social de cada empreendimento.

A Tabela 3 criada por Bueno, Vassallo e Cheung (2015), apresenta uma comparação entre todas as ferramentas abordadas segundo cada um desses requisitos. Os autores por fim, recomendam a utilização da abordagem MCDA com outras ferramentas, no sentido de obter maior eficiência na avaliação da sustentabilidade em empreendimentos rodoviários.

Tabela 3 - Comparação qualitativa entre ferramentas de avaliação de sustentabilidade

Ferramenta		1. Abordagem completa	2. Abordagem de todo ciclo de vida	3. Trade-offs rigorosos	4. Abordagem transparente	5. Adaptabilidade ao contexto
<i>Métodos de avaliação de projetos para tomada de decisão</i>	CBA	Problemas com valores não econômicos Limitações com avaliação social da equidade	Na prática, considerações limitadas sobre todo ciclo de vida (ciclo de vida final dos materiais raramente são incluídas)	Problemas com conversão de valores em termos monetários	Abordagem rigorosa e transparente, porém suposições são escondidas dentro de um único resultado	Os valores para objetos econômicos são sensíveis ao contexto. O contexto também é incorporado por meio da taxa de desconto.
	MCDA	Permite incorporar outros aspectos além de econômicos e vários critérios podem ser levados em consideração simultaneamente.	Esforça-se para ter o ciclo de vida completo, mas na prática nem sempre é alcançado	Envolve certo elemento de subjetividade	Ponderação dos critérios pode ser subjetivo	Incorpora julgamentos para os tomadores de decisão, tornando o processo questionável.
<i>Técnicas para avaliação dos impactos ambientais e sociais</i>	LCA	Critérios socioeconômicos não são levados em consideração	Consegue quantificar impactos ambientais e consumo dos recursos durante todo ciclo de vida.	Não considera aspectos socioeconômicos	Embora seja uma ferramenta padronizada, ainda precisa melhorias para aumentar sua precisão	Incluem interações entre atividade e o ambiente, mas não considera o contexto local para sustentabilidade
	SLCA	Critérios econômicos e ambientais não são levados em consideração	Pode incluir impactos sociais em todo ciclo de vida	Não considera aspectos econômicos e ambientais	Uma série de questões fundamentais não foram acordados e resolvidos	Esforços terão que ser realizados para adaptar o contexto na definição dos indicadores
<i>Técnicas para avaliação dos impactos ambientais e sociais</i>	Sistemas de classificação e Certificação	Consegue abordar o <i>triple bottom line</i> .	Consegue abordar o <i>triple bottom line</i> .	Falta transparência e objetividade na seleção dos critérios e ponderação	Falta transparência e objetividade na seleção dos critérios e ponderação	Apesar de considerar o contexto atual, peca na aplicação de contextos diferentes

<i>Ferramenta</i>	<i>1. Abordagem completa</i>	<i>2. Abordagem de todo ciclo de vida</i>	<i>3. Trade-offs rigorosos</i>	<i>4. Abordagem transparente</i>	<i>5. Adaptabilidade ao contexto</i>
<i>Frameworks</i>	Alto nível de avaliação do triple bottom line	Ciclo de vida não é inteiramente observado para todos os itens como itens sociais	Não agrega os resultados em um único valor	Confiável, mas a seleção da alternativa pode ser subjetiva	Apesar de considerar o contexto atual, peca na aplicação de contextos diferentes

Fonte: Adaptado de Bueno, Vassallo e Cheung (2015).

2.3.1. Análise de decisão Multicritério

Conforme foi observado na seção anterior, Bueno, Vassallo e Cheung (2015) recomendam a avaliadores de sustentabilidade, a utilização da abordagem metodológica de análise de decisão multicritério – MCDA em conjunto com outras ferramentas. Ao mesmo tempo, Rowley et al. (2012) reiteram que análise de decisão multicritério, pode ser usada para agregar indicadores de sustentabilidade em uma avaliação. No entanto, os autores, destacam que a escolha do MCDA introduz subjetividade nas análises e que é importante selecionar o método mais apropriado em cada aplicação.

Além disso, Rowley et al. (2012) especificam que a abordagem MCDA é proposta para ajudar a avaliar a sustentabilidade de alternativas de decisão em contextos ambientais. A metodologia também pode ajudar a melhorar a compreensão dos analistas de sustentabilidade sobre a relação entre a teoria e a prática.

A afirmação refere-se ao papel fundamental que a metodologia desempenha na orientação dos analistas de sustentabilidade na aplicação MCDA de forma consistente com as necessidades dos tomadores de decisão. Ao examinar sistematicamente as decisões metodológicas que os analistas devem tomar em cada etapa do processo de avaliação, a metodologia fornece um guia claro para os analistas entenderem como a teoria de MCDA se relaciona com a prática da análise de sustentabilidade. Isso significa que a metodologia ajuda os analistas a compreender não apenas os fundamentos teóricos por trás dos métodos de MCDA, mas também como aplicar esses métodos de forma prática e relevante para atender às necessidades específicas dos tomadores de decisão em contextos de análise de sustentabilidade.

Bryce, Flintsch e Hall (2014) explicam que a avaliação de sustentabilidade deve ser considerada como um problema de múltiplos critérios e que a análise multicritério é uma abordagem adequada para lidar com essa complexidade. A técnica permite apresentar um espaço de soluções viáveis em vez de uma única solução ótima, o que é importante para lidar com a incerteza em relação aos impactos ambientais e sociais. Portanto, a análise multicritério é considerada uma técnica útil para avaliar a sustentabilidade de infraestruturas.

A metodologia MCDA a partir de seu enfoque construtivista, não considera que o problema esteja pronto para ser modelado de forma que se possa encontrar a solução ótima, nem que as alternativas já estejam predefinidas. Ela parte do princípio de que os decisores devem construir o modelo de avaliação de alternativas, refletindo e definindo qual o problema a ser resolvido e quais os critérios que serão usados na avaliação das alternativas. E se propõe a aumentar a compreensão dos decisores sobre o problema, viabilizando a estruturação dele (via procedimentos formais). Ela permite identificar novas e melhores alternativas, assim como o conjunto de ações necessárias

para sua efetivação, além de dar legitimidade às decisões tomadas e favorecer a implantação das ações (Fantinatti, Zuffo; Ferrão, 2015, p.237)

Ainda Fantinatti, Zuffo e Ferrão (2015) especificam que a análise de decisão multicritério é apropriada para aplicação em grandes empreendimentos de Engenharia, com problemas complexos. Assim, os autores recomendam sua aplicação nas fases de planejamento dos empreendimentos, por considerarem que a MCDA é uma ferramenta de apoio à gestão, que proporciona processos de tomada de decisão mais assertivos, levando em consideração fatores econômicos, sociais e ambientais (sustentabilidade).

Os mesmos autores explicam como deve ser a aplicação do método. O primeiro passo consiste na delimitação do problema. Nesse caso o problema deve ser rotulado, ou seja, deve ser estabelecido o contexto e o escopo, delimitando assim suas abrangências e limitações. A seguir, devem ser definidos os critérios de avaliação das alternativas a partir dos valores (percepções) de diversos atores envolvidos no processo. Essa etapa é a mais importante, pois será elaborada a lista de critérios a partir dos valores dos decisores. Os critérios devem ser constituídos de objetivos, metas, valores, ações, opções e alternativas (Fantinatti, Zuffo; Ferrão, 2015).

Após a definição dos critérios de avaliação, devem ser avaliados os níveis de desempenho de cada critério, realizando uma escala de pontuação para eles, definindo uma ponderação entre critérios de avaliação (escalas de peso). Existem vários métodos multicritério de apoio à decisão.

Métodos baseados na programação matemática (MOLP, sigla em inglês para Maltiojective Linear Programming), dos quais se destacam: a Programação por Compromisso (CP, sigla em inglês para Compromisse Programming); e, a Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT, sigla em inglês para Cooperative Games Theory). Métodos baseados nas Teorias do Valor e da Utilidade Multiatributo (MAUT sigla em inglês para Multiattribute Utility Theory), dos quais se destacam: o AHP (sigla em inglês para Analytic Hierarch Process); e, o MACBETH (sigla em ingles para Measuring Attractiviness by a Categorical Evaluation Technique). Métodos baseados nas Relações de Preferências, dos quais se destacam: o ELECTRE (sigla, em francês para Elimination et Choix Traduisant la Realite); e. o PROMETHEE (sigla em inglês para Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations). Abordagens não clássicas em MCDA, das quais se destacam os métodos que incorporam a teoria Fuzzy (Fantinatti, Zuffo; Ferrão, 2015, p.245).

Bryce, Flintsch e Hall (2014) discorrem sobre a importância da utilização da técnica MCDA por parte de órgãos rodoviários, permitindo que avaliem as compensações entre custos, condição e consumo de energia. Ao avaliar todo o espaço de solução viável entre várias partes interessadas com valores diferentes, a conveniência dos resultados resultantes das decisões de gerenciamento de infraestrutura pode ser avaliada. Isso ajuda os tomadores de decisão a tomar decisões mais informadas sobre metas e objetivos de desempenho.

Ao mesmo tempo, Sumabrata, Iskandar e Abiyoga (2022) em sua pesquisa reiteram que o indicador de sustentabilidade pode ser usado para avaliar os fatores que influenciam a infraestrutura rodoviária existente e esperada, apresentando uma aplicação específica na Indonésia, realiza com base nas percepções de funcionários do governo e contratados.

Ao identificar e avaliar os fatores de sustentabilidade na infraestrutura rodoviária, os tomadores de decisão podem fazer escolhas mais informadas sobre investimentos nas dimensões social, econômica e ambiental. Tal condição pode ajudar a melhorar a qualidade da infraestrutura rodoviária na Indonésia e garantir sua sustentabilidade a longo prazo. O estudo analisou um total de 26 indicadores de sustentabilidade para a infraestrutura rodoviária na Indonésia. Os referidos indicadores foram divididos em seis variáveis latentes e 20 variáveis manifestas, que foram identificadas por meio de uma revisão da literatura. As variáveis latentes incluem:

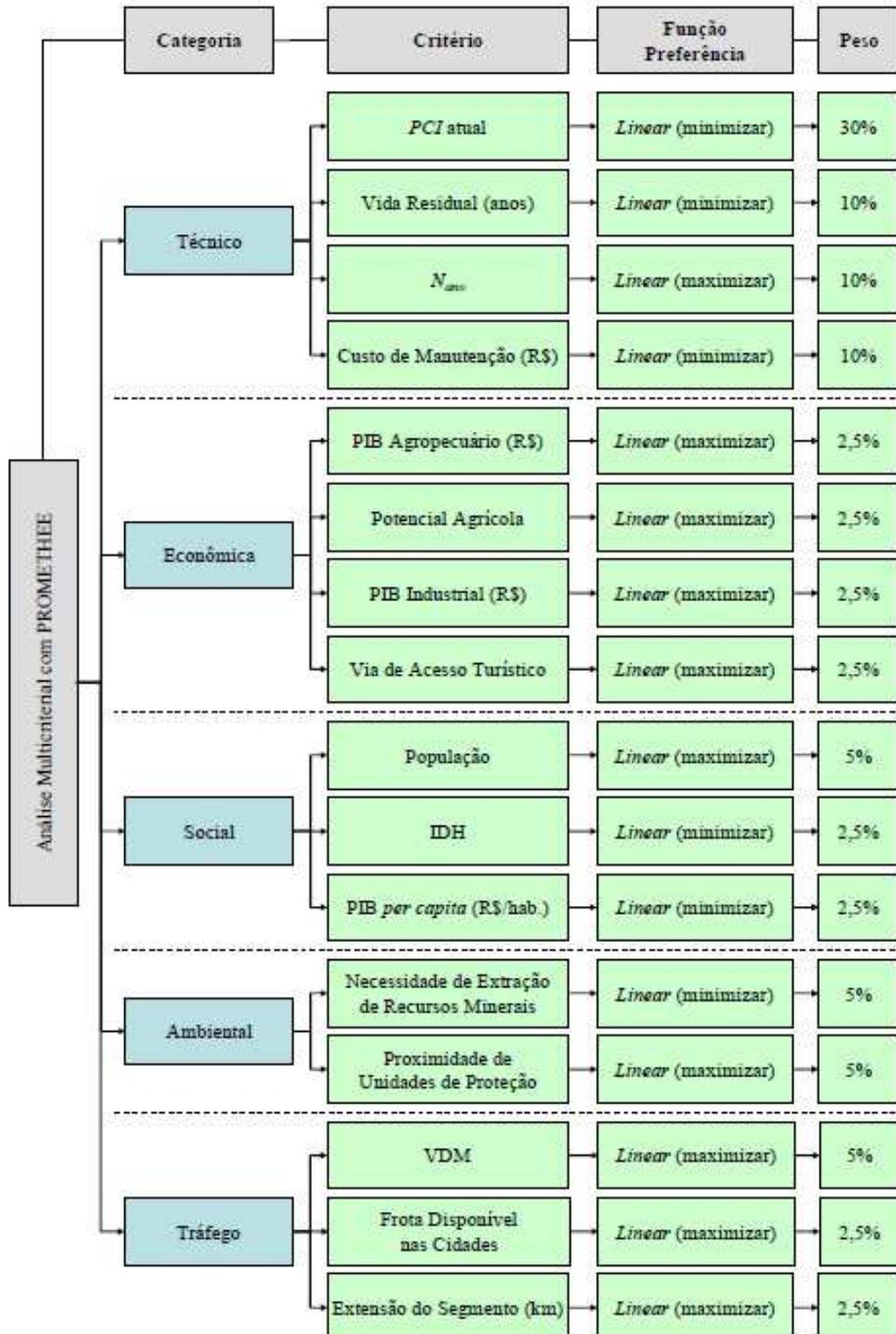
- sustentabilidade ambiental;
- sustentabilidade social;
- sustentabilidade econômica;
- qualidade da infraestrutura;
- segurança viária;
- sustentabilidade institucional.

As variáveis manifestas incluem indicadores específicos, como a qualidade do pavimento, a durabilidade da estrada, o uso de materiais reciclados, a garantia do empreiteiro, entre outros.

A literatura apresenta um ótimo exemplo da aplicação do Método de Análise de decisão multicritério, aplicado no trabalho de Albuquerque e Nuñez (2010), o qual utilizou o método PROMETHE II, para determinar a priorização de trechos de rodovias do estado da Paraíba para manutenção rodoviária. Em seu estudo foi descrita detalhadamente a aplicação método em 23 trechos rodoviários, utilizando critérios técnicos, econômicos, sociais, ambiental de tráfego rodoviário.

Bryce, Flintsch e Hall (2014) criaram três cenários para priorização estipulando pesos para cada critério analisado, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Priorização de critérios de preferência



Fonte: Bryce, Flintsch e Hall (2014).

A revisão da literatura proporcionou escolher os critérios mais importantes analisados por avaliadores de sustentabilidade em suas pesquisas. Nesse sentido, pode ser identificado os

principais critérios analisados e assim auxiliar na compreensão do melhor método e artefato que será desenvolvido.

Wolff e Caldas (2019) fazem uma análise bibliométrica em pesquisas que envolvem análises multicritérios. A análise bibliométrica é utilizada para identificar e avaliar modelos para a avaliação de projetos de infraestrutura rodoviária, considerando múltiplos critérios e variáveis estudadas nos diferentes trabalhos analisados revisão da literatura considerando diversas pesquisas com análise multicritério. Tal fato pode ser observado na

Tabela 4:

Tabela 4 - Visão geral dos modelos (variáveis x autores)

Variables	Classification	Barfod & Salling 2015	Bagloee & Asadi 2015	Odoki et al. 2015	Rabello Quadros & Nassi 2015	Barfod & Leleur 2015	Campos 2015	Sartori et al. 2014	Nogués & González-González 2014	Sage et al. 2013	Kansas & North Carolina DOT 2013*	Michigan DOT 2013*	Indiana DOT 2013*	Montana DOT 2013*	MPPP tool 2013*	Wang et al. 2013	Dewan et al. 2013	Yu & Liu 2012	Silva & Netto 2010	Guenther & Faruková 2010	Sehn 2009	Litman 2002	Kerali 2000	McFarland et al. 1993	Total
Travel time	S	x	x	x		x		x	x	x				x	x	x	x					x	x	x	14
Environmental impact	E			x	x	x		x	x	x				x		x	x		x	x		x	x	x	13
Security	S			x		x		x		x					x			x				x	x	x	9
Operational costs	C			x		x		x		x					x	x							x	x	8
Economic impacts	C	x		x						x	x	x					x				x	x			8
Employment	S						x				x	x	x						x			x			6
Transportation cost	C				x								x				x					x	x		5
Household income	C						x		x		x	x										x			5
Construction and maintenance cost	C					x		x											x	x				x	5
Social impacts	S			x		x																x	x		4
Traffic volume	C		x					x	x										x						4
Quality	S																	x				x	x		3
Energy efficiency	C			x																x			x		3
Noise pollution	S					x		x														x			3
Transportation offer	S				x					x										x					3
State GDP	C								x		x	x													3
Flexibility (Logistics)	S	x																x							2
Reliability	S									x								x							2
Accessibility	S			x																			x		2
Land occupation rate	C								x														x		2
Construction time	C		x																						2
HDI	S				x															x					2
Tax collection	C						x																		1
Demand forecast	C		x																						1
European green corridor	E	x																							1
Traffic volume growth rate	C																		x						1
Visual impact	S	x																							1
Socioeconomic strength	S	x																							1
IRR (Internal rate of return)	C				x																				1
Age group	S								x																1
Income (tool plaza)	C							x																	1
Recovery of liabilities	C																			x					1
Distance	C								x																1
Average speed	C								x																1
Inhabitants	S								x																1

Fonte: Wolff; Caldas (2019, p.100).

Após realizar a análise dos principais autores do tema foi possível identificar os principais critérios e indicadores analisados para Avaliação de sustentabilidade em empreendimentos rodoviários. A Tabela 5 inclui os critérios e indicadores mais utilizados na literatura, e é uma contribuição do presente trabalho.

Tabela 5 - Critérios e indicadores para avaliação de sustentabilidade rodoviária na literatura

Metodologia	Autores	Critérios	Indicadores
MCDA	ALBUQUERQUE, Fernando; NUNES, Washington (2010)	Técnicos	Índice de Condição do Pavimento - PCI
			Vida Residual
			Número anual de repetições do Eixo Padrão
			Custo de manutenção
		Econômicos	PIB Agropecuário
			PIB Industrial
		Sociais	Via de Acesso Turístico
			População (Número de habitantes)
			Índice de desenvolvimento humano - IDH
		Ambientais	Produto interno bruto por habitante
			Necessidade extração de recursos minerais
		Tráfego	Proximidade de Unidades de Proteção
			Volume diário Médio (VDM)
		Revisão da literatura	SUMABRATA, R. Jachrizal; Iskandar, Dadang; ABIYOGA, Radhitya (2021)
Análise de custos para alcançar eficiência econômica			
Social	Estrada de alta durabilidade		
	Acesso para pedestres, ciclovia e faixa designada para transporte público		
	Sistema inteligente de transportes		
	Passagem urbana		
Ambiental	Substituição de árvore		
	Eficiência energética		
	Mistura quente asfáltica		
	Pavimento legal		
	Área de estrada permeável		
	Escoamento zero		
Requisitos de projeto	Reutilização de resíduos rodoviários		
	Material de estrada reciclado		
Segurança	Processo de revisão ambiental		
	Construção de baixo impacto		
	Manutenção de estradas		
	Auditoria de segurança		
			Iluminação pública
			Guarda corpo
			Consistência entre planejamento regional com planejamento estadual

NI* ³	DHAKAL, Krishna; OH, Jun (2011)	Planejamento	Integração com Plano de Uso do Solo
			Planejamento de gestão ambiental
			Plano de gerenciamento de ativos/manutenção do local
			Plano de Gerenciamento de acesso
			Política de Divulgação Pública
	DHAKAL, Krishna; OH, Jun (2011)	Participação	Participação Pública na Avaliação de Necessidades
			Participação na Tomada de Decisão Financeira
			Participação na Seleção de Alinhamento
			Participação na Tomada de Decisão de Projeto
			Participação Pública na Manutenção da Instalação
NI	DHAKAL, Krishna; OH, Jun (2011)	Mobilidade/Segurança	Projeto Contextual Sensível e Consistente ao contexto
			Controle de sinal otimizado
			Pontos de conflito otimizados nas interseções
			Redução de atraso da média do ano base
			Auditoria de segurança e instalação de segurança
NI	DHAKAL, Krishna; OH, Jun (2011)	Ambiental	Medidas de segurança para trabalhadores da construção civil
			Tampão entre massa d'água e acostamento
			Condições hidrológicas pré-construção
			Minimizar perturbação nos corpos d'água
			Preservar o habitat e ecologia
			Mitigar poluição luminosa
			Uso de materiais de baixa emissão
			Uso de equipamentos de baixa emissão
			Controle de poeira durante construção
			Medidas de controle de ruído
			Equipamento de baixa vibração
			Plano de gerenciamento de resíduos da construção
			Material/processo de remoção de neve de baixo impacto
Paisagem com eficiência hídrica/sensível ao contexto			
NI	DHAKAL, Krishna; OH, Jun (2011)	Acesso e Equidade	Acesso para todos trabalharem
			Trânsito e acesso ára todos
			Percurso para pedestres
			Ciclovias
			Facilidade para deficientes e idosos

³ NI = Não informado

NI	DHAKAL, Krishna; OH, Jun (2011)	Componente financeiro	Capital de investimento sustentável
			Plano de financiamento e manutenção
			Plano de Administração e expansão
			Plano para pesquisa e desenvolvimento
			Alinhamento econômico
			Alternativa de design econômico
			Material e processo de baixo custo
NI	DHAKAL, Krishna; OH, Jun (2011)	Inovação e qualidade	Gestão da qualidade e planejamento de implementação
			Implantação da técnica lean
			Sistema inovador de entrega de projetos
			Pavimento inovador de construção rápida
Sistemas de Certificação: GreenLites	MONTGOMERY, Robert; SCHIRMER, Howard; HIRSCH, Art. (2014)	Qualidade de vida	Técnica inovadora de construção rápida
			Aplicativo de TI inovador
Sistemas de Certificação: ENVISION	MONTGOMERY, Robert; SCHIRMER, Howard; HIRSCH, Art. (2014)	Ambiental	Determinar a coordenação com funcionários públicos e partes interessadas; informações culturais revisadas e resumido para identificar único características comunitárias e culturais; recursos financeiros foram estimados ou obtidos para Aprimoramento.
Sistemas de Certificação: ENVISION	MONTGOMERY, Robert; SCHIRMER, Howard; HIRSCH, Art. (2014)	Ambiental: Gestão de recursos	Porcentagem de área de alinhamento usado anteriormente (25%, 50%, 75%, 100%)
Sistemas de Certificação: CEEQUAL	MONTGOMERY, Robert; SCHIRMER, Howard; HIRSCH, Art. (2014)	Desempenho e Qualidade do pavimento	Porcentagem por volume (25%, 25-50%, 50-75%, >75%)
MCDA	SHEN, Lyin; WU, Yuzhe; ZHANG, Xiaoling (2011)	Econômico	Sistema de rastreamento
			Análise de oferta e demanda de mercado
			Vantagem técnica
			Orçamento do projeto
			Canais de financiamento de projeto
			Planejamento de investimento em projetos
			Custo do ciclo de vida
			Benefício/lucro do ciclo de vida
Risco financeiro			
			Período de retorno
			Efeitos de desenvolvimento local

MCDA	SHEN, Lyin; WU, Yuzhe; ZHANG, Xiaoling (2011)	Social	Fornecimento de oportunidades de emprego
			Função do projeto
			Escala de capacidade de serviços
			Fornecimento de amenidades auxiliares para atividades econômicas locais
			Segurança pública
			Saneamento público
			Uso da terra e sua influência sob o público
			Proteção ao patrimônio cultural
			Promoção ao desenvolvimento comunitário
			MCDA
Efeito na poluição do solo			
Efeito na qualidade do ar			
Efeito na qualidade da água			
Efeito sonoro			
Geração de desperdício			
Influência na saúde pública			
Medidas de proteção ambiental na concepção de projetos			
Economia de energia			
Proteção na paisagem local			
Sistemas de certificação	VEGA, Gabriela; HERRERA, Rodrigo; GÓMEZ, Miguel (2019)	Ambiental	Área de ecossistemas afetada pelo projeto
			Preservar as terras de cultivo de alto valor ecológico/reutilização da terra vegetal
			Espécies em perigo que habitam na região
			Fornecer travessias de vida silvestre
			Conservação, melhoria e restauração de habitats e biosistemas
			Conservação e valorização de paisagens/melhoria visual
			Projetos que demonstram um aumento líquido final em espécies de árvores (preservação e/ou novas plantação)
			Redução de emissões e poluentes atmosféricos
			Redução do uso de energia
			Uso de energia renovável ou fontes alternativas de energia
			Uso eficiente/redução do consumo de água potável
			Conservação e melhoria da qualidade da água
			Redução de poluentes atmosféricos
			Gerenciamento de ruído

Sistemas de certificação		Gestão da poluição luminosa
		Redução da produção de resíduos/reduzir, reutilizar e reciclar materiais durante a construção
		Prevenção do impacto de derramamento de equipamentos durante a construção
		Minimizar o impacto potencial da névoa salina (por exemplo, através do uso de bermas)
		Facilitar a desconstrução e a reciclagem
		Utilizar materiais da região
		Gestão eficiente dos recursos naturais
		Desviar os resíduos dos aterros
		Reduzir a movimentação de materiais escavados
		Melhoria da qualidade de vida
		Promoção do bem-estar, segurança e saúde da comunidade
		População beneficiada/população adjacente à via
		Identificar as partes interessadas e desenvolver um plano de participação da comunidade
	Melhorar a acessibilidade, segurança e sinalização	
	Melhorar o acesso e a mobilidade da população	
	Promover a redução de viagens de veículos incentivando o uso de transporte público	
	Presença de templo religioso, sede, consultório médico, posto ou outro serviço e/ou local de saúde interesse histórico ou cultural	
	Patrimônio histórico, cultural e arqueológico	
	Estimular o crescimento e desenvolvimento sustentável local	
	Promover meios alternativos de transporte	
	Considerar alargamento adequado para tráfego de pedestres ou bicicletas	
	Incluir paradas de ônibus e acesso de pedestres	
	Promoção de emprego local	
Incentivar o desenvolvimento de capacidades e habilidades locais		
Aumentar a informação e participação do público		
Minimizar o ruído e as vibrações		
Preservar as paisagens e o carácter local		
Melhorar o espaço público		

Sistemas de certificação	VEGA, Gabriela; HERRERA, Rodrigo; GÓMEZ, Miguel (2019)	Econômico	Fluxo diário de veículos (TMDA)
			Nível de serviço desejado e tempo de vida esperado da rota
			Uso típico da estrada antes da melhoria / tempo de viagem associado
			Contribuições monetárias externas
			Avaliação da economia local / impactos na produtividade local
			Atividades econômicas predominantes na área
			Área de cultivo afetada
			Minimização de deslocamentos de mão de obra
			Aumento da conectividade entre as comunidades
			Proporção de uso de materiais locais
			Proporção de mão de obra local
			Tipo de pasta a usar
			Geometria da estrada
			Largura média da estrada
			Grau de consolidação da baixa
			Rede inscrita na rede rodoviária
Uso típico da estrada antes da melhoria / tempo de viagem associado			
Contribuições monetárias externas			

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Contudo, Fantinatti, Zuffo e Ferrão (2015) recomendam que o processo de definição dos indicadores, por meio da abordagem MCDA, deve ser realizado de forma dinâmica com a participação e validação dos atores no processo. Além disso, os indicadores econômicos, sociais e ambientais devem considerar cada fase do empreendimento. Ou seja, fase de projeto, implantação e fase de operação.

2.3.2. Sistemas de classificação e ferramentas de certificação

Conforme citado anteriormente, existem diversas ferramentas de classificação sustentáveis disponíveis no mercado. A Tabela 2 - Ferramentas de classificação e sistemas de certificação evidencia as principais.

De acordo com Muench et al. (2012), um sistema de classificação de sustentabilidade é essencialmente uma lista de melhores práticas de sustentabilidade com uma métrica comum associada, medida em pontos. Assim, as diversas unidades de medida de melhores práticas de

sustentabilidade (por exemplo, carregamento de poluentes em águas pluviais, vida útil do projeto do pavimento etc.) podem, de certo modo, ser diretamente comparados. Em mais formas complexas, os sistemas de classificação ponderam as melhores práticas, geralmente em relação ao seu impacto na sustentabilidade; esta classificação pode então ajudar na escolha das melhores práticas mais benéficas para usar, dado um limitado escopo e orçamento do projeto.

Montgomery, Schirmer e Hirsch (2014) apresentam um documento que descreve um sistema de classificação de sustentabilidade para projetos rodoviários em países em desenvolvimento. O documento foi desenvolvido pelo Banco Mundial e apresenta uma série de critérios de sustentabilidade ambiental para serem considerados em todas as fases do ciclo de vida do projeto. Esse é baseado em cinco sistemas: Envision (*Institute for Sustainable Infrastructure*), CEEQUAL (CEEQUAL Ltd., fundada pelo UK *Institution of Civil Engineers*), INVEST (*United States Federal Highway Administration*), Green Roads (*Green Roads Foundation*) e GreenLITES (*New York State Department of Transportation*).

As seções a seguir abordam, especificamente sobre os sistemas de classificação INVEST e Green Roads. Posteriormente, será tratado de outra ferramenta que está sendo amplamente difundida e adotada no mercado, a *Global Reporting Initiative* – GRI.

2.3.2.1. Invest

A *Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool (INVEST)* é uma ferramenta de autoavaliação baseada na web que consiste em melhores práticas voluntárias de sustentabilidade, chamadas critérios, que abrangem todo o ciclo de vida dos serviços de transporte, incluindo planejamento do sistema, planejamento do projeto, design e construção, operações e manutenção. A *Federal Highway Administration (FHWA)* desenvolveu o INVEST para uso voluntário por agências de transporte para avaliar e aumentar a sustentabilidade de seus projetos e programas. FHWA (2023)

Seus critérios (60) são divididos em quatro módulos:

- Sistema de Planejamento por Estados;
- Sistema de Planejamento por Regiões;
- Desenvolvimento de Projetos;
- Operação e Manutenção.

O sistema é uma ferramenta abrangente de autoavaliação para auxiliar as agências ou órgãos rodoviários na avaliação do desempenho de sustentabilidade de seus projetos e programas. Cada módulo do *software* é independente e é avaliado separadamente. O INVEST é uma iniciativa para tornar as rodovias mais sustentáveis. Porém, o objetivo da ferramenta não é tornar as rodovias 100% sustentáveis, mas sim torná-las mais sustentáveis do que as rodovias tradicionais. Isso pode ser feito usando materiais e técnicas de construção mais sustentáveis, integrando o transporte público e a mobilidade ativa, e gerenciando o tráfego de forma mais eficiente. FHWA (2023)

A FHWA (2023) dá alguns exemplos específicos de como as rodovias podem ser tornadas mais sustentáveis:

- Utilizar materiais de construção mais sustentáveis, como concreto reciclado e asfalto feito de óleo de cozinha usado.
- Integrar o transporte público e a mobilidade ativa, como ciclovias e calçadas, nas rodovias.
- Gerenciar o tráfego de forma mais eficiente, como usando semáforos inteligentes e faixas reversíveis.

A FHWA (2015) evidencia os benefícios de usabilidade da ferramenta:

- A ferramenta é totalmente gratuita;
- Capacidade de identificar, priorizar e comunicar escolhas equilibradas entre os objetivos diferentes e às vezes concorrentes dos programas de infraestrutura rodoviária;
- Fornecer aos tomadores de decisão as informações de que precisam, monitorando sistematicamente os critérios que afetam o desempenho de sustentabilidade de um projeto ao longo do tempo;
- INVEST fornece um meio numérico para medir a sustentabilidade, avaliar as opções de melhoria e acompanhar o progresso contínuo.

Ramani, Zitsman e Pryn (2018) explicam como o INVEST realiza sua avaliação de sustentabilidade. Cada critério permite uma pontuação máxima obtida variando de 1 a 15. Cada descrição de critério inclui requisitos de pontuação que permitem ao usuário atribuir uma pontuação ao plano ou projeto específico que está sendo avaliado. As pontuações para cada

critério em um módulo são agregadas para obter uma pontuação total. Semelhante a outros sistemas de classificação, como o LEED, a pontuação total está vinculada a um nível de conquista específico (Platinum, Gold, Silver e Bronze) em relação ao número máximo de pontos possíveis no módulo. O sistema de avaliação está disponível como uma ferramenta baseada na web que permite aos usuários criar uma conta e realizar a pontuação online.

Os mesmos autores realizaram em sua pesquisa uma análise do número total de critérios e suas pontuações em cada módulo do sistema, conforme indicado na Tabela 6.

Tabela 6 - Módulos e Pontuações do INVEST

Módulo	Sistema de Planejamento	Desenvolvimento de Projeto	Operação e Manutenção
Número de critérios	17	29	14
Máxima pontuação por critério	15 (exceto 2 critérios de bônus para 10 pontos cada)	Entre 1 e 10	15
Cobertura de Dimensões (Número de Critérios Aplicáveis por Dimensão)			
Econômica	13	21	13
Social	13	16	10
Ambiental	12	26	13

Fonte: Adaptado de Ramani, Zitsman e Pryn (2018, p.283)

A Figura 4 exemplifica como o sistema define cada critério capacitando o avaliador de examinar a melhor opção para cada pergunta. No final de todas as respostas, o sistema traz uma pontuação para cada critério.

Figura 4 -Imagem da avaliação de critérios da ferramenta INVEST

[Workspace](#) > [sustainability of road asset of DER](#) > SPS-01
Integrated Planning: Economic Development and Land Use (for States)

Criterion Details

SPS-01 Integrated Planning: Economic Development and Land Use (for States)

[Download as pdf](#)

Goal

Integrate statewide and metropolitan Long Range Transportation Plans (LRTP) with statewide, regional, and/or local land use plans and economic development forecasts and goals. Proactively encourage and facilitate sustainability through the coordination of transportation, land use, and economic development planning.

Sustainability Linkage

Integrating transportation planning with economic development and land use supports the economic principle by creating opportunities to improve access and mobility, and increase the social, environmental, and economic returns on both public and private investments in transportation projects and programs.



Affected Triple Bottom Line Principles

Background & Scoring Requirements

Background

This criterion recognizes that each state has different regulatory, policy, and institutional frameworks, plans, and goals related to economic

Criterion Scoring

sustainability of road asset of DER

Score **2** Your Rating: Not Rated

SPS-01.1a Has the agency developed goals and objectives for the integration of metropolitan and/or statewide transportation planning with economic development and land use planning above and beyond current requirements?

Yes (1 point)
 No

SPS-01.2a Does the agency regularly engage land use and economic development agencies in its jurisdiction throughout the transportation planning process?

Yes (2 points)
 No

SPS-01.3 Does the agency use best practice quantitative methods to analyze and evaluate the performance of alternative land use/ transportation scenarios?

Yes (2 points)
 No

Fonte: FDHA, 2023.

Ramani, Zitsman e Pryn (2018) analisam criticamente o INVEST, especificando que embora haja espaço para subjetividade em vários de seus critérios, a ferramenta promove a colaboração entre Departamentos e Agências e aumenta a conscientização e compreensão da sustentabilidade. No entanto, a falta de um mandato para o uso do INVEST significa que a implementação abrangente depende da vontade de diferentes entidades locais trabalharem juntas.

2.3.2.2 Greenroads

O *Greenroads Rating System* é um dos sistemas de avaliação de sustentabilidade em rodovias mais abrangentes do mundo. A *Greenroads Foundation* oferece uma série de recursos para ajudar os projetos a obter a certificação, incluindo um manual de diretrizes, um software de avaliação e um programa de treinamento.

O programa é gratuito para se inscrever e usar, mas há uma taxa para obter a certificação. A taxa de certificação varia de acordo com o tamanho e a complexidade do projeto. Entretanto,

o sistema é mais complexo se comparado ao INVEST. Ele tem mais critérios de avaliação e os critérios são mais detalhados.

Muench, Anderson e Bevan (2010) definem *Greenroads Rating System* como um programa de certificação de rodovias sustentáveis que foi desenvolvido pela *Greenroads Foundation*, uma organização sem fins lucrativos. O programa foi criado para promover a construção e operação de rodovias que sejam mais sustentáveis, seguras e eficientes.

Segundo o mesmo autor as vantagens da utilização do Greenroads são:

- Incentivar práticas mais sustentáveis na concepção e construção de estradas;
- Fornece uma maneira quantitativa de avaliar a sustentabilidade de projetos de estradas;
- Permitir que as organizações proprietárias confirmem benefícios a projetos certificados;
- Permitir decisões informadas e compensações em relação à sustentabilidade de estradas;
- Estabelecer um requisito de linha de base implementável para a sustentabilidade de estradas;
- Permitir que um público mais amplo participe da sustentabilidade de estradas de maneira significativa;
- Conferir reconhecimento comercial a projetos de estradas sustentáveis;
- Permitir a inovação, pois é orientado para o resultado.

Ainda Muench, Anderson e Bevan (2010) explicam brevemente a metodologia para avaliação de sustentabilidade. O sistema *Greenroads* usa uma metodologia baseada em pontos para avaliar a sustentabilidade de projetos de construção de estradas. Ele consiste em 11 requisitos obrigatórios e 37 créditos voluntários, cada um com um valor em pontos. Os projetos de estradas podem ser certificados alcançando todos os 11 requisitos obrigatórios e um número mínimo de pontos associados aos créditos voluntários. O sistema é projetado para evoluir à medida que a tecnologia e o pensamento sustentável evoluem.

A *Greenroads International* evidencia os critérios e requisitos contidos no sistema *Greenroads*.

Figura 5 - Requisitos do sistema Greenroads

THE GREENROADS RATING SYSTEM V2 INCLUDES:

- 12 Project Requirements
- 45 Voluntary Core Credits
- 4 Voluntary Extra Credits

PROJECT REQUIREMENTS		
NO.	TITLE	TYPE
PR-1	Ecological Impact Analysis	REQUIRED
PR-2	Energy & Carbon Footprint	REQUIRED
PR-3	Low Impact Development	REQUIRED
PR-4	Social Impact Analysis	REQUIRED
PR-5	Community Engagement	REQUIRED
PR-6	Lifecycle Cost Analysis	REQUIRED
PR-7	Quality Control	REQUIRED
PR-8	Pollution Prevention	REQUIRED
PR-9	Waste Management	REQUIRED
PR-10	Noise & Glare Control	REQUIRED
PR-11	Utility Conflict Analysis	REQUIRED
PR-12	Asset Management	REQUIRED

ENVIRONMENT & WATER		
NO.	TITLE	POINTS
EW-1	Preferred Alignment	1-3
EW-2	Ecological Connectivity	1-3
EW-3	Habitat Conservation	1-3
EW-4	Land Use Enhancements	1-3
EW-5	Vegetation Quality	1-3
EW-6	Soil Management	1-3
EW-7	Water Conservation	1-3
EW-8	Runoff Flow Control	1-3
EW-9	Enhanced Treatment: Metals	1-3
EW-10	Oil & Contaminant Treatment	1-3

CONSTRUCTION ACTIVITIES		
NO.	TITLE	POINTS
CA-1	Environmental Excellence	1-3
CA-2	Workzone Health & Safety	1-2
CA-3	Quality Process	1-3
CA-4	Equipment Fuel Efficiency	1
CA-5	Workzone Air Emissions	1
CA-6	Workzone Water Use	2-3
CA-7	Accelerated Construction	1-2
CA-8	Procurement Integrity	1
CA-9	Communications & Outreach	1
CA-10	Fair & Skilled Labor	1-2
CA-11	Local Economic Development	1

MATERIALS & DESIGN		
NO.	TITLE	POINTS
MD-1	Preservation & Reuse	1-5
MD-2	Recycled & Recovered Content	1-5
MD-3	Environmental Product Declarations	2
MD-4	Health Product Declarations	2
MD-5	Local Materials	1-5
MD-6	Long-Life Design	1-5

UTILITIES & CONTROLS		
NO.	TITLE	POINTS
UC-1	Utility Upgrades	1-2
UC-2	Maintenance & Emergency Access	1
UC-3	Electric Vehicle Infrastructure	1-3
UC-4	Energy Efficiency	1-3
UC-5	Alternative Energy	1-3
UC-6	Lighting & Controls	1-3
UC-7	Traffic Emissions Reduction	1-3
UC-8	Travel Time Reduction	1-2

ACCESS & LIVABILITY		
NO.	TITLE	POINTS
AL-1	Safety Audit	1-2
AL-2	Safety Enhancements	1-2
AL-3	Multimodal Connectivity	1-2
AL-4	Equity & Accessibility	1-2
AL-5	Active Transportation	1-2
AL-6	Health Impact Analysis	2
AL-7	Noise & Glare Reduction	1-3
AL-8	Culture & Recreation	1-2
AL-9	Archaeology & History	1-2
AL-10	Scenery & Aesthetics	1-2

CREATIVITY & EFFORT		
NO.	TITLE	POINTS
CE-1	Educated Team	1-2
CE-2	Innovative Ideas	1-5
CE-3	Enhanced Performance	1-5
CE-4	Local Values	1-3

CERTIFICATION LEVELS	LEVEL	POINTS
	Bronze	40
	Silver	50
	Gold	60
	Evergreen	80

Fonte: Greenroads International (2023)

Szpotowicz e Tóth (2020) relatam que o sistema de classificação *Greenroads* foi desenvolvido pela Universidade de Washington em 2007, com a participação de mais de 100

profissionais, e é principalmente aplicável ao ambiente dos Estados Unidos, mas pode ser A avaliação tem duas partes: requisitos do projeto e créditos voluntários. O projeto exige essencialmente conformidade com requisitos técnicos e legais e consiste em algumas partes básicas, voltadas para o futuro, mas não necessariamente legalmente vinculativas.

Existem atualmente quatro níveis de certificação: Bronze (pontuação mínima de 40 pontos); Prata (pontuação mínima de 50 pontos); Ouro (pontuação mínima de 60 pontos); *Evergreen* (pontuação mínima de 80 pontos). O sistema *Greenroads* coloca grande ênfase em ferramentas de gerenciamento e considera os três pilares da sustentabilidade, embora o foco esteja claramente nos impactos ambientais. (Szpotowicz e Tóth, 2020, p. 3).

Os mesmos autores compararam os sistemas *Greenroads*, *GreenLITES*, *I-LAST*, *Envision* e *INVEST*, e consideraram o *Envision* e o *Greenroads* os mais adequados para o local de aplicação, rodovias da Hungria.

Szpotowicz e Tóth (2020) após relizarem uma revisão dos sistemas de classificação mais comumente utilizados, como *Greenroads*, *GreenLITES*, *I-LAST*, *Envision* e *INVEST*, concluíram que os sistemas de classificação mais adequados para avaliação de sustentabilidade das rodovias da Hungria foram o *Envision* e *Greenroads*.

2.3.3.3 Global Reporting Initiative – GRI

O GRI é uma organização internacional sem fins lucrativos, fundada em 1997, com sede em Amsterdã, nos Países Baixos. Seu principal objetivo é desenvolver e promover diretrizes para a elaboração de relatórios de sustentabilidade por parte de empresas, governos e outras entidades, com o intuito de fornecer informações claras e padronizadas sobre seu desempenho econômico, ambiental, social e de governança (ESG).

Levy e Brown (2010) explicam que a Global Reporting Initiative (GRI) se tornou a principal estrutura global para relatórios voluntários de empresas sobre questões ambientais e sociais. Os autores complementam que a GRI é um exemplo de estratégia bem-sucedida, uma vez que seus fundadores, vieram de pequenas organizações e hoje atingiram múltiplas empresas multinacionais dos mais variados setores. Ainda acrescentam que as aspirações da GRI para uma mudança mais fundamental na governança foram limitadas pelas instituições mais amplas de mercados financeiros e de capital em que o campo de responsabilidade social corporativa está inserido.

Tsai e Chang (2012) afirmam que o GRI pode trazer várias vantagens para as empresas que desejam relatar sua sustentabilidade corporativa. Algumas dessas vantagens incluem:

- Melhorar a transparência e a responsabilidade da empresa em relação às suas práticas de sustentabilidade;
- Aumentar a credibilidade da empresa com seus stakeholders, incluindo investidores, clientes e funcionários;
- Identificar áreas de melhoria e oportunidades para aprimorar o desempenho de sustentabilidade da empresa;
- Comparar o desempenho de sustentabilidade da empresa com outras empresas do mesmo setor;
- Atender às expectativas regulatórias e de conformidade em relação à divulgação de informações de sustentabilidade.

Os mesmos autores ainda explicam que o GRI utiliza critérios para definir o conteúdo dos relatórios de sustentabilidade corporativa. Esses critérios são organizados em três categorias: econômica, ambiental e social. Cada categoria é composta por vários tópicos, como governança corporativa, direitos humanos, mudanças climáticas, biodiversidade, entre outros.

Tsai e Chang (2012) desenvolveram uma lista de itens de sustentabilidade para o desenvolvimento de projetos de rodovias, através de uma revisão de requisitos sustentáveis do LEED, GRI, estudos relevantes, projetos de rodovias sustentáveis e entrevistas com profissionais da área. A partir dessas fontes, foi criada uma lista de verificação consistindo em 60 itens sustentáveis que foram testados em quatro projetos para validar sua aplicabilidade em projetos de rodovias. A Tabela 7 demonstra todos esses itens.

Importante relatar que o sistema GRI está disponível online oferecendo guias e manuais com padrões GRI para diversos setores, como por exemplo: agricultura e pesca, carvão, petróleo e gás, resíduos, saúde e segurança ocupacional, água e efluentes. No site não há disponível o acesso aos padrões para o setor de rodovias. Porém, como pode ser observado, há na bibliografia formas de obtenção dos padrões GRI para o setor, mas não de forma gratuita.

Tabela 7 - Desenvolvimento de itens sustentáveis para projetos de rodovias

Geometria	Terraplenagem	Pavimento	Drenagem	Contenção	Proteção de Taludes	Túneis
Redução de volume	Equilíbrio de terraplenagem	Redução de volume ou peso	Redução do escoamento	Redução do volume ou peso	Vegetação	Redução do volume ou peso
Curvas suaves	Escavação e aterros mínimos	Materiais permeáveis	valas com vegetação ou cascalho	Vegetação	Reforço de taludes	Vegetação
Encostas suaves	Reciclagem do solo superficial	Materiais reciclados	Captura de águas pluviais	pedras de moagem ou reforço macio	Reaproveitamento de resíduo	redução nas instalações de ventilação
	Reaproveitamento de resíduos	Materiais de redução de ruído	trincheiras de infiltração ou bacia de captação			Reciclagem de materiais
		Materiais filtrantes	Lagoas de sedimentos			Materiais fibrosos
			Materiais regionais			
Paisagem e ecologia	Meios de transporte	Pontes	Isolamento acústico	Trabalho elétrico e mecânico	Iluminação	
Evitar locais de preservação natural	Redução de volume ou peso	Redução de volume ou peso	Redução de volume ou peso	Redução no controle de transporte	Redução de equipamentos de iluminação	
aterros ou cortes substituídos por pontes ou túneis	Pólos multifuncionais	Pontes de vão longo	Paisagismo		Energia renovável	
Árvores nativas	Manutenção de transporte	Técnicas de pré-moldagem			placa de sombreamento	

Paisagem e ecologia	Meios de transporte	Pontes
Replanteio de árvores	Redução nas mudanças de caminho	Pontes temporárias para construção
Vegetação		Trilhos ociosos
Reciclagem do solo superficial		Materiais reforçados
Bueiros para travessias de vida selvagem		Concreto de alta resistência
Lagoas ecológicas		Concreto autoadensável
Conectividade de habitat		Concreto leve
Ambiente biológico poroso		Aço
Redução nas instalações de paisagismo		
Pontes altas		

Fonte: Adaptado de Tsai; Chang (2012, p.13)

2.4 Métodos de avaliação do desempenho ambiental, social e econômico das obras de construção civil e Norma ISO 21931-2: 2019

Diante da necessidade de criar métodos para avaliação da sustentabilidade, A International Organization for Standardization – ISO, introduziu recentemente em 2019 a Norma 21931. A referida norma estabelece um quadro para métodos de avaliação do desempenho sustentável para quaisquer tipos de obras de Engenharia Civil, com objetivo de melhorar a qualidade dos métodos de avaliação, permitindo maior comparabilidade dos resultados das avaliações.

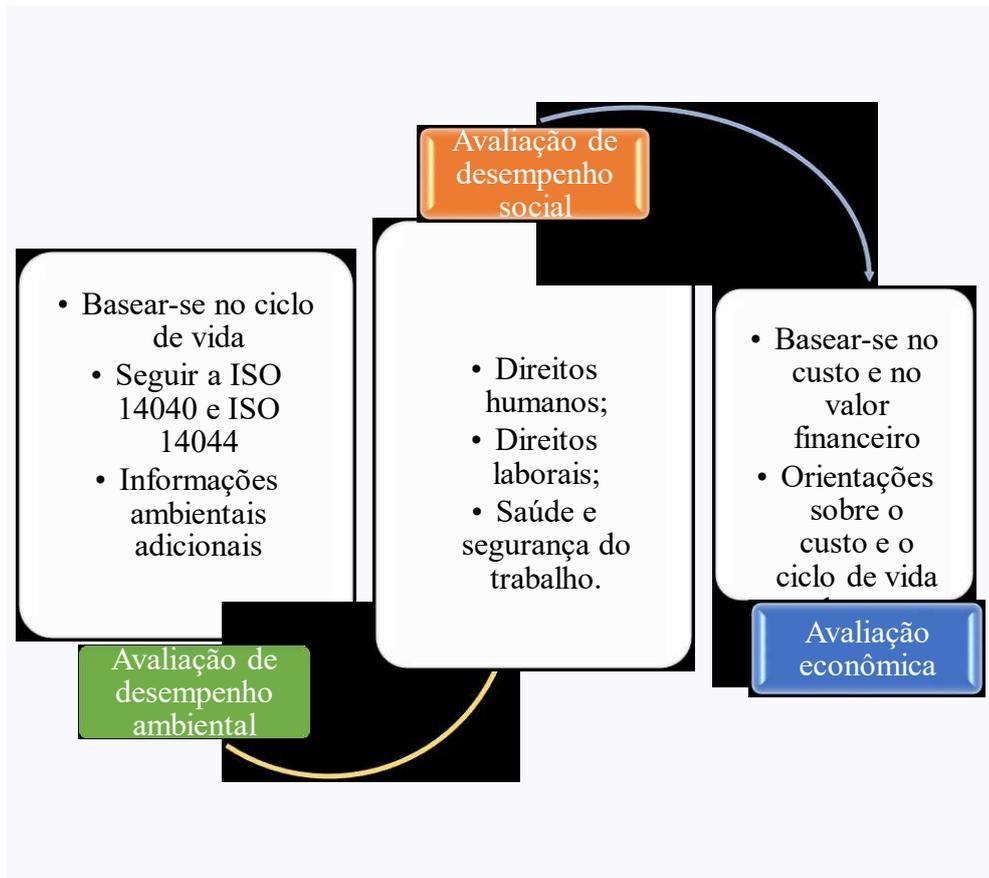
De acordo com a ISO 21931-2:2019, não existem muitos métodos para avaliação de obras do setor geral da construção civil, como há para obras de construção de edifícios. Dessa forma, a norma vai contribuir para que o setor da Construção Civil siga os objetivos de Desenvolvimento Sustentável, minimizando os impactos negativos e maximizando os positivos, especialmente na:

- utilização de recursos naturais e geração de resíduos;
- descargas de água, atmosfera e solo;
- biodiversidade e ecossistemas;
- impactos sociais e ecossistemas;
- abordagem inovadora na seleção de alternativas mais econômicas.

A ISO recomenda que os métodos de avaliação devem ser credíveis, transparentes e sistemáticos, a fim de alcançar rastreabilidade, transparência e comparabilidade nos resultados da avaliação. Além disso, todas as três dimensões da sustentabilidade devem ser avaliadas, considerando os aspectos únicos de cada obra como as condições climáticas e sociais de sua localização.

Os requisitos mínimos e recomendações adicionais para o processo de avaliação de sustentabilidade definidos pela ISO 21931-2:2019 devem estar alinhadas conforme a Figura 6 seguir:

Figura 6 - Componentes mínimos para avaliação de sustentabilidade na ISO 21931-2:2019



Fonte: Adaptado de ISO 21931-2:2019

A norma recomenda que o método de avaliação deve identificar o Órgão responsável pelo desenvolvimento e manutenção do método, detalhes do envolvimento das partes interessadas, validação do método e processos organizacionais para entrega da avaliação. O método de avaliação deve conter claramente seu objetivo e propósito, seus limites e restrições, uma lista detalhada dos períodos da avaliação, ciclo de vida das obras, quantificação do desempenho de sustentabilidade e todas as fontes de informação.

Os aspectos e impactos decorrentes da utilização das obras de engenharia civil pelo usuário para a função pretendida também serão considerados na avaliação. O exemplo dado pela Norma, é o gasto de combustível consumido por automóveis durante a fase de utilização de uma estrada.

Os métodos de avaliação do desempenho da sustentabilidade devem ser estruturados e organizados nas três dimensões da sustentabilidade. A ISO 21931-2:2019 exemplifica parâmetros para avaliação de sustentabilidade em uma obra de construção civil, conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Estrutura mínima para avaliação de sustentabilidade de acordo com a ISO 21931-2:2019

Gestão da água (qualidade, quantidade, regulação)	Acessibilidade	Custos do ciclo de vida
Uso de energia	Adaptabilidade	Custos indiretos ou externos
Uso de recursos (substâncias tóxicas renováveis e não renováveis)	Saúde e Conforto	Planejamento urbano e territorial
Poluição/emissões (para o ar, solo, água)	Direitos Humanos	Efeitos na economia local
Ruído e vibração	Cargas nos arredores	
Mudanças na paisagem	Riscos	
Saúde do ecossistema	Criação de empregos	
Consequências da escolha dos produtos de construção	Sistema populacional	
	Elementos do patrimônio cultural	

Fonte: Adaptado de ISO 21931-2:2019

A avaliação da sustentabilidade de uma obra de construção civil tem que descrever os métodos de cálculo, as fontes de dados utilizadas para a construção de indicadores ambientais, sociais e econômicos. De acordo com a Norma em questão, esse podem ser qualitativos ou quantitativos.

O desempenho qualitativo da sustentabilidade pode ser expresso de forma quantitativa por vários meios, tais como classificação ou pontuação. A avaliação do desempenho qualitativo da sustentabilidade, que não tem meios diretos de quantificação, pode ser feita por consenso ou por acordo.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O objetivo desse estudo consiste em propor um método de avaliação da sustentabilidade para ativos rodoviários no DER/MG, uma vez que o órgão rodoviário apresenta a maior malha rodoviária do país em um Estado que segundo o IBGE (2020) possui o terceiro maior PIB do Brasil

Tendo em vista o objetivo proposto para o trabalho, optou-se pela metodologia *Design Science Research* (DSR), uma vez que essa se mostrou mais adequada para a busca dos resultados da pesquisa. Dessa forma, o presente capítulo pretende apresentar de forma detalhada o método desse estudo.

3.1. Design Science Research

A Design Science teve suas origens no trabalho de Herbert Simon em seu livro *The Science of the Artificial*, Simon (1996). No trabalho é apresentado um contraponto entre as ciências naturais das ciências artificiais, à qual o estudo é direcionado para resolução de problemas daquilo que é produzido pelo homem, assim o autor distingue claramente o objeto do conhecimento em Ciências Tradicionais, onde são estudados fenômenos naturais ou sociais, da Design Science na qual o objeto do conhecimento é sobre um projeto.

A *Design Science Research* - DSR é um método de pesquisa que permite a condução de pesquisas que se ocupam do projeto e da avaliação de artefatos (March; Smith, 1995; Vaishnavi; Kuechler, 2009).

Simon ainda reitera que a ciência do artificial vem para resolver um problema real que é construído pelo ser humano, porém ela não precisa ser o produto ou o objeto construído final, e sim, uma resposta, que naquele exato momento, pode sanar o problema, chamado de artefato. Esse artefato pode ser um construto, metodologia, um modelo, uma instalação, uma proposição de *design* e não necessariamente um produto. São exemplos de artefatos da engenharia de produção e na gestão de operações, o Kanban, o Balanced Scorecard, entre outros (Dresch; Lacerda; Antunes Jr., 2015).

Logo, o artefato torna-se uma forma de solucionar o problema especificado naquele momento. A *Design Science Research* necessita de um alto rigor metodológico e alta relevância da pesquisa (Hevner et al., 2004)

A DSR então é um tipo de pesquisa que objetiva solucionar problemas práticos através do desenvolvimento de artefatos. Para tanto o pesquisador deve desenvolver atividades de

conscientização, sugestão, avaliação e conclusão. Para tanto os resultados de uma pesquisa seja ela qualitativa ou quantitativa vão gerar aplicações práticas (Romme, 2003).

Ao se tratar de um problema real no cotidiano de órgãos públicos rodoviários que seria a necessidade de avaliar seus ativos de forma sustentável, a escolha do método se torna indicada. Ao considerarmos o problema no nível da Engenharia Rodoviária e do campo da Administração Pública a DSR se torna um método efetivo na solução de problemas complexos da área pública.

Como método científico de caráter prescritivo, entendemos que a design research apresenta um potencial de contribuição no desenvolvimento de políticas públicas mais efetivas, uma vez que seu ciclo envolve a compreensão do problema e o desenvolvimento de soluções que, por meio do teste realizado no contexto de análise, se comprovam eficazes (Santos, 2018, p. 964).

Segundo Lacerda *et al.* (2013) a DSR é um método eficaz para a concepção, avaliação e validação de novos sistemas, propondo novos produtos, métodos e processos. Dessa forma, justifica-se a escolha do DSR para a pesquisa, uma vez que será concebido uma nova forma de avaliação da sustentabilidade dos ativos rodoviários no DER-MG.

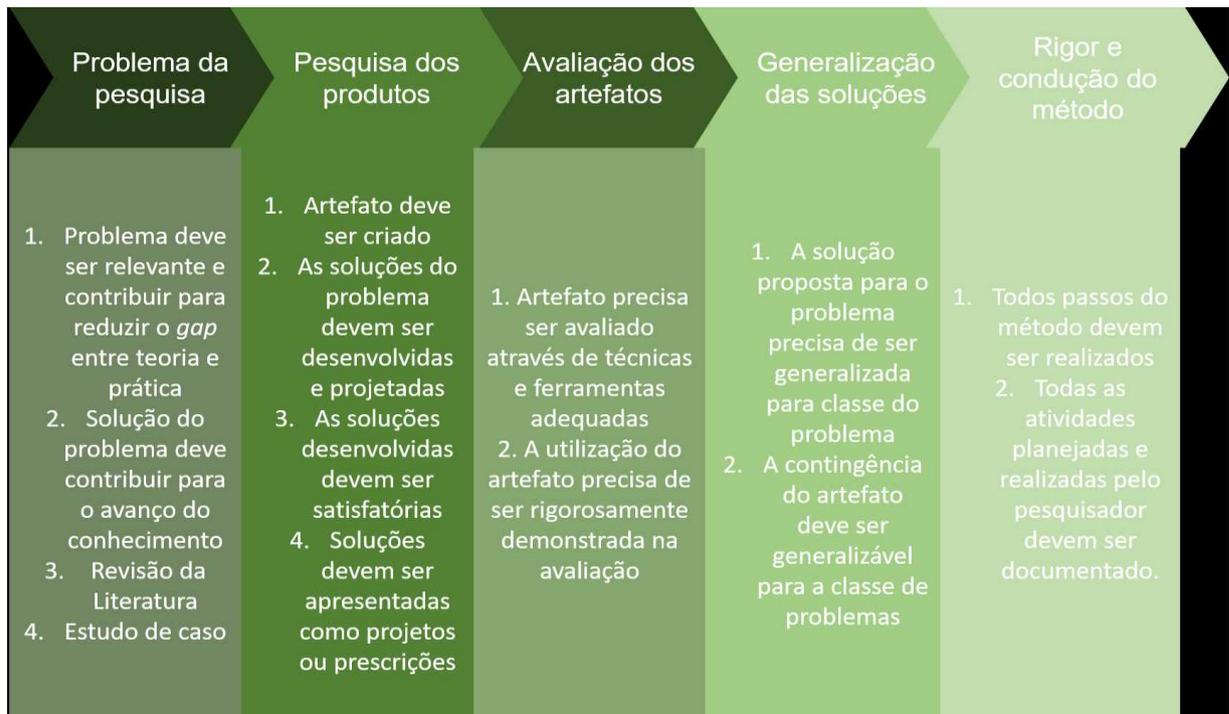
Importante deixar claro ainda que segundo Simon (1996) as soluções da DSR devem ser satisfatórias e não necessariamente ótimas. Ou seja, essas devem ser viáveis para resolução do problema naquele momento, podendo posteriormente serem melhoradas ou readaptadas.

O produto da DSR vai trazer a construção de um artefato que solucione o problema e vai gerar conhecimento científico. Fato esse que garante uma pesquisa com caráter de aplicação mercadológica e ao mesmo tempo acadêmica.

3.2 Descrição das etapas do Método

A partir da abordagem DSR este capítulo visa explicitar as etapas da aplicação do método para solução do problema identificado. Dresch (2015) apresenta em sua pesquisa uma proposta para condução da *Design Science Research*, como pode ser observado na Figura 7:

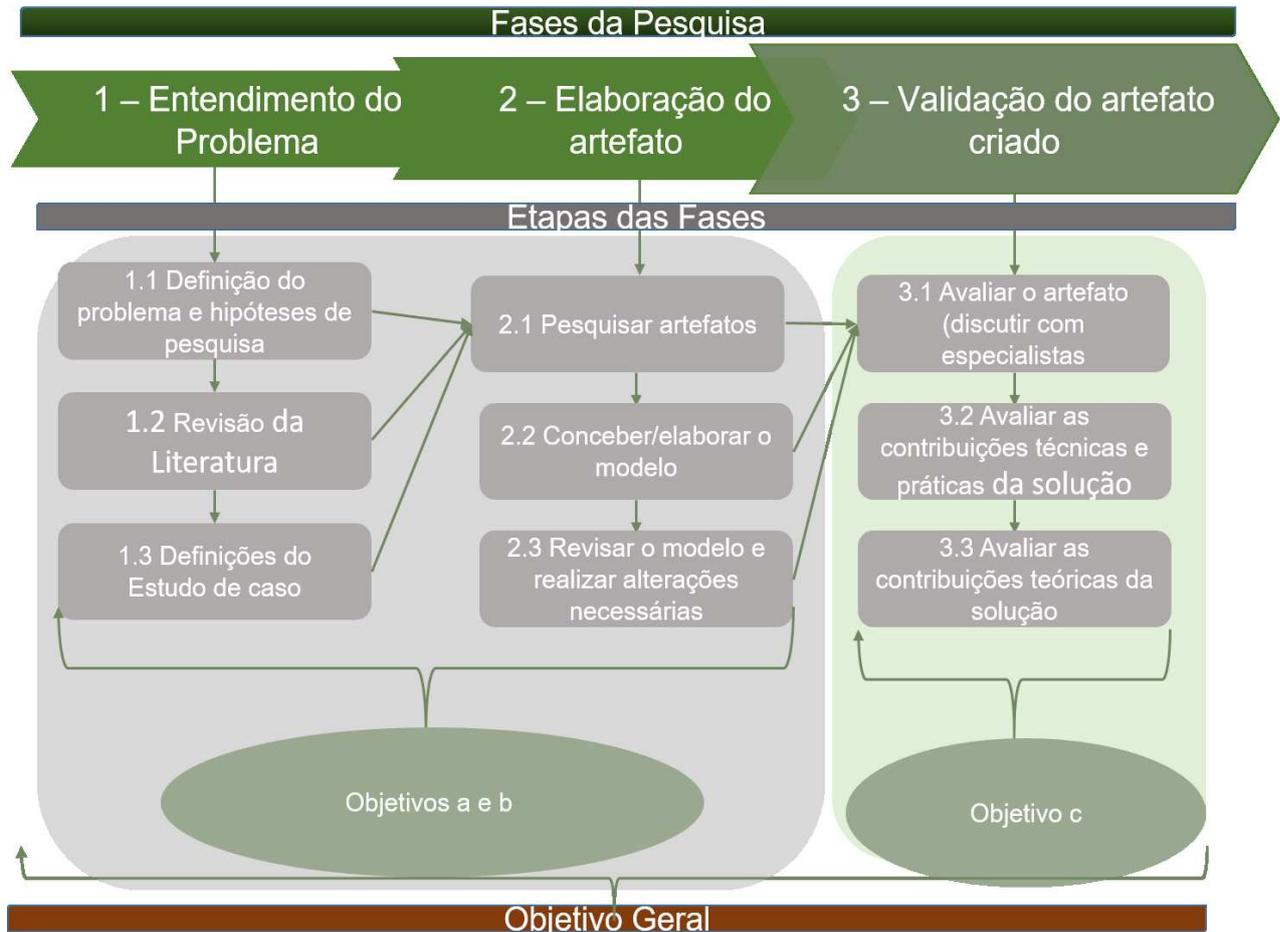
Figura 7 - Proposta para condução da DSR



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Dresch (2015, p.126)

A pesquisa atual utiliza a rigor o método da DSR, propondo um processo definido para obtenção dos objetivos geral e específico. Assim o fluxograma apresentado na **Figura 8 - Processo de pesquisa aplicando o método DSR**, Figura 8 demonstra a forma metodológica de desenvolvimento da dissertação.

Figura 8 - Processo de pesquisa aplicando o método DSR



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

3.2.1 Fase 1 – Entendimento do problema

Essa fase da pesquisa, de acordo com o método DSR, objetiva ter como saídas a construção do problema de pesquisa, a Revisão da Literatura e a Definição do Estudo de Caso. Cabe então demonstrar o projeto de cada uma dessas etapas.

3.2.1.1 Construção do problema da pesquisa

Essa etapa objetiva encontrar um problema complexo e relevante tanto para sociedade quanto para academia. Conforme pode ser observado na Introdução dessa Dissertação, o problema levantado se resume nestas perguntas: “Como avaliar em cada empreendimento de ativos Rodoviários os parâmetros de sustentabilidade? Como essa avaliação pode contribuir para o melhor gerenciamento dos ativos?”

Construído o problema da pesquisa, busca-se na através da revisão da literatura, bases para justificativa da importância do tema e necessidade de estudo dele. Nesse sentido, é fundamental o conhecimento do contexto na qual órgãos Rodoviários estão inseridos, sejam eles de caráter, institucional, político ou regulatório.

Neste sentido, foram pesquisadas modelos internacionais, federais, planejamento estratégico, territorial e projetos existentes na área de estudo que conduzem o trabalho dos Órgão Rodoviários ao desenvolvimento de estratégias de atuação sustentáveis.

Contudo nessa etapa, foi pesquisado os seguintes parâmetros para justificativa do tema proposto:

- Órgãos públicos em Minas Gerais, possuem um sistema para gestão de seus ativos definido que permitem uma gestão sustentável da malha rodoviária.
- As metas impostas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estão sendo utilizadas como parâmetro para construção de políticas públicas no setor rodoviário.

Para tanto, utilizou-se de uma Revisão da literatura para definição dos tópicos que farão parte da Revisão bibliográfica. Assim os capítulos estudados, foram:

- avaliação de sustentabilidade de ativos rodoviários;
- avaliação de sustentabilidade de ativos de construção: visão geral;
- diretrizes de avaliação de sustentabilidade de ativos de construção: normas nacionais e internacionais.

Assim, ao final dessa etapa, a questão da pesquisa é formalizada. Ou seja, a pergunta, as hipóteses e os objetivos da Dissertação são estabelecidos.

A hipótese levantada é de que com base em princípios de gestão de ativos e considerando os principais referenciais de avaliação de sustentabilidade de ativos de construção, é possível identificar diretrizes para a criação de uma avaliação de sustentabilidade de ativos rodoviários.

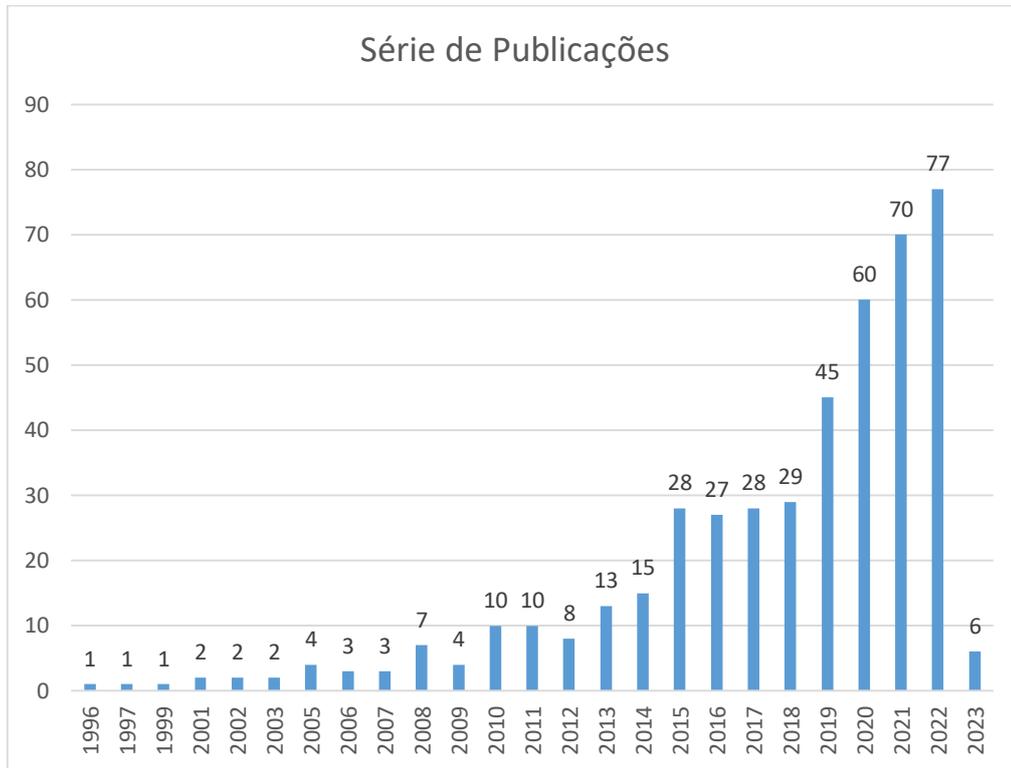
3.2.1.2 Revisão da Literatura

A partir da análise do problema, parte-se para Revisão Sistemática da Literatura - RSL que servirá de base para criação dos artefatos da DSR, no caso dessa Dissertação a construção de diretrizes para avaliação de sustentabilidade. Para maximizar a busca por informações quanto ao problema estabelecido as consultas são realizadas através das bases tradicionais e bases técnicas de pesquisas. No caso da pesquisa o tópico selecionado para RSL foi Avaliação de sustentabilidade de ativos rodoviários nas bases *Scopus* e *Web of Science e ASCE*, que são bases comumente usadas em Pesquisas da Engenharia Civil.

As palavras chaves para consulta foram: *highway sustainability evaluation, roads sustainability evaluation, roads sustainability assessment, highways sustainability assesment, roads sustainability e highway sustainabilty*.

Para revisão não sistemática as palavras-chave para busca foram: *construction assets sustainability, sustainability evaluation of construction assets*.

Ao executar a pesquisa na base *Web Of Science* com as palavras chave citadas foram encontrados 457 registros, sendo desses 358 artigos, 77 artigos de Conferência e 29 artigos de revisão. O Gráfico 2 evidencia o ganho de importância do tema ao longo dos anos, tal fato corrobora com a importância do tema proposto.

Gráfico 2 - Série de Publicações ao longo dos anos

Fonte: Web Of Science, 2024.

Após realizar a pesquisa dos artigos, foi necessário realizar um filtro para trazer maior aderência ao problema dessa pesquisa. Para tanto o filtro seguiu os seguintes passos:

- Aderência dos Títulos das pesquisas com o tema dessa Dissertação;
- Leitura inicial do Resumo das pesquisas e aderência do mesmo com o tema dessa Dissertação.

Aplicando o filtro obteve-se o total de 49 (quarenta e nove) pesquisas nas bases citadas. Assim, o resultado dessa etapa da Revisão Sistemática da Literatura está expresso no Apêndice A desse trabalho.

Com base na Tabela 9, construída no Apêndice A, pode ser realizada análise bibliométrica básica (por base de dados, por ano, por subtema). De acordo com a **Tabela 9** podemos observar que o tema ficou mais evidente em cada base de pesquisa a partir de 2014 e há uma tendência de crescimento ao longo dos anos. Tal fato é evidente ao observarmos a necessidade de tratar do assunto nos últimos anos devido a diversos fatores que pressionam o

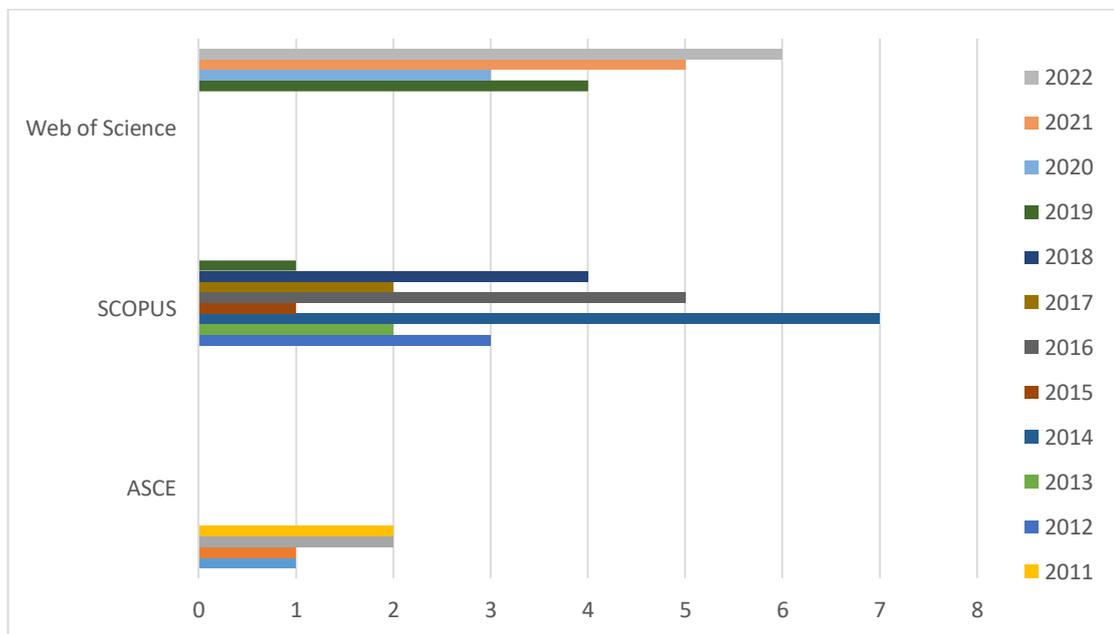
mercado e a academia a tratar do tema, como por exemplo o aumento da preocupação ambiental, fatores econômicos. Sociais, fatores legais e organizacionais.

Tabela 9 - Série de pesquisas com aderência ao tema por bases ao longo dos anos

Bases	2001	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total Geral
ASCE	1	1	2	2												6
SCOPUS					3	2	7	1	5	2	4	1				25
Web of Science												4	3	5	6	18
Total Geral	1	1	2	2	3	2	7	1	5	2	4	5	3	5	6	49

Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 3 - Pesquisas selecionadas por bases científicas



Fonte: Autor, 2024.

3.2.1.3 Definições do estudo de caso

Considerando a inserção do pesquisador no Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais que atua na concepção e execução de políticas públicas voltadas para Gestão da Malha Viária do Governo do Estado. Contempla-se, também, que de acordo com a última pesquisa CNT (2021), Minas Gerais possui a maior malha viária estadual do país como pode ser observado. Importa ressaltar que o pesquisador está inserido no Órgão tendo assim maior facilidade de obtenção dos dados necessários para realização da pesquisa, bem como acessibilidade a esses.

Não obstante, tem-se a inserção do pesquisador no Órgão analisado, há maior facilidade para possíveis entrevistas com especialistas do tema. Logo, foi recomendado para o Estudo de Caso o DER/MG.

A análise da empresa do Estudo de caso, contém a caracterização da empresa, estrutura organizacional, planejamento estratégico, normatização de documentos e a gestão dos processos internos que geram valor à instituição serão estudados no Capítulo 4 dessa Dissertação. No mesmo capítulo são realizados entrevistas e registros de observação assistemática do pesquisador e por fim serão confrontados os resultados da metodologia do Estudo de Caso com o diálogo com a literatura.

Ademais, ao considerar o estudo da gestão da malha rodoviária sob responsabilidade do DER/MG é necessário ainda identificar os empreendimentos a serem estudados dentro do Órgão. Assim optou-se pela análise da gestão dos principais ativos rodoviários da Autarquia. Esses ativos são descritos individualmente nos capítulos dessa Dissertação.

Para tanto, foram analisados manuais que influenciam na gestão da operação dos ativos rodoviários, manuais de concepção de projetos rodoviários, documentos que demonstram as condições de manutenção dos ativos rodoviários. Ainda são analisados para cada ativo rodoviário, atributos de sustentabilidade que o Departamento utiliza e a existência de uma forma de avaliação deles.

A intenção dessa pesquisa é de identificar a gestão da malha viária em todas as fases de gestão dela, desde sua concepção em projeto (*design*), passando pela operação e manutenção.

Partindo-se do pressuposto de utilização de uma abordagem qualitativa no presente estudo, acreditou-se ser mais conveniente a coleta de dados por meio de entrevistas semiestruturadas com especialistas da instituição⁴. As entrevistas visam abordar questões relativas à gestão sustentável dos ativos rodoviários estudados.⁵

Com base nas entrevistas outras fontes de dados foram identificadas e na medida do possível coletadas e analisadas, em especial manuais e procedimentos internos de trabalho, especificações de projeto, registros de inspeção e assistência técnica, estudos realizados, entre outros documentos.

Resumindo, o estudo de caso proposto, foi realizado no DER/MG, utilizando de várias técnicas metodológicas em pesquisas qualitativas. Primeiramente, foi realizada a observação assistemática, uma vez que o pesquisador já se encontra inserido na instituição estudada.

⁴ O Roteiro de entrevista encontra-se no Apêndice A desse estudo.

⁵ O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido- TCLE encontra-se no Apêndice B desse estudo.

Posteriormente foi realizada a análise documental que permitiu identificar os projetos e padrões utilizados pela instituição para gestão de seus ativos, bem como para avaliação desses. Por fim, foi realizado entrevistas estruturadas com profissionais do órgão analisado.

Para a análise documental foram analisados primeiramente os documentos legais que regulamentam as atividades do órgão, bem como sua estrutura formal. Dessa forma, o Decreto de Competência do DER foi analisado de forma minuciosa.

Posteriormente foi analisado documentos relativos ao quadro de funcionários do órgão, obtidos pela Gerência de Recursos Humanos dele. Por fim, foram analisados manuais vigentes e projetos realizados pelo órgão ou utilizados por ele, para a gestão de seus ativos rodoviários.

Complementando a análise documental, há a observação assistemática em todos seus aspectos pelo pesquisador e entrevistas semiestruturadas com os principais atores pela gestão de ativos rodoviários no DER-MG. A seleção dos entrevistados foi motivada pelo poder de tomada de decisão de cada ator envolvido e pela relevância técnica dos entrevistados dentro do órgão estudado.

3.2.2 Fase 2 – Elaboração do Modelo Preliminar

Após os conhecimentos adquiridos na fase anterior, segundo a metodologia DSR devem ser criados artefatos para solução do problema da pesquisa. Desse modo foi escolhido a Construção do modelo preliminar para Avaliação de Sustentabilidade, solução que visa atender da melhor forma os objetivos específicos: foi realizada a proposição de uma solução, visando atender ao objetivo geral dessa pesquisa e aos objetivos específicos:

- Categorizar a base de ativos que atenderá a demanda de sustentabilidade;
- Avaliar os critérios definidos para manutenção da malha rodoviária de forma sustentável.

Como observação importante a ser evidenciada, o artefato proposto será estruturado e detalhado para atender a realidade do DER/MG e o constructo a ser desenvolvido configura-se, como citado na introdução, como um conjunto de diretrizes, desdobradas em conceitos e na proposta de um fluxo de trabalho.

O modelo preliminar traz um conjunto de orientações práticas para a implementação bem-sucedida de soluções de projetos para a realidade do órgão estudado. O modelo foi criado a partir das descobertas da pesquisa e essas serão baseadas em práticas recomendadas na

literatura e em Normas Técnicas e com o conhecimento especializado de pessoas que trabalham com o problema em questão.

A escolha da melhor ferramenta para estabelecer o modelo preliminar através de uma avaliação aos diversos ativos rodoviários vai depender do tipo de avaliação, do escopo e dos objetivos da avaliação, bem como do nível de detalhamento e complexidade das diretrizes que serão criadas.

Assim, a proposta desta pesquisa é a criação de uma ferramenta de *check list*. Essa ferramenta pretende ser adequada para estabelecer uma avaliação da sustentabilidade aos ativos rodoviários em consonância com as diretrizes da Série de Normas ISO 55000.

O produto desenvolvido nesta etapa consiste em um quadro que apresentou checklists estratificados por cada critério para gestão de ativos rodoviários contemplando seus aspectos de sustentabilidade e atribuindo uma pontuação para ele. Cada critério analisado dentro da gestão de um ativo tem seu próprio checklist, que permitiu definir metas e objetivos estratégicos para a condução mais eficiente e sustentável da gestão de uma malha rodoviária.

Para a classificação dos critérios que subsidiam o modelo proposto foram pesquisados modelos existentes no mercado, pesquisas acadêmicas, Normas Internacionais de Gestão de ativos e a realidade do Órgão analisado no Estudo de Caso. As bases conceituais, limitações e as especificações do modelo estão descritas no Capítulo 5 desta Pesquisa.

3.2.3 Fase 3 – Validação do artefato

De acordo com a metodologia DSR, o artefato criado deve ser validado e analisado a aplicabilidade dele. Portanto nessa fase da pesquisa foi realizada a avaliação das diretrizes criadas e uma análise de sua aplicabilidade.

Tendo em vista que o teste da efetividade da aplicação do artefato criado, levaria anos para ser comprovado, uma vez que empreendimentos rodoviários são obras de grande porte que costumam ter grandes cronogramas e, além disso, a gestão da manutenção dos equipamentos rodoviários são permanentes ao longo ciclo de vida do ativo rodoviário. Assim, opta-se pela validação dos critérios utilizados no modelo preliminar por especialistas.

Os critérios e diretrizes do modelo de avaliação de sustentabilidade serão apresentadas aos especialistas e avaliadas mediante formulário e uma cartilha que facilita a resposta dos participantes.

Para escolha dos entrevistados que avaliaram o artefato foram selecionados, gestores do DER/MG com ampla experiência em gestão rodoviária, bem como especialistas em análise de

projetos rodoviários na área de sustentabilidade. Com base nas avaliações dos especialistas se espera realizar uma análise crítica sob a aplicabilidade do artefato criado e a generalização do mesmo para demais instituições de Engenharia rodoviária.

4. ESTUDO DE CASO

Em um primeiro momento faz-se a caracterização da instituição objeto do estudo de caso, e que será foco para desenvolvimento e aplicação do constructo.

4.1. Caracterização da empresa objeto do Estudo de Caso

O Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais é o órgão governamental responsável pela gestão e manutenção da malha rodoviária do estado de Minas Gerais. O Departamento é vinculado à Secretaria de Estado de Infraestrutura, Mobilidade e Parcerias – Seinfra.

De acordo com o Decreto Nº 48.666 de 2023, o Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER-MG) possui as seguintes competências, sem prejuízo do disposto em legislação específica:

Conforme estabelecido no Art. 3º do Decreto Nº 48.666/2023, o DER-MG tem como competência “

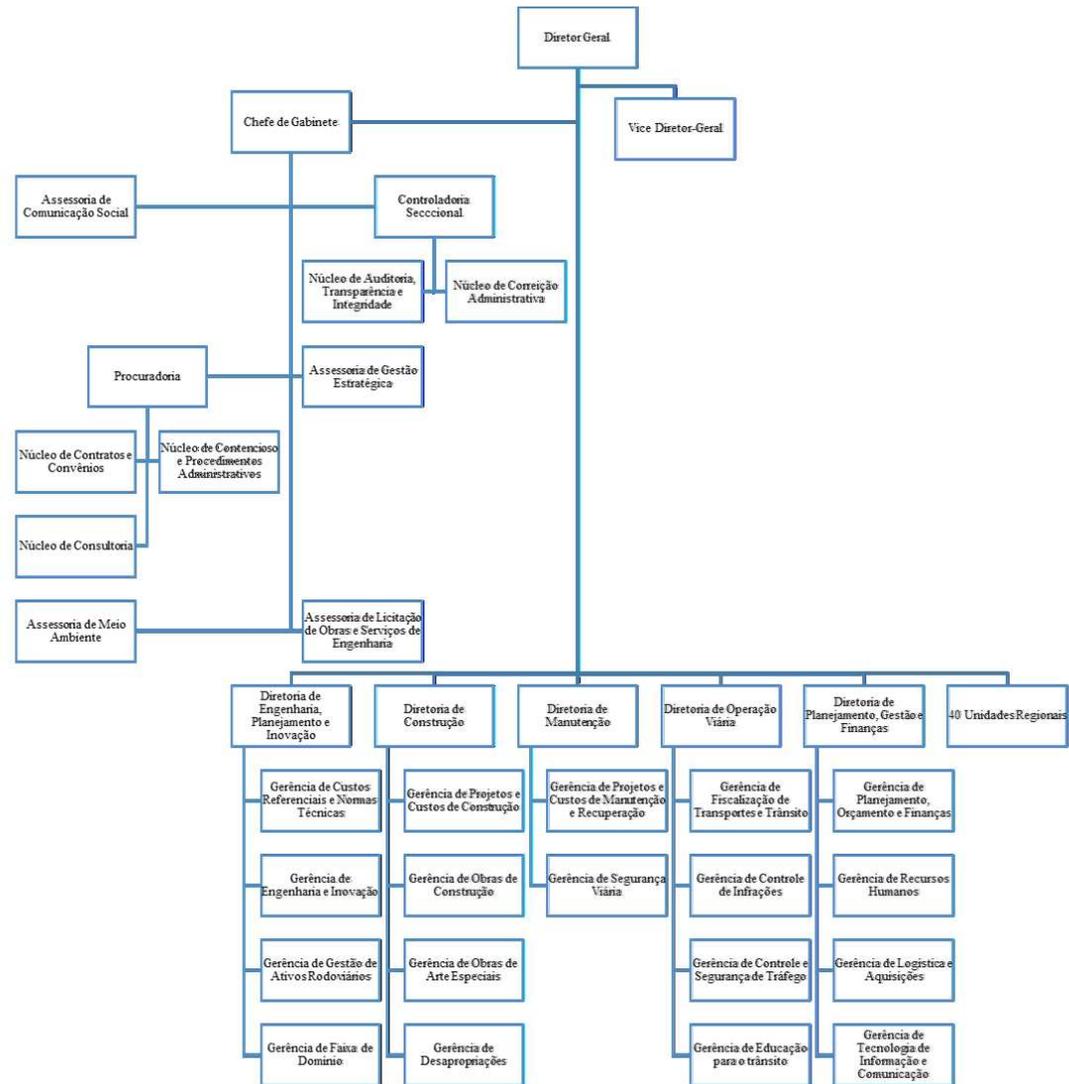
- I. Assegurar soluções adequadas de transporte e trânsito rodoviário de pessoas e bens, no âmbito do Estado;
- II. Planejar, projetar, coordenar e executar serviços e obras de engenharia rodoviária de interesse da Administração Pública;
- III. Manter as condições de operação, com segurança e conforto, das estradas de rodagem sob sua jurisdição e responsabilidade e em parceria com os órgãos e as entidades da Federação;
- IV. Expedir normas técnicas sobre projeto, implantação, pavimentação, conservação, recuperação, melhoramentos, faixa de domínio e classificação das rodovias no âmbito do Estado;
- V. Conceder licença de uso ou ocupação da faixa de domínio e áreas adjacentes de rodovia estadual ou federal delegada ao Estado nas hipóteses especificadas em decreto;
- VI. Atuar como entidade executiva rodoviária, nos termos do art. 21 da Lei Federal nº 9.503, de 23 de setembro de 1997;
- VII. Exercer, por delegação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Dnit e de outras entidades, as atribuições respectivas concernentes às estradas de rodagem federais situadas no território do Estado;
- VIII. Explorar, diretamente ou mediante permissão, o serviço público de transporte individual de passageiros por táxi especial metropolitano;
- IX. Controlar e fiscalizar o transporte intermunicipal remunerado de passageiros, inclusive quando realizado por táxi gerenciado pelos municípios;
- X. Controlar e fiscalizar o transporte rodoviário de cargas.

O Decreto nº 48.666/2023 alterou a estrutura orgânica da autarquia, criando Diretorias e Gerências, mas sempre respeitando o princípio da economicidade da Administração Pública, ou seja, não provocou aumento de gastos para a máquina pública. A nova estrutura orgânica pode ser observada na Figura 7.

Adicionalmente, a alta gestão do DER-MG encaminhou um novo planejamento estratégico que definiu como missão: assegurar soluções adequadas de transporte rodoviário. Como visão: ser referência nacional da gestão do transporte e dos ativos rodoviários. Definiu também, valores da gestão: ética, transparência, efetividade e sustentabilidade.

Como pode ser observado, a alta gestão do DER-MG incluiu em seu planejamento estratégico a gestão de ativos rodoviários e a sustentabilidade, tema dessa pesquisa. Fato que corrobora ainda mais com a escolha da empresa, objeto desse estudo de caso. Além disso, foi criada uma Gerência de Gestão de ativos rodoviários, vinculada à Diretoria de Engenharia, Planejamento e Inovação.

Figura 7 - Organograma do DER-MG



Fonte: Autor, baseado no Decreto nº 48.666/2023

O Departamento conta atualmente com um quadro de 1.162 servidores, sendo 630 desses trabalhando na Sede em Belo Horizonte e o restante nas 40 Unidades Regionais espalhadas pelo interior do estado. A autarquia apresenta 80,9% de seus servidores concursados pela carreira efetiva do DER, contando com um total de 299 Engenheiros em seu quadro de servidores. Um dado importante do órgão é que mais da metade dos servidores (50,69%) já apresentam idade suficiente para aposentar. Os dados podem ser observados pelos Gráficos abaixo.

O Órgão é fundamental para o investimento do Estado mineiro. Dados obtidos pelo portal da transparência de Minas Gerais evidenciam que o total da despesa com investimento em Minas Gerais até novembro de 2023 totaliza R\$ 3.887.185.152,82. Desses, o DER-MG investiu R\$ 905.621.680,06, ou seja, 23% do total da despesa de 2023 com investimento comparando todos os órgãos do Governo de Minas Gerais.

As informações levantadas revelam que ainda que o Departamento possua um quadro reduzido de servidores públicos para a promoção do investimento em obras e serviços de que viabilizem o desenvolvimento de Minas Gerais, tem conseguido executar suas atividades e ações de forma eficiente.

4.1.1 Gestão da malha viária mineira

O DER-MG possui de acordo com a última pesquisa Confederação Nacional de Transportes a maior malha viária estadual do país. A rede rodoviária estadual é composta por um total de 37.663,03 quilômetros de rodovias, conforme pode ser observado na Tabela 10. Desses o total da rede estadual segundo os dados do site do DER-MG é de 28.0893,43 Km.

Tabela 10 - Resumo da malha viária do Estado de Minas Gerais

RESPONSÁVEL PELA CONSERVAÇÃO			Duplicada	Em obras de duplicação	Pavimentada	Em obras de pavimentação	Implantada	Leito natural	Total geral
REDE FEDERAL	CONCESSÕES FEDERAIS	AUTOPISTA	899,40						899,40
		CONCEBRA	174,60	55,80	649,00				879,40
		CONCER	59,80		25,70				85,50
		MGO	277,20	69,00					346,20
		VIA040	365,20		599,70				964,90
		DNIT	227,40	100,70	5.411,50	22,60	321,80	284,20	6.368,20
TOTAL REDE FEDERAL			2.003,60	225,50	6.685,90	22,60	321,80	284,20	9.543,60
REDE ESTADUAL	RODOVIAS ESTADUAIS	DER/MG (AMG + EMG + LMG)	256,20	4,00	14.371,70	398,80	2.916,00	1.059,30	19.006,00
		TRECHOS ESTADUALIZADOS APÓS LEI 13.298/2016 (CMG)	63,30	16,60	2.282,50		47,70		2.410,10
		FEDERAIS JÁ ESTADUALIZADAS (CMG)	26,00		2.787,40	75,40	347,70	69,40	3.305,90
	PERÍMETROS URBANOS/CONCESSÕES MUNICIPAIS	140,00	1,30	1.347,99		70,70	0,60	1.560,59	
	CONCESSÕES ESTADUAIS	BHAIRPORT	12,40						12,40
		ECCO135			365,40				365,40
		NASCENTES	21,20		338,50				359,70
		SUL/MG	9,60		401,20				410,80
		TRIÂNGULO	13,28		609,96		12,40		635,64
		CV 07/05			22,90				22,90
TOTAL REDE ESTADUAL			541,98	21,90	22.527,55	474,20	3.394,50	1.129,30	28.089,43
REDE TOTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS			2.545,58	247,40	29.213,45	496,80	3.716,30	1.413,50	37.633,03

Observações:

- 1) Mesma diferenciação de estilo e cor está apresentada na listagem dos trechos.
2) As extensões estão em quilômetros.

Fonte: MINAS GERAIS, 2023.

Os dados foram obtidos com apoio das 40 unidades regionais do Departamento e estão disponibilizados no site oficial do DER-MG. Importante especificar que a malha viária do Estado está sujeita a constantes variações seja pela necessidade uma obra viária, a qual vai proporcionar o aumento da extensão da malha viária, seja por desafetações de trechos que poderá transferir o patrimônio para a gestão de outro ente federado ou até mesmo pela necessidade de estabelecer concessões de trechos para a iniciativa privada.

Importante apontar que os gastos com a rede rodoviária mineira cresceram nos últimos anos. Tal fato pode ser observado na Tabela 11, onde os gastos advindos da fonte do DER-MG e do pelo fundo estadual de desenvolvimento de transportes – FUNTRANS cresceram a partir do ano de 2021. Tal fato se deve à necessidade de melhoria da infraestrutura rodoviária.

Tabela 11 - Execução Orçamentária da Despesa

Ano	DER-MG			FUNTRANS				
	Autorizado	Empenhado	%	ARRECADADAÇÃO		Autorizado	Empenhado	%
				Multas	Demais Fontes			
2010	1.657.640.005,00	1.417.218.832,00	85,50	84.824.922,14	100.478.771,77	179.738.988,00	159.155.452,00	88,55
2011	1.319.255.456,75	1.134.146.246,37	85,97	116.611.147,31	72.993.149,33	247.205.754,77	232.162.172,21	93,91
2012	2.726.376.834,21	998.760.534,01	36,63	108.656.694,25	83.865.196,05	124.410.358,00	81.927.423,22	65,85
2013	2.009.543.308,58	1.541.115.461,76	76,69	104.686.792,06	151.788.074,88	138.408.879,34	101.552.358,00	73,37
2014	2.796.028.125,03	1.645.184.651,21	58,84	98.427.616,05	61.072.579,78	151.510.769,00	90.616.662,63	59,81
2015	1.773.220.123,26	913.739.867,25	51,53	81.143.828,78	21.615.585,33	108.852.807,11	37.146.937,75	34,13
2016	1.363.394.754,56	954.057.103,45	69,98	84.514.658,42	22.696.725,61	124.391.944,00	72.268.442,25	58,09
2017	1.530.966.322,11	1.029.521.105,79	67,20	96.528.078,36	23.896.660,13	101.654.116,38	85.005.111,37	83,62
2018	984.265.940,19	848.739.548,61	86,23	260.242.955,09	14.004.163,21	105.339.676,00	90.592.291,77	86,00
2019	837.781.179,03	533.848.805,62	63,72	219.290.336,62	55.645.934,40	99.778.594,00	95.313.508,42	95,52
2020	843.699.317,92	624.741.204,49	74,04	98.611.483,81	93.717.842,04	86.313.644,00	70.430.992,36	81,60
2021	2.388.317.129,95	1.309.567.083,76	54,83	188.879.289,15	92.010.139,96	161.350.000,00	83.041.653,05	54,47
2022	2.447.132.424,76	2.189.608.123,43	89,48	239.672.409,09	124.744.008,41	162.557.090,68	140.227.334,65	86,26
Realizado até dezembro/2022								

Última atualização: 07/10/2022

Fonte: MINAS GERAIS, 2023.

Vale ressaltar que o DER-MG até meados da década de 1980 executava seus serviços de conservação rodoviária por Administração Direta, a partir daí o Órgão passou a contratar serviços de conservação por Administração Indireta. Tal condição se deve a diversos fatores como por exemplo o crescente aumento da malha viária, do volume de tráfego, a necessidade de aquisição da equipamentos e maquinários e impedimentos legais para contratação de novos servidores públicos via concurso público.

O DER-MG, então, formaliza contratos de manutenção e conservação que atende cada unidade regional. O gasto anual desses contratos, totalizam R\$ 224.000.000,00. Além disso, a Instituição contrata projetos e obras de Engenharia rodoviária para a efetiva gestão da malha viária. Dessa forma, foi criado três grandes programas da gestão, o PROVIAS, PROARTE e Conserva PRO. Os programas envolvem um conjunto de projetos com objetivos em comum e compartilham em grande parte a mesma fonte de recursos.

O PROVIAS é o maior pacote de obras rodoviárias da última década de Minas Gerais e os investimentos ultrapassam R\$ 2 bilhões com recursos oriundos do Acordo Judicial, decorrentes da tragédia de Brumadinho.

O Conserva PRO tem por objetivo melhorar a qualidade dos serviços de manutenção rotineira nas rodovias estaduais, serão realizados tratamentos pontuais dos defeitos de pavimento de forma preventiva e corretiva, que contemplarão ações como remendo profundo; pequenos segmentos de reperfilamento e fresagem. O PRÓ-ARTE objetiva a recuperação e reconstrução de pequenas pontes.

Ainda com o portfólio de projetos o DER realiza o acompanhamento da condição da malha rodoviária. Nesse sentido, semestralmente é consolidado um relatório contemplando as condições da malha viária do Estado. No relatório é analisado os seguintes parâmetros:

- Trafegabilidade;
- Pista de rolamento;
- Sinalização horizontal;
- Sinalização vertical;
- Roçada;
- Drenagem superficial, e
- Acostamentos.

O relatório é realizado pela Diretoria de Manutenção com apoio na operação de todas as Unidades Regionais. O levantamento é realizado por no mínimo três avaliadores, baseado nas Normas DNIT nº 008/2003 PRO que institui procedimentos para o Levantamento Visual Contínuo para pavimentos flexíveis e semirrígidos; e Norma DNIT 009/2003 PRO que fixa procedimentos para avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos.

A Tabela 12 a seguir apresenta o resumo dos resultados obtidos no segundo levantamento de 2022, realizado em outubro. Importante especificar que os trechos analisados no relatório são os trechos onde há manutenção por parte do DER-MG. Ou seja, foram extintos a extensão da malha concessionada e trechos onde a manutenção é realizada por municípios.

Tabela 12 - Resumo dos resultados da Avaliação subjetiva

Avaliações realizadas pelas CRGs (km)							
Condição	Trafegabilidade	Pista	Sinalização Horizontal	Sinalização Vertical	Roçada	Drenagem	Acostamento
Bom	9.745,85	6.922,06	9.759,15	12.344,96	16.802,16	11.623,29	1.780,12
Regular	7.039,82	7.681,76	7.633,12	6.103,40	2.237,91	6.938,65	1.301,24
Mau	2.305,36	4.487,21	1.815,66	784,17	50,96	529,09	692,70
Em obra	1.184,61	1.184,61	1.067,71	1.043,11	1.184,61	1.184,61	969,91
Não Informada	-	-	-	-	-	-	-
Inexistente	-	-	-	-	-	-	15.531,66
Subtotal	20.275,64	20.275,64	20.275,64	20.275,64	20.275,64	20.275,64	20.275,64
* DNIT							30,90
*** OUTROS							163,72
Malha total							20.470,3

Fonte: MINAS GERAIS, 2022.

A Diretoria de Manutenção investiu R\$ 280,8 milhões em programa para recuperação funcional das rodovias somente até outubro de 2023 e R\$ 37 milhões na recuperação de pontos críticos. Além da Diretoria de Manutenções, a Instituição conta com a Diretoria de Construção que possui a atribuição de: planejar, coordenar e executar as obras e os serviços de engenharia de construção de rodovias, de obras de artes especiais, de restaurações e de outras estruturas rodoviárias, inclusive túneis e passarelas. Para tanto, conta com uma Gerência de Projetos e Custos de Construção.

Essa Gerência trabalha com a utilização de requisitos econômicos, sociais e ambientais na elaboração de seus projetos. Os requisitos econômicos, envolve a análise dos custos de construção, operação e manutenção das rodovias, bem como a avaliação de retorno de investimentos. Já os requisitos sociais, para a elaboração de projetos, têm foco na segurança dos usuários, na acessibilidade para toda população. O fato envolve a análise dos impactos sociais de um projeto rodoviário. Para os requisitos ambientais a elaboração dos projetos deve prever a análise de emissões de poluentes, preservação de áreas naturais, medidas de controle de erosão, gestão de resíduos da construção, entre outros aspectos.

O DER de Minas Gerais de modo a desenvolver políticas que atendam requisitos ambientais, desenvolveu pela sua Assessoria de Meio Ambiente dois Programas de Governo:

- Programa de Recuperação de áreas Degradadas: possibilitar ações mais rápidas na recuperação de áreas que por motivos diversos não tiveram seu reestabelecimento após as obras do DER-MG;

- Programa de Mitigação de atropelamento de fauna: diminuir o atropelamento de animais nas rodovias do DER-MG.

No sentido de tornar a gestão da malha viária mais eficiente, em termos de conhecimento dos ativos rodoviários e tornar o gasto público mais assertivo, o DER-MG formulou o projeto Sistema de Gerência de Pavimentos – SGP, que será abordado com maior clareza na próxima seção.

4.2 Sistema de Gerência de Pavimentos do DER-MG

A intenção de trazer à tona, detalhes dos requisitos técnicos do SGP, a partir desta seção, objetiva antecipar possíveis dúvidas dos leitores, mas também estabelecer as bases para uma análise mais técnica do tema que estará contemplado no modelo preliminar proposto nesse trabalho. Portanto, o convido para mergulhar nos detalhes técnicos que sustentam a base técnica de Engenharia do artefato que será exposto ao longo desta pesquisa.

O DER-MG no sentido de promover uma gestão mais eficiente de seus ativos, lançou o Edital 110/2021 cujo objeto trata de Serviços de engenharia especializada para apoio técnico e operacional aos processos de atualização do Cadastro Geral das Rodovias, de reestruturação do Sistema de Gerência de Pavimentos – SGP e de gestão sustentável da malha rodoviária estadual. A estratégia de reestruturação do Sistema de Gerência de Pavimentos, detalhes relacionados ao contrato, bem como o alinhamento do SGP com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável podem ser observados no artigo de Aguiar *et al* (2022).

Segundo Haas, Hudson e Zaniewski (1994), um sistema de gerência de pavimentos consiste em um conjunto de informações que trabalham para a melhoria do processo de tomada decisão no planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos.

Ainda que o Sistema trabalhe com informações referentes aos diversos ativos rodoviários, o nome sistema de gerência de pavimentos se dá pelo fato de o pavimento ser o maior e o principal ativo em uma rede rodoviária. As razões pelas quais se justifica a importância do pavimento como principal ativo de uma malha viária seria:

- Valor econômico do ativo: o pavimento é por sua grande extensão, um patrimônio que gera valor para organização. De acordo com a Norma Brasileira de Contabilidade – NBC TSP 07, a malha rodoviária não sofre depreciação sistemática por não possuir vida útil determinada, mas é reavaliada por seu custo de reposição depreciado, estabelecido

por meio do índice de preço para ativos iguais ou semelhantes. Para manter o valor de seu patrimônio deve haver manutenção e preservação adequada dos pavimentos, de modo a prolongar sua vida útil e otimizar os recursos financeiros.

- Ciclo de vida do ativo: assim como os demais ativos, o pavimento possui um ciclo de vida que envolve as fases de planejamento, construção, operação e manutenção. Conforme Norma ISO 55001 a gestão eficaz do ciclo de vida, vai maximizar seu desempenho ao longo do tempo.

A Gestão de ativos é um passo inicial para análise de viabilidade de todos os ativos de uma empresa. De acordo com as normas da série ISO 55000, a Gestão de ativos coordena as atividades financeiras, operacionais, de manutenção, de risco e outras atividades relacionadas aos negócios de uma organização para obter mais valor através de seus ativos.

A gestão de ativos é o processo que determinará a aquisição, o uso e a alienação de ativos para se obter os melhores benefícios de seu desempenho, gerindo os riscos e custos relacionados ao longo do ciclo de vida.

Considerando que o SGP visa otimizar o valor dos ativos ao longo do tempo, seus objetivos estão alinhados com os princípios gerais estabelecidos pela série ISO 55000. Ambos estão preocupados com a maximização do valor dos ativos, a tomada de decisões informadas e a otimização dos recursos.

Portanto, ao observar que o Sistema de Gerência de Pavimentos do DER-MG é projetado para gerenciar eficazmente os ativos de pavimentação, podemos inferir que ele segue os princípios gerais delineados na série ISO 55000 para gestão de ativos. Esta inferência é baseada na semelhança dos objetivos e processos entre o sistema específico do DER-MG e o quadro conceitual fornecido pela ISO 55000.

A efetiva aplicação das diretrizes das normas de Gestão de ativos a um Sistema de Gerência de Pavimentos promoverá a qualidade do desempenho dos pavimentos, a gestão eficiente dos recursos para manutenção e investimentos na malha viária, melhoria no processo de tomada de decisão, a redução dos custos a longo prazo e conseqüentemente o aumento da segurança viária.

De acordo com o entrevistado do DER-MG o projeto SGP de Minas Gerais é uma possibilidade de realizar o diagnóstico do principal ativo rodoviário de maneira objetiva. Realizado o paralelismo entre o SGP e a Gestão de ativos, cabe explicar os requisitos de um Sistema de Gerência de Pavimentos com ênfase no sistema do DER-MG.

4.2.1 Requisitos do SGP

Constitui-se, atualmente em uma importante ferramenta de administração, objetivando determinar a forma mais eficaz da aplicação dos recursos públicos disponíveis, em diversos níveis de intervenção, de sorte a responder às necessidades dos usuários dentro de um plano estratégico que garanta a melhor relação Custo x Benefício (DNIT, 2011).

O Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT (DNIT, 2011) estabelece que as principais atividades básicas de um sistema de gerência de pavimentos devem conter são:

- a) Sistema de referência;
- b) Avaliação dos pavimentos:
 - Históricos da implantação, manutenção e melhoramento da rodovia;
 - Orografia da região;
 - Características regionais das rodovias;
 - Condições funcionais das rodovias;
 - Tráfego das rodovias.
- c) Determinação das prioridades;
- d) Elaboração do Programa Plurianual de Investimentos.

O Sistema de Gerência de Pavimentos do DER-MG seguiu os padrões do Manual tendo características únicas para se adequar às necessidades da Organização. Além de todas as atividades acima citadas, o SGP de Minas Gerais prevê o cadastro georreferenciado de todos ativos rodoviários.

Cabe então explicar o universo, forma de coleta e armazenamento dos dados coletados pelo SGP de Minas Gerais.

4.2.1.1 Sistema de Referência

Quanto ao sistema de Referência do DER-MG, a Lei nº 10.233, de 5 de julho de 2001, que instituiu o Plano Nacional de Viação – PNV, estabelece em seu artigo 57 que o DNIT deve elaborar em conjunto com os demais órgãos executivos rodoviários, um sistema de classificação de rodovias. Nesse sentido, o DER-MG institucionalizou o Sistema Rodoviário Estadual – SRE, que se integra ao PNV e inclui também dados necessários ao cálculo do coeficiente de

participação do Estado na arrecadação da Contribuição da Intervenção no Domínio Econômico – CIDE.

O CIDE é um tributo federal que incide sobre a venda de combustíveis derivados do petróleo cuja arrecadação total se dá sobre a venda de combustíveis, na qual o Governo Federal arrecada de modo a financiar investimentos em infraestrutura de transportes. O cálculo do coeficiente leva em conta a extensão da malha rodoviária de cada Estado. Após o cálculo, os recursos são distribuídos. Nesse sentido, Estados com maiores extensões de rodovias recebem parcelas maiores desse recurso.

Dito isso, o SRE é atualizado anualmente no DER e encaminhado formalmente ao DNIT para inclusão no PNV. O Sistema de Gerência de Pavimentos utiliza como base o SRE e ajuda na atualização dele. Tal fato será explicado posteriormente.

O Sistema Rodoviário Estadual apresenta um parâmetro para divisão e codificação dos trechos rodoviários contidos em Minas Gerais. A nomenclatura do código de cada SRE segue padrões, que identificam se a rodovia é radial, transversal, longitudinal, diagonal, de ligação. O código ainda permite identificar situação física das rodovias em seis conceitos, ou seja, se a rodovia é em leito natural ou pavimentada e identifica ainda o tipo de revestimento de cada rodovia.

O SGP realiza o levantamento de toda malha rodoviária do Estado de Minas Gerais, inclusive àquelas rodovias em Leito Natural, realizando o vídeo registro de toda infraestrutura. Logo, o SGP corrobora com a atualização da extensão das rodovias contidas no SRE.

O DER-MG, através do levantamento de dados do SGP, possui 2592 códigos de SER, totalizando uma extensão de 28.682,50 Km, sendo desses 22.653,11 Km pavimentados e 6029,39 Km não pavimentados. Essa extensão envolve todo patrimônio rodoviário de Minas Gerais, incluindo trechos com características urbanas que fazem parte da rede do DER-MG.

4.2.1.2 Avaliação de pavimentos

Os pavimentos são dimensionados para duração de um período de vida útil, mas com o passar do tempo, o pavimento acumula defeitos, gerados pela ação do tráfego e do clima. Nesse sentido, lê-se que:

A mensuração da condição superficial do pavimento, com detecção dos defeitos em sua fase inicial e acompanhamento do crescimento futuro, é uma das técnicas que mais auxiliam na quantificação da “saúde” do pavimento, identificando seções deficientes, o que auxilia na definição das prioridades dos projetos de manutenção e restauração, permitindo criar ou melhorar modelos de previsão de desempenho e, também, de projeto (Liedi *et al.*, 2022, p.629).

O SGP de Minas Gerais previu a realização do Diagnóstico do pavimento com periodicidade de 2,5 anos. Tal fato se deve ao valor do investimento para realização do Diagnóstico e do tamanho da malha viária do Estado. De acordo com o Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT, a avaliação de pavimentos se dá através de três fatores: desempenho funcional, desempenho estrutural e desempenho operacional e da segurança.

A avaliação de desempenho funcional analisa os defeitos superficiais dos pavimentos, que impactam diretamente no conforto ao rolamento em uma viagem de usuário. Já a avaliação de desempenho estrutural está associada à capacidade de carga do pavimento e vinculam-se às deformações elásticas ou plásticas. Por fim, a avaliação de desempenho operacional e da segurança envolve vários aspectos como a sinalização, geometria, irregularidades superficiais e aspectos climáticos que podem gerar aquaplanagem, e a contagem do volume de veículos em uma rodovia.

A avaliação de pavimentos no SGP do DER-MG pode ser chamada de Avaliação objetiva. Através dos levantamentos de campo, há a coleta de dados dos três fatores anteriormente abordados, sob a consolidação de diversos índices que avaliam o pavimento. Todo processo de levantamento de campo seguiu como base o SRE e para o início dos trabalhos, foi definido o início e fim dos trechos do DER com cada Coordenadoria Regional do Órgão.

Para avaliação funcional objetiva de pavimentos, o SGP coletou dados do *International Roughness Index* ou Índice de Irregularidade Internacional – IRI. “A irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico, que afeta a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via” DNIT (2011, p.48)

O índice é mundialmente utilizado para avaliação de pavimentos e é expresso em metros por Quilômetro (m/Km). A Tabela 13 está apresentado os critérios de avaliação da irregularidade pelo IRI segundo DNIT (2011).

Tabela 13 - Critérios de avaliação da irregularidade de um pavimento medida pelo IRI

Faixa de IRI (m/Km)	Condição de trafegabilidade
$IRI \leq 2,0$	Ótima
$2 < IRI \leq 2,7$	Boa
$2,7 < IRI \leq 3,5$	Regular
$3,5 < IRI \leq 5,5$	Ruim

IRI > 5,5**Péssimo**

Fonte: DNIT, 2011.

O intervalo da extensão de dados de IRI coletados no SGP de Minas Gerais foi de 200 metros. Tal dado reflete uma análise apurada da rede viária do DER-MG. Ademais, o equipamento que coleta os dados de IRI se chama perfilômetro que é composto por sensores que capturam os dados em tempo real a uma velocidade de 60Km/h. As medições são realizadas a uma velocidade constante e com os dados georreferenciados.

Outro dado técnico para avaliação funcional de pavimentos coletado é o Levantamento visual contínuo – LVC. Através da integração de uma câmera acoplada ao veículo e de um sistema de posicionamento global (GPS), é possível registrar e catalogar sistematicamente as patologias presentes no pavimento à medida que o veículo percorre a rodovia, com o objetivo de identificar os defeitos na superfície do pavimento de forma precisa e abrangente.

Para o levantamento foi utilizado um software próprio capaz de reproduzir as imagens das três câmeras acopladas no veículo, em um sistema georreferenciado e concatenado, ainda como os quilômetros da rodovia, possibilitando uma visão completa da via e sua localização, e a localização exata de cada defeito.

Para realização do inventário de defeitos, foi adotado o procedimento desenvolvido pelo DNIT, conforme Norma DNIT 008/2003-PRO. Como se vê na Tabela 14, esta norma determina o ICPF/Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis, o IGGE/ Índice de Gravidade Global Expedito e do IES/Índice do Estado de Superfície do Pavimento. Na Tabela 15 apresentam-se os conceitos da Norma para cada um dos índices, para o levantamento LVC.

Tabela 14 - Conceitos ICPF

Conceito	Descrição	ICPF
Ótimo	Necessita apenas de conservação rotineira	5 - 4
Bom	Aplicação de lama asfáltica – Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4 - 3
Regular	Correção de pontos localizado ou Recapeamento – pavimento trincado, com painelas e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal	3 - 2
Ruim	Recapeamento com correções prévias – defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas – remendos superficiais e profundos	2 - 1
Péssimo	Reconstrução – defeitos generalizados com correções prévias em toda extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas – infiltração de água e descompactação da base	1 - 0

Fonte: DNIT 008/2003 PRO, 2003.

Tabela 15 - Conceito IES

DESCRIÇÃO	IES	CÓDIGO	CONCEITO
$IGGE \leq 20$ e $ICPF > 3,5$	0	A	ÓTIMO
$IGGE \leq 20$ e $ICPF \leq 3,5$	1	B	BOM
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2	B	BOM
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	REGULAR
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4	C	REGULAR
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	RUIM
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$	7	D	RUIM
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	PÉSSIMO
$IGGE > 90$	10	E	PÉSSIMO

Fonte: DNIT 008/2003 PRO, 2003.

Importante deixar claro que o levantamento visual contínuo se difere da Avaliação subjetiva realizada pela Diretoria de Manutenção do DER-MG, principalmente, por ser um método objetivo, enquanto o segundo é um método subjetivo. Além disso, o levantamento visual contínuo é realizado através de vídeo registro de todo pavimento, gerando assim a memória de cálculo para aplicação objetiva da Norma, enquanto para avaliação subjetiva não há o levantamento e armazenamento das imagens.

O último índice coletado para avaliação funcional do pavimento no SGP é o Levantamento visual detalhado – LVD. O levantamento segue os padrões da Norma DNIT 007/2003-PRO e realiza o inventário mais completo de cada defeito que a norma aponta. Nesse levantamento são classificadas as trincas e as deformações, enquanto no LVC apresenta-se o resultado de acordo com o ICPF e IGGE.

Assim, o LVD complementa o LVC observando cada imagem de defeito gerada promovendo o inventário geral de defeitos. Outro aspecto importante para avaliação do pavimento é a avaliação estrutural. Para tanto, o SGP coletou dados de índices relevantes para consolidação desse tipo de avaliação. Devido à grande extensão da malha viária de Minas Gerais, optou-se pela avaliação das deformações elásticas, através do equipamento *Falling*

Weight Deflectometer - FWD e das deformações permanentes através do levantamento do Afundamento de trilha de roda - ATR.

Pavimentos em boa condição estrutural apresentam valores de deflexão baixos e valores de raio de curvatura elevados, revelando a capacidade de assimilar e distribuir os esforços para as camadas do pavimento. Os valores de FWD refletem a condição estrutural, não sendo obrigatoriamente relacionados com o conceito de IES.

O processo de levantamento do FWD do SGP está exemplificado na Figura 8 abaixo. De acordo com o Manual de Conservação Rodoviária do DNIT (2005), o valor de deflexão máxima admissível para um pavimento em boas condições estruturais é de 0,5 mm. O intervalo dos dados seguiu o mesmo padrão do IRI.

Figura 8 - Levantamento FWD em Minas Gerais



Fonte: Autor, 2024.

As deformações plásticas coletadas no SGP são chamadas de ATR, é uma medida, em milímetros, da deformação permanente no sulco formado nas trilhas de roda interna externa (TRI e TRE), correspondente ao ponto de máxima depressão. O valor da flecha admissível é de 7,00 mm em uma série de dados coletados a cada 200 metros.

Complementando a avaliação estrutural, o SGP desenvolve estudos relativos ao Tráfego, por meio de pesquisas de contagem volumétrica e classificatória, e determinação dos veículos componentes da frota representativa. Importa ressaltar que o SGP cria um Banco de Dados, que armazena os Volumes Médios Diários anuais de tráfego - VMD e as Séries Históricas, para o período 1980-2022, das principais rodovias integrantes da malha viária do

DER/MG. As informações do Banco de Dados são utilizadas no desenvolvimento das atividades a seguir:

- Determinação dos Fatores de Correção Diária (FD), Semanal (FS) e Mensal (FM) para os Postos de Cobertura;
- Verificação dos Volumes de Tráfego dos trechos e monitoramento de sua evolução ao longo do tempo;
- Elaboração de Estudos e Avaliações Preliminares de Projetos e Intervenções na malha viária;
- Subsidiar o elenco de informações sobre o Meio Ambiente e Faixa de Domínio das rodovias.
- Programação das Pesquisas.

Nota-se que o SGP prevê a realização de Contagem Volumétrica, Classificatória e Direcional de veículos automotores por processo de vídeo (filmagem contínua), nos Postos definidos em segmentos representativos da malha rodoviária do Estado de Minas Gerais, em todas as Unidades Regionais do DER/MG. A partir daí, é possível apresentar o Volume Médio Diário anual de tráfego - VMD representativo dos trechos pesquisados, os Fatores de Correção Diária (FD), Semanal (FS) e Mensal (FM), além de outras informações complementares.

A contagem de tráfego mostra-se como elemento essencial para o dimensionamento da efetiva carga no pavimento, além de ser fator primordial para a consolidação do SGP que vai gerar os planos de manutenção e de investimentos a longo prazo. Para consolidação do sistema de gestão de ativos rodoviários de Minas Gerais, o SGP promove o cadastro dos ativos rodoviários através do vídeo registro de toda rede rodoviária. Para o item de cadastro são registrados os seguintes aspectos:

- Ocorrências Pontuais;
- Ocorrências lineares;
- Características geométricas;
- Dispositivos de drenagem;
- Sinalização vertical;
- Sinalização horizontal;
- Obras de Arte Especiais – OAE.

Essa atividade de cadastro promove o registro de todos os ativos georreferenciados da infraestrutura viária do estado de Minas Gerais, fato que capacita o DER-MG a conhecer todo seu patrimônio. As ocorrências pontuais são quaisquer itens dispostos na pista, como por exemplo, lombadas, acessos, praças de pesagem. As ocorrências lineares, são itens extensos dispostos na faixa de domínio, como cercas, defensas e edificações.

A descrição das características geométricas da rodovia auxilia a avaliação de pavimentos. Nesse caso, é cadastrado a quantidade e largura da faixa, classificação do terreno, largura do acostamento, canteiro central e barreiras de concreto. Os dispositivos de drenagem são cadastrados aqueles em que as câmeras conseguem captar como sarjetas, bueiros, entradas d'água, boca de lobo, descida d'água. A sinalização horizontal é cadastrada os códigos dos

A construção do banco de dados para o SGP é essencial para efetividade do Sistema. Portanto, além dos dados funcionais e estruturais georreferenciados coletados, são cruzados os dados históricos das obras de implantação, manutenção e melhoramentos nas Rodovias realizados pelo DER-MG.

Os dados orográficos da rede rodoviária do Estado de Minas Gerais foram obtidos a partir de dados altimétricos de alta resolução obtidos de satélite, da missão *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM. Os dados podem ser baixados gratuitamente no site da Embrapa. A partir desses dados, tem-se as subidas e decidas de toda rede rodoviária, que influenciam diretamente na qualidade do pavimento.

Em uma subida o desgaste do pavimento é maior pelo fato da permanência da carga causada por veículos pesados no pavimento. Isso pode ser observado pela dificuldade desses veículos de subir grandes inclinações, fato que acarreta também a segurança da rodovia. Em contrapartida, uma decida pode causar maiores problemas de drenagem e estabilidade no pavimento.

Considerando que a malha viária do Estado é de pavimento flexível, cuja estrutura principal é o solo, as condições climáticas influenciam diretamente na condição funcional do pavimento. Assim, os dados pluviométricos e das condições climáticas de cada região de Minas Gerais foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Os dados das características regionais de cada município foram obtidos do IBGE através do último Censo disponível de 2022 e 2010.

4.2.1.3 Determinação das prioridades

De acordo com o Guia AASHTO (2012), com os dados dos levantamentos SGP, a Agência Governamental deve priorizar soluções de manutenção e investimento a nível de rede. Um método comum de classificação das necessidades é listar os trechos da estrada em ordem sequencial por condição do pavimento. A partir daí inicia-se a priorização dos trechos com as piores condições do pavimento e maior volume de tráfego. Além disso é orçado o custo e prazo para cada tipo de solução e analisado seu custo-benefício.

O Guia (AASHTO, 2012) recomenda as seguintes etapas para priorização de investimentos:

- Avaliar as necessidades para um determinado ano, identificando todas as seções do pavimento que não estão em boas condições;
- Calcular os custos do tratamento multiplicando o custo do tratamento adequado para cada nível de tempos de reparo;
- Classificar as necessidades em ordem de prioridade utilizando a metodologia de classificação estabelecida pela Agência;
- Selecionar projetos de acordo com a listagem priorizada até que não haja mais financiamento para aquele ano;
- Considerar quaisquer necessidades não financiadas restantes no próximo ano e repetir o processo.

O Manual DNIT (2011) indica que por recomendação do Banco Mundial os trechos devem ser divididos em subtrechos homogêneos com as características similares em termos funcionais, estruturais e de carga de tráfego. Para efeitos de análise de rede, o SGP utiliza como parâmetros funcionais o IRI e a área trincada obtida no LVC. Isso porque esses índices têm influência direta nos custos operacionais e de manutenção da malha viária.

Outro fator para consolidar um catálogo de soluções são os parâmetros estruturais, mais especificamente a relação entre a deflexão admissível com a deflexão característica obtida no levantamento FWD. Deste modo, um catálogo de soluções vai apresentar diversas soluções a serem realizadas a partir dos dados de tráfego, dados do IRI e das deflexões.

O Manual DNIT (2011) recomenda a utilização do modelo do programa HDM – *Highway Development and Management* para análise de desempenho técnico e econômico do

pavimento. De acordo com Albuquerque (2007), o modelo mais adequado para determinação de prioridades, considerando fatores ambientais, sociais, econômicos e técnicos seria a Análise Multicritério. O mesmo autor argumenta que este modelo traz uma maior qualidade se comparada a utilização do HDM, inserindo critérios socioeconômicos na escolha de estratégias de intervenção na malha viária.

Hiep (2013) afirma que o programa HDM foi desenvolvido pelo Banco Mundial em colaboração com outras organizações internacionais, como o *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LCPC) e o *Transport and Road Research Laboratory* (TRRL) e sua aplicação possui vantagens como a análise de custos para usuários em uma estrada com diversos climas e condições, auxiliando em análises de estratégia para a gestão de ativos de infraestrutura rodoviária.

O DER-MG entre outros Órgãos rodoviários no Brasil utilizaram o HDM pela sua ampla atuação em diversos países e pela exigência da utilização do software por bancos financiadores internacionais. Assim, o programa continua sendo essencial para obtenção de recursos internacionais na malha viária. Assim que o Governo de Minas Gerais sair da situação financeira atual, onde se encontra no Regime de recuperação fiscal poderá novamente obter financiamentos externos para recuperação e construção de sua rede rodoviária.

Após o levantamento dos dados técnicos da qualidade do pavimento, há necessidade de definição das soluções ótimas para manutenção e investimentos na malha viária. Para tanto, o DER-MG utilizou do Catálogo de Soluções, uma ferramenta bem conhecida em Sistemas de Gerência de Pavimentos. O estudo para composição do Catálogo seguiu o padrão inicial do DNIT tendo especificidades para o DER-MG.

O padrão DNIT pode ser adaptado do Relatório Técnico Consórcio Dynatest Engemap (2015). Nesse, as possíveis soluções para manter a qualidade do pavimento envolvem o cruzamento dos dados de VMD, dados funcionais e estruturais e essas soluções permitem a tomada de decisões necessárias para intervenções na malha.

Observado o padrão DNIT, os técnicos do Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais elaboraram um Catálogo mais usual para a realidade das Rodovias mineiras. Nesse foram realizadas alterações como padronização dos valores dos índices como IRI, a utilização do ICPF contido no Levantamento Visual Contínuo e a utilização do número ao N ao invés do VMD.

A partir do cruzamento dos dados técnicos do levantamento e da melhor solução indicada pelo Catálogo é orçado os valores para cada solução a nível de rede e alocado os recursos nos Programas Rodoviários.

4.2.1.4 *Elaboração do Programa Plurianual de Investimentos*

O Sistema de Gerência de Pavimentos do DER possui como diretrizes básicas como:

- a) Manter o Sistema Rodoviário Estadual – SRE atualizado;
- b) Coordenar o planejamento e execução das avaliações subjetivas e objetivas dos pavimentos;
- c) Subsidiar a definição de prioridades para investimentos na malha rodoviária estadual;
- d) Subsidiar a tomada de decisões dos gestores da malha rodoviária estadual;
- e) Adotar modelos de previsão de desempenho de pavimentos para o planejamento de médio e longo prazo dos investimentos na infraestrutura rodoviária estadual;
- f) Subsidiar a elaboração do plano plurianual de investimentos na infraestrutura rodoviária estadual;
- g) Fomentar o uso de ferramentas tecnológicas e metodologias inovadoras que contribuam para a eficiência dos investimentos na infraestrutura rodoviária estadual;
- h) Facilitar o acesso dos cidadãos às informações relativas à malha rodoviária estadual;
- i) Subsidiar estudos de viabilidade técnico-econômica das alternativas de investimentos em infraestrutura rodoviária; e
- j) Manter o banco de dados da malha rodoviária estadual atualizado.

Conforme exposto as Diretrizes c e f evidenciam a intenção primordial do SGP, criar uma programação de investimentos de 4 em 4 anos gerando um Plano de Obras e de Manutenção e Conservação rodoviária para o Estado. Para tanto, utiliza-se os dados da avaliação objetiva da malha viária e o catálogo de soluções e é realizado orçamento para os diversos tipos de intervenções propostos.

Tal fato subsidiará o processo de Orçamentação pública por parte do DER-MG, sendo utilizado para determinação do custo das políticas públicas rodoviárias em Minas Gerais. No fim desse processo é concebido o Plano Plurianual de Ação Governamental – PPAG e a Lei Orçamentária Anual – LOA.

De acordo com ALBUQUERQUE, Fernando (2007), o processo de seleção das melhores alternativas de intervenções deve respeitar as restrições orçamentárias em perspectivas de curto, médio e longo prazo.

4.3 Discussão dos Resultados e Diálogo com a Literatura

A empresa demonstrou uma preocupação com a sua Gestão de Ativos, através do processo de reorganização institucional em 2023, criando uma Gerência de Gestão de Ativos Rodoviários que administra o Sistema de Gerência de Pavimentos, conforme abordado na seção anterior. Mas se pensarmos no atingimento da sustentabilidade, por sua complexidade, torna-se difícil o processo de avaliação da Organização estudada.

Como observado na Revisão Bibliográfica dessa Dissertação as três dimensões da Sustentabilidade devem ser levadas em conta. Assim, essa seção abordará os demais projetos que a empresa, tem buscado para atingir a sustentabilidade dialogando com a Literatura.

Além do SGP o DER-MG tem investido na construção de um Observatório de Infraestrutura que propõe o cruzamento de dados técnicos, ambientais, econômicos e sociais em mapas Rodoviários. O observatório quando implantado facilitará o processo de tomada de decisão na Gestão da malha rodoviária, transparência pública e de certa forma, propõe atingir uma gestão mais sustentável.

Segundo Albuquerque e Nuñez (2010), foi aplicado o Método de Análise Multicritério PROMETHE II, para facilitar o processo de tomada de decisão sustentável de manutenção rodoviária em 23 trechos da malha viária do Estado da Paraíba. Nessa pesquisa, foram utilizados, critérios técnicos, econômicos, sociais, ambientais e de tráfego, conforme Figura 3 - Priorização de critérios de preferência .

De modo similar o Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais tem concebido seu observatório cruzando dados com critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

4.3.1 Critérios utilizados

Embora o DER-MG sempre atentou à utilização de obras com a utilização de materiais recicláveis e projetos que se atenham à melhor segurança viária, pode se inferir, através das entrevistas com os gestores da empresa estudada que o processo de construção do Observatório de Infraestrutura é uma iniciativa de gestão sustentável das rodovias a nível de rede. Essa situação ocorre pela utilização de uma ferramenta de mapa que cruza vários parâmetros, melhorando o processo de tomada de decisão do gestor. Esses parâmetros podem ser chamados de critérios técnicos, ambientais, sociais e econômicos.

Os critérios técnicos utilizados foram amplamente explicados na seção 4.2 desse capítulo. Esses foram obtidos do Sistema de Gerência de Pavimentos e os principais parâmetros para a consolidação dos critérios técnicos são:

- a) IRI;
- b) LVC;
- c) FWD;
- d) ATR;
- e) VMD e Número N;
- f) Subidas e Descidas (*Rise and Fall*);
- g) Custo de cada tipo de solução do Catálogo de Solução.

O estudo de caso no DER demonstra que esses indicadores técnicos são os mais relevantes para uma análise a nível de rede da malha mineira pelo fato de que os dados trazem uma avaliação funcional e estrutural do pavimento. E, os critérios sociais utilizados foram obtidos do IBGE com dados de 2010 e de 2022. São esses:

- a) População 2010 e 2020;
- b) Produto Interno Bruto – PIB por habitante 2010 e 2020;
- c) Índice de Desenvolvimento Humano – IDH 2010.
- d) Acidentes rodoviários.

Os critérios econômicos também foram obtidos do IBGE, da Secretaria de Cultura e Turismo de Minas Gerais e da Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais a citar:

- a) PIB Agropecuário 2022;
- b) PIB Industrial 2022;
- c) PIB Serviços 2022;
- d) Via de Acesso Turístico: cruzamento dos dados de turismo de Minas Gerais com as rotas.

O entrevistado acredita que esses critérios são os mais adequados pela disponibilidade dos dados que são obtidos publicamente por Organizações públicas e pela facilidade de sua aplicação. Por fim, para consolidar os critérios ambientais, eles foram obtidos da Infraestrutura

de Dados Especiais – IDE do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA. Os dados utilizados são:

- a) Precipitação média anual;
- b) Massas d'água;
- c) Áreas de proteção especial;
- d) Reservas particulares - patrimônio natural;
- e) Áreas de conservação de biodiversidade;
- f) Unidades de conservação municipal;
- g) Unidades de conservação estadual;
- h) Unidades de conservação federal;
- i) Áreas prioritárias de criação;
- j) Áreas de proteção de cavidades.

O estudo de caso demonstrou que esses indicadores ambientais são os mais relevantes para uma análise a nível de rede. Entretanto, o mesmo, ao analisar fatores de sustentabilidade, teceu comentários acerca da necessidade de levantar dados de saúde ocupacional dos servidores das obras públicas do Estado e da dificuldade de obtenção deles.

O Governo de Minas Gerais disponibilizou através do SISEMA um material que orienta o empreendedor sobre a qualificação e quantificação de um índice que traz a performance do desempenho ambiental da execução da Licença de Operação dos empreendimentos. O índice utilizado pelo DER-MG e demais órgãos do Governo se chama Índice de Desempenho Ambiental para Renovação de Licença Ambiental – IDAL Licenciamento.

Ainda valorizando o debate em torno dos critérios ambientais, o DER-MG apresenta boas práticas em termos de sustentabilidade. Como é o caso de Ações para proteção da fauna e a reciclagem de materiais para reutilização em obras públicas.

Conforme abordado na ISO 21931-2:2019 é importante utilizar o nível de emissão de gases poluentes para avaliação do desempenho ambiental. O DER-MG pretende utilizar esses dados a partir da utilização do software HDM-4. O software utiliza os dados de VMD e da frota de veículos com a classe das rodovias para estimar o consumo de combustível para cada tipo de veículo, permitindo projetar o impacto de diferentes opções de projeto, nas emissões de GEE.

Além disso, o Governo pode utilizar o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), que é uma plataforma para monitoramento de emissões de gases de efeito estufa na América Latina. A metodologia para o cálculo das emissões no

transporte rodoviário envolve a estimativa do consumo de combustível para cada categoria de veículos da frota circulante em um determinado ano-calendário. Isso é feito a partir de uma equação que considera a frota em circulação, a intensidade de uso dos veículos (em quilometragem anual percorrida) e a quilometragem por litro de combustível de cada tipo de veículo (Instituto De Energia e Meio Ambiente, 2015).

Os dados do SEEG colocam Minas Gerais na segunda posição dos estados brasileiros com maior emissão de GEE. Isso se deve a grande extensão da malha viária mineira e a frota de veículos que passa pelo Estado. Por fim é importante deixar claro que o Observatório de Infraestrutura descrito, atua como uma ferramenta de planejamento para a Alta Gestão da Instituição. Por ainda estar em construção pela gestão, não está disponível para transparência pública.

Nesse sentido, grande parte dos dados ainda estão em fase de construção, podendo apresentar lacunas e inconsistências. Por exemplo, os dados de acidentes rodoviários são dados sensíveis, fornecidos ao DER-MG pela Polícia Rodoviária Federal. Esses ainda não foram liberados pela Instituição.

Ademais, importante deixar claro que os dados sociais e econômicos estão em constante evolução. Os dados obtidos foram liberados pelo IBGE, representando um retrato da situação no momento. Por exemplo os dados de IDH liberados até o momento são de 2010. Esses estão sendo atualizados e serão posteriormente disponibilizados.

Dito isso, o pesquisador tomou a liberdade de construir mapas com a utilização do *software* QGIS versão 3.34.3, a partir dos dados que foram disponibilizados após consentimento da Instituição. Esses mapas justificam que o projeto do Observatório de Infraestrutura apresenta aspectos de uma Aálise multicritério, cruzando dados sociais, econômicos e ambientais.

O APÊNDICE D – MAPA RODOVIAS MINEIRAS apresenta as rodovias estaduais cujo patrimônio pertence ao DER-MG, e evidencia a orografia do Estado, através dos dados *rise and fall* (subidas e descidas) e as curvaturas da geometria da rodovia. As linhas mais grossas demonstram as rodovias com maiores inclinações e curvaturas. A análise é importante pois rodovias com maiores subidas e descidas geram maior desgaste no pavimento e as com maiores curvaturas podem gerar mais acidentes.

O APÊNDICE E – MAPA CRITÉRIOS AMBIENTAIS revela os principais critérios ambientais que o DER-MG utiliza ao obter licenças ambientais. Os dados foram obtidos do IDE- SISEMA. Os dados climáticos de precipitação também influenciam na degradação dos pavimentos flexíveis de Minas Gerais.

O APÊNDICE F – MAPA CRITÉRIOS SOCIOECONÔMICOS utiliza os dados obtidos do IBGE por municípios de Minas Gerais. O Mapa construído apresenta um meio de comparação dos 853 municípios de Minas Gerais. Ao analisar brevemente, os dados podemos observar que a região Birte e Nordeste do Estado apresenta índices sociais e econômicos mais baixos como IDH, Renda per Capita, PIB Industrial e Agropecuário. Nesse sentido os investimentos econômicos e sociais nessas duas regiões são mais necessários.

O APÊNDICE G – MAPA TURISMO EM MINAS GERAIS obtido pelos dados de municípios do IBGE e dados da SECULT, apresenta uma informação relevante para o transporte de passageiros em Minas. Pode ser observado que o transporte dentro do Estado apresenta poucos municípios com renda de turismo, diferente do transporte interestadual. Tal fato é relevante levando em consideração as rodovias que possuem rotas entre Estados.

O cruzamento das informações é relevante para a melhor compreensão do contexto estudado, ajudando a compreender as interações geográficas, climáticas e socioeconômicas em Minas Gerais. Dessa forma, podem ser identificados padrões e correlações, por exemplo, como a topografia se relaciona com os critérios ambientais e socioeconômicos.

Mais importante dessa análise é a melhoria do processo de tomada de decisão. As correlações dos diversos critérios ajudam a identificar áreas mais prioritárias para investimentos e manutenção da malha viária de uma forma mais sustentável.

4.4. Síntese do Estudo de Caso e Considerações para o Modelo Preliminar

Ao longo deste estudo de caso, foram exploradas a estrutura do Departamento de Estradas de Rodagem (DER-MG) fornecendo uma visão importante no desenvolvimento de um modelo preliminar para avaliação da sustentabilidade para ativos rodoviários. A seguir, destacamos os principais pontos identificados durante o estudo de caso que serão considerados na construção do modelo:

- O Estudo de Caso identificou dois projetos trabalhados pelo DER-MG que apresentam alta aderência com o tema dessa pesquisa, o SGP e o Observatório de Infraestrutura.
- Importante também conhecer o processo amplo de gestão da malha rodoviária, através da avaliação da qualidade dos pavimentos, descritos na seção 4.21.2, relevando sua metodologia sistemática e sua importância. Tal fato proporcionou a elaboração de uma diretriz técnica no modelo preliminar que será apresentado.

- Os requisitos contidos no Observatório de Infraestrutura que cruzam dados ambientais, econômico, sociais e técnicos de Engenharia, como evidenciado nos Apêndices B, C, D e E, também proporcionaram *insights* para a criação do modelo preliminar.

Em resumo, esses aspectos, entre outros identificados durante o estudo de caso, servirão como base para a construção do modelo preliminar, que visa propor soluções e estratégias para uma gestão mais sustentável da malha viária do DER-MG.

5. MODELO PRELIMINAR

O objetivo geral do presente trabalho é propor um conjunto de critérios para a avaliação da sustentabilidade no processo de gestão sustentável da malha rodoviária do DER-MG. A partir daí serão propostos possíveis parâmetros (critérios e diretrizes) para a criação de um sistema de avaliação de sustentabilidade de rodovias. Importante deixar claro que a implementação do modelo de avaliação de sustentabilidade não se configura como um modelo pronto para implementação, conforme abordado na Metodologia da Dissertação.

Conforme abordado na Introdução e Referencial teóricos dessa Dissertação, o cenário global evidencia uma crescente preocupação por empresas em busca de implantação de práticas sustentáveis, tal fato se evidencia pela construção de padrões ESG e pela necessidade de elaboração de Relatórios de Sustentabilidade nos padrões GRI. Entretanto, se analisarmos o contexto rodoviário Brasileiro ainda há uma escassez de mecanismos para avaliação de sustentabilidade para os diversos ativos rodoviários.

Este capítulo inaugura a jornada para a construção inicial de um modelo abrangente de avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários. Esse modelo se justifica para orientação de políticas públicas em infraestrutura rodoviária, bem como aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, capacitando Órgãos do Setor Rodoviário em tornar sua gestão mais sustentável. A construção do modelo traz um enfoque multidimensional que abranja aspectos ambientais, sociais e econômicos.

5.1 Objetivos do Modelo e Limitações

A construção do modelo será pautada pela abordagem metodológica Design Science Research, conforme abordado na Metodologia dessa Dissertação. O desenvolvimento do modelo de avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários tem como objetivo principal criar uma ferramenta robusta e adaptável, capaz de:

- a) caracterizar a base de ativos que atenderá a demanda de sustentabilidade;
- b) avaliar os critérios definidos para manutenção da malha rodoviária de forma sustentável;
- c) propor possíveis parâmetros (critérios e diretrizes) para a criação de um sistema de avaliação de sustentabilidade de rodovias;

d) auxiliar os tomadores de decisão de Organizações rodoviárias a obterem uma ferramenta de gestão que os capacite de exercerem uma gestão mais sustentável de uma rede de infraestrutura rodoviária;

e) auxiliar Governos a obterem financiamentos externos na execução de Programas de Manutenção e investimento pelo caráter de sustentabilidade da ferramenta proposta.

Cabe também ressaltar que o modelo proposto apresenta limitações, que merecem ser descritas. Abaixo indico as limitações do modelo:

a) Complexidade da Análise Multicritério:

A sustentabilidade abrange três grandes dimensões, ambiental, econômica e social. Ao incluir todas essas dimensões em um único modelo com critérios de avaliação definidos, torna-se difícil o estabelecimento de métricas unificadas, além da possível necessidade de inclusão mais critérios.

b) Disponibilidade e Qualidade de dados:

A construção desse modelo obedeceu a realidade do DER-MG, utilizando dados disponibilizados pelo próprio Órgão ou por demais Instituições governamentais. Ou seja, a avaliação da sustentabilidade para ativos rodoviários reflete a realidade da empresa objeto do Estudo de caso, mas pode ser adaptada para empresas com atribuições similares, desde que possuam acesso aos dados utilizados. Tal fato, garante a adaptabilidade da solução do artefato criado pela DSR.

c) Variabilidade geográfica de Minas Gerais:

O Estado de Minas Gerais gera limitações geográficas para elaboração de modelos pela sua diversidade topográfica, com áreas planas e regiões montanhosas, diversidades climáticas, diversidades econômicas e sociais únicas.

d) Falta de dados de Saúde Ocupacional:

De modo a obter uma avaliação de sustentabilidade institucional e social a falta de dados relativos à saúde ocupacional dos trabalhadores das obras rodoviárias, impede o modelo de gerar análises mais completas se considerarmos o alto grau de risco em Saúde gerado por atividades como a pavimentação rodoviária.

5.2 Bases conceituais para o Modelo

Como pode ser identificado na Tabela 3 do Referencial Teórico, existem inúmeras, metodologias, critérios e indicadores a serem avaliados. Esse grande número, se deve ao fato de que cada solução deve ser única para cada contexto e para cada realidade local. Dito isso, é preciso fazer uma escolha entre cada uma das opções e escolher o mais adequado para sua finalidade.

Uma efetiva avaliação de sustentabilidade para empreendimentos rodoviários envolve múltiplos fatores e variáveis. Assim, entendo que uma análise multicritério deve considerar critérios e indicadores que se encaixam da melhor forma com a realidade e o cenário do empreendimento. Além disso, entendo ser uma ferramenta útil para avaliação de sustentabilidade em empreendimentos rodoviários.

Essa seção visa apresentar as principais metodologias para avaliação de sustentabilidade, difundidas tanto na academia como no mercado. O objetivo dessa seção é de analisar as vantagens da utilização dessas metodologias para aplicação no modelo proposto.

O modelo proposto considera a definição de ativos rodoviários como a ISO 55001 (2018), algo que possa gerar valor para entidade, sendo tangível ou intangível, conforme abordado no capítulo 2.2 do Referencial Teórico dessa pesquisa. Dessa forma, o modelo considerou como ativos rodoviários:

- Pavimento;
- Obras de Arte Especiais;
- Obras de Arte Correntes;
- Equipamentos de drenagem;
- Ocorrências Pontuais;
- Ocorrências lineares;
- Sinalização vertical;
- Sinalização horizontal.

Em concordância com o Sistema de Gerência de Pavimentos, o modelo proposto considera o principal ativo de uma rede rodoviária o pavimento. O modelo proposto ainda utiliza como base referencial a Norma ISO 21931-2:2019 que estabelece métodos de avaliação do desempenho sustentável para quaisquer tipos de obras de Engenharia Civil, conforme abordado no Capítulo 2.5 desse trabalho. Obviamente o modelo utiliza como base essa Norma, porém o modelo é adaptado à realidade do órgão estudado.

A premissa metodológica para construção do modelo utiliza da Análise de Decisão Multicritério – MCDA, conforme abordado no Capítulo 2.3.1 do Referencial Teórico dessa Dissertação. Um modelo de avaliação de sustentabilidade, necessita critérios que englobam as múltiplas camadas da sustentabilidade.

O modelo proposto ainda incorpora critérios avaliados pelo sistema de classificação INVEST (Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool) e GRI (Global Reporting Initiative). Essa escolha estratégica tem como objetivo central aprimorar a avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, utilizando diretrizes internacionalmente já utilizadas e amplamente reconhecidas.

As bases teóricas dos dois sistemas de classificação podem ser analisadas também em capítulos específicos do Referencial Teórico dessa pesquisa, capítulos 2.3.2.1 e 2.3.3. Ao integrar as bases dos dois referenciais, o modelo proposto busca adaptabilidade para diferentes contextos geográficos e organizacionais e assim pode ser utilizado em diferentes Organizações, Estados ou até mesmo países.

Além dessas bases conceituais descritas, o modelo proposto se justifica através da fundamentação teórica, na qual diversos autores reiteram a utilização dessas bases em ferramentas para avaliação de sustentabilidade. A Tabela 16 evidencia todas as bases conceituais e suas respectivas fontes que sustentaram a construção das Diretrizes do modelo proposto.

Tabela 16 - Bases conceituais para diretrizes do modelo

BASES	FONTES
Gestão de ativos rodoviários	ISO/TS 55010: Asset management - Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management. Geneva, 2019b
Métodos de avaliação do desempenho ambiental, social e econômico das obras de construção civil	ISO. International Organization for Standardization. The new ISO 21931-2:2019 Sustainability in buildings and civil engineering works — <i>Framework for methods of assessment of the environmental, social, and economic performance of construction works as a basis for sustainability assessment — Part 2: Civil engineering works.</i>

BASES	FONTES
MCDA	ALBUQUERQUE, Fernando; NUÑES, Washington (2010) BRYCE, James; FLINTSCH, Geraldo; HALL, Ralph (2014) FANTINATTI, Pedro; ZUFFO, Antônio; FERRÃO, André (2015) P.C. Bueno (2015) SUMABRATA, R. Jachrizal; iskandar, Dadang; ABIYOGA, Radhitya (2021) SHEN, Lyin; WU, Yuzhe; ZHANG, Xiaoling (2011) Rowley, Hazel <i>et al.</i> (2012) WOLFF, Mariana; Abreu, Christyane; CALDAS, Marco (2019) FHWA (2023)
Sistemas de classificação – INVEST	
Sistemas de Classificação – ENVISION	SZPOTOWICZ, Réka; TÓTH (2020) PAPAJOHN <i>et al.</i> (2016) MONTGOMERY, Robert; SCHIRMER, Howard; HIRSCH, Art. (2014) CONTRERAS, C; GLORIA, T. An Envision Rating System Approach to Sustainable Infrastructure in Latin America and the Caribbean. International Conference on Sustainable Infrastructure; 2017
Sistemas de Classificação Greenroads	MUENCH, Stephen; ANDERSON, Jerale; BEVAN, Tim (2010) Greenroads International (Disponível em: greenroads.org/publications)
Sistemas de Classificação GRI	LEVY, David; BROWN, Halina (2010) TSAI, Calista; CHANG, Andrew (2012)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Os autores listados discutem uma variedade de temas relacionados à gestão de ativos rodoviários, avaliação de desempenho ambiental e sustentabilidade em obras de construção civil, com foco em metodologias e sistemas de classificação. A título de exemplo, a ISO/TS 55010 (2019) aborda a gestão de ativos rodoviários, fornecendo diretrizes sobre o alinhamento entre funções financeiras e não financeiras no gerenciamento de ativos, algo essencial para maximizar a eficácia dos recursos utilizados em obras e manutenção de infraestrutura rodoviária. Sobre a ISO 21931-2:2019 se concentra em métodos de avaliação do desempenho ambiental, social e econômico das obras de construção civil, estabelecendo um quadro para a sustentabilidade, o que é fundamental para garantir que as obras de engenharia civil tenham um impacto positivo a longo prazo em termos de sustentabilidade.

Vale ainda considerar que autores como Albuquerque e Nuñez (2010) e Bryce et al. (2014), ao lado de outros estudiosos, exploram metodologias de tomada de decisão multicritério (MCDA) para otimizar processos em engenharia e construção civil, oferecendo uma abordagem sistemática para avaliar e comparar diferentes opções em termos de desempenho e impacto ambiental. Eles destacam o papel do MCDA em facilitar decisões mais equilibradas, integrando aspectos econômicos, sociais e ambientais. No contexto de sistemas de classificação, autores como Papajohn et al. (2016) e Muench et al. (2010) contribuem com sistemas de avaliação

como o Greenroads e Envision, que são ferramentas cruciais para mensurar e guiar a sustentabilidade em projetos de infraestrutura, promovendo padrões mais rigorosos e transparentes para obras sustentáveis

5.3 Premissas do Modelo

Este capítulo apresenta as premissas que fundamentam a definição das diretrizes para a construção do modelo de Avaliação da sustentabilidade para ativos rodoviários do DER-MG.

- a) Trata-se de um modelo de referência conceitual: possui caráter teórico no sentido que não detalha os resultados de sua aplicação em diversas Instituições rodoviárias, apenas é validado por especialistas técnicos da área de sustentabilidade. Por outro lado, apresenta-se como um modelo de referência, na medida que pode ser adaptado para realidade de outras empresas com objetos de atuação similares ao do DER-MG.
- b) Abordagem abrangente da sustentabilidade: considera todos os pilares da sustentabilidade para a consolidação das diretrizes e critérios a serem avaliados. Cada pilar da sustentabilidade é composto por critérios e indicadores específicos.
Além disso, as Diretrizes ou parâmetros de avaliação criados devem necessariamente abranger todos os pilares da sustentabilidade.
- c) Alinhamento com o planejamento estratégico do DER-MG: está alinhado ao planejamento estratégico do DER-MG que definiu como visão: ser referência nacional da gestão do transporte e dos ativos rodoviários. Definiu também, como valores da gestão a sustentabilidade. Dessa forma a utilização do modelo objetiva uma gestão sustentável e mais eficiente dos ativos rodoviários da Organização.
- d) Baseado em Dados confiáveis e Evidências: necessita de dados confiáveis para a confiabilidade e garantia dos resultados da avaliação. Além disso, presa por uma coleta de dados de forma sistemática e transparente, permitindo a tomada de decisão por parte do Gestor, contemplando diversos cenários e premissas.
- e) Flexibilidade e Adaptabilidade: é flexível e adaptável, pelo fato de ser construído pensando em Minas Gerais, um Estado muito heterogêneo em todos os pilares da sustentabilidade, economicamente, socialmente e ambientalmente. Fato esse que permite sua adaptabilidade para demais empresas.

O modelo proposto também é adaptável, podendo sofrer alterações de inclusão de novos critérios, indicadores de acordo com a necessidade de cada Instituição ou até mesmo

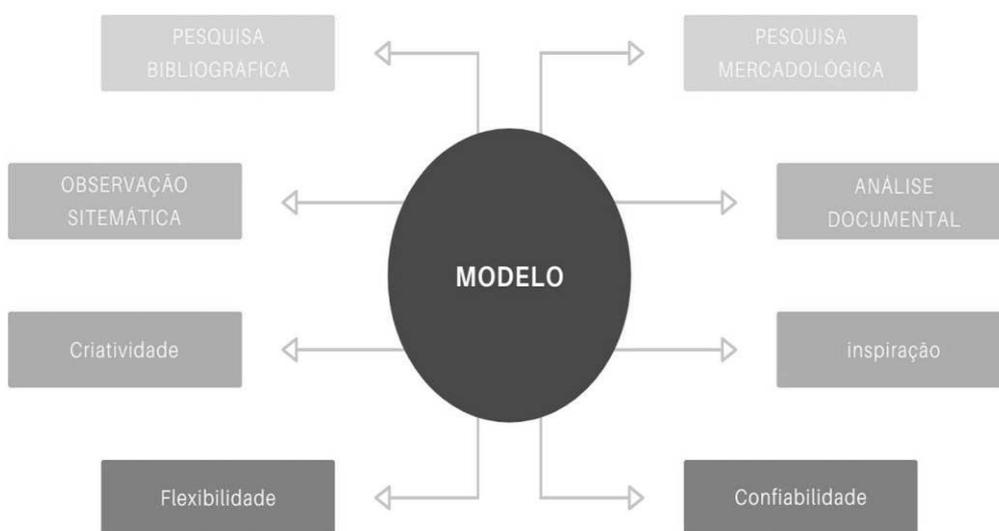
com a evolução do conceito de sustentabilidade ao longo dos anos. Tal fato, evidencia que o modelo pode ser utilizado como ferramenta de melhoria contínua da gestão sustentável das rodovias.

5.4 Versão inicial do Modelo

O modelo proposto tende a ser inovador por considerar a realidade do órgão analisado nessa pesquisa e por relacionar as bases mais recentes de Gestão de ativos, com modelos de classificação já usuais no mercado, observando sempre a produção acadêmica do objeto em análise. Ainda que existam modelos para avaliação da sustentabilidade divulgados na Academia e no mercado, esses consideram uma grande variedade de critérios técnicos, ambientais, sociais e econômicos, mas que muitas vezes não atendem à realidade do órgão estudado. Dessa forma o modelo proposto é único.

O modelo proposto segue a metodologia *Design Science Research* e pode ser exemplificado na Figura 9. A construção dele seguiu uma grande pesquisa bibliográfica e mercadológica, exposta no Referencial Teórico, uma Observação sistemática e análise documental exposta no Estudo de Caso e inspiração e criatividade para elaboração do modelo. Conforme a metodologia DSI o modelo deve ser flexível e confiável. Para tanto os capítulos seguintes promoverão este conceito através da avaliação deste modelo.

Figura 9 - Construção do modelo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Como observado por Bueno, Vassallo e Cheung (2015), uma avaliação de sustentabilidade deve ter uma abordagem completa. Assim, a definição das diretrizes buscou contemplar critérios, ambientais, sociais e econômicos. Como o modelo realiza um processo de avaliação da sustentabilidade para ativos rodoviários, considerou-se a partir do Estudo de caso, o pavimento como principal ativo rodoviário. Logo, foi considerada a Diretriz de critérios técnicos, por esse afetar diretamente no ciclo de vida do principal ativo de uma rede rodoviária.

Portanto, as diretrizes do modelo proposto são:

- Diretrizes Técnicas;
- Diretriz Ambiental;
- Diretriz Social;
- Diretriz Econômica.

Sobre a definição dos critérios dentro de cada diretriz, o modelo proposto se baseou nos critérios ambientais, sociais e econômicos comuns adotados nas ferramentas reconhecidas INVEST, Envision, GRI, Greenroads e a ISO 21931. Os critérios foram selecionados devido sua abrangência e relevância observada pelo autor na avaliação holística da sustentabilidade em projetos rodoviários. Além disso, a escolha desses critérios permite uma padronização de avaliação de sustentabilidade em rodovias, facilitando o processo de comparação entre diferentes projetos e diferentes Organizações.

Por se tratar de critérios já utilizados em grandes sistemas de classificação sustentáveis, empresas internacionais e os requisitos da ISO 21931-2: 2019, o modelo proposto está alinhado com princípios e diretrizes reconhecidas e utilizadas por Governos e Organizações internacionais como a ONU, garantindo relevância e aceitação global.

O modelo desenvolvido apresenta uma abordagem única e singular ao integrar uma perspectiva de Gestão de Ativos com dados técnicos obtidos durante o Estudo de caso dessa pesquisa. Logo, os critérios da Diretriz Técnica são baseados na realidade do Órgão estudado nessa pesquisa e integrados à Gestão de ativos rodoviários. A Tabela 17 apresenta todos critérios e indicadores utilizados nessa versão.

Tabela 17 - Ficha de apresentação dos indicadores do modelo proposto

FICHA DE APRESENTAÇÃO DOS INDICADORES		
DIRETRIZ	CRITÉRIO	INDICADOR
1. Técnica	1.1. Pavimentação - Condição funcional	1.1.1. IRI Objetivo: Identificar previsão do comportamento funcional do pavimento, refletindo no conforto dos usuários e na segurança. Fonte: DNIT (2011) Critérios mensuráveis: Tabela 14 - Critérios de avaliação da irregularidade de um pavimento medida pelo IRI
		1.1.2. IES Objetivo: Avaliar a qualidade e a durabilidade dos pavimentos, identificando defeitos através do levantamento visual contínuo, através de uma avaliação funcional. Fonte: DNIT 008/2003-PRO Critérios mensuráveis: Tabela 16 - Conceitos ICPF
		1.2.1. ATR Objetivo: O ATR permite identificar com precisão a severidade da deformação permanente do pavimento, fornecendo informações valiosas sobre sua capacidade de suportar as cargas do tráfego. Fonte: DNIT 008/2003-PRO. Critérios mensuráveis: Valores ótimos mais próximos de 0 mm. O valor de flexas admissível é de 7 mm a cada 200 metros.
		1.2.2. FWD Objetivo: Avaliar a condição estrutural do pavimento, conhecendo a capacidade do pavimento de absorver deflexões advindas das cargas de tráfego. Fonte: DNIT (2005) Critérios mensuráveis: Deflexão máxima admissível de 0,5 mm.
	1.2. Pavimentação - Condição estrutural	1.2.3. VMD Objetivo: Aferir e estimar a carga de tráfego que o pavimento suportará durante sua vida útil. Indicador também é um insumo para o cálculo de dimensionamento de camadas do pavimento. Fonte: DNIT (2011) Critérios mensuráveis: Tabela 21 - Catálogo de Soluções do DNIT.
		1.2.4. Subidas e Descidas

FICHA DE APRESENTAÇÃO DOS INDICADORES		
DIRETRIZ	CRITÉRIO	INDICADOR
		<p>Objetivo: Avaliar as subidas e descidas permite identificar o desgaste diferencial dos pavimentos, possíveis áreas de erosão e drenagem, áreas com maiores riscos à segurança aos usuários.</p> <p>Fonte: DNIT 031/2006 - Pavimentação e projeto de pavimentação</p> <p>Critérios: Inclinação superior a 6%</p>
		<p>1.2.5. Curvaturas</p> <p>Objetivo: Garantia de segurança, conforto aos usuários e desgaste diferencial das rodovias</p> <p>Fonte: DNIT 031/2006 - Pavimentação e projeto de pavimentação</p> <p>Critérios mensuráveis: Curvas acentuadas em um mapa rodoviário</p>
		<p>1.3.1. Sinalização vertical</p> <p>Objetivo: Avaliar a condição da sinalização vertical permite a promoção da segurança aos usuários</p> <p>Fonte: DNIT 030/2019 - Projeto de Sinalização Vertical</p> <p>Critérios mensuráveis: Rodovia sinalizada de acordo com a Norma</p>
	1.3 Sinalização	<p>1.3.2. Sinalização horizontal</p> <p>Objetivo: Avaliar a condição da sinalização horizontal permite a promoção da segurança aos usuários</p> <p>Fonte: DNIT 070/2009</p> <p>Critérios mensuráveis: Rodovia sinalizada de acordo com a Norma</p>
2. Ambiental	2.1. Impacto no Meio Ambiente	<p>2.1.1. Biodiversidade e Conservação de Habitats</p> <p>Objetivo: Garantir a preservação dos ecossistemas naturais, proteger espécies ameaçadas, manter serviços ecossistêmicos essenciais e promover o desenvolvimento sustentável.</p> <p>Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019</p> <p>Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas</p>
		<p>2.1.2. Impacto na Qualidade do Solo</p> <p>Avaliar o impacto das atividades rodoviárias na qualidade do solo, incluindo a compactação do solo durante a construção, a erosão do solo causada pela</p>

FICHA DE APRESENTAÇÃO DOS INDICADORES		
DIRETRIZ	CRITÉRIO	INDICADOR
		remoção da vegetação e pela exposição ao tráfego, a contaminação do solo por substâncias químicas provenientes de veículos e da operação rodoviária. Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019 Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas
		2.1.3. Uso da Terra e Alterações de Uso do Solo Visa avaliar como a construção e operação de rodovias afetam o uso da terra e causam mudanças no uso do solo ao longo do tempo. Isso pode incluir a conversão de áreas naturais em áreas urbanas, perda de habitats naturais, fragmentação de ecossistemas, mudanças nos padrões de uso agrícola, entre outros. Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019 Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas
		2.1.4. Eficiência na Utilização de Materiais Objetivo: Analisa a eficiência na seleção e uso de materiais durante a construção, operação e manutenção da rodovia, visando minimizar o desperdício e maximizar a sustentabilidade. Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019 Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas
		2.2.1. Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) Objetivo: Avalia o impacto das atividades relacionadas à rodovia na emissão de gases de efeito estufa, como CO, metano e óxido nitroso. Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019 Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas
		2.2.2. Impacto na Flora e Fauna Objetivo: Considera os efeitos da rodovia sobre a vegetação e a vida selvagem, incluindo fragmentação de habitats, mortalidade de animais e perda de biodiversidade. Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019 Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas
	2.2. Emissões de Carbono	2.2.3. Consumo de Água Total Objetivo: Analisa o uso de água ao longo do ciclo de vida da rodovia, incluindo extração de água para construção, uso durante a operação e potenciais impactos sobre recursos hídricos locais. Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019 Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas

FICHA DE APRESENTAÇÃO DOS INDICADORES			
DIRETRIZ	CRITÉRIO	INDICADOR	
	2.3 Gestão de Resíduos	2.3.1. Gestão de Resíduos Objetivo: Avalia as práticas de gestão de resíduos durante a construção, operação e manutenção da rodovia, visando minimizar a geração de resíduos, promover a reciclagem e a disposição adequada. Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019 Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas	
		2.3.2. Eficiência na Utilização de Materiais Objetivo: Avalia a eficiência na utilização de materiais na minimização de resíduos gerados em uma obra rodoviária. Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019 Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas	
3. Social		3.1. Saúde e Segurança	3.1.1. Ruído e vibração Objetivo: Mitigação de impactos sonoros, proteção à saúde e bem-estar e conformidade legal e normativa. Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019 Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas.
			3.1.2. Saúde ocupacional Objetivo: Proteção dos trabalhadores envolvidos em obras rodoviárias e minimização de impactos na comunidade. Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019 Critérios mensuráveis: Não mensurado nas normas.
	3.3 Impacto na Comunidade	3.2.1. População Objetivo: Número de habitantes beneficiados pela rodovia Fonte: ALBUQUERQUE, Fernando; NUÑES, Washington (2010) Critérios: Quanto maior número de habitantes melhor	
		3.2.2 IDH Objetivo: Melhorar o índice de desenvolvimento humano dos municípios diretamente beneficiados por uma rodovia Fonte: ALBUQUERQUE, Fernando; NUÑES, Washington (2010) Critérios: Quanto maior número de habitantes melhor	

FICHA DE APRESENTAÇÃO DOS INDICADORES		
DIRETRIZ	CRITÉRIO	INDICADOR
		<p>3.2.3. PIB per capita</p> <p>Objetivo: Melhorar o PIB per capita da população diretamente beneficiada por uma rodovia</p> <p>Fonte: ALBUQUERQUE, Fernando; NUÑES, Washington (2010)</p> <p>Critérios: Quanto maior número de habitantes melhor</p>
		<p>3.2.4. Redução de acidentes rodoviários</p> <p>Objetivo: Melhorar a segurança das rodovias</p> <p>Fonte: Estudo de caso da pesquisa</p> <p>Critérios: Não mensurados.</p>
4. Econômica	4.1. Análise econômica do empreendimento	<p>4.1.1. Viabilidade financeira</p> <p>Objetivo: Identificar a viabilidade do empreendimento considerando toda sua vida útil</p> <p>Fonte: INVEST, Envision, GRI, Greenroads e ISO 21931-2:2019</p> <p>Critérios mensuráveis: Não mensurados.</p>
		<p>4.1.2. Custos Cape</p> <p>Objetivo: Identificar as despesas de capital da rodovia</p> <p>Fonte: Adaptado da ISO 21931-2:2019</p> <p>Critérios: Cálculo das despesas de capital</p>
		<p>4.1.3. Custos OPEX</p> <p>Objetivo: Avaliar os gastos contínuos que uma empresa tem para manter suas operações em funcionamento.</p> <p>Fonte: Adaptado da ISO 21931-2:2019</p> <p>Critérios: Cálculo das despesas de capital</p>
		<p>4.2.1. PIB agropecuário</p> <p>Objetivo: Análise do PIB agropecuário que é afetado pela construção e manutenção de uma rodovia.</p> <p>Fonte: ALBUQUERQUE, Fernando; NUÑES, Washington (2010)</p> <p>Critérios: Utiliza dados do IBGE especializados em um mapa, cruzando as rodovias com o PIB agropecuário de cada região.</p>
		<p>4.2.2. PIB Industrial</p> <p>Objetivo: Análise do PIB industrial que é afetado pela construção e manutenção de uma rodovia</p> <p>Fonte: ALBUQUERQUE, Fernando; NUÑES, Washington (2010)</p> <p>Critérios: Utiliza dados do IBGE especializados em um mapa, cruzando as rodovias com o PIB industrial de cada região.</p>

FICHA DE APRESENTAÇÃO DOS INDICADORES		
DIRETRIZ	CRITÉRIO	INDICADOR
		<p>4.2.3 Via de acesso turístico</p> <p>Objetivo: Análise do impacto no turismo de uma via de acesso</p> <p>Fonte: ALBUQUERQUE, Fernando; NUÑES, Washington (2010)</p> <p>Crítérios: Utiliza dados do IBGE especializados em um mapa, cruzando as rodovias com as vias de acesso turístico.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para ter uma ferramenta de avaliação de sustentabilidade com todos os critérios informados na Tabela 17 é preciso definir pesos para cada indicador. Esse processo foi definido a partir de uma sugestão deste autor. Para definir os pesos para cada indicador, considerei diversos fatores, incluindo a importância relativa de cada critério dentro de sua respectiva diretriz, a relevância para o sucesso geral do projeto e a necessidade de equilibrar diferentes aspectos, como técnico, ambiental, social e econômico. A distribuição dos pesos foi realizada de forma bem simples, mas aqui está uma explicação mais detalhada de como cada peso foi definido:

Os indicadores de pavimentação (condição funcional e estrutural) foram considerados essenciais para garantir a funcionalidade e a durabilidade da rodovia. O peso foi distribuído igualmente entre os indicadores dentro dessas subcategorias, pois todos contribuem de forma significativa para a qualidade da pavimentação, afetando diretamente o conforto do usuário e o ciclo de vida dos pavimentos.

A pavimentação é um aspecto crucial da infraestrutura rodoviária, garantindo a segurança e a comodidade dos usuários. A condição funcional e estrutural é igualmente importante, mas dada a complexidade da infraestrutura, a condição estrutural recebeu um peso ligeiramente maior. A sinalização, embora vital para a segurança, recebeu um peso menor em comparação com a pavimentação, pois é vista como uma camada adicional de segurança e orientação para os usuários da rodovia.

- Pavimentação - Condição funcional: 30%
- IRI (Índice de Regularidade Internacional): 15%
- IES (Índice de Estado Superficial): 15%
- Pavimentação - Condição estrutural: 40%

- ATR (Análise de Textura Superficial): 10%
- FWD (Falling Weight Deflectometer): 10%
- VMD (Viga de Manutenção de Deflexão): 10%
- Subidas e Descidas: 5%
- Curvaturas: 5%
- Sinalização: 10%
- Sinalização vertical: 5%
- Sinalização horizontal: 5%

Os impactos ambientais são cada vez mais importantes em projetos de infraestrutura, portanto, atribuí um peso significativo a esse indicador. Dentro dela, distribuí pesos igualmente entre os diferentes indicadores, reconhecendo a importância da biodiversidade, da qualidade do solo, do uso da terra, das emissões de carbono e da gestão de resíduos. Os pesos dentro dessa categoria foram distribuídos igualmente entre os subgrupos para garantir uma abordagem equilibrada para a mitigação de impactos ambientais.

- Impacto no Meio Ambiente: 40%
- Biodiversidade e Conservação de Habitats: 10%
- Impacto na Qualidade do Solo: 10%
- Uso da Terra e Alterações de Uso do Solo: 10%
- Eficiência na Utilização de Materiais: 10%
- Emissões de Carbono: 30%
- Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE): 10%
- Impacto na Flora e Fauna: 10%
- Consumo de Água Total: 10%
- Gestão de Resíduos: 30%
- Gestão de Resíduos: 15%
- Eficiência na Utilização de Materiais: 15%

A saúde e segurança foram consideradas fundamentais para proteger os trabalhadores e as comunidades afetadas pelo projeto, justificando o peso relativamente alto atribuído a esse indicador. Dentro dela, ruído e vibração foram considerados mais impactantes do que saúde ocupacional, refletindo a preocupação com a saúde pública e o bem-estar das comunidades.

O impacto na comunidade também recebeu um peso considerável, com ênfase em indicadores que refletem o desenvolvimento humano e econômico, como o IDH e o PIB per capita. A redução de acidentes rodoviários, embora importante, recebeu um peso menor devido à sua relação indireta com o projeto em si.

- Saúde e Segurança: 30%
- Ruído e vibração: 15%
- Saúde ocupacional: 15%
- Impacto na Comunidade: 70%
- População: 15%
- IDH: 20%
- PIB per capita: 20%
- Redução de acidentes rodoviários: 15%

Os critérios econômicos foram considerados vitais para avaliar a viabilidade e o retorno do investimento no projeto. A viabilidade financeira recebeu o maior peso, seguida pelos custos de capital e operacionais. Os indicadores econômicos globais foram considerados menos críticos para o sucesso do projeto, daí o peso relativamente menor atribuído a eles.

- Análise econômica do empreendimento: 50%
- Viabilidade financeira: 30%
- Custos Capex: 10%
- Custos OPEX: 10%
- Análise econômica global do empreendimento: 50%
- PIB agropecuário: 15%
- PIB Industrial: 15%
- Via de acesso turístico: 20%

Sobre a avaliação de sustentabilidade de ativos rodoviários, detalhados pela diretriz, critério, indicador, peso e avaliação, tem-se os detalhamentos evidenciados na Tabela 18:

Tabela 18 - Avaliação de sustentabilidade de ativos rodoviários

DIRETRIZ	CRITÉRIO	INDICADOR	PESO	AVALIAÇÃO
1. Técnica	1.1. Pavimentação - Condição funcional	1.1.1. IRI	0,75	
		1.1.2. IES	0,75	
	1.2. Pavimentação - Condição estrutural	1.2.1. ATR	0,5	
		1.2.2. FWD	0,5	
		1.2.3. VMD	0,5	
		1.2.4. Subidas e Descidas	0,5	
		1.2.5. Curvaturas	0,5	
	1.3 Sinalização	1.3.1. Sinalização vertical	0,25	
		1.3.2. Sinalização horizontal	0,25	
	2. Ambiental	2.1. Impacto no Meio Ambiente	2.1.1. Biodiversidade e Conservação de Habitats	0,5
2.1.2. Impacto na Qualidade do Solo			0,5	
2.1.3. Uso da Terra e Alterações de Uso do Solo			0,5	
2.1.4. Eficiência na Utilização de Materiais			0,5	
2.2. Emissões de Carbono		2.2.1. Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)	0,5	
		2.2.2. Impacto na Flora e Fauna	0,5	
		2.2.3. Consumo de Água Total	0,5	
2.3 Gestão de Resíduos		2.3.1. Gestão de Resíduos	0,25	
		2.3.2. Eficiência na Utilização de Materiais	0,25	
3. Social		3.1. Saúde e Segurança	3.1.1. Ruído e vibração	0,5
	3.1.2. Saúde ocupacional		0,5	
	3.2. Impacto na Comunidade	3.2.1. População	0,25	
		3.2.2 IDH	0,25	
		3.2.3. PIB per capita	0,25	
		3.2.4. Redução de acidentes rodoviários	0,25	
4. Econômica	4.1. Análise econômica do empreendimento	4.1.1. Viabilidade financeira	0,75	
		4.1.2. Custos Capex	0,5	
		4.1.3. Custos OPEX	0,5	
	4.2 Análise econômica global do empreendimento	4.2.1. PIB agropecuário	0,25	
		4.2.2. PIB Industrial	0,25	
		4.2.3. Via de acesso turístico	0,25	

DIRETRIZ	CRITÉRIO	INDICADOR	PESO	AVALIAÇÃO
----------	----------	-----------	------	-----------

ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE (S):

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para o cálculo do índice final de sustentabilidade, foi pensado o processo de avaliação subjetiva de cada indicador por um profissional de Engenharia Civil experiente. Para cada indicador, o avaliador escolhe uma nota de 1 a 5. Sendo essa escala a mesma utilizada no Catálogo de Soluções descrito no Estudo de Caso:

- Péssimo;
- Ruim;
- Regular;
- Bom;
- Ótimo.

Após a notificação, é calculado o índice de sustentabilidade através da seguinte fórmula:

$$S = 0,076923 \times \sum Pi \times Ni$$

S = Índice de sustentabilidade

Pi = Peso do indicador

Ni = Nota de avaliação de cada indicador

O índice de Sustentabilidade também varia com a escala de 1 a 5, seguindo o mesmo critério de classificação. Este modelo representa uma primeira abordagem para avaliação da sustentabilidade para ativos rodoviários no DER-MG. Foi desenvolvida com base na experiência e conhecimento do autor. Embora tenha sido elaborado com o rigor metodológico da *Design Science Research*, é necessário ressaltar que sua eficácia e relevância precisa ser validada por meio do uso prático em órgãos rodoviários, permitindo avaliar sua utilidade, precisão, adaptabilidade e identificar melhorias e ajustes necessários para essa ferramenta de gestão.

Portanto, encoraja-se o uso do modelo em projetos reais de infraestrutura rodoviária, juntamente com uma análise crítica e uma abordagem colaborativa, para garantir sua robustez e relevância contínua.

5.5 Avaliação do Modelo

Essa seção objetiva evidenciar os critérios de escolha dos avaliadores do modelo e demonstrar o processo de avaliação. Importante especificar que os entrevistados não tiveram sua identidade revelada, permanecendo seus nomes no anonimato. Na seleção dos avaliadores foram considerados os seguintes critérios:

- Experiência de atuação no Órgão estudado;
- Expertise na atuação na área de Engenharia Rodoviária.

A inclusão de indivíduos que atuam no DER-MG é conveniente para avaliar a aplicabilidade prática da ferramenta criada, considerando o contexto e a realidade da Organização estudada. Os avaliadores podem trazer sugestões sobre a aplicação e a eficácia da aplicação do modelo na instituição. Foram contemplados três avaliadores com cargos de direção na instituição analisada.

Adicionalmente trazer indivíduos que atuam no mercado, oferece a perspectiva prática da aplicação do modelo além da instituição analisada. As participações dão subsídios para avaliar a relevância e a eficácia da ferramenta no contexto empresarial, podendo identificar melhorias e obstáculos para seu aprimoramento. Foram contemplados três avaliadores no mercado, atuando em empresas de Consultoria de Engenharia e empresas de consultoria de Concessões Rodoviárias e

A identificação dos avaliadores foi realizada através do conhecimento dos profissionais por parte do autor. Foi encaminhado e-mail para cada avaliador contendo uma cartilha explicativa (APÊNDICE F) e o formulário com as perguntas (APÊNDICE G).

O grupo de respondentes são ocupantes de cargos de Direção da instituição analisada, bem como profissionais que trabalham com projetos de sustentabilidade no setor de Engenharia Rodoviária no mercado, atuando em diversos locais do Brasil. Quanto à formação, a amostra inclui Engenheiros Civis, Administradores Públicos e Engenheiros Ambientais, dos quais muitos possuem mestrado. Dessa forma garantindo uma utilidade acadêmica.

Os respondentes após o recebimento da Cartilha de explicação do modelo, emitiram suas avaliações no formulário quanto aos critérios analisados, dando notas de 1 a 5 para cada indicador do modelo analisado. A escala das notas seguiu o seguinte padrão:

- Nota 0: Critério não aplicável;

- Nota 1: Critério baixo;
- Nota 2: Critério razoável;
- Nota 3: Critério regular;
- Nota 4: Critério bom;
- Nota 5: Critério ótimo.

De modo a facilitar o entendimento o entendimento, preservando o anonimato de cada especialista, os respondentes foram identificados como P1, P2, P3 P4, P5 e P6 no decorrer do texto. Inicialmente os especialistas responderam três perguntas que permitem sua caracterização. Conforme evidenciado o modelo proposto é dividido em quatro diretrizes, técnica, ambiental, social e econômica. Cada especialista avaliou cada critério e indicadores dentro de cada uma das diretrizes.

Para o critério técnico foram definidos no modelo proposto 8 indicadores de avaliação, que estão diretamente relacionados ao principal ativo rodoviário, o pavimento. Os indicadores avaliados foram: índice de Estado de Superfície (IES), Afundamento de Trilha de roda (ATR) que são critérios que avaliam a condição funcional do pavimento. Além desses um indicador que avalia a condição estrutural do pavimento, o *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Também avaliar indicadores como as descidas e subidas em uma rodovia, as curvas ou a geometria da via, a sinalização vertical e horizontal de uma rodovia.

As respostas quanto ao critério técnico estão apresentadas na **Tabela 19**:

Tabela 19 - Avaliação do critério técnico

Especialista	IES	ATR	FWD	VMD	<i>Rise and fall</i>	Curvas	Sinalização vertical	Sinalização horizontal
P1	4	4	5	5	4	4	3	3
P2	4	4	4	5	4	3	1	1
P3	4	3	4	5	5	3	1	1
P4	5	5	5	2	2	2	5	5
P5	5	4	5	5	5	4	3	3
P6	5	5	5	4	3	4	5	4

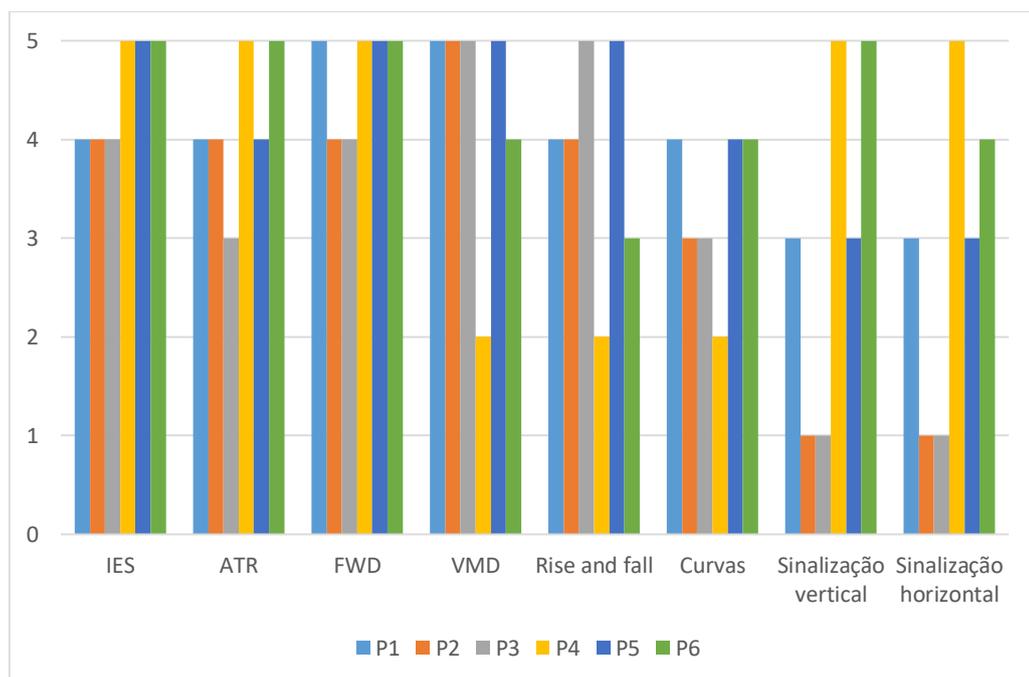
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A maioria dos especialistas deu notas altas (4 ou 5) para os indicadores IES, ATR, FWD e VMD. Para o indicador “*Rise and fall*”, as notas variam de 2 a 5, indicando uma divergência significativa nas opiniões dos especialistas. Os indicadores “Curvas”, “Sinalização vertical” e “Sinalização horizontal” receberam notas mais baixas em comparação com os outros, com alguns especialistas dando notas tão baixas quanto 1.

O especialista P4 tem uma opinião significativamente diferente dos outros, dando notas altas para “IES”, “ATR”, “FWD”, “Sinalização vertical” e “Sinalização horizontal”, mas notas baixas para “VMD”, “Rise and fall” e “Curvas”. Essa análise mostra que há um consenso entre os especialistas sobre alguns indicadores, mas também há divergências significativas em outros. Isso sugere que pode ser útil realizar mais discussões ou pesquisas para entender melhor essas diferenças

O **Gráfico 4** apresenta os dados relativos à viabilidade do critério do modelo proposto.

Gráfico 4 - Viabilidade do critério técnico



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Nota-se pelo resultado que os indicadores avaliados no critério técnico possuem viabilidade, sendo a sinalização vertical e sinalização horizontal, os indicadores que apresentaram o pior resultado. Mas o resultado geral foi favorável, com a maioria das notas aferidas do conceito bom e ótimo, tendo divergências de notas entre especialistas”.

Quanto ao critério ambiental, foram definidos no modelo proposto 9 indicadores de avaliação presentes nos mais distintos modelos de avaliação de sustentabilidade que foram amplamente discutidos no Referencial Teórico dessa pesquisa. Assim, os seis especialistas emitiram suas avaliações quanto aos indicadores:

- Biodiversidade e conservação de habitats;
- Impacto na qualidade do solo;
- Uso da terra e alterações uso do solo;
- Eficiência uso de materiais;
- Emissões de gases efeito estufa;
- Impacto na flora e fauna;
- Consumo de água;
- Gestão de resíduos;
- Minimização de resíduos gerados na obra.

As respostas quanto ao critério ambiental estão apresentadas na **Tabela 20** - Avaliação do critério ambiental é apresentada na **Tabela 20**.

Tabela 20 - Avaliação do critério ambiental

Especialista	Biodiversidade e conservação de habitats	Impacto na qualidade do solo	Uso da terra e alterações uso do solo	Eficiência a uso de materiais	Emissões de gases efeito estufa	Impacto na flora e fauna	Gestão de resíduos	Minimização de resíduos gerados na obra
P1	2	1	4	4	5	2	5	5
P2	4	3	3	5	5	4	3	4
P3	3	1	3	5	5	3	3	3
P4	5	1	5	4	4	5	5	4
P5	5	4	4	5	5	5	5	5
P6	5	5	5	5	5	5	5	5

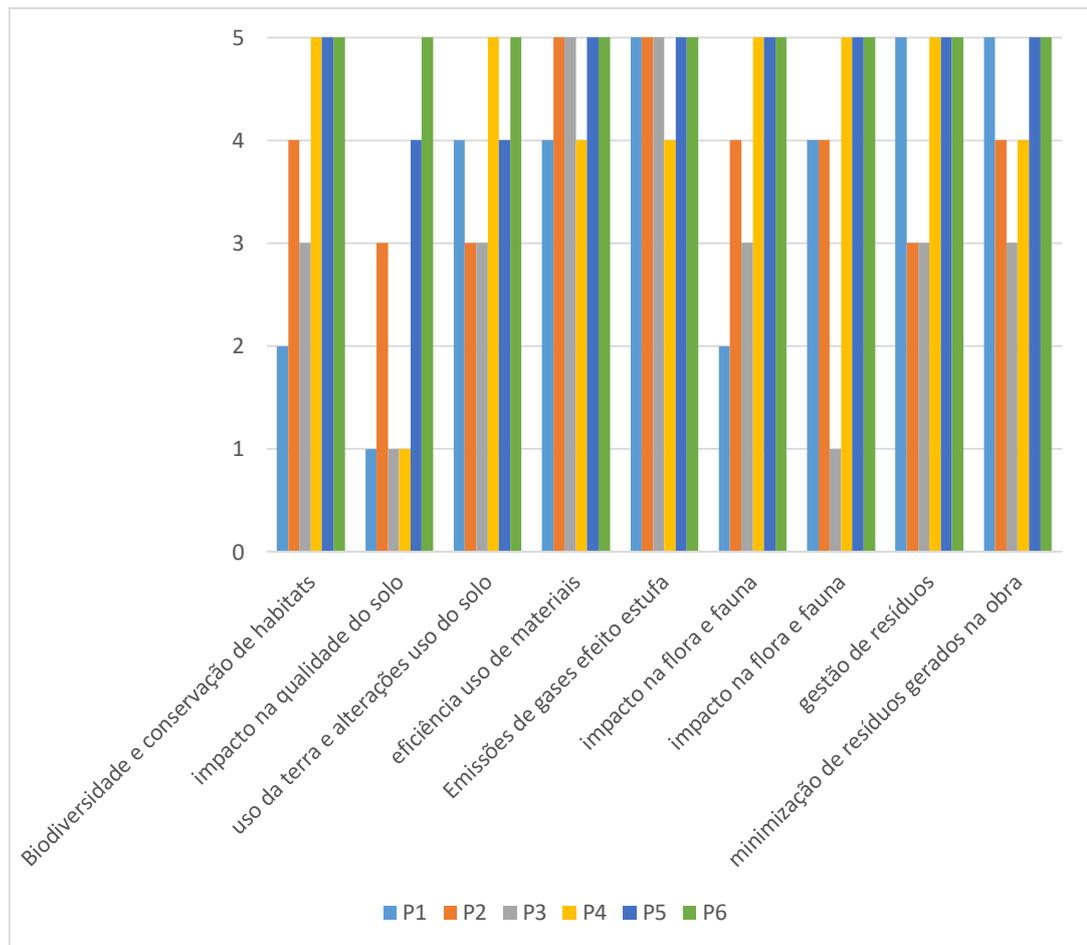
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A maioria dos especialistas deu notas altas (4 ou 5) para os indicadores “Eficiência uso de materiais”, “Emissões de gases efeito estufa”, “Gestão de resíduos” e “Minimização de resíduos gerados na obra”. Para o indicador “Impacto na qualidade do solo”, as notas variam de 1 a 5, indicando uma divergência significativa nas opiniões dos especialistas.

Os indicadores “Biodiversidade e conservação de habitats”, “Uso da terra e alterações uso do solo” e “Impacto na flora e fauna” receberam notas variadas, com alguns especialistas dando notas tão baixas quanto 1. Essa análise mostra que há um consenso entre os especialistas sobre alguns indicadores, mas também há divergências significativas em outros. Isso sugere que pode ser útil realizar mais discussões ou pesquisas para entender melhor essas diferenças

O **Gráfico 5** apresenta os dados relativos à viabilidade do critério do modelo proposto.

Gráfico 5 - Viabilidade do critério ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Nota-se pelo resultado que os indicadores avaliados no critério apresentam maior disparidade de opiniões, sendo o indicador impacto na qualidade do solo, apresentou baixa adesão dos especialistas. Os demais indicadores receberam avaliação acima de regular. Quanto ao critério social, foram definidos no modelo proposto 5 indicadores de avaliação presentes nos mais distintos modelos de avaliação de sustentabilidade que foram amplamente discutidos no

referencial teórico dessa pesquisa. Assim os seis especialistas emitiram suas avaliações quanto aos indicadores:

- Ruído;
- Saúde ocupacional;
- População beneficiada;
- PIB per capita;
- Redução de acidentes.

As respostas quanto ao critério social estão apresentadas na **Tabela 21**.

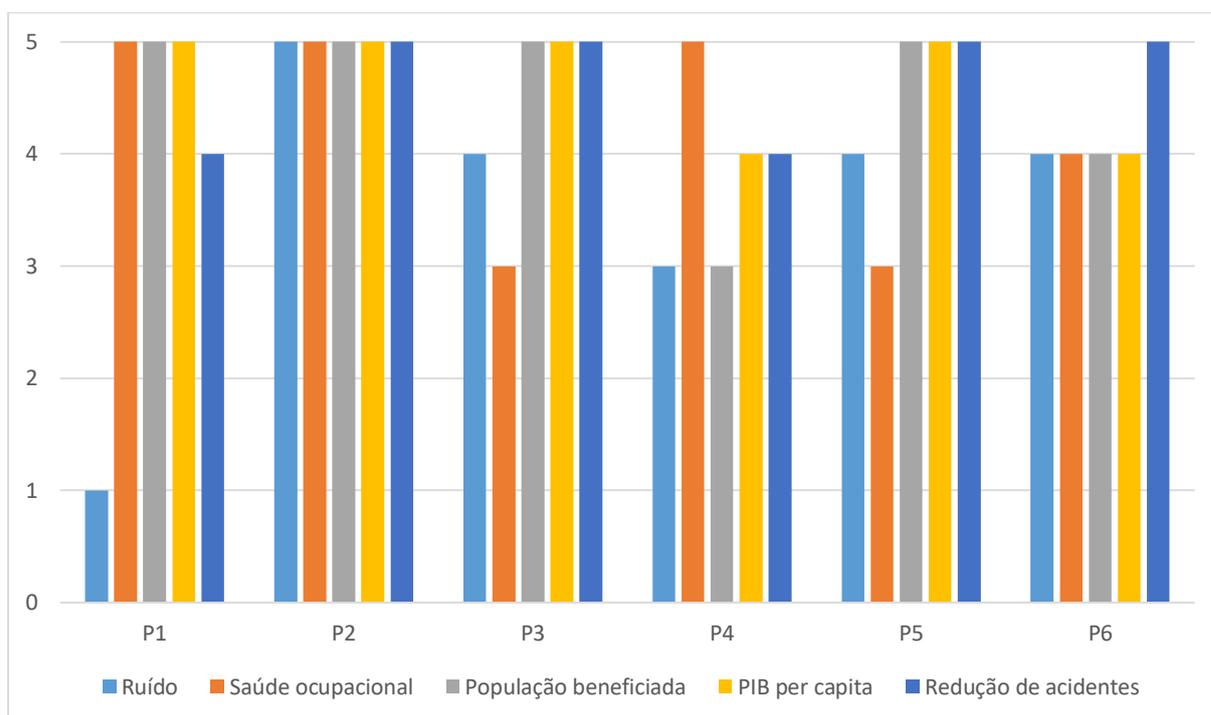
Tabela 21 - Avaliação critério social

Especialista	Ruído	Saúde ocupacional	População beneficiada	PIB per capita	Redução de acidentes
P1	1	5	5	5	4
P2	5	5	5	5	5
P3	4	3	5	5	5
P4	3	5	3	4	4
P5	4	3	5	5	5
P6	4	4	4	4	5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A maioria dos especialistas deu notas altas (4 ou 5) para os indicadores “Saúde ocupacional”, “População beneficiada”, “PIB per capita” e “Redução de acidentes”. Para o indicador “Ruído”, as notas variam de 1 a 5, indicando uma divergência significativa nas opiniões dos especialistas. Essa análise mostra que há um consenso entre os especialistas sobre alguns indicadores, mas também há divergências significativas em outros. Isso sugere que pode ser útil realizar mais discussões ou pesquisas para entender melhor essas diferenças

O **Gráfico 6** apresenta os dados relativos à viabilidade do critério social do modelo proposto.

Gráfico 6 - Viabilidade do critério social

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Nota-se pelo resultado que os indicadores avaliados no critério social possuem viabilidade com a maioria das notas aferidas do conceito bom e ótimo. Quanto ao critério econômico, foram definidos no modelo proposto 6 indicadores de avaliação presentes nos mais distintos modelos de avaliação de sustentabilidade que foram amplamente discutidos no Referencial Teórico dessa pesquisa. Assim os seis especialistas emitiram suas avaliações quanto aos indicadores:

- Viabilidade financeira;
- CAPEX;
- OPEX;
- PIB Agropecuário;
- PIB Industrial;
- Turismo.

As respostas quanto ao critério econômico estão apresentadas na

Tabela 22 - Avaliação critério econômico

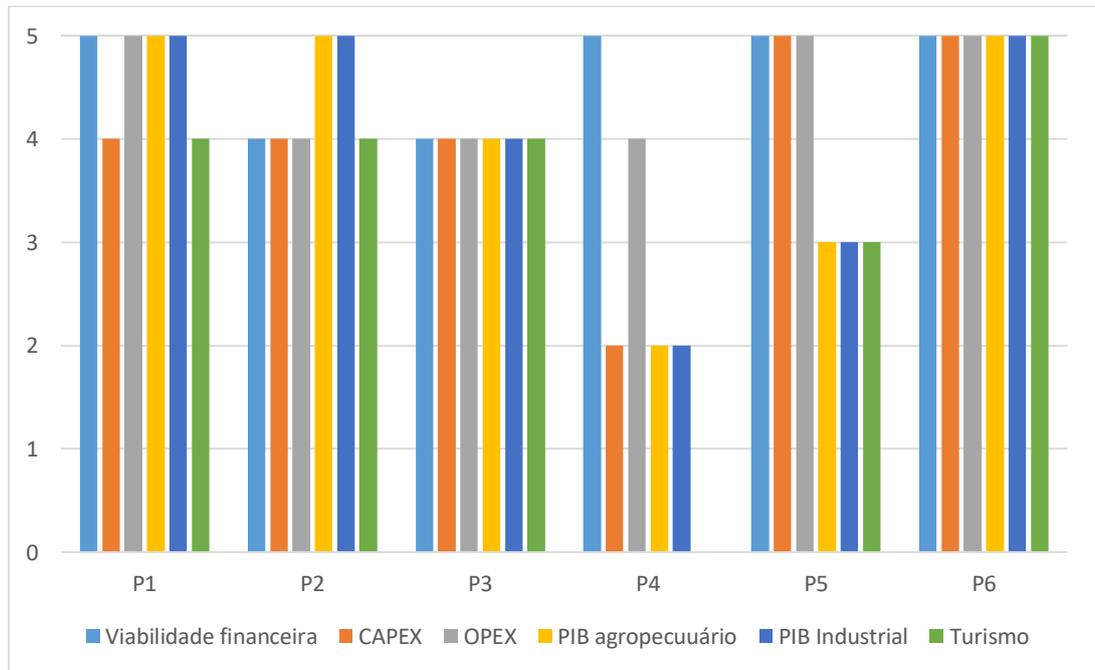
Especialista	Viabilidade financeira	CAPEX	OPEX	PIB agropecuário	PIB Industrial	Turismo
P1	5	4	5	5	5	4
P2	4	4	4	5	5	4
P3	4	4	4	4	4	4
P4	5	2	4	2	2	0
P5	5	5	5	3	3	3
P6	5	5	5	5	5	5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

A maioria dos especialistas deu notas altas (4 ou 5) para os indicadores “Viabilidade financeira”, “CAPEX”, “OPEX”, “PIB agropecuário” e “PIB Industrial”. Para o indicador “Turismo”, as notas variam de 0 a 5, indicando uma divergência significativa nas opiniões dos especialistas.

Essa análise mostra que há um consenso entre os especialistas sobre alguns indicadores, mas também há divergências significativas em outros. Isso sugere que pode ser útil realizar mais discussões ou pesquisas para entender melhor essas diferenças. O **Gráfico 7** apresenta a viabilidade do critério econômico do modelo proposto.

Gráfico 7 - Viabilidade do critério econômico



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Nota-se pelo resultado que os indicadores avaliados no critério econômico possuem viabilidade com a maioria das notas aferidas no conceito bom. Porém o especialista P4 avaliou três indicadores no conceito razoável, o PIB Industrial, PIB Agropecuário e o CAPEX. Por fim é possível identificar que o entrevistado P4 foi o respondente a que mais divergiu de opiniões com os demais. Mas, em geral as opiniões convergiram com relação aos indicadores e aos critérios de avaliação do modelo apresentado.

Ao terminar o preenchimento do formulário, foi oferecido um espaço para deixar comentários contribuindo com modelo de avaliação. Alguns especialistas se abstiveram de responder, porém alguns deixaram seus comentários que podem ser observados na **Tabela 23**:

Tabela 23 - Resultado: Comentários finais dos especialistas

Especialista	Respostas
P2	É fundamental considerar os padrões de emissão dos motores dos veículos que circulam nas rodovias. Isso envolve analisar a relação entre a velocidade média dos veículos e a eficiência dos motores em termos de emissão de poluentes. Veículos que operam próximos ao seu rendimento de eficiência ótimo tendem a emitir menos poluentes. Para realizar essa análise de forma adequada, é necessário coletar informações detalhadas sobre o tempo de deslocamento dos veículos e os padrões de emissão de seus motores. Isso inclui: 1. **Velocidade Média** : Avaliar a velocidade média dos veículos ao longo das rodovias. A eficiência dos motores varia com a velocidade; por exemplo, muitas vezes, os motores são mais eficientes em uma faixa específica de velocidade. 2. **Tempo de Deslocamento** : Analisar o tempo de deslocamento dos veículos. Essa informação ajuda a identificar períodos de maior e menor fluxo de tráfego, o que pode influenciar as emissões devido às variações na velocidade e ao tempo de operação dos motores em condições de baixa eficiência, como congestionamentos. 3. **Padrões de Emissão dos Motores** : Considerar os diferentes padrões de emissão dos motores, que podem variar conforme o tipo de veículo (por exemplo, veículos leves, pesados, a diesel, a gasolina). É importante entender como esses padrões mudam com a velocidade e a carga do motor. 4. **Eficiência Ótima dos Motores** : Determinar as condições em que os motores operam de forma mais eficiente, ou seja, com menores emissões por unidade de distância percorrida. Isso geralmente ocorre a uma velocidade específica e em condições de operação estáveis. Com esses dados, é possível avaliar se os veículos estão operando dentro das condições de eficiência ótima ou se há necessidade de implementar medidas para melhorar a eficiência e reduzir as emissões. Por exemplo, ajustes na gestão do tráfego, implementação de zonas de baixa emissão, ou incentivos para a utilização de veículos com tecnologias de menor emissão.
P3	Contribuições serão enviadas por e-mail.
P4	Acredito que minha experiência está muito mais relacionada aos modelos de PPPs e Concessões. Nessa visão há muito a necessidade de avaliação de custo x benefício. Assim, acaba que o benefício direto aos usuários apresenta mais relevância nos modelos. Por exemplo: Em uma concessão rodoviária o impacto de redução de despesas operacionais aos usuários devido às melhores condições de pavimento e geometria são muito relevantes financeiramente. Esse impacto está diretamente relacionado a outro benefício, como redução de uso de combustíveis, lubrificantes, pneus etc. Assim, também está diretamente relacionado à redução de emissões de GEE. Assim, nossa expertise maior está nos benefícios mais facilmente monetizáveis. Aspectos como avaliação de biodiversidade ou impactos indiretos são mais subjetivos e difíceis de mensurar em unidade monetária. Assim, considero que a minha avaliação tendencia mais para relevância desses aspectos.

Especialista	Respostas
P5	Sustentabilidade é um conceito extremamente amplo. Estratificar a avaliação em diferentes perspectivas (técnica, econômica, social e ambiental) atribuirá maior efetividade ao processo de análise dos dados e tomada de decisões a partir dos indicadores propostos.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Os pontos a serem destacados dos comentários dos especialistas que contribuíram nessa seção do formulário são que todos apontaram importância de avaliar impactos em diferentes aspectos. Fato que sinaliza a convergência do modelo apresentado levando em consideração uma análise multicritério.

O especialista P2 foca na avaliação dos impactos ambientais dos veículos que circulam nas rodovias. Embora as observações pareçam pertinentes, não estão diretamente associadas às características do projeto rodoviário, e mais às características dos veículos. Já o especialista P4 destacou a relevância da avaliação de custo-benefício em modelos de Parcerias Público-Privadas (PPPs) e Concessões, especialmente em relação aos benefícios diretos para os usuários e a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). O especialista P5, por sua vez, ressalta a importância de uma avaliação estratificada em diferentes perspectivas (técnica, econômica, social e ambiental) para uma análise efetiva dos dados e tomada de decisões.

Outro ponto a ser observado nos comentários é a necessidade de obtenção de dados e informações para a avaliação. Os especialistas P2 e P4 destacam a necessidade de coletar e analisar dados e informações detalhadas para realizar avaliações adequadas. O especialista P2 menciona a necessidade de coletar informações sobre a velocidade média dos veículos, o tempo de deslocamento, os padrões de emissão dos motores e a eficiência ótima dos motores. O especialista P4, por outro lado, menciona que sua experiência está mais relacionada aos modelos de PPPs e Concessões, onde a avaliação de custo-benefício é crucial. Aos modelos de PPPs e Concessões, onde a avaliação de custo-benefício é crucial.

Quanto às sugestões de melhorias levantadas, observa-se que essas poderiam ser realizadas em um modelo a ser aprimorado. Conforme o método de pesquisa previu, forma estabelecidas diretrizes iniciais que poderão ser aprimoradas,

Com base na apresentação dos resultados da avaliação dos critérios por parte dos especialistas, pode-se afirmar que o modelo apresentado é uma alternativa viável e que pode ser implantado primeiramente na instituição estudada, bem como em outras empresas que atuem no mercado de construção rodoviária.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As rodovias e seus diversos ativos são responsáveis pelo transporte de bens e de pessoas no Brasil (CNT, 2021). Isso traz impactos diretos em indicadores econômicos, sociais e ambientais, sejam esses positivos ou negativos.

Diante desse cenário, torna-se fundamental desenvolver projetos que minimizem os impactos negativos e priorizem os positivos, considerando uma análise dos três pilares da sustentabilidade. Além disso, priorizar projetos que permitem a manutenção das rodovias à longo prazo, considerando todo ciclo de vida do projeto.

A presente pesquisa teve como objetivo geral propor um conjunto de parâmetros para a avaliação da sustentabilidade no processo de gestão da malha rodoviária do DER/MG. Assim pode-se afirmar que esse foi alcançado, através do modelo criado e avaliado por especialistas. Da mesma forma os resultados sugerem que a hipótese levantada foi verificada, uma vez que o modelo foi baseado em princípios de gestão de ativos e modelos de avaliação de sustentabilidade difundidos na bibliografia.

Também foram definidos objetivos específicos na pesquisa:

- a) caracterizar a base de ativos que atenderá a demanda de sustentabilidade;
- b) avaliar os critérios definidos para manutenção da malha rodoviária de forma sustentável;
- c) propor possíveis parâmetros (modelo preliminar) para a criação de um sistema de avaliação de sustentabilidade de rodovias.

Esses também foram conquistados ao longo do trabalho. Os objetivos d e e foram atingidos ao longo do Referencial teórico e principalmente do estudo de caso que evidenciou a necessidade da construção dos critérios técnicos e identificou os ativos rodoviários mais importantes a serem avaliados. O objetivo f também foi alcançado, através da criação do modelo de avaliação.

Para tanto a metodologia Design Science Research, foi considerada a mais adequada para o desenvolvimento dessa pesquisa. A abordagem DSR é apropriada para pesquisas que envolvem a criação e avaliação de artefatos que resolvem problemas práticos (WEBER; 2023; p.1). A aplicação do DRS permitiu:

- a) conhecer e caracterizar o problema da pesquisa, através da Revisão da Literatura e do Estudo de Caso;
- b) o desenvolvimento do artefato ou modelo de avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários no DER-MG;

c) a aplicação da metodologia promoveu a integração entre teoria e prática, podendo o modelo proposto, baseado na Teoria após a validação de especialistas ser aplicado na prática;

d) contribuiu para o atual estado da arte de modelos de avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários.

Apesar disso, é conveniente deixar claro os desafios para aplicação do método. Primeiramente a dificuldade de montar um modelo que contemple um conceito amplo como é o da sustentabilidade. Para tanto, foi necessário estudar diversos modelos de muitos autores e consolidar critérios e indicadores que estavam presentes na maior parte deles. Além disso, desenvolver um modelo que fosse coerente e aplicável à instituição trabalhada no estudo de Caso.

Em função das limitações de tempo, que não permitiu a utilização efetiva do conjunto de critérios em empreendimentos específicos, a avaliação do modelo deu-se por meio de opiniões técnicas especializadas. De maneira geral, os especialistas validaram a pertinência e aplicação do modelo. A pesquisa contribui para várias frentes como:

1. Criação de políticas públicas sustentáveis com uma ferramenta de avaliação para Órgão Rodoviários no Brasil.
2. Engajamento e educação para desenvolvimento de novas pesquisas que aprofundem o tema, promovendo melhoria contínua ao longo do tempo.
3. Fornece uma ferramenta que permite avaliar ao mesmo tempo critérios ambientais, sociais, econômicos e técnicos para os ativos rodoviários.
4. Auxiliar Governos a obterem financiamentos externos na execução de Programas de Manutenção e investimento pelo caráter de sustentabilidade da ferramenta proposta.

Para aprimorar o modelo de avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários no DER-MG seria necessário maior qualidade e disponibilidade de dados, com o cruzamento de dados de segurança viária, com dados da qualidade dos ativos.

O Estado de Minas Gerais é muito heterogêneo, possuindo dados ambientais, sociais e econômicos distintos em cada região Mineira e a criação de uma estrutura que integre uma análise multicritério com todos esses dados requer intenção política e administrativa que permita a comunicação e a fluidez de informações entre Diversos órgãos Governamentais.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 55000: **Gestão de ativos**. Rio de Janeiro, 2014.

ABRAMAN. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. **PAS 55:2008**: Qualitymark. Rio de Janeiro, 2011.

ADB, Asian Development Bank. **Compendium of Best Practices in Road Asset Management**. Manila, Philippines, 2018, 49p.

AGUIAR, M. M. F, *et al.* Pavement Management System and modeling of sustainable road maintenance programs of DER Minas Gerais. **Journal of Engineering Research**, v. 3, n. 2, 2022.

ALBUQUERQUE, Fernando; NUÑES, Washington. Critérios para tomada de decisão em obras rodoviárias sustentáveis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 151-163, jul./set. 2010.

ALTOUNIAN, Cláudio Sarian. **Obras Públicas**: Licitação, Contratação, Fiscalização e Utilização. 4. Ed. Ver. Atual. E ampl. -Belo Horizonte: Fórum, 2014

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). 2012. **Pavement Management Guide**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by permission.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 55001**: Gestão de ativos - sistemas de gestão - requisitos. Rio de Janeiro, 2014, 22 p.

BARBOSA, Maria Teresa; ALMEIDA, Manuela. **Construção Sustentável**: Contributo das ferramentas de avaliação. Curitiba: CRV, 2016. 108 p.

BUENO, P. C.; VASSALLO, J. M.; CHEUNG, K. Sustainability Assessment of Transport Infrastructure Projects: A Review of Existing Tools and Methods. **Transport Reviews**, v. 35, n. 5, p. 622-649, 2015.

BARKO, Tamas; CREMERS, Martijn; RENEBOOG, Luc. Shareholder Engagement on Environmental, Social, and Governance Performance. **Journal of Business Ethics**. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10551-021-04850-z>.

BRASIL. **Avaliação das políticas públicas de transportes**: Segurança nas Rodovias Federais. Ministério dos Transportes Portos e Aviação, Brasília, 2018.

BRYCE, James; FLINTSCH, Geraldo; HALL, Ralph. A multi criteria decision analysis technique for including environmental impacts in sustainable infrastructure management business practices. **Transportation Research Part D** 32 (2014) 435–445.

CARSTENSEN, Anna Karin; BERNHARD, Jonte. Design science research – a powerful tool for improving methods in engineering education research.

CLARO, Priscila; PIMENTEL, Danny; AMÂNCIO, Robson. Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações. **Revista de Administração – RAUSP**, 2008, 43(4), 289-300.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2021**. Brasília: CNT, 2021.

CONTRERAS, C; GLORIA, T. An Envision Rating System Approach to Sustainable Infrastructure in Latin America and the Caribbean. **International Conference on Sustainable Infrastructure**; 2017.

CONSÓRCIO DYNATEST ENGEMAP. **Relatório técnico - Catálogo de soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis**. DNIT, Brasília, 2015. 45 p.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Conservação Rodoviária**. Brasília, DF: DNIT, 2005.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Gerência de Pavimentos**. Brasília, DF: DNIT, 2011.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais**. Brasília-DF. 2013.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1994). **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos – Procedimento**. DNER-PRO 008/94. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT 005/2003-PRO - **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento**

DNIT 007/2003-PRO - **Levantamento visual detalhado de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento**

DNIT 008/2003-PRO - **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento**

DHAKAL, Krishna; OH, Jun; **Integrating Sustainability into Highway Projects: Sustainability Indicators and Assessment Tool for Michigan Roads**. T & DI Congress 2011 © ASCE 2011

DELECRODIO, T. A. V., NEVES, G. R., & LUCATO, W. C. (2021). A manutenção de ativos no contexto da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica e sistemática. **Exacta**. DOI:

DOU, Youdan; et al. **Evaluation of Road Transportation Sustainability**. ICCREM. 2018.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., J. A. V. **Design Science Research: Método de Pesquisa para avanço da ciência e Tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ERDMAN; David. 2022. **Navigating the ESG nine-lane highway: A roadmap for public sector entities**. Disponível em:

<https://www.americancityandcounty.com/2022/11/01/navigating-the-esg-nine-lane-highway-a-roadmap-for-public-sector-entities/>. Acesso em 26 de julho de 2023.

FÁBIO; A.C. 2021. **O que é ESG e como avaliar as práticas de uma empresa na Bolsa de Valores**. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/onde-investir/o-que-e-esg-e-como-avaliar-as-praticas-de-uma-empresa-na-bolsa-de-valores/>. Acesso em 23 de junho de 2023.

FANTINATTI, Pedro; ZUFFO, Antônio; FERRÃO, André. **Indicadores de Sustentabilidade em engenharia: como desenvolver**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2015.

FHWA. **Advancing a Sustainable Highway System: Highlights of FHWA Sustainability Activities**. 2014. Disponível em: https://www.sustainablehighways.dot.gov/documents/FHWA_Sustainability_Activities_June_2014.pdf Acesso: junho, 2023.

FHWA (2015a). **Context Sensitive Solutions**. Disponível em: <http://contextsensitivesolutions.org/>. Acesso: junho, 2023.

FHWA. **INVEST Version 1.1 Compendium**. 2015. Disponível em: <https://www.sustainablehighways.org/files/869.pdf>. Acesso: junho, 2023.

FHWA. **INVEST Version 1.3**. 2023. Disponível em: <https://www.sustainablehighways.org/>. Provisions. Available at: <https://www.fhwa.dot.gov/map21/summaryinfo.cfm>

FHWA. **Fixing America's Surface Transportation Act or "FAST Act" Fact Sheets – Performance Management**. 2016. Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/fastact/factsheets/performancegmtfs.cfm>.

FHWA. **Who is Using INVEST**. 2017. Disponível em: <https://www.sustainablehighways.org/1399/who-is-using-invest.html> (Acessado: junho, 2023).

FHWA/FTA. **The Transportation Planning Process Briefing Book**. 2015. Disponível em: http://www.fhwa.dot.gov/planning/publications/briefing_book/fhwahep15048.pdf (Acessado: Junho, 2023).

GIAMBERARDINO, Guilherme et al. **Modelo Conceitual de critérios ambientais para contratação pública de obras rodoviárias federais**. 2022. 14 p. Fundação Getúlio Vargas – FGV

Greenroads International. **Greenroads RATING SYSTEM**; Greenroads International: Disponível em: [greenroads.org/publications](https://www.greenroads.org/publications). Acesso em: Julho/2023.

Greenroads International. **Greenroads RATING SYSTEMV2**; Greenroads International: Redmond, WA, USA, 2017.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE (GRI). **Sustainability Disclosure Database**, 2022. Disponível em: <http://database.globalreporting.org>. Acesso em 15 de junho de 2022.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE (GRI), 2006. Sustainability Reporting Guidelines on Economic, **Environmental, and social performance**, Version 3.0. GRI, Boston.

HAAS, R.; HUDSON, W.R.; ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management**. Krieger Publishing Co. Malamar, Flórida, 1994.

HASHEMI, Hassan; GHODDOUSI, Parviz; NASIRZADEH, Farnad. Indicator Selection by a Novel Triangular Intuitionistic Fuzzy Decision-Making Approach in Highway Construction Projects. 2020. *Sustainability* 2020, 13, 1477. <https://dx.doi.org/10.3390/su13031477>

HEVNER, Alan R. *et al.* Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HENKE, Illaria *et al.*, 2019. Decision-Making in the Transport Sector: A sustainable Evaluation Method for Road Infrastructure. *Sustainability* 2020, 12(3), 764, 2019.

HIEP, Dinh Van. HDM-4 Application for Management and Maintenance of Road Networks in Vietnam. Hanoi: **Hanoi University of Civil Engineering**, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2020. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção IPCA/IBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

ICA 2015. International Copper Association - Gestão de Ativos: Guia para aplicação da Norma ABNT NBR ISO 55001

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Nota Metodológica Setor de Energia**. Coordenação Técnica: André Luís Ferreira, David Shiling Tsai, Felipe Barcellos e Silva, Ingrid Graces, Marcelo dos Santos Cremer. Revisão: Greenpeace. Fevereiro de 2015. Atualização em dezembro de 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/02/SEEG11-NM-ENERGIA.pdf>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2024.

ISO. International Organization for Standardization. **The new ISO 21931-2:2019** Sustainability in buildings and civil engineering works — Framework for methods of assessment of the environmental, social and economic performance of construction works as a basis for sustainability assessment — Part 2: Civil engineering works.

ISO. International Organization for Standardization. **The new ISO 55002:2018** Guidelines for the application of ISO 55001, 2018. Disponível em: <https://committee.iso.org/files/live/sites/tc251/files/guidance/Leaflet%2055002%20A4%20Nov%202018%20EN%20LR.pdf>. Acesso em 11 de fevereiro de 2023.

ISO/TS **55010, 2019a**. Disponível em: <https://committee.iso.org/sites/tc251/home/projects/published/isots-55010.html>. Acesso em 11 de fevereiro de 2023.

ISO/TS **55010: Asset management** - Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management. Geneva, 2019.

ITAD, Shiboub; ASSAF, Gabriel. **System Dynamic Model for Sustainable Road Rehabilitation Integrating Technical, Economic, and Environmental Considerations**; DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0001060. © 2022

KUMARES C. SINHA. American Society of Civil Engineers. Transportation infrastructure asset management in the new millennium: continuing issues, and emerging challenges and opportunities, *Transportmetrica A: Transport Science*, 13:7, 591-606, DOI: 10.1080/23249935.2017.1308977

LACERDA, Daniel Pacheco et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.741-761, 26 nov. 2013.

LEVY, David; BROWN, Halina. The Contested Politics of Corporate Governance: The Case of the Global Reporting Initiative. **Business & Society** Volume 49 Number 1 March 2010 88-115 © 2010 Sage Publications 10.1177/0007650309345420 <http://bas.sagepub.com> hosted at <http://online.sagepub.com>

LIEDI, B. B. et al. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros** /– Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2ª edição, 2022.

LITMAN, T. **Transportation Cost and Benefit Analysis II** – Evaluating Transportation Benefits, 2015.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 1, p. 251–266, 1995.

MARCONDES, Carlos; SILVA, Maroni J. Certificação para ganhos de capital. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 85-98, jan./abr. 2011. Disponível em: <http://revista.abraman.org.br/books/pcftr/>. Acesso em: 18 out. 2022.

MINNAAR, J.R., BASSON, W., VLOK, P.J. Quantitative methods required for implementing pas 55 or the ISO 55000 series for asset management. **South African Journal of Industrial Engineering**, 24 (3), 2013, p. 98-111.

MINAS GERAIS. **Comitê Pro-Brumadinho**. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/pro-brumadinho>. Acesso em 13 de novembro de 2023.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 47839 de 16 de janeiro de 2020**, Belo Horizonte, 19 de jan. 2020, p.1

MONTGOMERY, Robert; SCHIRMER, Howard; HIRSCH, Art. **A Sustainability Rating System for Roads in Developing Countries**. ICSI 2014: Creating Infrastructure for a Sustainable World. ASCE 2014

MUENCH, Stephen et al. Evaluating Project-Based Roadway Sustainability Rating System for Public Agency Use. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2285, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2012, pp. 8–18. DOI: 10.3141/2285-02

MUENCH, Stephen; ANDERSON, Jerale; BEVAN, Tim. Greenroads: A Sustainability Rating System for Roadways. Chinese Society of Pavement Engineering. **International Journal of Pavement Research and Technology**, Vol.3 No.5. setembro 2010. ISSN 1997-1400 Int. J. Pavement Res. Technol. 3(5):270-279

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. Publicação. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável – Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>>. Acesso em 19 de outubro de 2022: ONU, 2015.

PAPAJOHAN, Dean; et al. MARS: Metaframework for Assessing Ratings of Sustainability for Buildings and Infrastructure. 2016. **American Society of Engineers**. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000478.

RAMANI, Tara; ZITSMAN, Josias; PRYN, Marie (2018). Towards Sustainable Transport Planning in the United States. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, 18(3), 276-294. <http://tlo.tbm.tudelft.nl/ejtir>.

ROBINSON, Richard; THAGESSEN, Bent. **Road Engineering for development**. 2. ed. London: Taylor & Francis e-Library, 2004. 514 p.

ROMME, A. Georges L. **Making a Difference: Organization as Design**. Organization Science, [s.l.], v. 14, n. 5, p.558-573, out. 2003.

ROOSHDI, raja, et al. An evaluation of sustainable design and construction criteria for green highway. **Procedia Environmental Sciences** 20 (2014) 180 – 186.

ROWLEY, Hazel et al. Aggregating sustainability indicators: Beyond the weighted sum. **Journal of Environmental Management** 111 (2012)

SANTOS, Grazielli Faria Zimmer; KOERICH, Grazielle Ventura; ALPERSTEDT, Graziela Dias. A contribuição do design research para a resolução de problemas complexos na administração pública. **Revista de Administração Pública**, vol. 52, núm. 5, 2018, setembro-outubro, pp. 956-970. Fundação Getulio Vargas

SHEN, Lyin; WU, Yuzhe; ZHANG, Xiaoling. Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects. **Journal Of Construction Engineering And Management** © ASCE / JUNE 2011

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. 3. ed. USA: MIT Press, 1996.

SUMABRATA, R. Jachrizal; ISKANDAR, Dadang; ABIYOGA, Radhitya. Evaluation os the sustainability Indicator for Road Infrastructure in Indonesia. **Civil Engineering and Architecture**. 2022. DOI: 10.13189/cea.2022.100628

SZPOTOWICZ, Réka; TÓTH, Csaba. Revision of Sustainable Road Rating Systems: Selection of the Best Suited System for Hungarian Road Construction Using TOPSIS Method. **Sustainability** 2020, 12, 8884; doi:10.3390/su12218884

TORRES-MACHI et al. Current models and practices of economic and environmental evaluation for sustainable network-level pavement management. **Revista de la Construcción**, vol. 13, núm. 2, agosto, 2014, pp. 49-56, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

TSAI, Calista; CHANG, Andrew. Framework for developing construction sustainability items: the example of highway design. **Journal of Cleaner Production** 20 (2012) 127e136. doi:10.1016/j.jclepro.2011.08.009

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **ESG & Sustainability Reporting Guidance for Mongolian Companies**. 2022. Disponível em: (<https://www.undp.org/mongolia/publications/esg-and-sustainability-reporting-guidance-mongolian-companies>). Acesso em junho 2023.

VEGA, Gabriela; HERRERA, Rodrigo; GÓMEZ, Miguel. Indicadores de sustentabilidad para la toma de decisiones en proyectos de caminos básicos. **Universidad Nacional de Chimborazo NOVASINERGIA** 2019, Vol. 2, No. 2, junio-noviembre (38-48) ISSN: 2631-2654 <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.04.04> Artículo de Investigación

Wisetjindawat, W., Oiwa, H. and Fujita, M. Rare mode choice in freight transport: Modal shift from road to rail,' **Journal of the eastern asia society for transportation studies**, Vol. 11, pp. 774–787, 2015.

WOLFF, Mariana.; ABREU, Chrystiane.; CALDAS, Marco. Evaluation of road transport: a literature review. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, Vol. 16, No. 1, pp. 96-103. 2019. Disponível em: <https://bjopm.emnuvens.com.br/bjopm/article/view/729>. Acessado em: maio 2023.

APÊNDICE A - REFERÊNCIAS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Base	Autor	Título	Título da Revista	Ano
ASCE	Salvatore Cafiso	Multi Criteria Analysis Method for Pavement Maintenance Management	<u>Word Count: 7,202</u>	2001
ASCE	Roger Toleman and Geoff Rose	Partnerships for Progress Toward Sustainable Road Systems	<u>Transportation Research Record</u> Volume 2067, Issue 1: Societal and Economic Factors	2008
ASCE	Haas et al.	Measurable performance indicators for roads: Canadian and international practice	http://www.nrc-cnrc.gc.ca/irc	2009
ASCE	Dinh Van HIEP, Koji TSUNO KAWA	Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies,	<u>Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.7, 2009</u>	2009
ASCE	Krishna P. Dhakal; and Jun S. Oh	Integrating Sustainability into Highway Projects: Sustainability Indicators and Assessment Tool for Michigan Roads	<u>First Congress of Transportation and Development Institute (TDI)</u>	2011
ASCE	Liyin Shen, M. ASCE; Yuzhe Wu; and Xiaoling Zhang, Ph.D.	Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects	<u>Journal of Construction Engineering and Management</u> Volume 137, Issue 6	2011
SCOPUS	Corriere Ferdinan	Sustainability in road design a methodological proposal for drafting of guideline	<u>Elsevier - Procedia - Social and Behavioral Sciences</u>	2012

Base	Autor	Título	Título da Revista	Ano
	do, Rizzo Angela			
SCOPUS	Stephen T. Muenche t al	Evaluating Project-Based Roadway Sustainability Rating System for Public Agency Use	<u>Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,</u>	2012
SCOPUS	K. Ghareh aghi; and V. Raso	Infrastructure Sustainability Assessment: A Systematic Approach	<u>International Conference on Sustainable Design, Engineering, and Construction 2012</u>	2012
SCOPUS	Karthik Dasari; Saman Salari; David J. Osborn; Mostafa A. Elseifi	Effects of Pavement Conditions on Effective Structural Number of In- Service Pavements	<u>Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements © ASCE 2013</u>	2013
SCOPUS	Ganesh Ram S et al..	Pavement Life-Cycle Sustainability Assessment and Interpretation Using a Novel Qualitative Decision Procedure	<u>Journal of Computing in Civil Engineering</u> Volume <u>27, Issue 5</u>	2013
SCOPUS	Raja Rafidah et al.	An evaluation of sustainable design and construction criteria for green highway	Elsevier - www.sciencedirect.com	2014
SCOPUS	H Naghawi, W I A Idewu	Analysing delay and queue length using microscopic simulation for the unconventional intersection design Superstreet	Journal of the South African Institution of Civil Engineering	2014
SCOPUS	Machi, Cristina T. et al.	Current models and practices of economic and environmental evaluation for sustainable network-level pavement management	Revista de la Construcción Journal of Construction	2014

Base	Autor	Título	Título da Revista	Ano
SCOPUS	Cristiane Q. Surbeckl and Helene Hilger	Social Sustainability and Important Indicators in Infrastructure	<u>World Environmental and Water Resources Congress 2014: Water without Borders © ASCE 2014</u>	2014
SCOPUS	Robert Montgo et al.	A Sustainability Rating System for Roads in Developing Countries	<u>ICSI 2014: Creating Infrastructure for a Sustainable World© ASCE 2014</u>	2014
SCOPUS	Adriana X. Sanchez et al.	Evaluation framework for green procurement in road construction	Smart and Sustainable Built Environment, v3	2014
SCOPUS	Lubomír Pepucha et al.	IMPLEMENTATION OF ASSET MANAGEMENT IN ROAD ADMINISTRATION OF SLOVAK REPUBLIC	Acta Logistica - International Scientific Journal	2014
SCOPUS	Priscilla Miguel de Souza	Porposta de implementação do SGP para a cidade do RJ	Rio de Janeiro	2015
SCOPUS	Peyman Babasha et al.	Sustainable Development Factors in Pavement Lifecycle: Highway/Airport Review	www.mdpi.com/journal/sustainability	2016
SCOPUS	Rocio Fernandez Flores, Carlos Martin - Portugues Montoliu	Life Cycle Engineering for Roads (LCE4ROADS), The New Sustainability Certification System for Roads from the LCE4ROADS FP7 Project	<u>Elsevier - Procedia - Social and Behavioral Sciences</u>	2016

Base	Autor	Título	Título da Revista	Ano
SCOPUS	Dean Papajohn et al	MARS: Metaframework for Assessing Ratings of Sustainability for Buildings and Infrastructure	<u>J. Manage. Eng.</u>	2016
SCOPUS	Antônio Marcio Tavares Thom et al.	Journal of Environmental Management	<u>elsevier Journal of Environmental Management</u>	2016
SCOPUS	C.B.H. Nel# & J.L. Jooste1	A TECHNOLOGICALLY DRIVEN ASSET MANAGEMENT APPROACH TO MANAGING PHYSICAL ASSETS - A LITERATURE REVIEW AND RESEARCH AGENDA FOR 'SMART' ASSET MANAGEMENT	South African Journal of Industrial Engineering	2016
SCOPUS	C. Contreras1 and T. Gloria,	An Envision Rating System Approach to Sustainable Infrastructure in Latin America and the Caribbean	<u>International Conference on Sustainable Infrastructure 2017</u>	2017
SCOPUS	Torres-Machi, Cristina; Pellicer, Eugenio	Towards a sustainable optimization of pavement maintenance programs under budgetary restrictions	<u>Journal of Cleaner Production</u>	2017

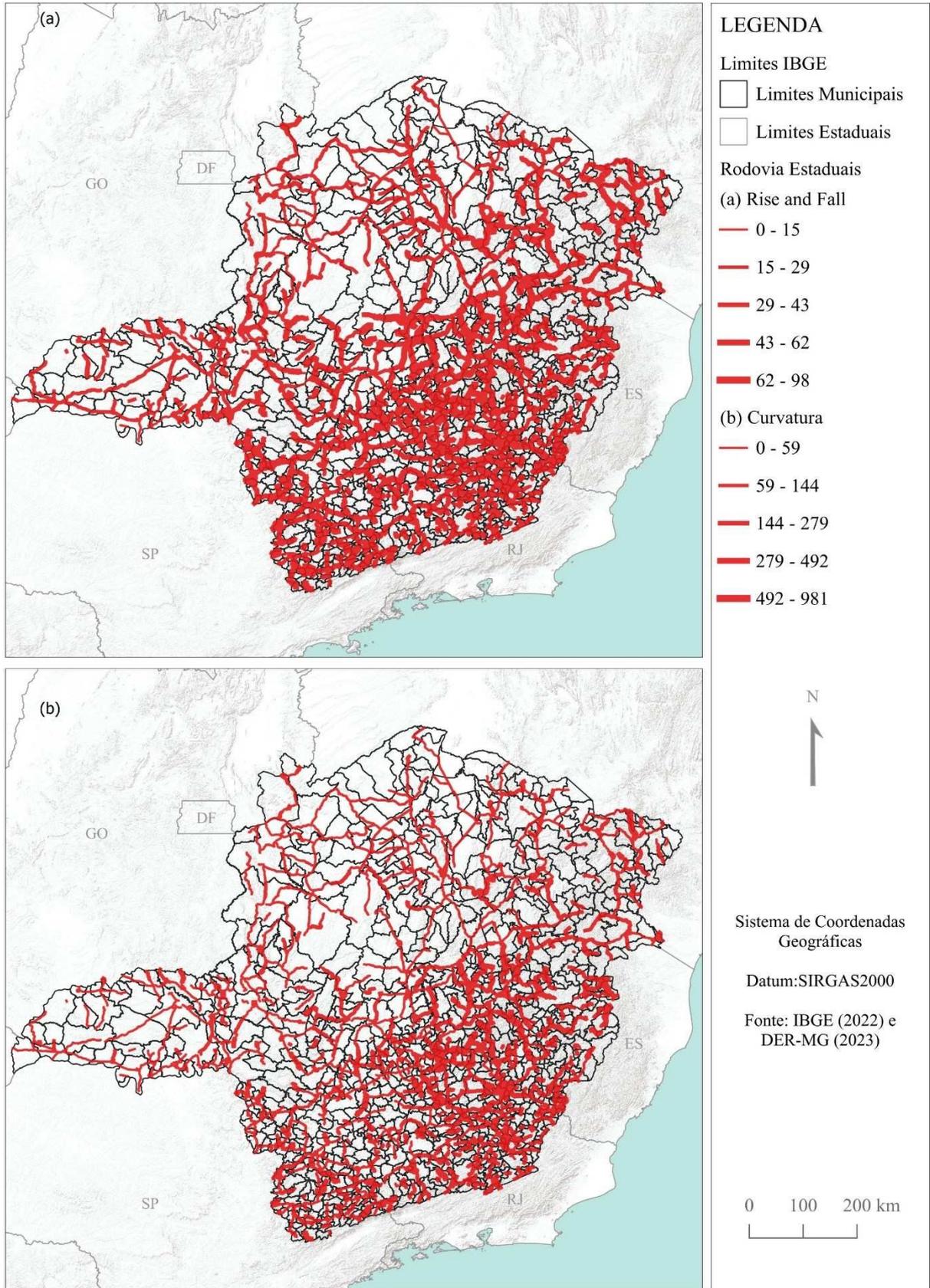
Base	Autor	Título	Título da Revista	Ano
SCOPUS	Mariana Gonçalves de Carvalho Wolff and Marco Antonio Farah Caldas	A Model for the Evaluation of Brazilian Road Transport: A Sustainable Perspective	<u>Hindawi</u> <u>Journal of Advanced Transportation</u>	2018
SCOPUS	Yan Liu et al.	Sustainable Infrastructure Design Framework through Integration of Rating Systems and Building Information Modeling	www.mdpi.com/journal/sustainability	2018
SCOPUS	Yudan Dou et al	Evaluation of Road Transportation Sustainability	<u>International Conference on Construction and Real Estate Management 2018</u>	2018
SCOPUS	Salvatore Cafiso ¹ , et al	A new perspective in the road asset management with the use of advanced monitoring system & BIM	MATEC Web of Conferences 231, 01007 (2018)	2018
SCOPUS	Gabriela Paredes-Vega, Rodrigo F. Herrera, Miguel A. Gómez	Indicadores de sustentabilidad para la toma de decisiones en proyectos de caminos básicos	Universidad Nacional de Chimborazo NOVASINERGIA 2019,	2019
Web of Science	Sharinatol et al	An Inventory of Measure for Urban Road Sustainability	<u>Jurnal Kejuruteraan</u>	2019

Base	Autor	Título	Título da Revista	Ano
Web of Science	Mariana Wolffcar et al.	EVALUATION OF ROAD TRANSPORT: A LITERATURE REVIEW	<u>Brazilian Journal of Operations & Production Management</u>	2019
Web of Science	Cristina Torres-Machi et al.	Sustainability Evaluation of Pavement Technologies through Multicriteria Decision Techniques	<u>J. Infrastruct. Syst.</u>	2019
Web of Science	Peter E.D. Lovea, *, Jane Matthew sb	The ‘how’ of benefits management for digital technology: From engineering to asset management	Elsevier	2019
Web of Science	Ilaria Henke et al	Decision-Making in the Transport Sector: A Sustainable Evaluation Method for Road Infrastructure	www.mdpi.com/journal/sustainability	2020
Web of Science	Ir Shamsudin Sabril et al.	Towards Better Contractor Performance to Achieve Sustainable Road Project Development	<u>International Conference of Sustainable Earth Resources Engineering 2020</u>	2020
Web of Science	Hassan Hashemi 1, Parviz Ghoddou si 1, * and Farnad	Sustainability Indicator Selection by a Novel Triangular Intuitionistic Fuzzy Decision-Making Approach in Highway Construction Projects	www.mdpi.com/journal/sustainability	2020

Base	Autor	Título	Título da Revista	Ano
	Nasirzadeh			
Web of Science	Jakkawarun Somboonpisan1 and Charinee Limsawasd2	Environmental Weight for Bid Evaluation to Promote Sustainability in Highway Construction Projects	J. Constr. Eng. Management	2021
Web of Science	Kartik Patel and Rajeev Ruparathna	Life cycle sustainability assessment of road infrastructure: a building information modeling-(BIM) based approach	<u>International Journal of Construction Management</u>	2021
Web of Science	Husnain Arshad et al	Evaluation of Road Infrastructure Projects: A Life Cycle Sustainability-Based Decision-Making Approach	www.mdpi.com/journal/sustainability	2021
Web of Science	Sundeepta, Inti a, Siddagan gaiah Anjan Kumar	Sustainable road design through multi-objective optimization: A case study in Northeast India	<u>elsevier Transportation research</u>	2021
Web of Science	Gaetano Bosurgi, et al.	A web platform for the management of road survey and maintenance information: A preliminary step towards smart road management systems	Struct Control Health Monit.	2021
Web of Science	Ahmed S. Mohamed a, b, Feipeng Xiao a, *,	Project Level Management Decisions in Construction and Rehabilitation of Flexible Pavements	Elsevier - Automation in Construction 133 (2022)	2022

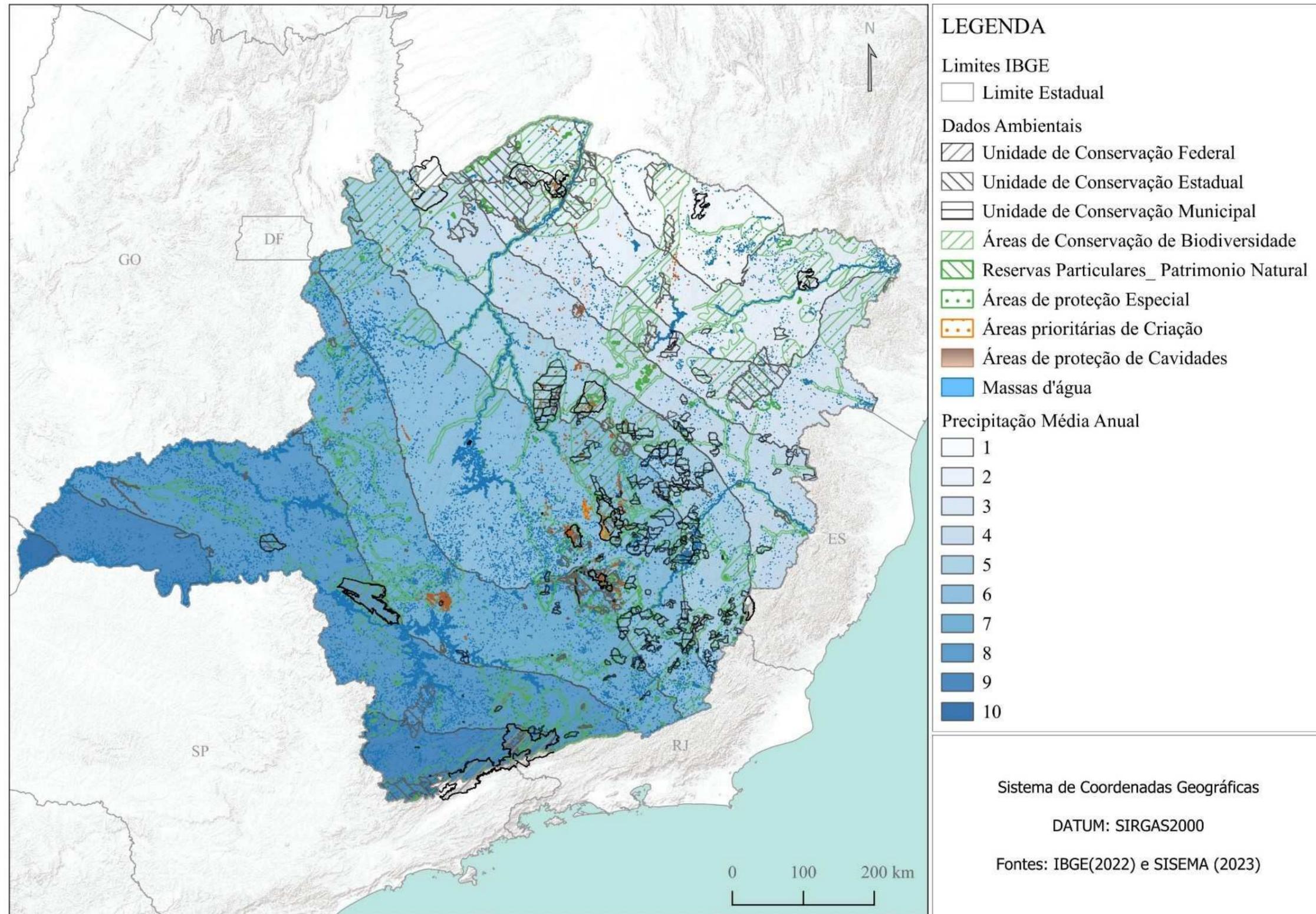
Base	Autor	Título	Título da Revista	Ano
	Chamod Hettiarachchi a, *			
Web of Science	Itad Shiboub1 and Gabriel J. Assaf2	System Dynamic Model for Sustainable Road Rehabilitation Integrating Technical, Economic, and Environmental Considerations	<u>J. Manage. Eng., 2022</u>	2022
Web of Science	Itad Shiboub1 and Gabriel J. Assaf3	Life-cycle economic evaluation of alternative road construction methods on low-volume roads	<u>J. Manage. Eng., 2023</u>	2022
Web of Science	Junda Li et al	A multi-objective differential evolutionary algorithm for optimal sustainable pavement maintenance plan at the network level	<u>elsevier Journal of cleaner Production 381</u>	2022
Web of Science	Toshiyuki Yokota and Homer Pagkalina	Application of Geographic Information Systems in Impact Evaluation and Geospatial Portfolio Analysis of Transport Projects	<u>Transportation research record v 2676</u>	2022
Web of Science	Itad Shiboub and Gabriel J. Assaf	System Dynamic Model for Sustainable Road Rehabilitation Integrating Technical, Economic, and Environmental Considerations	<u>J. Manage. Eng., 2022</u>	2022

APÊNDICE B – MAPA RODOVIAS MINEIRAS



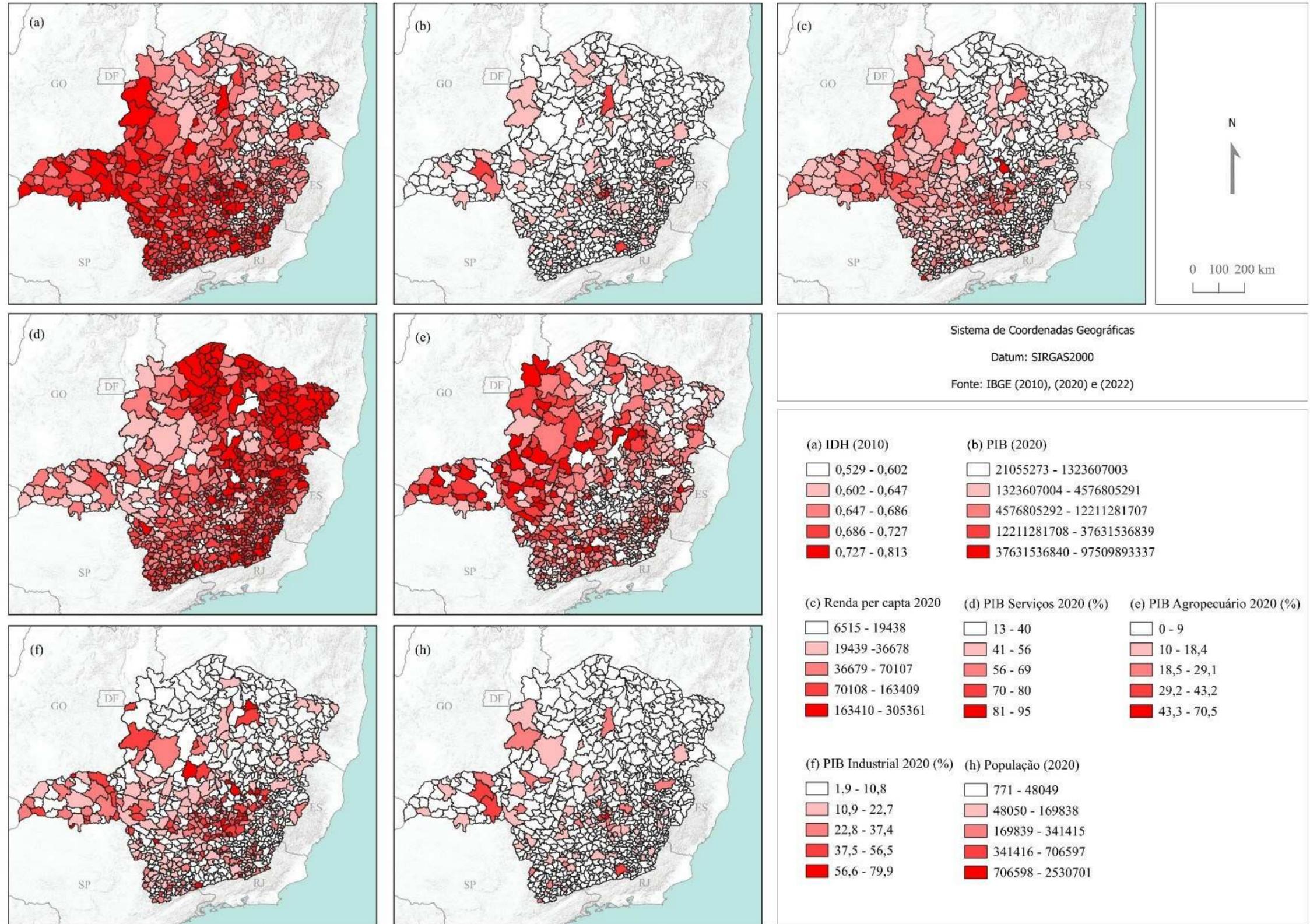
Fonte: Autor

APÊNDICE C – MAPA CRITÉRIOS AMBIENTAIS



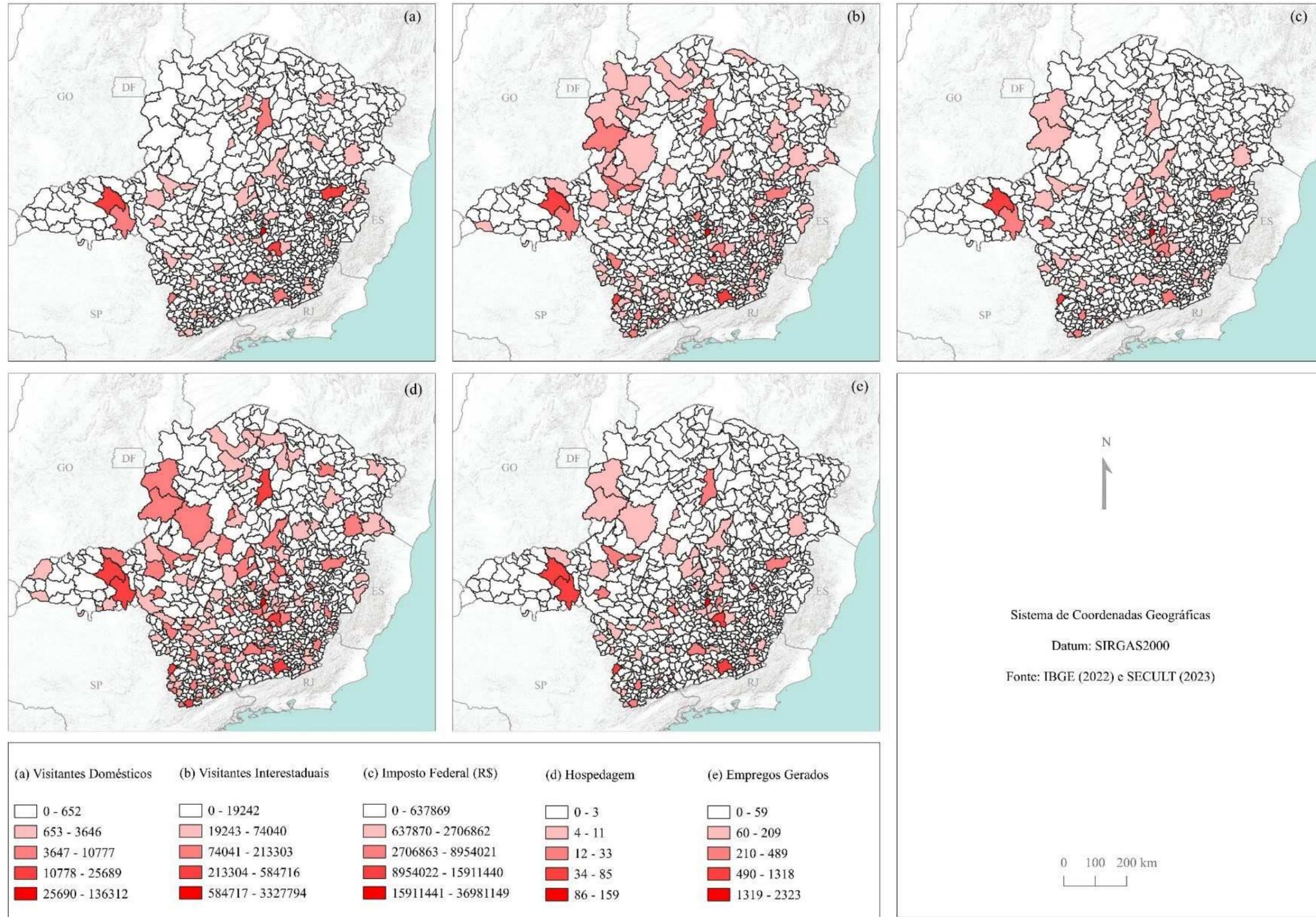
Fonte: Autor

APÊNDICE D – MAPA CRITÉRIOS SÓCIOECONÔMICOS



Fonte: Autor

APÊNDICE E – MAPA TURISMO EM MINAS GERAIS



Fonte: Autor

APÊNDICE F – CARTILHA PARA AVALIADORES

UFMG **MESTRADO**
EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

AVALIAÇÃO DA PROPOSTA

Consulta a especialistas

Autor: Mathias Marques Fernandes Aguiar
Orientador: Professor Doutor Paulo Roberto Pereira Auler

Explicações do modelo

2

Foram consideradas diretrizes com diversos critérios a serem avaliados:

- 
1. Diretriz técnica
 2. Diretriz ambiental
 3. Diretriz social
 4. Diretriz econômica



No momento estamos avaliando a pertinência/aplicabilidade dos critérios.



DIRETRIZ	CRITÉRIO	INDICADOR	PESO	AValiaÇÃO
I. Critérios Técnicos	1.1. Pavimentação - Condição funcional	1.1.1. IRI	0,33	Fornecido
		1.1.2. IES	0,33	Fornecido
		1.1.3. ATR	0,33	Fornecido
		1.1.4. FWD	0,33	Fornecido
	1.2. Pavimentação - Condição estrutural	1.2.1. VMD	0,33	Fornecido
		1.2.4. Subidas e Descidas	0,33	Fornecido
		1.2.5. Curvaturas	0,33	Fornecido
	1.3. Sinalização	1.3.1. Sinalização vertical	0,25	Fornecido
		1.3.2. Sinalização horizontal	0,25	Fornecido

Os pesos foram definidos considerando uma escala de 1 a 5, sendo 5 ótimo e 1 péssimo.

Os indicadores de pavimentação (condição funcional e estrutural) foram considerados essenciais para garantir a funcionalidade e a durabilidade da rodovia. O peso foi distribuído igualmente entre os indicadores dentro dessas subcategorias, pois todos contribuem de forma significativa para a qualidade da pavimentação, afetando diretamente o conforto do usuário e o ciclo de vida dos pavimentos.

A pavimentação é um aspecto crucial da infraestrutura rodoviária, garantindo a segurança e a comodidade dos usuários. A condição funcional e estrutural são igualmente importantes, mas dada a complexidade da infraestrutura, a condição estrutural recebeu um peso ligeiramente maior. A sinalização, embora vital para a segurança, recebeu um peso menor em comparação com a pavimentação, pois é vista como uma camada adicional de segurança e orientação para os usuários da rodovia.

A partir disso, tem-se os pesos da planilha acima.



DIRETIZ	CRITÉRIO	INDICADOR	PESO	AVALIACAO
1. Impacto no Meio Ambiente		2.1.1. Biodiversidade e Conservação de Habitats	0,5	Fornalão
		2.1.2. Impacto na Qualidade do Solo	0,5	Fornalão
		2.1.3. Uso da Terra e Alterações de Uso do Solo	0,5	Fornalão
		2.1.4. Eficiência na Utilização de Materiais	0,5	Fornalão
2. Critérios Ambientais	1.2. Emissões de Carbono	2.2.1. Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)	0,5	Fornalão
		2.2.2. Impacto na Flora e Fauna	0,5	Fornalão
		2.2.3. Consumo de Água Total	0,5	Fornalão
1.3 Gestão de Resíduos		2.3.1. Gestão de Resíduos	0,25	Fornalão
		2.3.2. Eficiência na Utilização de Materiais	0,25	Fornalão

Os pesos foram definidos considerando uma escala de 1 a 5, sendo 5 ótimo e 1 péssimo.

Os impactos ambientais são cada vez mais importantes em projetos de infraestrutura, portanto, atribui um peso significativo a esse indicador. Dentro dela, distribui pesos igualmente entre os diferentes indicadores, reconhecendo a importância da biodiversidade, da qualidade do solo, do uso da terra, das emissões de carbono e da gestão de resíduos. Os pesos dentro dessa categoria foram distribuídos igualmente entre os subgrupos para garantir uma abordagem equilibrada para a mitigação de impactos ambientais.

A partir disso, tem-se os pesos da planilha acima.



DIRETRIZ	CRITÉRIO	INDICADOR	PESO	AVALIÇÃO
3. Critérios Sociais	3.1. Saúde e Segurança	3.1.1. Ruído e vibração	4,5	Fornalite
		3.1.2. Saúde ocupacional	4,5	Fornalite
	3.1. Impacto na Comunidade	3.2.1. População	0,25	Fornalite
		3.2.2. IDH	0,25	Fornalite
		3.2.3. PIB per capita	0,25	Fornalite
		3.2.4. Redução de acidentes rodoviários	0,25	Fornalite

Os pesos foram definidos considerando uma escala de 1 a 5, sendo 5 ótimo e 1 péssimo.

A saúde e segurança foram consideradas fundamentais para proteger os trabalhadores e as comunidades afetadas pelo projeto, justificando o peso relativamente alto atribuído a esse indicador. Dentro dela, ruído e vibração foram considerados mais impactantes do que saúde ocupacional, refletindo a preocupação com a saúde pública e o bem-estar das comunidades.

O impacto na comunidade também recebeu um peso considerável, com ênfase em indicadores que refletem o desenvolvimento humano e econômico, como o IDH e o PIB per capita. A redução de acidentes rodoviários, embora importante, recebeu um peso menor devido à sua relação indireta com o projeto em si. A partir disso, tem-se os pesos da planilha acima.



DIUTRIE	CRITÉRIO	INDICADOR	PESO	AValiação
4. Critérios Econômicos	4.1. Análise econômica do empreendimento	4.1.1. Viabilidade financeira	0,75	Fornulano
		4.1.2. Custos Capex	0,1	Fornulano
		4.1.3. Custos Opex	0,1	Fornulano
	4.2. Análise econômica global do empreendimento	4.2.1. PIB agropecuario	0,25	Fornulano
		4.2.2. PIB Industrial	0,25	Fornulano
		4.2.3.1a. de acesso turístico	0,25	Fornulano

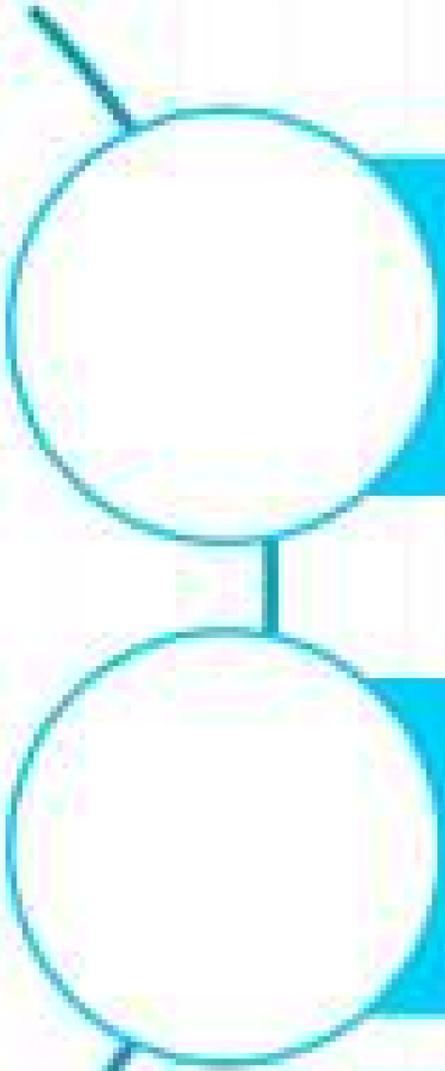
Os pesos foram definidos considerando uma escala de 1 a 5, sendo 5 ótimo e 1 péssimo.

Os critérios econômicos foram considerados vitais para avaliar a viabilidade e o retorno do investimento no projeto. A viabilidade financeira recebeu o maior peso, seguida pelos custos de capital e operacionais. Os indicadores econômicos globais foram considerados menos críticos para o sucesso do projeto, daí o peso relativamente menor atribuído a eles.

A partir disso, tem-se os pesos da planilha acima.



Diretrizes para Respostas ao formulário



Responda as perguntas com sinceridade e baseado na sua experiência e conhecimento na área

Avalie a pertinência/aplicabilidade dos critérios e considere a escala de notas para avaliar cada critério de análise. Sendo 0 – Critério não aplicável, 1- baixo, 2,- ruim, 3 - razoável, 4 - bom e 5 - ótimo.

Índice final de Sustentabilidade

ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE (S):-

Para o cálculo do índice final de sustentabilidade, foi pensado o processo de avaliação subjetiva de cada indicador por um profissional de Engenharia Civil experiente. Para cada indicador, o avaliador escolhe uma nota de 1 a 5. Sendo essa escala a mesma utilizada no Catálogo de Soluções descrito no Estudo de Caso:

1 – Pessimista; 2 – Ruim; 3 – Regular; 4 – Boa; 5 – Ótimo.

Após a notificação, é calculado o índice de sustentabilidade através da seguinte fórmula:

$$S = 0,076923 \times \sum P_i \times N_i$$

S = Índice de sustentabilidade

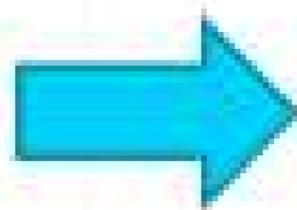
P_i = Peso do indicador

N_i = Nota de avaliação de cada indicador.



FORMULÁRIO

Utilize o link abaixo para responder o formulário



https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=MXPIUnjyoEyW_ZTFqx-FJLsvbEgwjvBHpMvoKIOwLIURVE0VFhGVIFWUE01RUplTkc3UEI2U0g0RS4u



APÊNDICE G - FORMULÁRIO

Formulário Avaliação sustentabilidade para ativos rodoviários

Este é o nosso modelo.
Agora precisamos que você responda algumas perguntas sobre ele, mas antes disso, precisamos conhecê-lo um pouco mais.
Responda às perguntas com sinceridade e baseado em sua experiência e conhecimento na área. A cartilha encaminhada ajuda a compreender melhor o modelo proposto, mas, se necessário, podemos fornecer detalhes adicionais para facilitar suas respostas.

* Obrigatória

Informações pessoais

1. Qual seu nome? * 

Insira sua resposta

2. Você já trabalhou com sustentabilidade? * 

Insira sua resposta

3. Você já trabalhou ou trabalha com infraestrutura rodoviária? * 

Insira sua resposta

Avançar

 Microsoft 365



* Obrigatória

Critérios técnicos



4. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério técnico que estabeleça a condição funcional do pavimento, como o índice de estado de superfície (IES), uma medida que quantifica a qualidade da superfície do pavimento, em termos de quantificação dos principais defeitos visíveis na via? *

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

5. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério técnico que estabeleça a condição funcional do pavimento, como o afundamento de trilha de roda (ATR), uma medida que avalia como a estrada está se desgastando ao longo do tempo devido ao tráfego de veículos? *

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

6. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério técnico que estabeleça a condição estrutural do pavimento, como a deflexão do mesmo ou (FWD), uma medida que avalia o quanto a estrada cede ou deforma sob a pressão do tráfego. *

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

7. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério técnico que quantifique o volume médio diário de veículos que passam pela rodovia? * 

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

8. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério técnico que avalie as subidas e descidas em uma rede rodoviária? * 

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

9. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério técnico que avalie as curvas em uma rede rodoviária? * 

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

10. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério técnico que avalie a sinalização vertical em uma rede rodoviária? * 

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

11. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério técnico que avalia a sinalização horizontal em uma rede rodoviária? *

Nota 0 - Critério não aplicável

Nota 1 - Critério baixo

Nota 2 - Critério razoável

Nota 3 - Critério regular

Nota 4 - Critério bom

Nota 5 - Critério ótimo

Voltar

Avançar



Critérios ambientais



12. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério ambiental que avalia a biodiversidade e conservação de habitats?

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

13. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério ambiental que avalia o impacto na qualidade do solo?

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

14. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério ambiental que avalia o uso da terra e alterações no uso do solo?

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

15. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério ambiental que avalia a eficiência na utilização de materiais ao longo do ciclo de vida do projeto? [1]

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

16. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério ambiental que avalia emissões de gases de efeito estufa (GEE)? [1]

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

17. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério ambiental que avalia o impacto na flora e fauna? [1]

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

18. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério ambiental que avalia o consumo de água total? [1]

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

19. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério ambiental que avalia a gestão de resíduos? 

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério básico
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

20. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério ambiental que avalia a eficiência na utilização de materiais na minimização de resíduos gerados em uma obra? 

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério básico
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

[Voltar](#)

[Avançar](#)



Critérios Sociais



21. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério social que avalia o ruído e a vibração nas rodovias?
- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 3 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo
22. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério social que avalia a saúde ocupacional dos trabalhadores em uma obra rodoviária?
- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 3 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo
23. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério social que avalia o impacto da população beneficiada por uma rodovia?
- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 3 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

24. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério social que avalia o impacto do PIB per capita na construção de uma rodovia? [1]

Nota 0 - Critério não aplicável

Nota 1 - Critério baixo

Nota 2 - Critério razoável

Nota 3 - Critério regular

Nota 4 - Critério bom

Nota 5 - Critério ótimo

25. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério social que avalia o a redução de acidentes rodoviários? [1]

Nota 0 - Critério não aplicável

Nota 1 - Critério baixo

Nota 2 - Critério razoável

Nota 3 - Critério regular

Nota 4 - Critério bom

Nota 5 - Critério ótimo

Voltar

Avançar



Critérios econômicos



26. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério econômico a viabilidade financeira para construção e manutenção de uma rodovia?
- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo
27. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério econômico, a análise de custos CAPEX, ou seja, os gastos iniciais necessários para adquirir, atualizar ou melhorar os ativos rodoviários?
- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo
28. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério econômico, a análise de custos OPEX, ou seja, os gastos contínuos que uma empresa tem para manter suas operações em funcionamento?
- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

29. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério econômico, a análise do PIB agropecuário que é afetado pela construção e manutenção de uma rodovia? 

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

30. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério econômico, a análise do PIB industrial que é afetado pela construção e manutenção de uma rodovia? 

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

31. Em um modelo para avaliação de sustentabilidade para ativos rodoviários, qual nota você daria, levando em consideração a pertinência/aplicabilidade, para um critério econômico, a análise do impacto no turismo de uma via de acesso? 

- Nota 0 - Critério não aplicável
- Nota 1 - Critério baixo
- Nota 2 - Critério razoável
- Nota 3 - Critério regular
- Nota 4 - Critério bom
- Nota 5 - Critério ótimo

Voltar

Avançar

Formulário Avaliação sustentabilidade para ativos rodoviários

Sugestões e Comentários

32. Gostaria de deixar alguma contribuição quanto ao modelo de avaliação? Deixe aqui seu comentário

Insira sua resposta

É possível imprimir uma cópia da resposta depois de enviá-la

Voltar

Enviar

 Microsoft 365

Este conteúdo foi criado pelo proprietário do formulário. Os dados que você enviar serão enviados ao proprietário do formulário. A Microsoft não é responsável pela privacidade ou práticas de segurança de seus clientes, incluindo aqueles do proprietário deste formulário. Nunca forneça sua senha.

Microsoft Forms | Pesquisas, questionários e votações com tecnologia de IA [Criar meu próprio formulário](#)

O proprietário deste formulário não forneceu uma política de privacidade sobre como usará seus dados de resposta. Não forneça informações pessoais ou confidenciais. | [Condições de uso](#)