

ROBSON FLORES DE CARVALHO

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ DE
PROJETOS DE TERMINAIS PORTUÁRIOS DE EXPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE
FERRO NO BRASIL**

Guaratinguetá - SP

2018

ROBSON FLORES DE CARVALHO

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ DE
PROJETOS DE TERMINAIS PORTUÁRIOS DE EXPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE
FERRO NO BRASIL.**

Tese apresentada, à Faculdade de Engenharia
de Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, para obtenção do título de Doutor em
Engenharia Mecânica na Área de Energia.

Orientador (a): Dr. Celso Eduardo Tuna

Guaratinguetá – SP

2018

Carvalho, Robson Flores de

C331m Metodologia para determinação do índice de emissões de CO2 de projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil / Robson Flores de Carvalho – Guaratinguetá, 2018

188 f.:il.

Bibliografia: f. 163

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018.

Orientadora: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna

1. Impacto ambiental. 2. Ecossistemas. 3. Minérios de ferro. 4. Terminais (Transportes). I. Título.

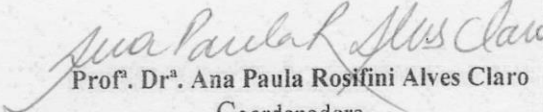
CDU 574(043)

ROBSON FLORES DE CARVALHO

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Ana Paula Rosifini Alves Claro
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:

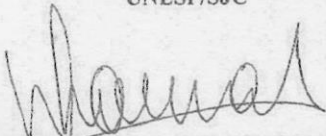


Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA
Orientador / UNESP/FEG


Prof. Dr. MATEUS RICARDO NOGUEIRA VILANOVA
UNESP/SJC


Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS
UNESP/FEG


Prof. Dr. RICARDO GABBAY DE SOUZA
UNESP/SJC


Prof. Dr. WENDELL DE QUEIRÓZ LAMAS
EEL/USP

Dezembro de 2018

DADOS CURRICULARES

ROBSON FLORES DE CARVALHO

FILIAÇÃO	Alvim Teixeira de Carvalho Cecília Maria Flores de Carvalho
NASCIMENTO	01.09.1979 – Volta Redonda / RJ
1998/2002	Curso de Engenharia Mecânica Universidade Severino Sombra - USS
2002/2003	Curso de Pós-Graduação em Docência no Ensino Superior Universidade São Judas Tadeu - USJT
2003/2005	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica na Área de Projetos, nível de Mestrado na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.
2014/2018	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica na Área de Energia, nível de Doutorado na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

Dedico este trabalho de modo especial à minha família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela oportunidade de viver com minha família e meus amigos,

A minha esposa e eterna namorada *Silvia*, pela dedicação às nossas filhas nos momentos de ausência durante o desenvolvimento desse trabalho,

As minhas filhas *Nadia, Alice e Milena*, pela compreensão nos momentos de ausência,

Aos meus pais *Alvim Teixeira de Carvalho e Cecília Maria Flores de Carvalho*, que sempre incentivaram meus estudos, e se dedicaram a vida toda pela nossa família,

Aos meus irmãos *Alvim, Roger e Melchior*, que sempre vibraram com minhas conquistas,

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Celso Tuna* pelos ensinamentos. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível,

Ao *Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza* pelos ensinamentos,

Ao *Prof. Dr. Jose Luz Silveira* pelos ensinamentos,

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento,

Aos meus amigos *Alfredo Sarkis, Evandro Santos e Vilmar Souza* pela amizade, companheirismo e contribuições com o desenvolvimento do trabalho,

Aos meus amigos *Giuliano Santos e Hiram Bezerra* pela oportunidade de desenvolvimento pessoal e profissional no período que trabalhamos juntos,

As empresas VALE e NEXA RESOURCES pela oportunidade de continuidade de desenvolvimento pessoal e profissional através da pesquisa,

A empresa MERCÚRIO pela contribuição com as informações referentes a energia incorporada no processo de fabricação de correias transportadoras,

As empresas de engenharia EPC, PROGEN e PLANAVE pela contribuição com as informações referentes aos índices de produtividade no desenvolvimento de engenharia,

As empresas PLAMONT, RIP e BAF Construções pela contribuição com as informações referentes aos índices de montagem eletromecânica.

“Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco; À medida que vamos adquirindo conhecimento, instala-se a dúvida”

Goethe

RESUMO

O equilíbrio entre preservar o ecossistema, atender às necessidades sociais das comunidades e manter o desenvolvimento econômico, é uma condição de sobrevivência para qualquer tipo de negócio e projeto. Dentro deste contexto, o setor de mineração apresenta uma característica extrativista de grande impacto ambiental, sendo exportado parte dos minérios de ferro beneficiados no Brasil, permanecendo parte dos impactos ambientais em territórios nacionais. Devido à relevância do setor de mineração de ferro para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil, é necessário criar iniciativas mais sustentáveis na dimensão ambiental para o setor. Esta pesquisa busca apresentar uma metodologia para determinar as emissões de CO₂ em projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro, introduzindo um novo conceito “Índice de emissões de CO₂ de um Projeto”. O índice estabelecido utiliza como referência as emissões de CO₂ em relação a capacidade produtiva e ciclo de vida do projeto. O trabalho foi delimitado entre o transporte ferroviário, processos internos dos terminais portuários, transporte marítimo e destinos de exportação. Foi consolidado o inventário energético de materiais-serviços aplicado na cadeia integrada de exportação, abrangendo as etapas do projeto: engenharia, construção, operação, transporte ferroviário e marítimo. Os resultados alcançados com o desenvolvimento da metodologia, permitem quantificar de forma prévia na fase de desenvolvimento da engenharia, as emissões de CO₂ em cada etapa do projeto, possibilitando o desenvolvimento de projetos com maior sustentabilidade na dimensão ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Impactos ambientais. Índice. Emissões de CO₂. Metodologia. Mineração de ferro. Sustentável. Terminal portuário.

ABSTRACT

The balance among preserving the ecosystem, meeting the social needs of communities, and maintaining economic development is a survival condition for any type of business and project. Within this context, the mining sector presents an extractive characteristic of great environmental impact, being exported part of the iron ores benefited in Brazil, remaining part of the environmental impacts in national territories. Due to the importance of the iron mining sector for the socioeconomic development of Brazil, it is necessary to create more sustainable initiatives in the environmental dimension for the sector. This research seeks to present a methodology to determine the CO₂ emissions in projects of port terminals of export of iron ore, introducing a new concept "Index of CO₂ emissions of a Project". The established index uses CO₂ emissions in relation to the productive capacity and project life cycle. The work was delimited between rail transport, internal processes of port terminals, shipping and export destinations. The energy-materials-services inventory applied in the integrated export chain was consolidated, covering the stages of the project: engineering, construction, operation, rail and maritime transportation. The results obtained with the development of the methodology, allow to quantify previously in the development phase of the engineering, CO₂ emissions in each stage of the project, enabling the development of projects with greater sustainability in the environmental dimension.

KEYWORDS: Environmental impacts. Index. Carbon dioxide emissions. Methodology. Iron mining. Sustainable. Port terminal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de tratamento de minério de ferro.	37
Figura 2 - Principais cargas movimentadas em milhões de toneladas e percentual.	40
Figura 3 - Fases da metodologia FEL.....	52
Figura 4 - Nível de agregação de dados de uma determinada ferramenta de avaliação da sustentabilidade.	60
Figura 5 - Modelo de um terminal portuário de exportação de minério de ferro.	66
Figura 6 - Transporte de entrada no terminal portuário de minério de ferro.	67
Figura 7 - Modelo de processamento interno de terminais portuários de minério de ferro.	69
Figura 8 - Cadeia integrada de exportação de minério de ferro.	75
Figura 9 - Fluxograma da estruturação da metodologia.	79
Figura 10 - Terminal da Ilha Guaíba TIG.	103
Figura 11 - Visão geral do píer de atracação de navios do TIG.	105
Figura 12 - Carregador de navios tipo <i>travelling</i> do TIG.....	105
Figura 13 - Pátio de estocagem de minério do TIG.....	106
Figura 14 - Empilhadeira recuperadora utilizada no TIG.	106
Figura 15 - Companhia portuária baía de Sepetiba - CPBS.	109
Figura 16 - Visão geral da malha ferroviária MRS.	113
Figura 17 - Fluxograma de aplicação da metodologia para o IEDE.	117
Figura 18 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do IECF.	120
Figura 19 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do IETF.	123
Figura 20 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do IETM.	126
Figura 21 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do IEPO.	128
Figura 22 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do CEFM.	131
Figura 23 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do CEEE.	133

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Projeção de produção de minério de ferro no Brasil.....	27
Gráfico 2 - Emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira.	30
Gráfico 3 - Principais instalações de minério no Brasil	41
Gráfico 4 - Emissões totais brasileiras de CO ₂ por modal.	44
Gráfico 5 - Índice de emissões de CO ₂ no desenvolvimento da engenharia para o TIG e para a CPBS.	119
Gráfico 6 - Índice de emissões de CO ₂ na construção do projeto para o TIG e para CPBS. .	122
Gráfico 7 - Índice de emissões de CO ₂ no transporte ferroviário para o TIG e para CPBS..	124
Gráfico 8 – Índice de emissões de CO ₂ no transporte marítimo para o TIG e para a CPBS..	127
Gráfico 9 - Índice de emissões de CO ₂ no processo operacional para o TIG e para a CPBS.	130
Gráfico 10 - Compensação de emissões de CO ₂ com a utilização de fontes renováveis para o TIG e para a CPBS.	132
Gráfico 11 - IEPP do TIG em relação ao ciclo de vida e à CP mínima.	142
Gráfico 12 - IEPP do TIG em relação ao ciclo de vida e à CP média.	143
Gráfico 13 - IEPP do TIG em relação ao ciclo de vida e à CP máxima.....	143
Gráfico 14 - IEPP da CPBS em relação ao ciclo de vida e à CP mínima.....	144
Gráfico 15 - IEPP da CPBS em relação ao ciclo de vida e à CP média.	145
Gráfico 16 - IEPP da CPBS em relação ao ciclo de vida e à CP máxima.	145
Gráfico 17 - Composição do IEDE em relação ao ciclo de vida no TIG.	147
Gráfico 18 - Composição do IEDE em relação ao ciclo de vida na CPBS.	147
Gráfico 19 - Composição do IECP em relação ao ciclo de vida no TIG.....	148
Gráfico 20 - Composição do IECP em relação ao ciclo de vida na CPBS.....	148
Gráfico 21 - Composição do IETF em relação ao ciclo de vida no TIG.....	149
Gráfico 22 - Composição do IETF em relação ao ciclo de vida na CPBS.....	149
Gráfico 23 - Composição do IETM em relação ao ciclo de vida no TIG.	150
Gráfico 24 - Composição do IETM em relação ao ciclo de vida na CPBS.....	150
Gráfico 25 - Composição do IEOP em relação ao ciclo de vida no TIG.	151
Gráfico 26 - Composição do IEOP em relação ao ciclo de vida na CPBS.	151
Gráfico 27 – Composição da CEFR em relação ao ciclo de vida no TIG.....	152
Gráfico 28 - Composição da CEFR em relação ao ciclo de vida na CPBS.....	152
Gráfico 29 - Composição do CEEE em relação ao ciclo de vida no TIG.	153
Gráfico 30 - Composição do CEEE em relação ao ciclo de vida na CPBS.	153

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Áreas de conhecimento PMBOK.	49
Quadro 2 - Objetivos, requisitos e entregáveis de cada fase da metodologia FEL.	53
Quadro 3 - Mapeamento dos itens delimitados no desenvolvimento da metodologia.	76
Quadro 4 - Premissas de desenvolvimento do índice de emissões de CO ₂ do projeto.....	78
Quadro 5 - Método de seleção para desenvolvimento estudo de caso.	100
Quadro 6 - Processos avaliados no estudo de caso.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais produtos de origem mineral exportados no Brasil.	24
Tabela 2 - Principais produtos de origem mineral importados no Brasil.	24
Tabela 3 - Exportação de ferro e importação total de produtos de origem mineral.	25
Tabela 4 - Balanço o saldo mineral total e a exportação de minério de ferro no Brasil.	25
Tabela 5 - Saldo Brasil exportação minério de ferro.	25
Tabela 6 - Principais países de origem e destino das substâncias minerais em 2016.	26
Tabela 7 - Relação das substâncias e inventário por processos no ano de 2015.	26
Tabela 8 - Consumo total de energia elétrica por região no Brasil.	32
Tabela 9 - Consumo de energia elétrica nos setores de metalurgia e extração de minerais metálicos.	32
Tabela 10 - Principais características das malhas ferroviárias no Brasil.	68
Tabela 11 - Equipamentos utilizados no processo de recebimento de minérios.	70
Tabela 12 - Equipamentos utilizados no processo de manuseio de minérios.	71
Tabela 13 - Principais equipamentos utilizados no processo de estocagem de minérios.	72
Tabela 14 - Principais equipamentos utilizados no processo de embarque de minérios.	73
Tabela 15 – Principais derrotas entre terminais de exportação e importação de minério de ferro.	74
Tabela 16 - Produtividade por tipo de profissional e fase de engenharia.	81
Tabela 17 - Fatores de emissão para navios.	92
Tabela 18 - Principais terminais e portos de exportação de minério de ferro no Brasil.	101
Tabela 19 - Resultados da seleção dos terminais para desenvolvimento do estudo de caso. .	102
Tabela 20 - Principais informações e características do projeto do TIG.	104
Tabela 21 - Inventário dos equipamentos do processo de descarga.	107
Tabela 22 - Inventário dos equipamentos do processo de armazenagem.	107
Tabela 23 - Inventário dos equipamentos do processo de embarque.	108
Tabela 24 - Inventário geral dos equipamentos do TIG.	108
Tabela 25 - Principais informações e características da CPBS.	109
Tabela 26 - Inventário dos equipamentos do processo de descarga.	110
Tabela 27 - Inventário dos equipamentos do processo de armazenagem.	110
Tabela 28 - Inventário dos equipamentos do processo de embarque.	111
Tabela 29 - Consolidação do inventário dos equipamentos da CPBS.	111
Tabela 30 - Consolidação dos dados de engenharia do TIG e CPBS.	112

Tabela 31 - Energia total consumida por processo no TIG.	112
Tabela 32 - Energia total consumida na construção da CPBS.	113
Tabela 33 - Eficiência energética das locomotivas MRS.	114
Tabela 34 - Principais terminais de destino exportação para o TIG e para CPBS.	114
Tabela 35 - Distância média de exportação do TIG e da CPBS.	115
Tabela 36 - Potência instalada e consumo de energia no TIG e CPBS.	115
Tabela 37 - Consumo específico de energia direta e indireta no TIG e na CPBS.	115
Tabela 38 - Cenários de produção anual do TIG e da CPBS.	116
Tabela 39 - Premissas gerais do ciclo de vida para o TIG e CPBS.	116
Tabela 40 - Índice de emissões de CO ₂ no desenvolvimento da engenharia no TIG.	118
Tabela 41 - Índice de emissões de CO ₂ no desenvolvimento da engenharia na CPBS.	118
Tabela 42 - Índice de emissões de CO ₂ na construção do TIG.	121
Tabela 43 - Índice de emissões de CO ₂ na construção da CPBS.	121
Tabela 44 - Índice de emissões de CO ₂ no transporte ferroviário no TIG.	123
Tabela 45 - Índice de emissões de CO ₂ no transporte ferroviário na CPBS.	124
Tabela 46 - Índice de emissões de CO ₂ no transporte marítimo para o TIG e CPBS.	127
Tabela 47 - Índice de emissões de CO ₂ no processo operacional do TIG.	129
Tabela 48 - Índice de emissões de CO ₂ no processo operacional da CPBS.	129
Tabela 49 - Compensação de emissões de CO ₂ com a utilização de fontes renováveis no TIG.	131
Tabela 50 - Compensação de emissões de CO ₂ com a utilização de fontes renováveis na CPBS.	132
Tabela 51 - Compensação de emissões de CO ₂ com programas de eficiência energética para o TIG e para a CPBS.	134
Tabela 52 - Índice de emissões de CO ₂ para o TIG no ciclo de vida de 10 anos.	134
Tabela 53 - Índice de emissões de CO ₂ para a CPBS no ciclo de vida de 10 anos.	135
Tabela 54 - Índice emissões de CO ₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 10 anos.	135
Tabela 55 - Índice de emissões de CO ₂ para o TIG no ciclo de vida de 20 anos.	135
Tabela 56 - Índice de emissões de CO ₂ para a CPBS no ciclo de vida de 20 anos.	136
Tabela 57 - Índice de emissões de CO ₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 20 anos.	136
Tabela 58 - Índice de emissões de CO ₂ do TIG para o ciclo de vida de 30 anos.	137
Tabela 59 - Índice de emissões de CO ₂ da CPBS para o ciclo de vida de 30 anos.	137
Tabela 60 - Índice de emissões de CO ₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 30 anos.	138

Tabela 61 - Índice de emissões de CO ₂ do TIG para o ciclo de vida de 40 anos.	138
Tabela 62 - Índice de emissões de CO ₂ da CPBS para o ciclo de vida de 40 anos.	138
Tabela 63 - Índice de emissões de CO ₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 40 anos.	139
Tabela 64 - Índice de emissões de CO ₂ do TIG para o ciclo de vida de 50 anos.	139
Tabela 65 - Índice de emissões de CO ₂ da CPBS para o ciclo de vida de 50 anos.	140
Tabela 66 - Índice de emissões de CO ₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 50 anos.	140
Tabela 67 - Índice de emissões de CO ₂ do TIG para o ciclo de vida de 60 anos.	140
Tabela 68 - Índice de emissões de CO ₂ da CPBS para o ciclo de vida de 60 anos.	141
Tabela 69 - Índice de emissões de CO ₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 60 anos.	141
Tabela 70 - Variação do IEPP do TIG em relação ao ciclo de vida.	142
Tabela 71 - Variação do IEPP da CPBS em relação ao ciclo de vida.	144
Tabela 72 - Análise do resultado do índice de emissões de CO ₂ do projeto portuário.	146
Tabela 73 - Análise dos dados do IEDE do TIG e da CPBS.	154
Tabela 74 - Análise dos resultados do IEDE do TIG e da CPBS.	154
Tabela 75 - Análise dos dados do IECF do TIG e da CPBS.	155
Tabela 76 - Análise dos dados do IETF TIG e CPBS.	156
Tabela 77 - Análise dos dados do IETM do TIG e da CPBS.	156
Tabela 78 - Análise dos dados do IEOP do TIG e da CPBS.	157
Tabela 79 - Análise dos dados da CEFR do TIG e da CPBS.	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACVS	Avaliação do Ciclo de Vida Social
ALL MN	América Latina Logística Malha Norte S.A.
ALL MO	América Latina Logística Malha Oeste S.A.
ALL MP	América Latina Logística Malha Paulista S.A.
ALL MS	América Latina Logística Malha Sul S.A.
ANNT	Agência Nacional de Transporte Terrestre
ANTAQ	Agência Nacional de Transporte Aquaviário
ATDT	Aderência ao Tema de Estudo Desenvolvido na Tese
BEN	Balço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional Desenvolvimento Econômico e Social
CCV	Custo no Ciclo de Vida
CIE	Comércio Internacional de Emissões
CITP	Confiabilidade das Informações.
CMC	Conferência Mundial do Clima
CMED	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CNUMAD	Conferências das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
COP	Conferências das Partes
CPBS	Companhia Portuária Baía de Sepetiba
CQNUMC	Convenção – Quadro das nações Unidas sobre Mudança de Clima
CSN	Companhia siderúrgica nacional
CTLD	Custo e tempo envolvidos na etapa de levantamento de dados
DAIP	Disponibilidade de acesso às informações do projeto
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
Dwt	<i>Deadweight tonnage</i> (tonelada de peso morto)
EE	Eficiência energética
EFC	Estrada de ferro Carajás
EFVM	Estrada de Ferro Vitória Minas
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EIA-RIMA	Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto ao Meio Ambiente
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas

FCA	Ferrovia Centro Atlântica S.A.
FERROESTE	Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A.
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FTC	Ferrovia Tereza Cristina S.A
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
Hh	Homem hora empregado
Hh/A1	Homem hora por produção de documento no formato A1 equivalente
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IC	Implementação Conjunta
IEA	<i>International Energy Agency</i> – Agência Internacional de Energia
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kWh	Quilowatt-hora
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
MCT	Ministério de Ciências e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MFe	Minério de ferro
MME	Ministério de Minas e Energia
MRS	MRS Logística S.A.
NAE	Núcleo de Assuntos Estratégicos
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
ONU	Organizações das Nações Unidas
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PNM	Plano Nacional de Mineração
PNMC	Política Nacional sobre Mudanças do Clima
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
ppm	Partes por milhão
ppmu	Partes por milhão por volume
RECs	Redução Certificada de Emissão
RNTP	Representatividade de produção no contexto nacional de exportação de minério de ferro

ROC	Radiação de Ondas Curtas
ROL	Radiação de Ondas Longas
SEP	Secretaria de Portos/Presidência da República
t CO ₂	Toneladas métricas de emissões de dióxido de carbono
t MFe	Tonelada métrica de minério de ferro
t MFe km	Tonelada minério de ferro quilômetro bruto
TIG	Terminal da Ilha Guaíba
TMPM	Terminal portuário de ponta da madeira
TNL	Transnordestina Logística S.A.
TPU	Terminal de Uso Privativo
TUB	Terminal portuário tubarão
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
VALEC/FNS	Subconcessão Ferrovia Norte-Sul S.A

LISTA DE SÍMBOLOS

Ar	Argônio
C ₂ F ₆	Hexafluoroethane
CF ₄	Tetrafluorometano
CFC	Clorofluorcarbono
CH ₄	Gás metano
CO ₂	Dióxido de carbono
HFCs	Hidrofluorcarbonos
N ₂	Nitrogênio
N ₂ O	Óxido nitroso
PCI	Poder Calorífico Inferior do Combustível
PFCs	Perfluocarbonos
SF ₆	Nexafluoreto de enxofre

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	33
1.2	OBJETIVO GERAL	33
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	33
1.4	CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS.....	34
1.5	ESTRUTURA DA TESE.....	34
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	36
2.1	MINERAÇÃO DE FERRO	36
2.2	PORTOS E TERMINAIS NO BRASIL	38
2.3	GASES DE EFEITO ESTUFA.....	42
2.4	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	44
2.5	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	47
2.6	DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS.....	49
2.7	ENERGIA INCORPORADA NOS MATERIAIS.....	54
2.8	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	56
2.9	INDICADORES E ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE.....	58
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	61
3.1	COLETA E ANÁLISE DE DADOS	61
3.2	DESENVOLVIMENTO DE DESENHOS	611
3.3	PROCESSO DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS	62
3.4	CONVERSÃO DE UNIDADES	63
3.4.1	Conversão da unidade Poder Calorífico Inferior	63
3.5	COEFICIENTE DE ENERGIA INCORPORADA	63
3.5.1	Coeficiente de energia incorporada nas atividades de engenharia	63
3.5.2	Coeficiente de energia incorporada nas atividades de montagem	64
3.6	COEFICIENTE DE ENERGIA INCORPORADA NA FABRICAÇÃO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS	65
4	PROCESSOS INTERNOS DE TERMINAIS PORTUÁRIOS	66
4.1	ESTRUTURA BÁSICA DE UM TERMINAL PORTUÁRIO DE EXPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO	66

4.2	CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DO TIPO DE TRANSPORTE NA ENTRADA DO TERMINAL PORTUÁRIO.....	67
4.2.1	Transporte rodoviário	68
4.2.2	Transporte ferroviário	68
4.2.3	Transporte dutoviário	69
4.3	PROCESSAMENTO INTERNO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO DE EXPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO.....	69
4.3.1	Processo de recebimento	70
4.3.2	Processo de manuseio	71
4.3.3	Processo de estocagem	72
4.3.4	Processo de embarque	72
4.4	CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DO TIPO DE TRANSPORTE NA SAÍDA DO PORTO E TERMINAL.....	73
4.4.1	Navios graneleiros	73
5	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO PROJETO PORTUÁRIO	75
5.1	ABRANGÊNCIA E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	75
5.2	PREMISSAS DE DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA.....	78
5.3	EQUAÇÃO GERAL DO ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ DE UM PROJETO PORTUÁRIO.....	79
5.4	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA.....	80
5.5	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NA CONSTRUÇÃO DO PROJETO.....	83
5.6	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO.....	86
5.7	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NO TRANSPORTE DUTOVIÁRIO.....	88
5.8	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO.....	79
5.9	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NO TRANSPORTE MARÍTIMO.....	91
5.10	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NO PROCESSO OPERACIONAL.....	94
5.11	COMPENSAÇÃO DE EMISSÕES DE CO ₂ COM A UTILIZAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS.....	96
5.12	COMPENSAÇÃO DE EMISSÕES DE CO ₂ COM PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	97
6	ESTUDO DE CASO	100
6.1	INVENTÁRIO DOS TERMINAIS DE EXPORTAÇÃO.....	102
6.2	CARACTERÍSTICAS DO TERMINAL DA ILHA GUAÍBA.....	103

6.3	CARACTERÍSTICAS DA COMPANHIA PORTUÁRIA BAÍA DE SEPETIBA	108
6.4	CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DE ENGENHARIA	111
6.5	CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DE CONSTRUÇÃO DO TIG	112
6.6	CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DE CONSTRUÇÃO DA CPBS	112
6.7	CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO.....	113
6.8	CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DO TRANSPORTE MARÍTIMO.....	114
6.9	CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DE PROCESSO OPERACIONAL DO TIG E DA CPBS	115
7	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	116
7.1	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NO DESENVOLVIMENTO ENGENHARIA	117
7.2	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NA CONSTRUÇÃO DO PROJETO.....	119
7.3	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO.....	122
7.4	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NO TRANSPORTE MARÍTIMO	125
7.5	ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ NO PROCESSO OPERACIONAL	128
7.6	COMPENSAÇÃO DE EMISSÕES DE CO ₂ COM A UTILIZAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA.....	130
7.7	COMPENSAÇÃO DE EMISSÕES DE CO ₂ COM PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	133
7.8	RESULTADOS DO ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ DO PROJETO.....	134
7.8.1	Resultados para o ciclo de vida de 10 anos.....	134
7.8.2	Resultados para o ciclo de vida de 20 anos.....	135
7.8.3	Resultados para o ciclo de vida de 30 anos.....	137
7.8.4	Resultados para o ciclo de vida de 40 anos.....	138
7.8.5	Resultados para o ciclo de vida de 50 anos.....	139
7.8.6	Resultados para o ciclo de vida de 60 anos.....	1400
7.8.7	Resultados do índice de emissões de CO₂ do projeto	1411
7.9	ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO ₂ DO PROJETO	146
7.9.1	Análise do ciclo de vida	146
7.9.1.1	Índice de emissões de CO ₂ no desenvolvimento da engenharia.....	146
7.9.1.2	Índice emissões de CO ₂ na construção do projeto.....	147
7.9.1.3	Índice de emissões de CO ₂ no transporte ferroviário	149
7.9.1.4	Índice de emissões de CO ₂ no transporte marítimo.....	150
7.9.1.5	Índice de emissões de CO ₂ no processo operacional.....	151

7.9.1.6	Compensação de Emissões de CO ₂ com a Utilização de Fontes Renováveis	152
7.9.1.7	Compensação de Emissões de CO ₂ com Programas de Eficiência Energética	153
7.9.2	Análise de Engenharia	154
7.9.3	Análise Construção.....	155
7.9.4	Análise do Transporte.....	155
7.9.5	Análise da Operação.....	157
7.9.6	Análise da Compensação de Emissões de CO₂.....	157
8	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	159
8.1	CONCLUSÕES.....	159
8.2	DIFICULDADES E LIÇÕES APRENDIDAS	161
8.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	162
	REFERÊNCIAS	163
	APÊNDICE A – Hipóteses levantadas para definição da caracterização do problema.	174
	APÊNDICE B – Definições do setor portuário segundo a Lei Nº 12.815/2013.	176
	APÊNDICE C – Levantamento dos dados da energia incorporada na fabricação de correias transportadoras.	177
	APÊNDICE D - Equipamento virador de vagões de minério de ferro.....	178
	APÊNDICE E - Visão geral do virador de vagões de minério de ferro.....	179
	APÊNDICE F - Equipamento empilhadeira recuperadora de minério de ferro.	180
	APÊNDICE G – Principais tipos de navios graneleiros e suas características.	181
	APÊNDICE G - Principais tipos de navios graneleiros e suas características	182
	APÊNDICE H – Mapeamento das premissas adotadas no desenvolvimento da metodologia.....	183
	APÊNDICE H – Mapeamento das premissas adotadas no desenvolvimento da metodologia.....	184
	APÊNDICE I - Sequência de desenvolvimento e aplicação do método de energia incorporada em projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro.....	185
	ANEXO A - Categorização e distribuição dos 37 portos públicos no Brasil. ..	187
	ANEXO B - Principais malhas ferroviárias no Brasil.....	188

1 INTRODUÇÃO

Enriquez (2008) comenta que a mineração é uma das mais antigas atividades produtivas exercidas pela humanidade, durante séculos movimentou, e continua movimentando, a economia de muitos países. Os efeitos dos empreendimentos de mineração, normalmente, são de amplo alcance, abarcando desde a comunidade local até os grandes mercados financeiros internacionais.

O subsolo brasileiro possui importantes depósitos minerais. Partes dessas reservas são consideradas expressivas quando relacionadas mundialmente. O Brasil produz cerca de 70 substâncias, sendo 21 dos grupos de minerais metálicos, 45 dos não-metálicos e quatro dos energéticos. Em termos de participação no mercado mundial, ressalta-se a posição do nióbio (92%), minério de ferro (20%, segundo maior produtor mundial), tantalita (22%), manganês (19%), alumínio e amianto (11%), grafita (19%), magnesita (9%), caulim (8%) e, ainda, rochas ornamentais, talco e vermiculita, com cerca de 5% (Barreto, 2001).

As perspectivas para o setor de mineração são de crescimento motivadas pelo aumento das demandas dos mercados emergentes. Os indicadores reforçam uma continuidade na recuperação das economias desenvolvidas e mudanças na estrutura da economia mundial, por meio da urbanização e da tendência de melhoria nos padrões de vida. Nesse contexto, o minério de ferro é um dos insumos mais promissores e o Brasil acompanhará essa forte tendência de crescimento e desenvolvimento do setor nas próximas décadas.

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (2016), por sua geodiversidade privilegiada e extensão continental, o Brasil ocupa uma posição de destaque pelas suas jazidas e minas de classe internacional, posicionando-se competitivamente no mercado mundial de *commodities* minerais, rivalizando com a Austrália, o Canadá, a China e a África do Sul, concorrentes com grandes reservas minerais.

O minério de ferro apresenta posição de destaque nas exportações brasileiras. Segundo o relatório do Instituto Brasileiro de Mineração (2016), somente no acumulado dos últimos dez anos, o setor de minérios e concentrados foi responsável pela agregação de US\$ 232 bilhões ao conjunto das reservas cambiais do Brasil.

As exportações de minério de ferro no período de 2014 a 2016, corresponderam respectivamente a 75,37 %, 63,16 % e 61,47 % do total de produtos de origem mineral exportados no Brasil. A Tabela 1 apresenta os principais produtos de origem mineral exportados no Brasil e as respectivas contribuições com as exportações brasileiras no período de 2014 a 2016.

Tabela 1 - Principais produtos de origem mineral exportados no Brasil.

Exportações de Produtos de Origem Mineral	2014 (US\$)	2015 (US\$)	2016 (US\$)
Ferro	25.819.090.176	14.076.103.623	13.289.341.812
Ouro	2.322.656.975	2.324.615.261	2.893.054.837
Nióbio	1.735.529.066	1.568.413.941	1.331.514.767
Cobre	1.805.254.300	1.984.113.856	1.928.278.468
Bauxita	272.408.262	266.502.050	265.340.707
Manganês	229.453.494	149.146.661	201.815.071
Pedras Naturais e Ornamentais	1.276.785.993	1.209.133.230	1.138.347.911
Caulim	209.930.279	197.001.755	180.228.358
Outros	584.273.539	509.937.225	388.681.226
Total	34.255.382.084	22.284.967.602	21.616.603.157

Fonte: Produção do próprio autor, com base no Anuário do Instituto Brasileiro de Mineração (2017).

Dentre os produtos de origem mineral com maior relevância nas importações brasileiras no período de 2014 a 2016, destacam-se o potássio com 37,2 %, o carvão com 34,6 % e o cobre com 12,4%, que juntos representam 84,2 % do total de produtos de origem mineral importados no Brasil. A Tabela 2 apresenta os dados referentes aos principais produtos de origem mineral importados no Brasil e as respectivas contribuições com as importações brasileiras no período de 2014 a 2016.

Tabela 2 - Principais produtos de origem mineral importados no Brasil.

Importações de Produtos de Origem Mineral	2014 (US\$)	2015 (US\$)	2016 (US\$)
Potássio	2.934.214.197	2.555.350.341	2.029.064.917
Carvão	2.733.610.127	2.470.007.079	1.954.451.772
Cobre	976.816.952	973.314.722	688.744.974
Enxofre	297.555.969	308.322.960	183.884.498
Rocha Fosfática	188.027.690	205.673.509	152.517.826
Zinco	131.746.361	130.961.281	158.083.325
Pedras naturais e ornamentais	67.651.089	42.336.282	31.903.201
Outros	567.495.816	404.170.634	303.301.046
Total	7.897.118.201	7.090.136.808	5.501.951.559

Fonte: Produção do próprio autor, com base no Anuário do Instituto Brasileiro de Mineração (2017).

O saldo mineral do Brasil no período de 2014 a 2016 acompanha, proporcionalmente, as exportações do minério de ferro, demonstrando a relevância das atividades de exportação de minério de ferro para a balança comercial do país. A Tabela 3 apresenta a análise comparativa entre as exportações e as importações de produtos de origem mineral no período de 2014 a 2016.

Tabela 3 - Exportação de ferro e importação total de produtos de origem mineral.

Exportação de Ferro e Importações de Produtos de Origem Mineral	2014 (US\$)	2015 (US\$)	2016 (US\$)
Exportação de ferro	25.819.090.176	14.076.103.623	13.289.341.812
Importações de produtos de origem mineral	7.897.118.201	7.090.136.808	5.501.951.559

Fonte: Produção do próprio autor, com base no Anuário do Instituto Brasileiro de Mineração (2017).

A representatividade das exportações do minério de ferro para o Brasil, também pode ser evidenciada a partir da relação entre o saldo total mineral e as exportações de minério de ferro apresentados na Tabela 4. O balanço indica que as exportações do minério de ferro representam o saldo mineral total do Brasil.

Tabela 4 - Balanço o saldo mineral total e a exportação de minério de ferro no Brasil.

Total Setor Mineral	2014 (US\$)	2015 (US\$)	2016 (US\$)
Saldo mineral total	26.358.263.883	15.194.830.794	16.114.651.598
Total exportação de minério de ferro	25.819.090.176	14.076.103.623	13.289.341.812

Fonte: Produção do próprio autor, com base no Anuário do Instituto Brasileiro de Mineração (2017).

De acordo com a Tabela 5, o valor total das exportações de minério de ferro no período de 2014 a 2016, representou 8,84 % do total das exportações brasileiras (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2017).

Tabela 5 - Saldo Brasil exportação minério de ferro.

Balanço Brasil	2014 (US\$)	2015 (US\$)	2016 (US\$)
[A] Exportações brasileiras	225.100.884.831	191.134.324.584	185.235.400.805
[B] Exportação minério de ferro.	25.819.090.176	14.076.103.623	13.289.341.812
[C] Importações brasileiras.	229.137.077.886	171.449.050.909	137.552.002.856
Saldo do Brasil [A – C]	-4.036.193.055	19.685.273.675	47.683.397.949

Fonte: Produção do próprio autor, com base no Anuário do Instituto Brasileiro de Mineração (2017).

Com relação aos principais consumidores de produtos de origem mineral, a China continua a figurar como o principal mercado das exportações brasileiras, tendo aumentado sua

participação de 30,4 % no primeiro semestre de 2015, para 34,8 % no primeiro semestre de 2016 (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2017). A Tabela 6 apresenta os principais países de origem e de destino das substâncias minerais em 2016.

Tabela 6 - Principais países de origem e destino das substâncias minerais em 2016

Exportações		Importações	
Países de Origem	Participação (%)	Países de Destino	Participação (%)
China	34,8	Canadá	13,1
EUA	8,1	Chile	12,9
Japão	6,3	EUA	11,8
Países Baixos	6,2	Austrália	9,9
Reino Unido	4,7	Rússia	8,2
Filipinas	3,9	Peru	7,5
Suíça	3,3	Alemanha	7,2
Malásia	2,8	Belarus	6,9
Coréia do Sul	2,7	Colômbia	6,7
Índia	2,5	África do Sul	2,2
Outros	24,7	Outros	13,6
Total	100	Total	100

Fonte: Produção do próprio autor, baseado no Relatório Anual DNPM (2016).

Segundo o relatório anual Departamento Nacional de Produção Mineral (2015), existem 7.469 autorizações para pesquisas minerais, sendo o ouro e ferro os minerais com maior número de autorizações para pesquisa e concessão de lavra, respectivamente 2.937 autorizações de pesquisa para o ouro e 2.178 para o minério de ferro. A Tabela 7 apresenta as substâncias minerais e o inventário dos processos de pesquisa, concessão e permissão de lavra no Brasil no ano de 2015.

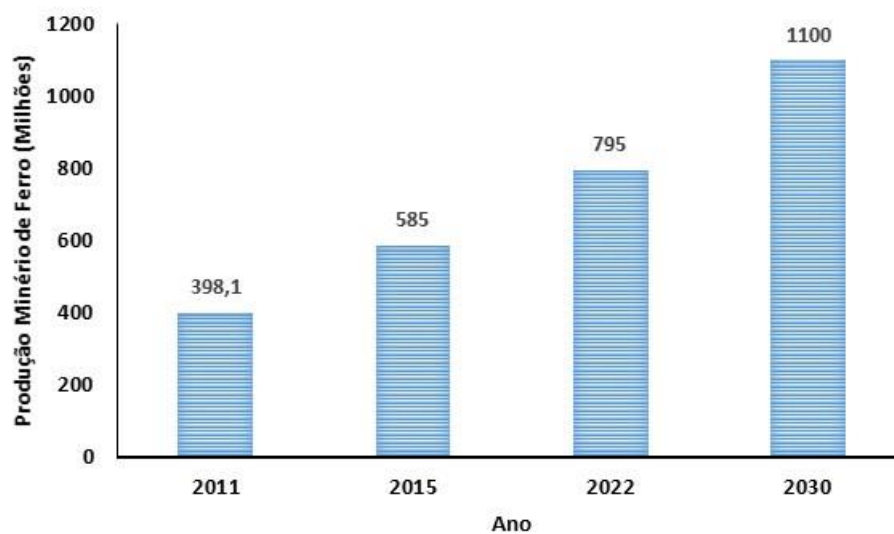
Tabela 7 - Relação das substâncias e inventário por processos no ano de 2015.

Substâncias	Autorização de pesquisa	Concessão de lavra	Permissão de lavra
Alumínio (bauxita)	248	7	-
Cobre	826	1	-
Estanho	150	-	16
Ferro	2.178	8	-
Manganês	741	3	-
Nióbio	75	-	2
Níquel	314	1	-
Ouro	2.937	14	105
Total	7.469	34	123

Fonte: Produção do próprio autor, baseado no relatório anual Departamento Nacional de Produção Mineral (2015).

De acordo com o PNM 2030, a produção de minério de ferro no Brasil apresentará um crescimento de 88 % até 2030 comparado com a demanda de 2015 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011). A produção de minério de ferro no período de 2011 a 2030 projeta um aumento de 701,9 milhões de toneladas, representando um acréscimo de 276,1 % em relação a 2011. O Gráfico 1 apresenta a projeção de produção de minério de ferro no Brasil no período de 2011 a 2030.

Gráfico 1 - Projeção de produção de minério de ferro no Brasil.



Fonte: Produção do próprio autor, baseado no DNPM (2016), Plano Nacional de Mineração 2030 – Ministério de Minas e Energia – MME (2011).

O setor de mineração apresenta significativos desafios em termos de sustentabilidade, pois a atividade minerária acarreta fortes impactos ao meio ambiente (DANTAS; FREITAS, 2014). Os desafios enfrentados giram em torno da recuperação de áreas degradadas, da incorporação de questões sociais e outros aspectos ambientais envolvidos a mineração (BARRETO, 2001).

Os estudos realizados por Dantas e Freitas (2014) e Mota (2017), ambos convergem para um consenso de que o desenvolvimento sustentável na mineração envolve três dimensões: a ambiental, a social e a econômica (DANTAS; FREITAS, 2014).

Os estudos realizados por Souza, Sacomano e Kyrillos (2017), constatou-se nos resultados dos indicadores de sustentabilidade ambiental, uma preocupação em promover uma gestão eficiente dos recursos, tentando minimizar os impactos ambientais negativos causados pela atividade de mineração no planeta e na sociedade.

Segundo SÁNCHEZ (1994), do ponto de vista da empresa, existe uma tendência de ver os impactos causados pela mineração unicamente sob as formas de poluição que são objeto de

regulamentação pelo poder público, que estabelece os padrões ambientais: poluição do ar e das águas, as vibrações e o ruídos.

Segundo FREIRE (2000), o empreendedor deve tomar ações preventivas para minimizar os conflitos. Como exemplo, pode citar-se a criação de uma zona de transição entre a atividade mineral e as áreas circunvizinhas, ou seja:

- Compra de áreas no entorno do empreendimento. Essa alternativa nem sempre é possível, em função do custo, principalmente para as pequenas empresas de mineração;
- Arrendamento de áreas no entorno do empreendimento para serem utilizadas em atividades que possam conviver com a atividade de mineração. Embora de menor custo, exige estudos para identificação dessas atividades;
- Melhoria nas relações de vizinhança com os proprietários das terras vizinhas ao empreendimento;
- Planejamento das operações de lavra e de beneficiamento de acordo com as disposições legais que regulam o uso e ocupação do solo na região.

Gilbert (1998) destaca três paradigmas distintos utilizados para abordar o conceito de desastre. O primeiro paradigma trata do desastre como consequência da ação de um agente externo, que teria surgido a partir de um modelo de guerra. O segundo modelo seria resultado de estudos desenvolvidos por cientistas sociais europeus, principalmente a partir dos anos de 1970, que consideram os desastres como a expressão social da vulnerabilidade. Já o terceiro enfatiza que os desastres dão origem a incertezas, que resultam não somente da falta de informações, como também pela falta de articulação entre diferentes campos de saberes, o que dificultaria a formulação de medidas para a prevenção destas ameaças.

Nessas incertezas apontadas pelos estudos sobre desastres, pode-se acrescentar, no caso dos desastres socioambientais, a necessidade de se reconstruir novas relações entre sociedade e natureza, que apontam para a construção de um diálogo de saberes (LEFF, 2004). Esse diálogo abrange não apenas os conhecimentos científicos, como também o “terceiro incluído”, na concepção de Nicolescu (2010), que se refere aos conhecimentos construídos fora do âmbito acadêmico, mas que devem ser considerados na busca por soluções de problemas socioambientais. O debate ambiental mostra-se dependente do conhecimento científico, embora haja polêmicas sobre o uso dos resultados de pesquisas científicas por grupos de interesses (PEUHKURI, 2002).

O rompimento de uma barragem da mineradora Samarco, controlada pela Vale e BHP Billiton, na cidade de Mariana, município do estado de Minas Gerais, provocou o que tem sido

chamado de pior desastre ambiental do país. A enxurrada de lama avançou pelo Rio Doce, espalhando cerca de 50 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração (ESCOBAR, 2015), formados, principalmente, por óxido de ferro, água e lama. Os impactos do rompimento da barragem são entendidos de forma complexa, em seus aspectos econômicos, sociais e culturais, ainda não são totalmente conhecidos, mas estudos preliminares indicam riscos potenciais da contaminação causada por minérios (SEGURA, 2016).

De acordo com Barreto (2001), o equacionamento da questão ambiental na mineração é diferente de outros setores da indústria, sendo subdividido em quatro aspectos:

- **1º Aspecto:** é derivado do fato de que o objeto da atividade mineral é a extração de um recurso natural, ao contrário dos outros setores, que simplesmente os incorporam à sua atividade produtiva. No setor mineral, também se utilizam recursos naturais como auxiliares ou componentes de seus processos produtivos, mas seu objetivo final ou objeto é a extração de um recurso natural. Nesse sentido, o setor mineral seria mais sensível ao equacionamento da questão meio ambiente versus desenvolvimento;
- **2º Aspecto:** o recurso natural é classificado como não-renovável. Isso porque, para essa visão e usando um slogan bem ilustrativo, “minério não dá duas safras”;
- **3º Aspecto:** derivada da primeira, diz respeito à natureza ou tipo de recuperação das áreas degradadas pela atividade. Uma vez que o objeto da atividade mineral é o próprio recurso mineral, é impossível a recuperação da área com base no princípio da reconstituição, uma vez que o que foi retirado, o minério, não poderá ser repostos;
- **4ª Aspecto:** é o tipo de impacto ambiental gerado pelo setor mineral, particularmente o visual, que é grande e muitas vezes confundido simbolicamente, como “o impacto”, particularmente nas minas e atividades extrativas a céu aberto. Esse dano ambiental necessita ser levado em conta, apesar de ser um dos que menos males e perigos causa ao meio ambiente e ao próprio homem.

Em Minas Gerais na mina de Fábrica operada pela Vale, na etapa de concentração, o consumo de energia na moagem média representa 12,0 kWh/ t e representa 1/3 do consumo total da usina. O consumo de água representa 1,4 m³/ t, sendo 70 % de água reciclada na usina e 30 % recuperada nas barragens (SAMPAIO et al., 2001).

Na Samarco Mineração S/A, pioneira na concentração de itabirito por flotação, representa uma unidade integrada com complexo de mineração em Minas Gerais e usina de pelotização no Espírito Santo. Indica como *work index* do minério no circuito de moagem, o consumo de

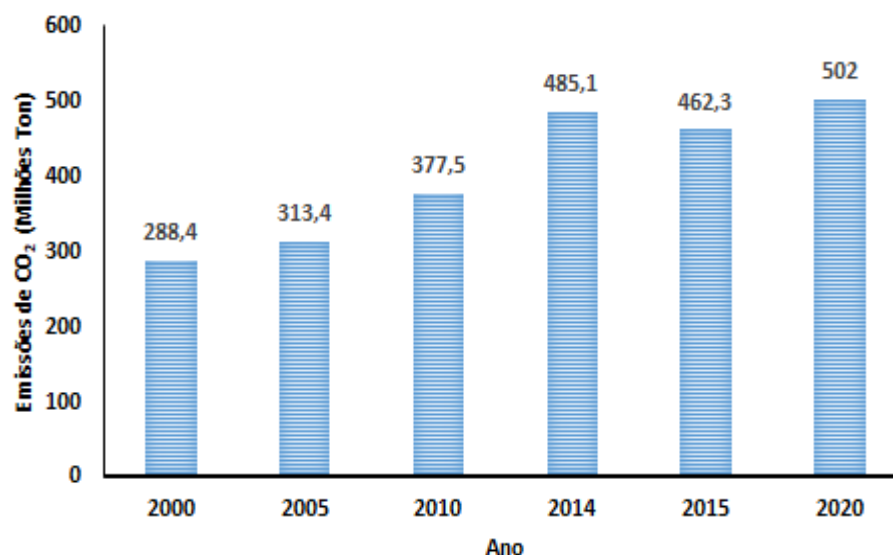
7,7 kWh/ t, e consumo de água nova correspondente a 1,26 m³/ t de minério tratado com 70 % da água de recirculação. (SAMPAIO et al., 2001).

O uso de água nas usinas de tratamento de minério, estão nas etapas de lavagem e concentração com valores de 1,2 a 1,4 m³/ t, sendo que nas usinas de Fábrica (Vale) e Germano (Samarco), ambas recirculam 70 % da água necessária. E os efluentes são, em todas a minas brasileiras, depositados em barragens de rejeito com monitoramento interno e externo por órgãos ambientais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).

O consumo energético na mineração, lavra e beneficiamento, não representam emissões de gases de efeito estufa GEE representativos. De acordo com Weisser (2007), as emissões de GEE que ocorrem nas fases do ciclo de vida anteriores e posteriores à geração de eletricidade, podem chegar a 90 % das emissões do ciclo total.

No período entre 2000 a 2015 as emissões de CO₂ associadas a matriz energética brasileira tiveram um aumento de 60,3 %, sendo projetado para 2020 um aumento de 7,9 % em relação ao ano de 2015. As projeções de aumento acompanham os novos padrões de consumo e aumento da expectativa de vida da população, além da elevação do nível de industrialização nos diversos setores da economia. O Gráfico 2 apresenta a evolução das emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira (BEN, 2016).

Gráfico 2 - Emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira.



Fonte: Produção do próprio autor com base no BEN (2016).

As exportações no Brasil, como componente da demanda final da cadeia produtiva de mineração, não apresentam exceção nas emissões de CO₂, visto que os processos de transporte e manuseio de minério de ferro possuem atrelados aos projetos e às operações o consumo de

energia direta e indireta, além da energia incorporada na cadeia produtiva dos materiais, equipamentos e serviços empregados nos projetos nas suas diversas etapas: engenharia, construção, operação e transporte.

No entendimento de Kammen e Pacca (2004), uma outra forma que tem se mostrado bastante poderosa para avaliar as emissões do sistema energético, é a aplicação da ferramenta para avaliação do ciclo de vida (ACV). Ao utilizar essa ferramenta, a quantificação das emissões de GEE se torna muito mais ampla e completa, pois a avaliação vai além das emissões causadas pela geração da eletricidade. A ACV considera todo o ciclo de vida, incluindo desde as etapas de planejamento, construção e operação até a desativação das instalações industriais, bem como as etapas de extração, processamento e utilização da matéria-prima e do combustível.

A matriz de eletricidade mundial é composta em sua maioria por combustíveis fósseis, principalmente por derivados de petróleo, carvão mineral e gás natural (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*, 2009). A participação da energia renovável na matriz energética mundial corresponde a 22,8%, enquanto o Brasil apresenta uma posição de destaque com 80,4% de participação na matriz de energia elétrica (BEN, 2018).

Com relação a distribuição das fontes renováveis na matriz energética brasileira, a energia hidroelétrica possui a maior participação representando 65,2%, a biomassa com 8,2%, a eólica com 6,8% e energia solar com 0,1%. Com relação as fontes geradoras de energia não-renováveis, temos o gás natural com 10,5%, o carvão e derivados com 3,6% e os derivados de petróleo com 3%. A participação da energia nuclear na matriz energética representa 2,5% (BEN, 2018).

Com relação aos principais setores de distribuição do consumo de energia no Brasil, destaca-se o setor de indústria com 32,9%, o setor de transportes com 32,7%, o setor energético com 10,1%, o setor residencial com 9,7%, o setor de serviços com 4,8% e o setor de agricultura com 4% (BEN, 2018).

A distribuição no setor de transporte entre as fontes de energia renováveis e não-renováveis no Brasil, apresentam o comportamento semelhante a distribuição da matriz energética mundial, sendo 80% não-renovável e 20% de energia renovável. Com relação a distribuição das fontes não-renováveis, temos o óleo diesel com 44%, a gasolina com 29,4%, o querosene com 3,9%, o gás natural com 2,1% e outras fontes que representam 0,9%. Com relação a distribuição das fontes renováveis, o etanol representa 16,4% e o biodiesel 3,3% (BEN, 2018).

Segundo o BEN (2016), a região Sudeste, no ano de 2016, apresentou o maior consumo de energia elétrica, representando 49,9 % do consumo total de energia no Brasil, seguido pelas

regiões Sul, Nordeste, Centro-Oeste e Norte. A Tabela 8 apresenta o consumo total de energia elétrica por região do Brasil no período de 2012 a 2016.

Tabela 8 - Consumo total de energia elétrica por região no Brasil.

Consumo por Região (MWh)	2012	2013	2014	2015	2016
Norte	29.048.752	30.195.682	32.363.651	33.410.545	34.066.195
Nordeste	75.610.402	79.693.889	80.746.431	79.978.998	80.144.072
Sudeste	235.237.240	240.104.803	242.513.166	234.162.153	229.922.908
Sul	79.708.996	82.712.217	87.420.084	81.990.159	81.718.007
Centro-Oeste	30.717.728	32.755.449	34.380.929	34.859.752	34.528.037
Total Brasil	450.323.118	465.462.040	477.424.261	464.401.607	460.379.220

Fonte: Produção do próprio autor, com base nas informações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) Potência Fiscalizada. BEN (2016).

Com relação à elevação do nível de industrialização por região no Brasil, a região Norte apresenta destaque no consumo de energia elétrica, decorrente das atividades de metalurgia e extração de minerais metálicos. A região Norte é responsável por 17,5 % da energia elétrica total consumida no Brasil, seguido da região Sudeste com 8,0 % e região Nordeste com 3,3 %. A região Sul apresenta consumo de energia elétrica não representativo para os setores de metalurgia e extração de minerais metálicos. A influência do setor de extração de minerais metálicos no consumo de energia elétrica no Brasil é apresentada na Tabela 9 (BEN, 2016).

Tabela 9 - Consumo de energia elétrica nos setores de metalurgia e extração de minerais metálicos.

Setor Industrial	Região Norte (%)	Região Nordeste (%)	Região Sudeste (%)	Região Sul (%)
Consumo de energia setor de metalurgia	55,3	22,5	23,9	6,7
Consumo de energia setor de extração de minerais metálicos	17,5	3,3	8,0	Inexistente

Fonte: Produção do próprio autor com base no BEN (2016).

Almeida (2007) comenta que é evidente como nos dias de hoje a credibilidade das empresas está atrelada ao grau de responsabilidade que assumem diante dos problemas que afligem o mundo. Atualmente observa-se uma evolução do conceito de responsabilidade legal

para o conceito de responsabilidade moral, ambas configurando a nova ordem da responsabilidade civil.

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

No entendimento de Bursztyn (2001), a ética da sustentabilidade é a solidariedade com as gerações futuras, sem ela a sustentabilidade não existe. Ela é apoiada em um tripé no qual precisam estar em perfeito equilíbrio com as dimensões: econômica, social e ambiental. É necessário que se preserve o meio ambiente para que as gerações futuras tenham o que existe hoje.

Devido à importância das exportações de minério de ferro para o desenvolvimento social e econômico do Brasil, cria-se um cenário de fragilidade ao qual este trabalho de pesquisa busca desenvolver uma ferramenta para avaliar a sustentabilidade na dimensão ambiental dos projetos e criar oportunidades de aperfeiçoamento.

Conforme apresentado no “Apêndice A”, baseado no estudo de levantamento das hipóteses e delimitação do trabalho de pesquisa, foi caracterizado o problema principal da pesquisa “Como desenvolver projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil mais sustentáveis na dimensão ambiental? ”. O desenvolvimento deste trabalho vai ao encontro com a criação de uma metodologia para avaliar de forma tangível as emissões de CO₂ na cadeia integrada de exportação de minério de ferro, criando uma nova forma de gestão e desenvolvimento de projetos.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma metodologia a ser utilizada na etapa de desenvolvimento da engenharia para determinar o índice de emissões de CO₂ nos terminais portuários de exportação de minério de ferro, abrangendo o ciclo de vida e a capacidade produtiva do projeto.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho de pesquisa são:

- Mapear a cadeia integrada de exportação de minério de ferro nos principais terminais portuários do Brasil;

- Determinar a energia incorporada na cadeia integrada de exportação de minério de ferro, considerando as premissas nos processos de entrada, nos processos internos e nos processos de saída;
- Introduzir conceitos ligados à sustentabilidade na dimensão ambiental na etapa de desenvolvimento de engenharia, dentre eles: racionalização do uso de matéria-prima, simplificação de projetos, utilização de fontes de energia renováveis e programas de eficiência energética;
- Consolidar a metodologia desenvolvida por meio do estudo de caso em dois terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.

1.4 CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS

As contribuições esperadas com o trabalho de pesquisa são:

- Disponibilizar uma metodologia para avaliação das emissões de CO₂ em projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro;
- Identificar a contribuição das emissões de CO₂ em cada processo na cadeia integrada de exportação de minério de ferro no Brasil;
- Criar referências de “índice de emissões CO₂” nos terminais portuários de exportação de minério de ferro estudados;
- Contribuir com o desenvolvimento de projetos mais sustentáveis na dimensão ambiental para as exportações de minério de ferro no Brasil.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

O trabalho encontra-se organizado em sete capítulos. No primeiro é introduzido o trabalho de pesquisa, contemplando a delimitação do tema, caracterização do problema, além da definição dos objetivos e as respectivas contribuições esperadas.

O Capítulo 2, apresenta a revisão da literatura, abordando assuntos que apoiam a argumentação e os objetivos do trabalho, tais como: desenvolvimento de projetos, portos e terminais no Brasil, desenvolvimento sustentável, mudanças climáticas, emissões de CO₂, energia e meio ambiente, energia incorporada e avaliação do ciclo de vida.

O Capítulo 3, apresenta os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, contemplando os recursos utilizados no desenvolvimento do trabalho, contemplando

a contribuição referente à energia incorporada na fabricação de correias transportadoras, recursos empregados nas atividades de construção e montagem de projetos.

O Capítulo 4 aborda a cadeia integrada de produção dos terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil, ressaltando os conceitos, a classificação, as generalidades e a morfologia desse processo.

O Capítulo 5 trata a proposição da tese, que consiste, no desenvolvimento de uma metodologia para determinação do índice de emissões CO₂ em terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.

O Capítulo 6 desenvolve o estudo de caso para aplicação da metodologia, inventário contemplando todos os itens avaliados.

No Capítulo 7 são apresentados os principais resultados obtidos no estudo de caso com a aplicação da metodologia desenvolvida.

Para finalizar, no Capítulo 8 apresenta-se a conclusão, as dificuldades e lições aprendidas e as sugestões para a elaboração de trabalhos futuros. Na sequência é apresentada a referência bibliográfica desta tese.

Nos “Anexos e Apêndices” estão apresentadas as principais informações utilizadas no desenvolvimento da tese, assim como desenhos técnicos, contendo informações dos equipamentos utilizados nos terminais portuários de exportação de minério, informações obtidas com fornecedores, resultados da pesquisa exploratória realizado nos principais portos e terminais do Brasil e informações complementares utilizadas no desenvolvimento do trabalho de pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MINERAÇÃO DE FERRO

Segundo Lamoso (2001), o minério de ferro é basicamente classificado em minério bruto e minério beneficiado. O minério bruto é comercializado na forma de granulado, já o beneficiado pode ser como *pellets*, *sinter feed* e *sinter*.

Segundo Chaves (2002), o objetivo da atividade mineradora é a descoberta, a lavra e o beneficiamento de minérios. Nesse sentido, as atividades executadas dentro da mineração consistem em:

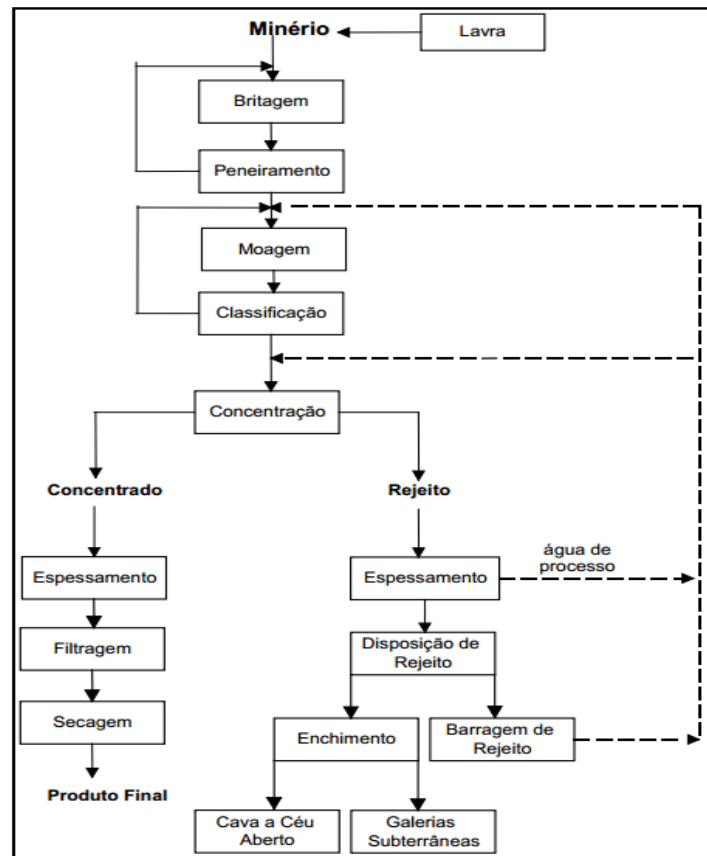
- Descobrir os recursos minerais existentes no subsolo;
- Trazer o bem mineral do subsolo até a superfície;
- Colocar esse bem mineral em condições de ser utilizado pela indústria metalúrgica, cerâmica ou química.

Chaves (2002) diz que o processamento de minério consiste em uma sequência de operações industriais que se denominam operações unitárias, assim chamadas devido ao fato de somente variáveis a combinação e a sequência dessas operações para atender a um determinado objetivo, ou para atender às características específicas de um determinado minério. De uma maneira geral, as operações unitárias podem ser esquematicamente agrupadas em:

- Operações de cominuição: são basicamente os sucessivos estágios de britagem e moagem das partículas minerais para colocá-las no tamanho adequado a que se destinam.
- Operações de concentração: visam separar as partículas não só por diferentes espécies minerais, mas também por distintos níveis de pureza;
- Operações auxiliares: armazenam e ou transportam os diferentes produtos intermediários entre uma operação e outra, além de permitir a separação da água contida nesses produtos. São classificadas em transporte de sólidos particulados, transporte de sólidos em suspensão em água, estocagem e homogeneização em pilhas, estocagem em silos, espessamento, filtração e secagem;

A Figura 1 apresenta o fluxograma de tratamento de minério de ferro, baseado em Chaves (2002) e Vale (2017).

Figura 1 - Fluxograma de tratamento de minério de ferro.



Fonte: Elaborado pelo autor baseado no Chaves (2002) e Vale (2017).

Pfiffer (2004) descreve que, embora o minério de ferro possa variar em função de suas características químicas, físicas e metalúrgicas, normalmente ele é classificado inicialmente em quatro tipos, de acordo com sua granulometria, conforme apresentado a seguir:

- Granulado ou *lump*: é o minério de ferro cujas partículas mais grossas variam de 6,35 mm a 50 cm de diâmetro. Pode ser utilizado como carga direta nos altos-fornos;
- Finos de minério de ferro ou “*sinter-feed*”: refere-se ao minério de ferro com partículas que variam de 0,15 mm a 6,35 mm de diâmetro, utilizado como matéria-prima para o processo de sinterização;
- Ultrafinos de minério de ferro ou “*pellet feed*”: são partículas de minério de ferro finas e ultrafinas inferiores a 0,15 mm, geradas nas etapas de lavra, classificação, manuseio e transporte, que não possui aplicação direta na indústria siderúrgica. Este produto é matéria-prima do processo de pelotização.
- Pelotas ou “*pellets*”: são partículas finas e ultrafinas de minério de ferro aglomeradas na forma esférica, com tamanho e qualidade adequados aos

processos específicos de siderurgia. As pelotas geralmente são classificadas entre 6,3 mm e 18 mm.

A produção estimada de minério de ferro no Brasil, considerando o consumo interno e dos países importadores, e tomando como referência a participação nas exportações, poderá alcançar 795 Mt, em 2022 e 1.098 Mt, em 2030. Com base na taxa de crescimento do consumo nacional, a demanda interna será de 213 Mt, em 2022, e atingirá 301 Mt em 2030 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).

2.2 PORTOS E TERMINAIS NO BRASIL

Conforme (Banco Nacional de Desenvolvimento, 2005), cerca de 90% do comércio transportado por via marítima, nos países da comunidade Europeia, é movimentado em portos nos quais o investimento e outras decisões políticas e administrativas são, em vários graus, dependentes ou, pelo menos, influenciados por entidades públicas.

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento (2005), os investimentos em infraestrutura portuária são realizados por vários modelos de governança. Existem fundos municipais, como no norte da Europa (Holanda, Bélgica e Alemanha), nos quais a responsabilidade pela política portuária é dos governos locais. Há também os modelos de investimentos realizados pelos governos centrais dos países, sendo cada vez mais comum o autofinanciamento portuário, em que os recursos para investimentos têm origem em empresas privadas ou nas tarifas portuárias arrecadadas pela autoridade portuária.

Maritime Administration (2008) resume a definição de um porto como o lugar que recebe tráfego de navios, nos quais cargas são carregadas ou descarregadas, referentes às mercadorias que entram e saem do país. Por isso, Vieira (2013) argumenta que essas instalações executam atividades de distribuição física internacional. Cullinane e Wang (2006) agregam na definição os serviços, tendo em vista que os portos são essencialmente provedores desse tipo de atividade, em particular para as embarcações, cargas e transportes terrestres.

De acordo com *Maritime Administration* (2008), os pátios, os armazéns e os terminais são áreas alfandegadas, habilitadas para a carga e descarga de mercadorias na fronteira terrestre do porto. Esses recintos podem ser operados por empresas privadas, ou pela autoridade portuária. No entanto, a administração do porto é responsabilidade dessa última ou da entidade concessionária do porto organizado.

Além dessas características das atividades portuárias de transbordo, a gestão logística dos portos não é tarefa simples, pois conforme Chang, Lee e Tongzon (2008), existe uma

complexidade em suas operações devido às pressões derivadas da abrangência global dos negócios em constante mudança.

Segundo Kussano e Batalha (2012), toda operação de transbordo implica em perda de mercadorias, que representam 0,20% em volume. Sob o ponto de vista tecnológico, segundo Núñez-Sánchez e Coto-Millán (2012), a atividade portuária se tornou altamente mecanizada, especializadas em alguns tipos de tráfegos, como os de cargas containerizadas, em substituição às atividades de mão de obra intensiva e, segundo Vieira (2013), de um modo geral, elas podem ser agrupadas em três categorias:

- Atracação e desatracação dos navios;
- Carga e descarga das embarcações, transferências de cargas do cais para os pátios, armazéns e terminais e vice-versa;
- Movimentação de entrada e saída das cargas nos pátios, armazéns e terminais.

Dos 37 portos públicos do Brasil, conforme apresentado no “Anexo A”, temos os portos delegados a governos estaduais e municipais, administrados diretamente pelas Companhias Docas, sociedades de economia mista, que têm como acionista majoritário o governo federal (SEP, 2014).

O Brasil possui 129 terminais de uso privativo (TPU) e 37 portos públicos (LIMA, 2012; SEP, 2014). As áreas dos portos brasileiros são, em geral, propriedade da União e podem ter sua exploração delegada a entidades privadas. Os portos organizados, de acordo com o artigo 1º da Lei dos Portos, são explorados pela União, “diretamente ou mediante concessão”. A União pode transferir o direito de exploração do porto para o estado e município em que ele se encontra. O estado ou o município, por sua vez, pode explorar o porto instituindo uma autarquia ou promovendo sua concessão à entidade privada.

De acordo com Vieira e Kliemann Neto (2016), a classificação de portos se dá conforme a inserção na rede de transporte marítimo mundial e está atrelada a ideia de “centro de conexões” ou *hub*, que entre as principais características estão: a regularidade de atuação no transporte internacional; grande quantidade de transbordos; e a crescente participação no mercado portuário.

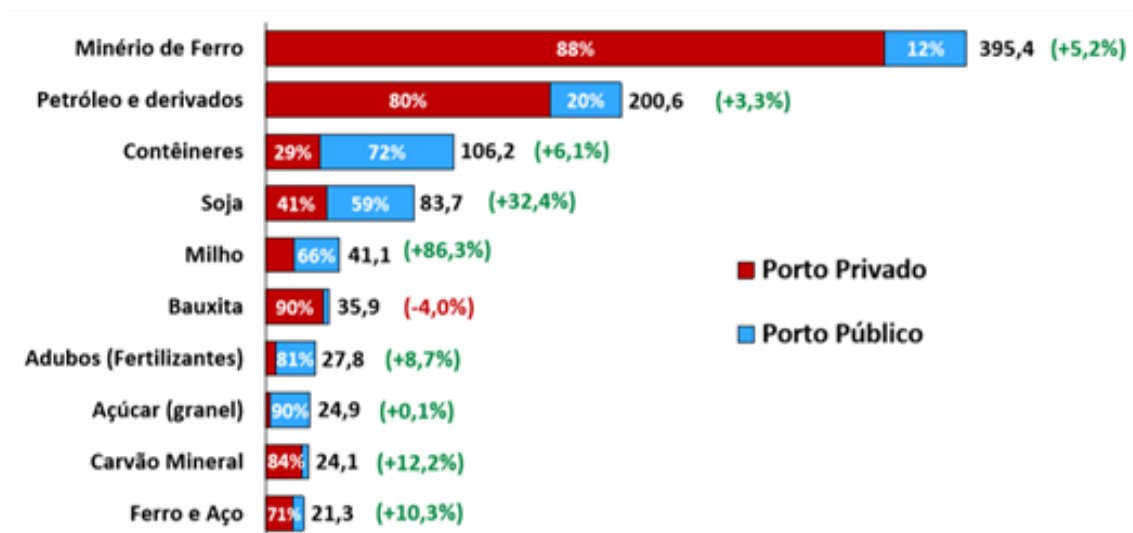
De acordo com a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (2016), a atracação representa a operação de fixar o navio ao cais, com o propósito de realizar carga e descarga de mercadorias, e o processo de afastar a embarcação do cais ou de outro navio é denominado de desatracação. O processo de carga e descarga de mercadorias nos portos é realizado de acordo

com o porte do carregamento, do produto, da embarcação, do berço, e também conhecido como *Deadweight*.

O padrão Panamax, segundo a International Association of Classification Societies (2012), faz referência ao tamanho limite para transpor o canal do Panamá, antes da sua ampliação em 2016, cujo calado máximo é de 12,04 metros. O novo Panamax é um navio projetado nos planos de expansão do canal do Panamá, em que as eclusas terão 427 metros de comprimento, 55 metros de largura e 18,30 metros de profundidade.

De acordo com a Agência Nacional de Transporte Aquaviário (2017), o minério de ferro é o produto com maior movimentação no Brasil, correspondendo a 395,4 Mt. A Figura 2 apresenta as principais cargas movimentadas no Brasil.

Figura 2 - Principais cargas movimentadas em milhões de toneladas e percentual.



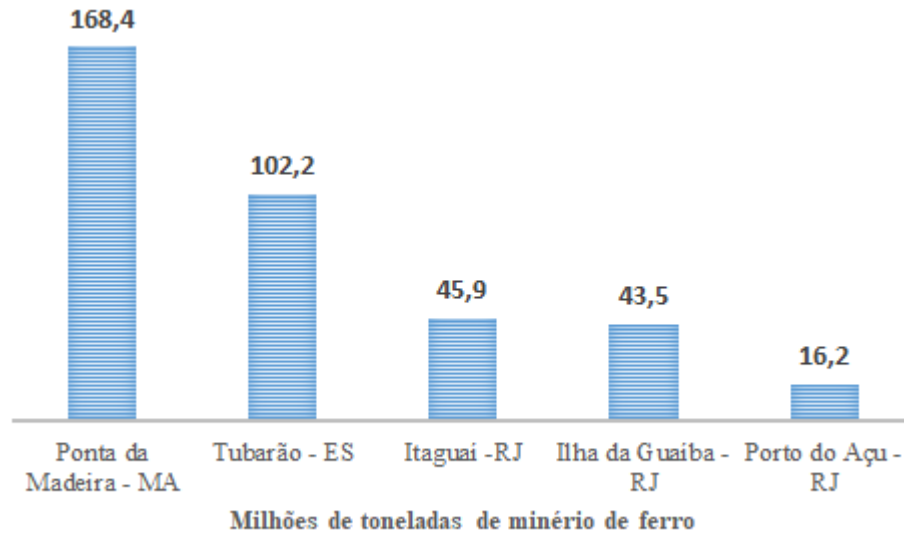
Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO (2017).

Segundo a Agência Nacional de Transporte Aquaviário (2017), os principais destinos de exportação foram a China com 307,2 Mt, a Holanda com 31 Mt, a Malásia com 31 Mt, o Japão com 29,7 Mt e os Estados Unidos com 28,4 Mt. Com relação aos principais produtos exportados temos:

- China: minério de ferro, soja e petróleo;
- Holanda: minério de ferro, contêineres e soja;
- Malásia: minério de ferro, milho e açúcar;
- Japão: minério de ferro, milho e soja;
- EUA: contêineres, ferro e aço e minério de ferro.

De acordo com a Agência Nacional de Transporte Aquaviário (2017), 96% da movimentação nos portos no Brasil é oriunda das exportações, as principais instalações de movimentação de minério são apresentadas na Gráfico 3.

Gráfico 3 - Principais instalações de minério no Brasil



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO (2017).

Uma parte da infraestrutura dos portos organizados, respectivamente, as áreas de embarque, desembarque de cargas e áreas de armazenagem, foram transferidas para a operação privada, com base na Lei dos Portos de 1993, por meio de arrendamentos.

As instalações portuárias são definidas pela Lei 12.815 de Junho de 2013, em seu artigo 2º inciso III, como sendo aquelas instalações localizadas no interior e fora da área do porto organizado que servem para movimentação de passageiros, de cargas ou armazenagem provenientes de ou destinadas ao transporte aquaviário. As definições pertinentes ao setor portuário, segundo a Lei Nº 12.815/2013, estão descritas conforme o “Apêndice B”.

Anteriormente à Lei dos Portos, as administrações portuárias eram responsáveis pela maior parte das operações nos portos, tais como embarque e desembarque de cargas dos navios e transporte, armazenagem e manuseio de cargas. Após os arrendamentos de áreas portuárias, essas atividades foram transferidas para operadores privados, e as administrações portuárias tornaram-se gestoras das áreas comuns dos portos, sendo responsáveis pela contratação das obras de construção, reforma, ampliação, melhoramento e conservação das instalações portuárias, incluindo as infraestruturas de acesso aquaviário e terrestre aos portos.

2.3 GASES DE EFEITO ESTUFA

Segundo o relatório da comissão mundial sobre o meio ambiente (WCED, 1987), conhecido como relatório *Brundtland*, os riscos e as incertezas ambientais decorrentes de um consumo elevado de energia no futuro são inquietantes. Dentre os riscos, pode-se destacar a probabilidade de alteração climática devido ao “efeito estufa” causado por gases emitidos na atmosfera, sendo o mais importante deles o dióxido de carbono (CO₂), que é produzido pela queima de combustíveis fósseis, e a poluição do ar urbano pelas indústrias, também devido a este GEE.

Associadas ao aquecimento global, as mudanças climáticas vêm sendo causadas pela intensificação do efeito estufa provocada pelo aumento da concentração na atmosfera de certos gases, chamados de gases de efeito estufa. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2001) descreve que o Protocolo de Quioto e focaliza seis principais GEE: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Machado (2002) avaliou os impactos do comércio exterior sobre o uso de energia e as emissões de CO₂ por parte da economia brasileira, utilizando um modelo de insumo produto híbrido, em formato produto por atividade, aplicado aos anos de 1985, 1990 e 1995. De um modo geral, seus resultados sustentam a hipótese de que o Brasil é um exportador líquido de energia e carbono embutidos nos produtos não energéticos transacionados internacionalmente.

Labandeira e Labeaga (2002), com o intuito de obter a intensidade de carbono para a Espanha, examinou os efeitos nos preços de um possível imposto de carbono, também utilizaram um modelo de insumo-produto em unidades híbridas. Foram considerados cinco tipos de combustíveis fósseis, dentre eles: o carvão, o lignito, os combustíveis líquidos, o gás natural e o gás manufacturado, nos 57 setores produtivos. Os resultados encontrados indicaram os setores de extração de carvão, eletricidade, gás natural, refino de petróleo, cimento, gás manufacturado, transporte marítimo, tijolos e cerâmicas, como as atividades que possuem maiores intensidades de CO₂.

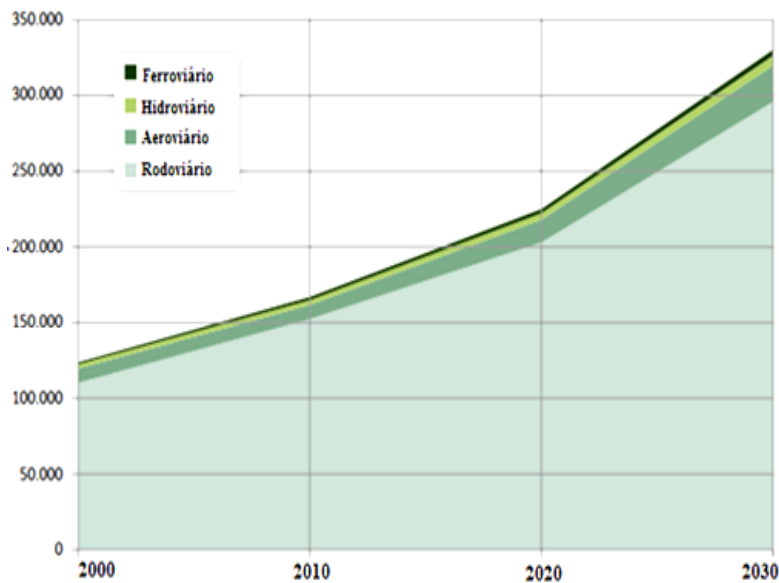
Hilgemberg (2005) quantificou as emissões de CO₂ decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo em nível nacional e regional, utilizando um modelo de insumo-produto inter-regional híbrido. Além disso, o estudo identificou os setores-chave nas emissões originadas de cada um dos energéticos considerado através do cálculo das elasticidades das emissões a uma variação na demanda final.

Para que seja mantida a estabilidade do clima e dos ecossistemas terrestres, a atmosfera apresenta em sua composição, em mais de 99%, os gases de Nitrogênio (N_2), o Oxigênio (O_2) e o Argônio (Ar). O restante contém pequenas quantidades de outros gases, também conhecidos como gases traços, onde se destacam em maiores concentrações, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o ozônio (O_3), o vapor d'água (H_2O) e os compostos de clorofluorcarbono (CFC), também conhecidos por fréons. Esses gases, embora não dominantes, apresentam moléculas com modos de vibração e rotação semelhantes aos da radiação infravermelha e alto potencial de interação com outros elementos químicos. O que lhes dá a propriedade de absorção/emissão da radiação, reduzindo a capacidade de emissão pela Terra. Por estas características e sendo responsáveis pelo aumento da temperatura da superfície terrestre, são chamados de “Gases de Efeito Estufa” (MOLION, 2008).

O alto desenvolvimento tecnológico verificado na economia mundial impulsionou o crescimento econômico de diversas nações. No entanto, ao mesmo tempo em que houve avanços significativos em termos de geração de renda, melhorias na qualidade de vida e na área de ciência e tecnologia, verificou-se impactos ambientais diversos, como, por exemplo, uma significativa alteração da estrutura climática do planeta. Tais alterações, acarretadas pelo aquecimento global vêm impactando fortemente o bem-estar das pessoas. Em virtude destas considerações, especialistas das mais distintas áreas, buscam uma maneira dos países continuarem seu desenvolvimento econômico de forma equilibrada com questões ambientais (COUTINHO, 2010).

De acordo com BEN (2018), cada brasileiro em 2017, emitiu em média 2,1 t CO_2 -eq, ou seja, cerca de 7 vezes menos do que um americano e 3 vezes menos do que emite um europeu ou um chinês. A economia brasileira permanece sendo, em média, 17% menos intensa em carbono que a economia europeia, 50% menos do que a economia americana e 70% menos do que a economia chinesa. O setor elétrico brasileiro emitiu, em média, 104,4 kg CO_2 para produzir 1 MWh, um índice muito baixo quando se estabelece comparações com países da União, EUA e China.

O total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 435,80 Mt CO_2 -eq em 2017, sendo 45,8% no setor de transportes, 18,9% no setor industrial, 4,3% nas residências e 31% nos outros setores, sendo a maior parte 199,7 Mt CO_2 -eq gerada no setor de transportes. (BEN, 2018). O Gráfico 4 apresenta a distribuição de emissões brasileiras por tipo de transporte modal.

Gráfico 4 - Emissões totais brasileiras de CO₂ por modal.

Fonte: Adaptado pelo autor, baseado na Fundação Getúlio Vargas - FGV (2010).

Dentre os setores que apresentaram grandes quantidades de CO₂ incorporadas, destacam-se os setores: mineração, siderurgia, alimentos e bebidas e outros, apresentando as maiores quantidades exportadas. Com relação ao inventário de emissões de CO₂ no setor de exportações de minério de ferro no Brasil, não foi encontrado nenhum estudo integrado, apenas alguns estudos isolados de emissões em embarcações e locomotivas utilizadas nas malhas ferroviárias, justificando a importância do desenvolvimento do trabalho de pesquisa.

2.4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Discussões sobre esse tema começaram em um âmbito global na década de 1970 e vem se consolidando desde então. Em 1979 foi realizada a primeira Conferência Mundial do Clima (CMC), que sinalizou a necessidade de uma cooperação entre as nações para o desenvolvimento de uma estratégia global e para o entendimento do funcionamento e uso racional do sistema climático (MIRANDA, 2012).

As discussões evoluíram e, em 1989, foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) com objetivo de fornecer aos governos uma visão científica clara sobre o que está acontecendo com o clima mundial (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 2010).

Em 1992, foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC) que reuniu os países em um esforço para estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera em um nível que não intervenha de forma perigosa no sistema climático, freando o aquecimento global e seus possíveis impactos (UNITED NATIONS, 1992).

Como incremento, tem-se a criação do Protocolo de Quioto no ano de 1997, que trouxe compromissos reais e estabeleceu que os países integrantes devem reduzir suas emissões de GEE em pelo menos 5 % abaixo dos níveis de 1990, no período de 2008 a 2012 (UNITED NATIONS, 1998). O Brasil é um país signatário dessa convenção e mantém compromissos voluntários de redução de emissões de GEE.

No ano de 2009, foi instituída no país a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) que, entre seus objetivos, busca a adequação do desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático e a redução das emissões antrópicas de GEE em relação às suas diferentes fontes (BRASIL, 2009).

O Brasil instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima, por meio de lei em 2009, definindo o compromisso nacional voluntário de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir suas emissões de GEE entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas até ano de 2020.

No último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), foi confirmado o aumento das concentrações do CO₂, chegando a 400 partes por milhão (ppm), no ano de 2013, enquanto na época pré-industrial correspondia a 277 ppm (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMA CHANGE*^c, 2013).

Não se sabe exatamente qual a real contribuição das atividades humanas no sistema climático da Terra. Entretanto, diversos cientistas alegam a existência de evidências da ação do homem, com a emissão de dióxido de carbono (CO₂), bem como dos demais GEE, em grandes quantidades na atmosfera, como sendo a principal causa das variações climáticas verificadas nos últimos anos. Alguns dados empíricos ajudam a validar tal conclusão, como por exemplo, um aumento de 0,5°C da temperatura na superfície do globo terrestre nos últimos cem anos e as concentrações atmosféricas de GEE terem aumentado 30% nos últimos duzentos anos (TOURINHO; MOTTA; ALVES, 2003).

Rotas de desenvolvimento afetam fortemente a capacidade tanto de adaptar como de mitigar mudanças climáticas em qualquer região (MUNASINGHE, 2003). Portanto, os impactos das mudanças climáticas fazem parte de uma questão mais ampla de como complexos

subsistemas sociais, econômicos e ambientais interagem e configuram prospectos para o desenvolvimento sustentável.

O crescimento econômico e a redução da pobreza, são as maiores prioridades dos formuladores de políticas dos países em desenvolvimento, ainda que a mitigação das mudanças climáticas possa oferecer a esses países a oportunidade de rever as estratégias de desenvolvimento dentro de uma nova perspectiva. Analogamente, a extrema desigualdade socioeconômica entre comunidades e nações, pode debilitar a coesão social que promoveria a sustentabilidade e viabilizaria respostas políticas mais efetivas (MUNASINGHE, 2003).

Os sistemas elétricos causam impactos nas funções dos ecossistemas incluindo regulação climática, ciclagem de nutrientes, distribuição de água, dinâmica dos solos, dinâmica da população natural, entre outros (KAMMEM; PACCA, 2004, p.325). Entre os impactos citados relacionados à energia, a mudança climática global tem se mostrado o mais preocupante (DINCER, 1998; BALAT, 2005).

As mudanças climáticas revelam-se como o resultado mais grave do paradoxo entre, atingir níveis sempre maiores de crescimento econômico, e a necessidade de se manter as condições elementares à vida na Terra. Nesse embate, o uso da energia entra não só como elemento indispensável à dinâmica do crescimento econômico, mas também como o principal fator antrópico de contribuição para o problema do aquecimento global (CUNHA, 2005).

De acordo com o Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (2005), as mudanças climáticas são consideradas um dos problemas mais relevantes da agenda internacional, com impactos diretos na vida humana, nas atividades econômicas e no aproveitamento dos recursos naturais.

Segundo a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (2005), evidências científicas da interferência humana no clima surgiram pela primeira vez no cenário internacional em 1979 durante a Primeira Conferência Mundial do Clima. Em 1988, por iniciativa da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), foi criado o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2017), o aquecimento do sistema climático é evidente e algumas das principais mudanças observadas são apresentadas em seu 4º relatório, no qual se destacam:

- A temperatura média da superfície terrestre aumentou de 0,56 a 0,92°C desde 1850, sendo que este aumento é mais intenso nas maiores latitudes norte;

- O nível médio dos oceanos aumentou a uma taxa média de 1,3 a 2,3 mm por ano de 1961 até 2003;
- A cobertura de neve e gelo dos continentes continua a reduzir;
- Mudanças na frequência ou intensidade dos eventos extremos do clima nos últimos 50 anos.

De acordo com *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2017), a combinação dessas alterações eleva o risco de extinção de espécies animais e vegetais, podendo provocar alterações na estrutura e função dos ecossistemas. Além disso, aumenta as tensões sobre os recursos hídricos devido à alteração da disponibilidade de água, provocando impactos na agricultura, fornecimento de água, produção de energia e saúde humana.

2.5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito de desenvolvimento sustentável foi popularizado nos meios acadêmicos e políticos a partir do relatório feito em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMED (1991), criada pela Organização das Nações Unidas (ONU), com o escopo de traçar a situação ambiental no mundo e os instrumentos de enfrentamento do problema. Embora ainda não exista uma definição prática universalmente aceita de desenvolvimento sustentável, há um crescente consenso de que deve incorporar três aspectos: econômico, social e ambiental.

O desenvolvimento sustentável atualmente é uma das bases de discussões sobre as futuras gerações, tendo como principal foco atender as necessidades da geração atual sem afetar as futuras, considerando um manejo eficiente dos ecossistemas sob os aspectos do meio físico e biótico (MOREIRA, 2003).

O crescimento populacional é um dos maiores problemas mundiais atualmente. Apesar de ser considerado um progresso, o crescimento pode gerar desordenação que causa a preocupação quando se diz respeito do desenvolvimento com qualidade, uma vez que os recursos disponíveis estão cada vez mais escassos (ARAÚJO E SILVA, 2004).

Os principais problemas gerados pela mineração abrangem as seguintes categorias: poluição da água, poluição do ar, sonora e subsidência do terreno (FARIAS, 2002). Qualquer tipo de atividade humana, alteram o meio ambiente, tendo a mineração e a agricultura como as atividades básicas da economia mundial (SILVA, 2007).

Para a minimizar, prevenir e evitar que os impactos causados comprometam de maneira desordenada, os órgãos ambientais federais exigem desses empreendimentos o licenciamento

ambiental. O ministério do meio ambiente afirma que “ao exigir licenciamento ambiental para determinadas atividades ou empreendimentos, busca-se estabelecer mecanismos de controle ambiental nas intervenções setoriais que possam vir a comprometer a qualidade ambiental” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009). Este licenciamento é composto de três etapas: licença de prévia (LP), licença de instalação (LI) e licença de operação (LO), sendo exigido a apresentação da avaliação dos impactos ambientais (AIA), o estudo de impactos ambientais (EIA) e o relatório de impactos ambientais (RIMA).

Alterações no equilíbrio ecológico devido a esse tipo de atividade começou a se tornar preocupação de alguns pesquisadores durante os anos 60, e ganhou dimensão política a partir da década de 70. Atualmente não é possível implantar um projeto sem pensar no efeito dele sobre o meio ambiente (SILVA, 2007).

O termo ‘mineração sustentável’ ainda não é totalmente reconhecido pois gera conflitos com a real sustentabilidade, entretanto, o fato das atividades de mineração utilizar recursos esgotáveis, essa atividade tem que compensar pelo menos a sociedade que é afetada pelo seu desenvolvimento (CARVALHO, 2009). Os impactos vêm desde a degradação da paisagem até efeitos danosos ao equilíbrio do ecossistema como redução ou destruição de habitat, morte de espécimes de fauna e flora, chegando até a extinção (MECHI E SANCHES, 2010).

A sustentabilidade econômica é movida principalmente no sentido de melhorar o bem-estar humano, principalmente através do aumento do consumo de bens e serviços. O domínio ambiental focaliza a proteção da integridade dos sistemas ecológicos. O domínio social enfatiza o enriquecimento das relações humanas, a realização de aspirações individuais e coletivas e o fortalecimento de valores e instituições (MUNASINGHE, 2003).

Ringer (2014), destaca a importância das energias renováveis para a garantia da sustentabilidade. Entre os diferentes parâmetros a serem considerados em um programa bem-sucedido de desenvolvimento sustentável, destacam-se a educação ambiental, estratégias e promoção de energias renováveis e financiamento e desenvolvimento de ferramentas de monitoramento e avaliação. Santos, Filho e Barros (2015) salientam que os planos do uso de energia renovável se diferenciam em cada país, mas de modo geral deve incluir no mínimo, a utilização de: energia eólica, energia geotérmica, energia solar fotovoltaica e térmica, hidroeletricidade e biomassa e biogás.

2.6 DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

Segundo Carvalho e Rabechini Jr. (2011) o sucesso da execução de um projeto está associado ao planejamento, organização, supervisão e controle. Essa gestão de projetos envolve o conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas que são empregadas durante o processo do projeto. De acordo com Veras (2014) os parâmetros que indicam o sucesso de um projeto são: custo, prazo e qualidade, e estes devem estar consoantes com o escopo, expectativas e objetivos das partes envolvidas.

De acordo com o guia de projetos, o projeto é considerado como um esforço temporário, com início e fim bem definidos. Os recursos e pessoas são utilizados no projeto para atingir um objetivo exclusivo, ou seja, um resultado específico que o torna único. A diferença básica entre processos e operações é que estes são contínuos e repetitivos, enquanto os projetos não (PMI, 2017).

A publicação *Guide to the Project Management Body of Knowledge* pode ser considerada um marco na história da teoria de Gerenciamento de Projetos. O PMBOK não é uma metodologia em si, pois não propõe padrões ou modelos de documentos a serem utilizadas, apresentando uma abordagem generalista sem considerar peculiaridades de cada tipo de projeto (PROJECT BUILDER, 2017).

O PMBOK conceitua dez áreas de conhecimento que, se bem conduzidas durante o ciclo de vida do projeto, aumentam as chances de sucesso ao seu final (PMI, 2017). O Quadro 1 apresenta as áreas de conhecimento enumeradas pelo guia, com uma breve descrição dos seus conceitos e principais objetivos.

Quadro 1 - Áreas de conhecimento PMBOK.

Áreas de conhecimento	Descrição
Gerenciamento de Aquisições	Engloba os processos requeridos para adquirir bens e serviços externos à organização executora. Os profissionais envolvidos participam no planejamento do gerenciamento, além de conduzir, controlar e encerrar as aquisições necessárias para a execução do projeto (PMI, 2017; PROJECT BUILDER, 2017).
Gerenciamento da Qualidade	Conforme definição da ISO 9000, qualidade é a “medida de atendimento a expectativas, dada por um conjunto de características intrínsecas” (ABNT, 2015). Gerenciar a qualidade é elemento chave para garantia da satisfação do cliente, buscando sempre avaliar e entender as expectativas do cliente quanto ao atendimento a seus requisitos (PMI, 2017).

Gerenciamento de Riscos	O risco de um projeto é definido como um evento ou condição incerta que, se ocorrer, terá um efeito positivo ou negativo sobre pelo menos um objetivo do projeto, como tempo, custo, escopo ou qualidade. Gerenciar os potenciais riscos é fundamental para o sucesso do projeto, procurando desvios e tendências para identificá-los precocemente, visando maximizar a exposição aos eventos positivos e minimizar a exposição aos eventos negativos (RABECHINI JR. e CARVALHO, 2010; PMI, 2017; PROJECT BUILDER, 2017).
Gerenciamento de Escopo	O escopo é definido como o conjunto de todos os produtos a serem entregues pelo projeto, incluídos os seus requisitos. Há uma diferenciação sutil entre escopo do projeto e o escopo do produto. O primeiro descreve todo o trabalho e atividades necessárias para completar o projeto, que pode ser traduzido pela Estrutura Analítica do Projeto (EAP14). Quanto ao escopo do produto, consiste na descrição das características funcionais que distinguem o produto ou serviço a ser gerado ao fim do projeto. O gerenciamento do escopo visa garantir a aderência do escopo aos objetivos do projeto (KERZNER, 2006; PMI, 2017).
Gerenciamento de Custos	O foco dessa área é estabelecer e gerenciar os custos para a disponibilização dos recursos necessários às atividades do projeto, descritas na EAP. Assim como outros recursos, o orçamento disponível para um projeto é limitado e requer rígido gerenciamento, pois este pode comprometer todo um projeto, inclusive inviabilizá-lo ou interrompê-lo. Essa área de conhecimento utiliza um conjunto de técnicas multidisciplinares que permitem compreender a origem dos custos e pode conduzir ao melhor aproveitamento do orçamento disponível, reduções de custos e obtenção de melhores níveis de produtividade (PMI, 2017; KERZNER, 2006).
Gerenciamento da Integração	O gerenciamento da integração do projeto inclui os processos e as atividades necessárias para identificar, definir, combinar, unificar e coordenar os vários processos e atividades dos grupos de processos de gerenciamento, tendo o gerente do projeto como principal integrador dos processos, equipes e pessoas.
Gerenciamento da Comunicação	Abrange os processos para gerenciamento do fluxo correto e tempestivo das informações geradas, bem como da sua apropriada distribuição, armazenamento, recuperação e destinação ao utilizador final da informação.
Gerenciamento de Recursos Humanos	O gerenciamento de recursos humanos é a área responsável por identificar, obter e mobilizar os recursos que tenham o perfil de habilidades e conhecimentos necessários para a realização das atividades do projeto.
Gerenciamento do Tempo	Abrange todos os processos necessários para certificar que o projeto será concluído no prazo estabelecido. É a área mais sensível do projeto, pois sofre influência do desempenho de todas as outras.
Gerenciamento das Partes Interessadas (Stakeholders)	Identificação e gerenciamento dos interesses e expectativas de todos os atores que tem relação com o projeto, buscando minimizar resistências contrárias e aumentar o seu engajamento no projeto.

Fonte: Elaborado pelo autor baseado no PMI (2017).

Tendo como alicerce as dez áreas de conhecimento, o PMBOK propõe uma linha de trabalho a ser utilizada na condução de cada fase do projeto, organizados em cinco grupos de processos (KERZNER, 2006; RABECHINI JR. e CARVALHO, 2010):

- Iniciação: define as grandes linhas e autoriza um projeto dentro da organização, documentando os requisitos, objetivos macro, razões para sua existência e necessidade de recursos;
- Planejamento: refina objetivos, planeja ações e detalha o escopo e as atividades que compõem o projeto;
- Execução: integra a equipe e os recursos necessários para realizar o plano do projeto, com base no cronograma e EAP definidos na etapa de planejamento;
- Monitoramento e controle: mede e avalia continuamente a condução e o progresso da execução do projeto;
- Encerramento: formaliza a entrega e a aceitação dos produtos, conduzindo em seguida à sua conclusão.

Segundo o PMBOK, existem seis processos fundamentais no gerenciamento dos riscos de um projeto, que são listados e descritos brevemente a seguir. Os cinco primeiros fazem parte do grupo de processo de planejamento, enquanto o sexto pertence ao grupo de processos de monitoramento e controle (PMI, 2017).

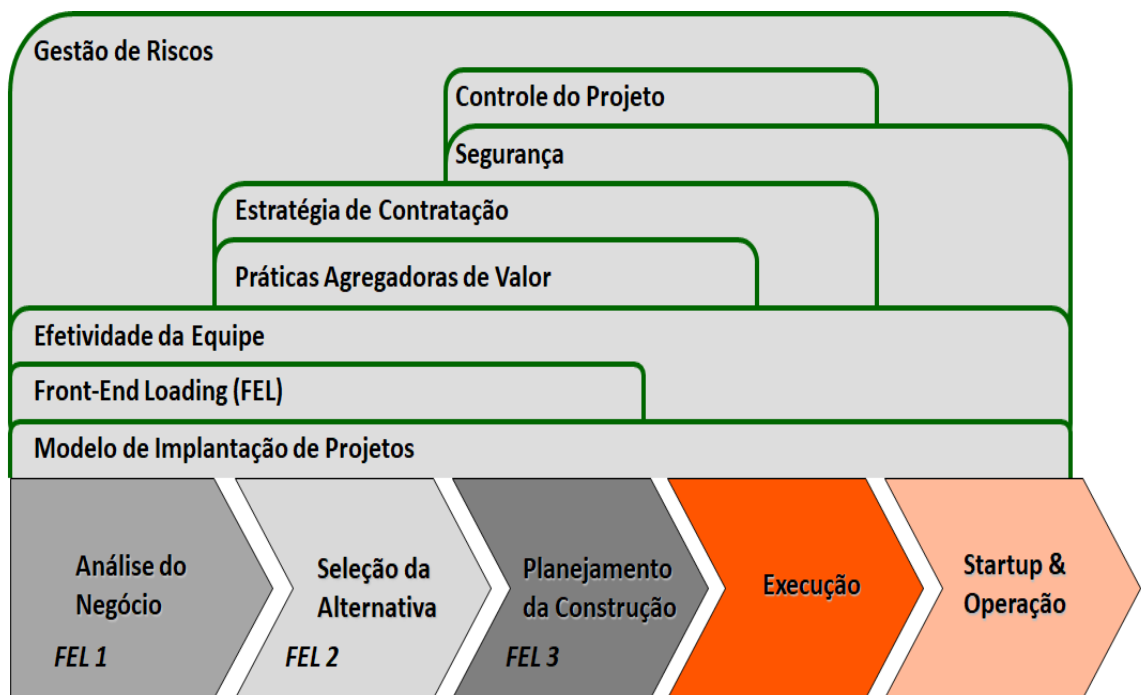
- Planejar o gerenciamento dos riscos: definir como serão conduzidas as atividades de gerenciamento de riscos para o projeto.
- Identificar os riscos: determinar quais riscos e como podem afetar o projeto e documentar suas características.
- Realizar a análise qualitativa dos riscos: avaliar os riscos para priorizar aqueles que serão objeto de ações para mitigação ou potencialização.
- Realizar a análise quantitativa dos riscos: quantificar o efeito dos riscos priorizados nos objetivos gerais do projeto em termos de custo e prazo. v. Planejar as respostas aos riscos: desenvolver opções e ações para aumentar as oportunidades e reduzir as ameaças aos objetivos do projeto.
- Controlar os riscos: monitorar e controlar os riscos durante o ciclo de vida do projeto.

A metodologia *Front-End Loading*, ou simplesmente FEL, foi desenvolvida pelo *Independent Project Analysis* (IPA) e é uma das mais conhecidas metodologias de portões, amplamente utilizada no gerenciamento de projetos industriais. A aplicação dessa metodologia visa a obter um entendimento detalhado do escopo do projeto que atende aos objetivos

propostos, bem como minimizar mudanças durante as fases posteriores de execução do projeto (BARSHOP, 2004).

A metodologia permite fazer a redução gradativa dos riscos do projeto baseado na elevação da maturidade do projeto através das fases FEL. A Figura 3 apresenta as fases da metodologia FEL de divisão do desenvolvimento do projeto em fases e seus portões de decisão.

Figura 3 - Fases da metodologia FEL.



Fonte: Elaborado pelo autor baseado no *Independent Project Analysis* (2017).

O ciclo de vida de um projeto de capital pode ser dividido em duas grandes etapas: desenvolvimento do escopo e execução. A etapa de desenvolvimento é onde a metodologia FEL é aplicada. As fases 1 a 3 são consideradas etapas de definição do empreendimento, sendo responsáveis por todo o planejamento, definindo o que (escopo), quando (cronograma) e por quem será feito (recursos humanos) e quais são os recursos necessários (custos). Na fase de execução é colocado em prática o planejamento estabelecido no FEL, incluindo as aquisições necessárias, construção, montagem e os procedimentos para início de operação. Na fase final de operação é realizada a entrega do produto e o início das atividades do projeto concluído (ROCHA, 2014; WEIJDE, 2008; BARBOSA, PINHEIRO e SANTOS JR., 2013). O Quadro 2 apresenta os objetivos, requisitos e entregáveis de cada fase, conforme definições da metodologia FEL.

Quadro 2 - Objetivos, requisitos e entregáveis de cada fase da metodologia FEL.

Fase FEL	Requisitos	Entregáveis
FEL1	Objetivos e requisitos	Validação da oportunidade comercial e das alternativas técnicas a serem analisadas no projeto conceitual; Definição dos objetivos estratégicos do projeto e do escopo necessário para a sua implementação; Engenharia paramétrica, baseada em projetos equivalentes
	Entregáveis	Estudos de seleção de alternativas; Termo de referência do projeto; Estimativa de custo inicial.
	Faixa de custo	-25% a +40%
FEL2	Objetivos e requisitos	Definir conceitualmente o projeto e selecionar a alternativa a ser detalhada; Refinar premissas técnicas e econômicas; Selecionar práticas de melhoria de valor (VIP); Estimar o custo de capital (CAPEX) do projeto
	Entregáveis	Análises preliminares de risco e ambiental; Análise econômica e estimativa de orçamento; Cronograma de implantação; Projeto conceitual de engenharia; Declaração de escopo preliminar; Definição de localização do empreendimento
	Faixa de custo	-15% a +25%
FEL3	Objetivos e requisitos	Preparar o projeto de engenharia para fundamentar a estimativa de custo para aprovação da Diretoria Executiva, visando obter autorização da contratação da execução.
	Entregáveis	Projeto básico de engenharia; escopo de trabalho definitivo; plano de execução; análise do cronograma; documentação para obtenção de licenciamento ambiental; orçamento detalhado.
	Faixa de custo	-10% a +10%

Fonte: Elaborado pelo autor baseado no *Independent Project Analysis* (2017).

A etapa de execução do projeto é planejada nas etapas anteriores do FEL. Para isso, é necessário que o projeto básico de engenharia seja detalhado para que possa gerar documentação para compra de materiais e equipamentos, e permitir a construção e montagem das novas instalações.

A última etapa do projeto é o *start up* e comissionamento, nessa etapa são realizados os procedimentos de comissionamento da planta, que são os testes realizados para assegurar que as instalações estão aptas e seguras para serem operadas conforme foram projetadas. Pode haver, após o comissionamento, um período em que é feita a operação assistida como etapa de transição da entrega do projeto para o cliente final (PMI, 2017; ROCHA, 2014).

O emprego da metodologia FEL durante o ciclo de vida dos projetos, historicamente leva a desempenhos econômicos melhores quando comparado a projetos que não a utilizam, principalmente pela redução do número de mudanças de escopo nas fases mais avançadas. As metodologias de desenvolvimento e gerenciamento de projetos não contemplam a análise de sustentabilidade ambiental na fase de desenvolvimento do projeto, desta forma, o trabalho proposto busca preencher esta lacuna e trazer um complemento na área de gestão de projetos.

2.7 ENERGIA INCORPORADA NOS MATERIAIS

A produção e o uso da energia estão fortemente relacionados com o desenvolvimento das sociedades, trazendo muitos benefícios, tais como: utilização de aparelhos elétricos, preparação e conservação de alimentos, conforto térmico nas residências, transportes de pessoas e de cargas mais rápidos e eficientes. Entretanto, também apresentam efeitos negativos decorrentes dos impactos ambientais intrínsecos a cadeia integrada de produção entre insumo e produto.

A interface existente entre a energia e o meio ambiente é bastante complexa e está constantemente evoluindo causando grande preocupação ambiental, podemos citar: as mudanças no uso do solo devido à exploração dos combustíveis e construção das usinas, os impactos estéticos relacionados à infraestrutura da usina de energia, a poluição térmica advinda da queima dos combustíveis, a geração de ruídos, as ondas eletromagnéticas e de radiação ionizante, o risco de acidentes na exploração dos combustíveis e na geração da energia, a geração de efluentes sólidos, líquidos e gasosos que provocam danos à saúde humana e ao ecossistema (DINCER, 1998; TESTER et. al., 2005).

A energia é um dos mais importantes recursos utilizados durante o ciclo de vida de projetos. Aproximadamente 50 % do seu consumo total na Europa é representado pelo setor da construção (Citherlet & Defaux, 2007), e 30 a 40 % em todo o mundo de toda a energia primária é utilizada em edificações (UTAMA & GHEEWALA, 2008).

No panorama ambiental atual, a escassez de energia e o esgotamento de recursos naturais são questões amplamente em pauta. Dados disponibilizados pela *Energy Information Administration* (EIA, 2009). A indústria da construção civil é apontada por consumir mais matérias-primas do que qualquer outra atividade econômica (TORGAL; JALALI, 2010). Porém, ainda que tardiamente, se comparada a outros setores da indústria, o setor vem adotando uma conscientização e postura mais proativa em relação ao meio ambiente e à sustentabilidade (CARVALHO, 2007; SPOSTO, 2014).

Pensar em construir mais usando menos materiais tornou-se o grande desafio atual, pois reduz a pressão sobre a natureza e o volume de material nos aterros de resíduos, além de outros impactos ambientais (WEINSTOCK, 2000; AGOPYAN; JOHN, 2011).

A redução do consumo de recursos chega a ser apontada como o primeiro princípio da construção sustentável (KIBERT, 2008 apud TORGAL; JALALI, 2010). Aspectos relacionados aos materiais de construção são de fato tão importantes quanto os relativos à redução da utilização de energia operacional em edifícios (BERGE, 2009).

A energia incorporada é uma forma de mensurar o impacto ambiental das construções. É um fator importante para a tomada de decisões quanto à escolha de materiais. Essa energia é considerada como toda aquela usada para a fabricação dos materiais usados na construção, desde a energia usada para extrair a matéria-prima para o processo de fabricação, transporte até o produto final para o consumidor (ABEYSUNDARA; BABEL; GHEEWALA, 2008 apud TAVARES, 2006).

O tempo de vida energético do projeto é dividido em produção – incluindo todos os processos, desde a extração de matéria-prima até o fim da produção na fábrica, construção, operação, manutenção e demolição (THORMARK, 2001), sendo que a energia incorporada pode chegar a 40% de toda aquela que é consumida durante a vida do projeto.

Existem diversos métodos para o cálculo da energia incorporada e com diferentes valores obtidos. A energia é mensurada tendo como base o consumo da energia direta e indireta, a energia indireta refere à quantidade que realmente foi utilizada como a registrada em uma conta de energia elétrica. A energia direta é a energia usada para produzir a energia indireta, como a combustão do gás usado para produzir eletricidade em uma usina de energia elétrica.

No âmbito da construção sustentável, o projeto atua como protagonista, sendo requisito fundamental ao processo de produção do ambiente construído, agindo como elemento indutor da racionalização da construção, da qualidade do produto final e de sua sustentabilidade. É na fase de projeto que o produto é concebido e os materiais e as técnicas construtivas são especificados (CARVALHO; SPOSTO, 2012).

Após avaliação dos trabalhos de pesquisas desenvolvidos utilizando o conceito da energia incorporada no projeto, foram identificados alguns trabalhos de pesquisa na área de construção civil e alguns trabalhos específicos em outros setores, porém, não foi identificado nenhum tipo de trabalho de pesquisa na área de projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro.

2.8 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A ACV é um enfoque metodológico poderoso que inclui todo o ciclo de vida do produto, processos ou atividades, abrangendo a extração, o processamento de matérias primas, a produção, a distribuição, o uso, o reuso, a manutenção, a reciclagem e disposição final. Entretanto, há grandes dificuldades de realização de uma ACV, entre elas: decisões subjetivas na interpretação de dados, necessidade de um grande número de dados, metodologia não consolidada, falta de confiabilidade de bancos de dados (AYRES, 1995; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001).

A análise do ciclo de vida ou avaliação do ciclo de vida é um instrumento de gestão ambiental aplicável a bens e serviços, também conhecida pela expressão *cradle to grave* (do berço ao túmulo), berço indicando o nascedouro dos insumos primários mediante a extração de recursos naturais e túmulo, o destino final dos resíduos que não serão reusados ou reciclados (BARBIERI, 2004).

A norma ISO 14040 define o ciclo de vida como os estágios consecutivos e interligados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria prima ou geração de recursos naturais até a disposição final. Conforme Albrecht (1998), Barbieri (2004) e Maimon (1996), o ciclo completo vai da origem dos recursos naturais até a disposição final dos resíduos após o uso, passando por todas as etapas intermediárias como beneficiamento, transporte, fabricação e estocagem.

A ISO 14040 estabelece que a análise do ciclo de vida de produtos deve incluir a definição do objetivo e do escopo do trabalho, uma análise do inventário, uma avaliação do impacto e a interpretação dos resultados (CHEHEBE, 1998).

A própria norma ISO 14040 identifica algumas limitações:

- A natureza das escolhas e suposições: estabelecimento das fronteiras do sistema, seleção das fontes de dados, e categorias de impacto;
- Os modelos usados para análise de inventário e para avaliação de impactos ambientais podem não ser apropriados para aplicações locais;
- Resultados de estudos que enfoquem questões globais podem não ser apropriados para estudos locais e condições locais podem não ser adequadamente representadas pelas condições globais;
- Exatidão limitada pela acessibilidade ou disponibilidade de dados pertinentes;

- Falta de dimensões espaciais e temporais dos dados do inventário introduz incerteza nos resultados dos impactos (varia com as características espaciais e temporais de cada categoria de impacto).

Reap (2008) argumenta que ao considerar a sustentabilidade como objetivo final, a importância do desenvolvimento da ACV para além do estágio atual é evidente. Winkler & Bilitewski (2007) ao compararem diferentes modelos de *softwares* de ACV para analisar resíduos sólidos, encontraram resultados com grandes variações. Denotam que a melhor forma de melhorar a modelagem de ACV para a gestão de resíduos é o uso de experiência coletiva para construir um modelo de melhores práticas.

A visão de ciclo de vida não é nova para a dimensão econômica. A ferramenta CCV – custo do ciclo de vida (LCC – *Life Cycle Cost*) já vem sendo aplicada por algumas companhias, para avaliação de custos não só de manufatura, mas também de uso e descarte.

Guinée (2011) acredita que o período de 2010-2020 será a década de desenvolvimento da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida, em direção a uma moldura que responda às questões relativas aos três aspectos da sustentabilidade, nos diferentes níveis de produtos, setores e economias.

Dentro dos esforços para ampliação do conceito de sustentabilidade, a UNEP/SETAC divulgou em 2009, o guia para a avaliação do ciclo de vida social de produtos (UNEP/SETAC, 2009). Esse guia pretende ser um ponto inicial para o desenvolvimento da metodologia pela qual a extensão da ACV para outras dimensões é baseada nas ISO 14040/44 e 26000 (VALDIVIA & SONNEMANN, 2011).

Na ACV ambiental o foco dos impactos está diretamente relacionado com o fluxo físico dos processos que compõe o ciclo de vida do produto ou serviço em questão, fato que não ocorre na ACVS onde o foco está nas pessoas e, portanto, relacionado com as atividades do ciclo de vida que afetam as pessoas (DREYER et. al., 2006).

Joergensen et. al. (2011) diferenciam três abordagens para a ACVS, acrescentando que nenhuma das três está livre de problemas:

- ACVS de gestão – A decisão é interna na empresa. A ACVS serve para identificar “hot spots” e melhorá-los. Devem-se usar dados específicos da empresa, e focar nas fases do ciclo de vida onde é possível ter influência;
- ACVS consequencial – A decisão é externa, o tomador da decisão e o gestor da cadeia, não são os mesmos atores. A ACVS avalia os impactos sociais das alternativas, priorizando aquela que tiver maiores impactos positivos. Deve-se trabalhar com dados

marginais como na ACV consequential, assim como avaliar a decisão de “não produção”, o que pode levar a um desemprego. Devem-se analisar as cadeias completas das alternativas;

- ACVS educacional – A ACVS informa o score das alternativas, para que o divisor possa realizar a escolha, e.g. consumidor. A avaliação é comunicada ao público, e passa a ser uma vantagem ou desvantagem competitiva. As empresas tendem a melhorar seu desempenho ou perder mercado consumidor. A definição do escopo é discutível e a padronização passa a ser importante;

Baseado na avaliação das diversas ferramentas existentes para ACV, foi identificado que as metodologias existentes não conseguem abranger todas as áreas de conhecimento, sendo necessária a utilização de ferramentas complementares para melhor representação de questões de sustentabilidade na análise do ciclo de projetos, justificando a importância do trabalho de pesquisa.

Com relação à aplicabilidade da ACV em projetos de terminais portuários, não foi identificado nenhum trabalho de pesquisa na área de exportação de minério de ferro, reiterando com a importância do desenvolvimento da metodologia de trabalho proposta.

2.9 INDICADORES E ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE

Uma das mais importantes contribuições ao uso de indicadores de sustentabilidade foi dada por Rees (1992), com o desenvolvimento de um índice denominado “Pegada Ecológica” ou “*Ecological Footprint*”.

Existe certa confusão sobre o significado de índice e indicador, onde muitas vezes são erroneamente utilizados como sinônimos. Segundo Mitchell (1996), indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade.

Para Mueller (1997), um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, sendo que um bom indicador deve conter os seguintes atributos: simples de entender; quantificação estatística e lógica coerente; e comunicar eficientemente o estado do fenômeno observado. Para Shields (2002), um índice revela o estado de um sistema ou fenômeno. Prabhu (1996) argumentam que um índice pode ser construído para analisar dados através da junção de um jogo de elementos com relacionamentos estabelecidos.

Em uma análise superficial, índice e indicador possuem o mesmo significado, a diferença está em que um índice é o valor agregado final de todo um procedimento de cálculo onde se

utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem. Pode-se dizer também que um índice é simplesmente um indicador de alta categoria (KHANNA, 2000).

Os indicadores podem ser classificados como simples ou complexos. De acordo com Sanches (1997), o indicador simples tem o seu valor obtido por meio de uma medida direta, de uma enumeração física ou material. Já, o indicador complexo tem o seu valor obtido por meio de uma medida indireta. Nesse último grupo de indicadores, podemos citar os coeficientes, que são indicadores oriundos da relação entre outros dois indicadores.

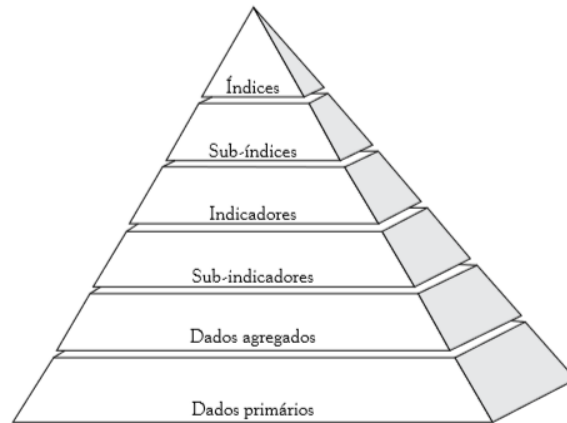
Combessie (2004) define indicador como “um resumo satisfatório de uma noção mais abstrata e mais ampla”, cujo valor resultante descreve a intensidade de uma perspectiva da noção representada. Trzesniak (2014) diferencia indicadores de medidas e observa a discordância por parte de uma parcela da comunidade científica quanto à quantificação do desempenho e comportamento da ciência, em decorrência muitas vezes de uma forma superficial e/ou equivocada e não qualificada da utilização e aplicação destas.

Um índice de sustentabilidade deve inicialmente referir-se aos elementos relativos da sustentabilidade de um sistema (CAMINO; MÜLLER, 1993) e a explicitação de seus objetivos, sua base conceitual e seu público usuário (ROMEIRO, 2004).

Os indicadores científicos permitem descrever aspectos qualitativos ou quantitativos de um estado ou atividade científica (VANZ, 2004). Permitem identificar a natureza, estado ou mesmo evolução de um fenômeno, como também sua representação, descrição e caracterização (LIBERAL, 2005).

Para Trzesniak (2014), os indicadores, como explicitado em sua própria nomenclatura, dão indicações, mas não a certeza absoluta do que se pretende saber, por isso estão relacionados a fenômenos estocásticos, diferentemente dos parâmetros, que por serem exatas estão no universo determinístico. A Figura 4 apresenta a pirâmide corresponde ao grau máximo de agregação de dados, enquanto a base representa os dados primários desagregados.

Figura 4 - Nível de agregação de dados de uma determinada ferramenta de avaliação da sustentabilidade.



Fonte: adaptado pelo autor com base em Shields (2002).

Um dos aspectos críticos de um índice de sustentabilidade é a metodologia adotada, tanto para sua determinação, quanto para sua leitura e interpretação. Independente da escolha, esta deve ser clara e transparente, não deixando dúvidas sobre quais os princípios que estão na base do processo. Outro aspecto determinante, em uma avaliação ambiental de um sistema, é que não existe a possibilidade de determinar sua sustentabilidade considerando apenas um indicador ou indicadores que se refiram a apenas um aspecto do sistema. A sustentabilidade é determinada por um conjunto de fatores (econômicos, sociais e ambientais), e todos devem ser contemplados no cálculo do índice de sustentabilidade através dos correspondentes indicadores (BOUNI, 1996).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

As atividades de coleta, registro e a análise dos dados, foram realizadas através do sistema de gestão de documentos técnicos dos terminais TIG e CPBS localizados no estado do Rio de Janeiro no Brasil. Adicionalmente aos dados do sistema de gestão de documentos técnicos, foram coletadas informações técnicas e de infraestrutura dos terminais, constantes nos planos de manutenção, elaborados e disponibilizados pelas áreas de manutenção e engenharia de ambas empresas.

Foram coletadas informações referentes ao consumo de energia elétrica e potência instalada nos equipamentos, correias transportadoras e sistemas periféricos. As informações referentes a capacidade produtiva dos equipamentos e píeres de atracação de navios, foram obtidas através das áreas de programação operacional e produção de ambos terminais TIG e CPBS.

Com relação as informações referentes ao histórico de movimentação de carga e ciclo de vida dos terminais TIG e CPBS, as mesmas foram obtidas com a área de manutenção e engenharia de ambos terminais TIG e CPBS.

Os desenhos foram organizados de acordo com os processos operacionais: descarga, manuseio, estocagem e embarque. A separação foi adotada com objetivo de facilitar a etapa de desenvolvimento do inventário e consolidação das informações.

Os dados foram compilados através da utilização de planilhas eletrônicas, gráficos e tabelas de referência cruzada, considerando o ano de publicação. As áreas de conhecimento pesquisadas foram: mineração, portos e terminais, gases de efeito estufa, mudanças climáticas, desenvolvimento sustentável, desenvolvimento de projetos, energia, ciclo de vida e indicadores e índices.

3.2 DESENVOLVIMENTO DE DESENHOS

Para desenvolvimento do trabalho, foi necessário a elaboração de desenhos complementares para cálculo de volumes, áreas e pesos de estruturas e equipamentos utilizados nos terminais portuários. As informações para desenvolvimento dos desenhos foram obtidas a partir de documentação técnica, informações e dados obtidos através de levantamento de campo.

Com relação ao desenvolvimento de desenhos de equipamentos, estruturas metálicas e civis em 2D, utilizou-se o programa *Autocad*, versão 2014. Com relação ao desenvolvimento de desenhos de equipamentos e processos em 3D, utilizou-se o programa *Solid Works*, versão 2010. Para desenvolvimento dos desenhos, foi utilizado um *laptop* modelo lenovo, com as seguintes configurações: processador intel core i5, 4GB RAM e HD 1000 GB.

3.3 PROCESSO DE SELEÇÃO DE VARIÁVEIS

Existem várias estratégias para a construção de modelos e o objetivo de qualquer uma delas, é selecionar as variáveis que resultem no “melhor” modelo dentro do contexto operacional do problema. O sucesso para a modelagem de um conjunto de dados complexo está relacionado à área específica, aos métodos estatísticos e à experiência e bom senso do pesquisador (HOSMER e LEMESHOW, 1989).

A seleção do modelo e variáveis apropriadas, assim como o modo como as variáveis entram no modelo, são tarefas complexas que devem ser executadas tomando-se o cuidado de explorar ao máximo as inter-relações entre as variáveis (HENNEKENS e BURING, 1987).

As variáveis selecionadas no desenvolvimento da metodologia, foram definidas com base nos processos internos de terminais portuários, modelo hipotético de um terminal portuário, fases de desenvolvimento de um projeto, ciclo de vida e capacidade de produção. As principais premissas adotadas são apresentadas abaixo:

- Etapas de desenvolvimento de um projeto: engenharia, construção, transporte e operação;
- Energia direta e indireta empregada no projeto;
- Capacidade de movimentação de carga nos processos;
- Ciclo de vida do projeto;
- Materiais e serviços empregados em cada etapa do projeto;
- Modelo de um terminal portuário, contemplando os equipamentos e processos intrínsecos em cada etapa do projeto;
- Energia incorporada nos materiais e serviços;
- Iniciativas de compensação de emissões de CO₂, tais como, a utilização de fontes de energia renováveis e programas de eficiência energética,
- Energia direta incorporada nos transportes: rodoviário, ferroviário e marítimo;
- Energia indireta incorporada no transporte dutoviário.

3.4 CONVERSÃO DE UNIDADES

3.4.1 Conversão da unidade Poder Calorífico Inferior

Para adequação das unidades e simplificação das equações, foi necessário a alteração da unidade padrão utilizada na determinação do PCI dos combustíveis para kWh / l. A alteração na unidade padrão possui o objetivo de simplificar as equações desenvolvidas.

Para desenvolvimento das conversões, adotou-se a conversão das unidades em três etapas conforme apresentado abaixo:

- Etapa 1: conversão das unidades usuais de kJ/ kg ou kcal/ kg para kJ/ l ou kcal/l. Para conversão da unidade no denominador de kg para l, utilizou-se o fator de divisão pela respectiva densidade do combustível avaliado;
- Etapa 2: conversão das unidades de kJ/ l ou kcal/ l para kWh/ l. Para conversão de unidade no numerador de kJ para kWh, utilizou-se o fator de divisão da unidade por 3600 para converter para kWh. Com relação a conversão de kcal para kWh, adotou-se o fator de divisão da unidade por 860,42;
- Etapa 3: consolidação do fator de conversão considerando a execução das etapas 1 e 2 de acordo com a unidade do PCI adotada em kJ/ kg ou kcal/ kg.

3.5 COEFICIENTE DE ENERGIA INCORPORADA

3.5.1 Coeficiente de energia incorporada nas atividades de engenharia

Em função da existência de dados referentes ao coeficiente de energia incorporada nas atividades de um profissional de engenharia, realizou-se uma pesquisa exploratória com as empresas de engenharia: EPC, PROGEN e PLANAVE, considerando os recursos e os respectivos índices de produtividade praticados no desenvolvimento das atividades de engenharia conceitual, básica e detalhada.

As premissas adotadas para composição do coeficiente são apresentadas abaixo:

- Jornada de trabalho de 44 horas semanais;
- Deslocamento médio da residência ao trabalho de 400 km/mês;
- Utilização dos recursos para desenvolvimento das atividades: computador padrão *desktop* ou *laptop* e impressora com uso compartilhado;

- Rateio de energia elétrica para o escritório, contemplando o valor da energia percapta de cada país a ser desenvolvido os serviços de engenharia.

Com base nas premissas desenvolvidas e considerando a realização do estudo de caso em dois terminais portuário localizados no Brasil, calculou-se o coeficiente de energia incorporado nas atividades de engenharia com valor de 2,28 kWh/Hh.

3.5.2 Coeficiente de energia incorporada nas atividades de montagem

Em função da existência de dados referentes ao coeficiente de energia incorporada nas atividades de montagem para construção de transportadores de correia, equipamentos e obras civis. Realizou-se uma pesquisa exploratória com algumas empresas de montagem, dentre elas: Plamont, RIP e BAF, para a elaboração do coeficiente de energia incorporada nas atividades de um profissional de montagem. Foram considerados os índices de produtividade para execução de cada atividade: civil, elétrica e mecânica, e a partir destes, foi determinado o coeficiente global de montagem. As premissas adotadas para composição do coeficiente são apresentadas abaixo:

- Índices de produtividade de execução de montagem mecânica;
- Índices de produtividade de execução de serviços elétricos;
- Índices de produtividade de execução de serviços civis;
- Percentual de execução entre as disciplinas de mecânica e elétrica para atividade de montagem de projetos em terminais portuários;
- Consumo percapto de energia elétrica no Brasil conforme relatório (BEN,2018);
- Demandas de montagem de serviços mecânicos, elétricos e civis na etapa de construção do projeto.

Com base nas premissas desenvolvidas e considerando a realização do estudo de caso nos terminais portuários TIG e CPBS localizados no Brasil, calculou-se o coeficiente de energia incorporado nas atividades de montagem, conforme apresentado abaixo:

- Coeficiente de energia incorporada nas atividades de montagem para a construção de correias transportadoras de 15.546 kWh/Hh;
- Coeficiente de energia incorporada nas atividades de montagem na construção de equipamentos de 2,45 kWh/Hh;
- Coeficiente de energia incorporada nas atividades de montagem nas atividades de construção de civil de 155,11 kWh/Hh.

3.6 COEFICIENTE DE ENERGIA INCORPORADA NA FABRICAÇÃO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS

Para o determinar a energia incorporada na fabricação das correias tipo lona e cabo de aço, desenvolveu-se um trabalho com a empresa fabricante de correias transportadoras Mercúrio. Os dados referentes ao processo de fabricação das correias e determinação do “coeficiente de energia incorporada na fabricação de correias transportadoras”, foram obtidos através de pesquisa exploratório e levantamento de dados em campo. O método desenvolvido contempla a energia total incorporada no processo de fabricação, ou seja, a energia indireta e direta empregada em toda cadeia de fabricação de correias transportadoras, contemplando as matérias-primas utilizadas na cadeia de produção. No “Apêndice C” é apresentado o resumo dos dados obtidos no estudo desenvolvido com a empresa Mercúrio, contemplando a energia total incorporada na fabricação de correias.

Os coeficientes de energia incorporado na fabricação de correias transportadoras considerando os dois principais tipos, são apresentados abaixo:

- Coeficiente de energia incorporada na fabricação de correia tipo lona de 678 kWh/t;
- Coeficiente de energia incorporada na fabricação de correia tipo cabo de aço 1.768 kWh/t.

4 PROCESSOS INTERNOS DE TERMINAIS PORTUÁRIOS

4.1 ESTRUTURA BÁSICA DE UM TERMINAL PORTUÁRIO DE EXPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

A estrutura de um projeto portuário de exportação de minério de ferro é dividida nos processos de entrada, processamento interno e saída. O processo de entrada possui os modais: rodoviário, ferroviário e dutoviário, sendo o transporte ferroviário o principal modal utilizado dentre os terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.

O conceito de um terminal portuário de exportação de minério de ferro é estruturado considerando as possíveis configurações no processo de entrada, processamento interno e saída de minérios. A Figura 5 apresenta o modelo de um terminal portuário de exportação de minério de ferro.

Figura 5 - Modelo de um terminal portuário de exportação de minério de ferro.



Fonte: Produção do próprio autor.

A entrada do modelo é definida com base nas premissas do processo de transporte de minério de ferro, ao qual pode ocorrer através do transporte rodoviário, ferroviário ou dutoviário. Ambos tipos de transporte possuem características de projetos distintas, neste estudo não será considerada a energia incorporada no ciclo da vida do processo de entrada, apenas será considerada a energia direta consumida no transporte entre as reservas minerais e o respectivo ponto de recebimento de minérios localizados nos terminais portuários de exportação de minério de ferro.

Com base nos resultados da pesquisa exploratória realizada dentre os terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil, o transporte ferroviário representa o modal de transporte utilizado pela grande maioria dos terminais portuários, exceto o terminal portuário de Ubu, localizado no estado do Espírito Santo, que utiliza o transporte dutoviário como modelo de transporte de entrada. Desta forma, a delimitação do estudo faz-se necessário devido ao

grande número de variáveis existentes nos projetos rodoviários, ferroviários e dutoviários, que não fazem parte do escopo deste trabalho de pesquisa.

Devido às restrições geográficas das reservas minerais, é necessário o desenvolvimento de estudos de engenharia buscando as menores distâncias até os terminais portuários de exportação. O modelo de processamento interno é estruturado a partir do estudo de macro localização, definição da disposição dos equipamentos e suas respectivas capacidades produtivas. O estudo não engloba os estudos para análise dos impactos ambientais e obtenção de licenças de instalação e operação do projeto.

O transporte marítimo corresponde à saída do modelo, onde a exportação de minérios é realizada através de embarcações comerciais, atendendo a característica do projeto do píer de atracação de embarcações e as respectivas condições marítimas inerentes a cada localidade ou região portuária. O estudo não considera a energia incorporada no ciclo de vida do processo de saída, apenas considera a energia direta consumida no transporte marítimo até os terminais de importação de minério de ferro. A delimitação do estudo faz se necessária devido ao grande número de variáveis existentes nos projetos de embarcações e vida útil, aos quais não fazem parte do objetivo deste trabalho de pesquisa.

4.2 CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DO TIPO DE TRANSPORTE NA ENTRADA DO TERMINAL PORTUÁRIO

O projeto de um terminal portuário pode ser concebido considerando três configurações de transporte de entrada. A Figura 6 apresenta as possíveis configurações de transporte de entrada para exportação de minério de ferro.

Figura 6 - Transporte de entrada no terminal portuário de minério de ferro.



Fonte: Produzido pelo próprio autor.

4.2.1 Transporte rodoviário

O transporte rodoviário é caracterizado pelo uso de caminhões de carga em rodovias, trata-se de uma alternativa utilizada em regiões onde a implantação de ferrovias e dutovias não apresentem viabilidade técnica e econômica, ou em casos especiais, caso exista alguma restrição de ordem ambiental que inviabilize a implantação de ferrovias ou dutovias.

O transporte rodoviário comparado com os demais modais de transporte é o que apresenta a menor eficiência energética por volume transportado, sendo responsável por grande parte das emissões de gases do efeito estufa GEE e mudanças climáticas.

4.2.2 Transporte ferroviário

O transporte ferroviário é caracterizado pelo uso de vagões de carga em ferrovias, trata-se de uma alternativa de transporte de grande capacidade de volume de transporte, apresenta melhor eficiência energética quando comparado com o transporte rodoviário.

Por utilizar combustíveis fósseis como fonte de energia direta, possui grande responsabilidade nas emissões dos gases de efeito estufa GEE. O “Anexo B” apresenta as principais ferrovias existentes no Brasil e as ligações com os principais terminais portuários. Tabela 10 apresenta as principais malhas ferroviárias nacionais, contemplando suas principais características e extensões.

Tabela 10 - Principais características das malhas ferroviárias no Brasil.

Distância da Malhas Ferroviárias (km)	Bitola 1,60 (m)	Bitola 1,00 (m)	Bitola Mista	Total
ALL-MO – América Latina Logística Malha Oeste S.A.		1945		1945
FCA – Ferrovia Centro Atlântica S.A.		7910	156	
ALL-MS – América Latina Logística Malha Sul S.A.		7254	11	7265
FERROESTE – Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A.		248		248
EFVM – Estrada de Ferro Vitória Minas		905		905
EFC – Estrada de Ferro Carajás	892			892
TNL – Transnordestina Logística S.A.		4189	18	4207
ALL-MP – América Latina Logística Malha Paulista S.A.	1463	243	283	1989
ALL-MN – América Latina Logística Malha Norte S.A.	500			500
VALEC/FNS – Subconcessão Ferrovia Norte-Sul S.A.	720			720
Subtotal	5207	22858	510	28575

Fonte: Produção do próprio autor baseado na ANTF (2016).

4.2.3 Transporte dutoviário

O transporte dutoviário é caracterizado por sistemas de bombeamento através de dutos para o transporte de minérios, trata-se de uma alternativa de transporte de grande capacidade de volume de produção e alternativa de transporte para regiões onde a implantação de ferrovias entre as reservas minerais e terminais portuários apresentem inviabilidade técnica, econômica e ambiental.

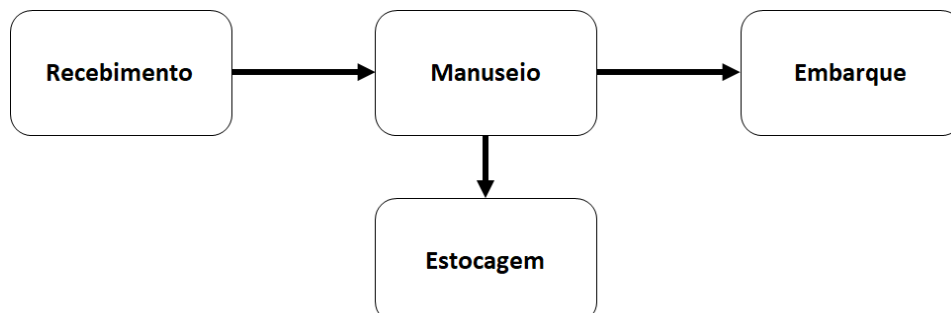
O transporte dutoviário comparado com os demais tipos de transporte, apresenta melhor eficiência energética por volume transportado, outrora, um estudo minucioso deve ser realizado para avaliar a energia incorporada no ciclo de vida do projeto.

O modal dutoviário apresenta restrições de transporte para os minérios granulados, sendo amplamente utilizado para o transporte de materiais com menor granulometria e finos. Uma das principais desvantagens deste tipo de projeto, concerne na necessidade de armazenamento a montante e jusante de água para recirculação entre as reservas minerais e os terminais portuários, trazendo impactos relevantes na utilização de recursos hídricos e desapropriação de terras.

4.3 PROCESSAMENTO INTERNO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO DE EXPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

O modelo de processamento interno utilizado nos projetos de terminais portuários de exportação de minérios de ferro no Brasil, é baseado em quatro processos principais denominados como: recebimento, manuseio, estocagem e embarque. As premissas entre os processos são integradas de forma a assegurar à capacidade produtiva. A Figura 7 mostra o modelo de processamento interno de projetos de terminais portuários de minério de ferro.

Figura 7 - Modelo de processamento interno de terminais portuários de minério de ferro.



Fonte: Produção do próprio autor.

4.3.1 Processo de recebimento

O processo de recebimento, denominado descarga de minério, pode ser realizado através do transporte rodoviário, ferroviário ou dutoviário. O “Virador de Vagões” é o principal equipamento utilizado no processo de recebimento de minérios e pode ser avaliado no “Apêndice D”. O equipamento possui a função de descarga de vagões através do movimento angular de sua estrutura principal, ao qual direciona o material para uma estrutura fixa de recebimento de minérios denominada como silo, possui sua estrutura principal construída em aço carbono, sistemas elétricos, sistemas mecânicos e hidráulicos, o conceito do projeto possibilita ou não a entrada das locomotivas pela parte interna do equipamento.

A etapa de movimentação da composição de vagões dentro do equipamento é realizada através do carro posicionador de vagões. O “Apêndice E” apresenta uma visão geral do sistema completo de descarga de minério de ferro, onde é possível visualizar todos os equipamentos. A Tabela 11 apresenta os equipamentos utilizados no processo de recebimento de terminais portuários de exportação de minério de ferro.

Tabela 11 - Equipamentos utilizados no processo de recebimento de minérios.

Equipamentos	Descrição
Virador de vagões	Equipamento responsável pela descarga dos vagões utilizado na movimentação de minérios do transporte ferroviário.
Transportadores de correia	Equipamento responsável pelo transporte de produtos através de esteiras transportadoras.
Minerioduto	Sistema responsável pelo transporte de uma polpa (água e minérios), através de rede de dutos, bombas e sistemas auxiliares de tratamento da polpa de minério.
Máquina de empilhamento de materiais	Equipamento responsável pelo empilhamento de minérios e formação de estoque.

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

O trabalho delimita a metodologia a partir do ponto de recebimento, utilizando as premissas de capacidade, macro locação e disposição dos equipamentos dos processos posteriores de manuseio e estocagem de minérios.

4.3.2 Processo de manuseio

O processo de manuseio transporta o minério para área de estocagem ou embarque, o modelo proposto considera a utilização de transportadores de correias, máquinas recuperadoras e empilhadeiras de minérios.

As premissas de capacidade de manuseio precisam estar integradas com os processos a montante e jusante, respectivamente, recebimento de minérios, armazenagem e carregamento de embarcações. A Tabela 12 apresenta os principais equipamentos utilizados no processo de manuseio de terminais portuários de exportação de minério de ferro.

Tabela 12 - Equipamentos utilizados no processo de manuseio de minérios.

Equipamentos	Descrição
Transportadores de correia	Equipamento responsável pelo transporte de produtos através de esteiras.
Máquina de empilhamento de materiais	Equipamento responsável pelo empilhamento de minérios e formação de estoque.
Máquina de recuperação de materiais	Equipamento responsável pela retirada de materiais das pilhas e movimentação de minérios.
Virador de vagões	Equipamento responsável pela descarga dos vagões utilizado na movimentação de minérios provenientes do transporte ferroviário.

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

O “Apêndice F” apresenta o principal equipamento utilizado no processo de manuseio, denominado como “empilhadeira/recuperadora” de minério de ferro. Dentre suas características principais, possui sua estrutura principal construída em aço carbono, sistemas elétricos para acionamento de translação, elevação e giro do equipamento, além de sistemas mecânicos e hidráulicos responsáveis pelo acionamento dos sistemas periféricos, normalmente este tipo de equipamento translada sobre trilhos, aos quais são montados em bermas do pátio de estocagem de minério de ferro. A principal função deste equipamento é empilhar os minérios oriundos do processo de descarga para o processo de estocagem, e retomar os minérios das pilhas para efetuar o carregamento de embarcações através do processo de embarque.

4.3.3 Processo de estocagem

O processo de estocagem armazena os minérios para posterior carregamento nas embarcações. O modelo considera o manuseio através de transportadores de correias e máquinas empilhadeiras de minérios. A Tabela 13 apresenta os principais equipamentos utilizados no processo de estocagem de terminais portuários de exportação de minério de ferro.

Tabela 13 - Principais equipamentos utilizados no processo de estocagem de minérios.

Equipamentos	Descrição
Transportadores de correia	Equipamento responsável pelo transporte de produtos através de esteiras.
Máquina de empilhamento de materiais	Equipamento responsável pelo empilhamento e formação de estoque de minério.
Virador de vagões	Equipamento responsável pela descarga dos vagões utilizado na movimentação de minérios provenientes do transporte ferroviário.

Fonte: produzido pelo próprio autor.

4.3.4 Processo de embarque

O processo de embarque é responsável pelo carregamento de minérios nas embarcações, o modelo considera o manuseio através de transportadores de correias, máquinas recuperadoras e carregador de navios.

Além das rotas para carregamento de embarcações, a operação também pode ser realizada através do processo denominado como “descarga direta para embarque”, através do equipamento virador de vagões movimentando a carga diretamente para o carregamento de embarcações, eliminando a necessidade de estocagem de minérios. A Tabela 14 apresenta os principais equipamentos utilizados no processo de embarque nos terminais portuários.

Tabela 14 - Principais equipamentos utilizados no processo de embarque de minérios.

Equipamentos	Descrição
Virador de vagões	Equipamento responsável pela descarga dos vagões utilizado na movimentação de minérios provenientes do transporte ferroviário.
Transportadores de correia	Equipamento responsável pelo transporte de produtos através de esteiras.
Máquina de recuperação de materiais	Equipamento responsável pela retirada de materiais das pilhas e movimentação de minérios.
Máquina de carregamento de navios	Equipamento responsável pelo carregamento de minério de ferro nos navios graneleiros.

Fonte: produzido pelo próprio autor.

4.4 CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DO TIPO DE TRANSPORTE NA SAÍDA DO PORTO E TERMINAL

O transporte marítimo é determinado com base nas características dos píeres de atracação de embarcações dos terminais portuários, condições marítimas de cada região e capacidade produtiva, trata-se de um transporte de grande capacidade de volume para atendimento aos diversos destinos de exportações.

Os tipos de embarcações utilizadas no transporte marítimo apresentam grande variação de eficiência energética por volume transportado, às variações são decorrentes de premissas e critérios em função dos tipos de embarcações, fonte de combustível, tecnologia da embarcação e condições aerodinâmicas das embarcações. Em comparação aos demais modais de transporte, possui grande responsabilidade nas emissões dos gases de efeito estufa GEE e mudanças climáticas, devido à baixa eficiência dos motores e utilização de combustíveis fósseis.

4.4.1 Navios graneleiros

As embarcações denominadas como “Graneleiros”, são usualmente utilizadas no transporte de minério de ferro, sendo classificadas de acordo com a capacidade de transporte, tipos de cargas, dimensões e arranjos internos. Os principais tipos de navios graneleiros e suas características são apresentados no “Apêndice G”.

As distâncias transoceânicas entre os terminais de exportação e importação são denominadas como “Derrotas”. A derrota é definida com base na menor distância entre origem

e destino, atendendo as condições seguras de navegação. A Tabela 15 apresenta as principais rotas entre os terminais portuários de origem e destino de exportações de minério de ferro entre o Brasil e China.

Tabela 15 – Principais rotas entre terminais de exportação e importação de minério de ferro.

Terminal Importação	Terminal Ponta da Madeira – MA (Milhas)	Terminal Tubarão – ES (Milhas)	Terminal da Ilha da Guaíba – RJ (Milhas)
Sohar	10.427	9.620	9.620
Caofedian	12.306	11.476	11.476
Rizhao	12.028	11.198	11.198
Dalian	12.193	11.363	11.363
Qingdao	11.688	11.660	11.660
Subic Bay	10.583	10.144	10.144

Fonte: produzido pelo autor, baseado em informações da área de navegação Vale (2017).

5 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO PROJETO PORTUÁRIO

5.1 ABRANGÊNCIA E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho se propõe a realizar uma pesquisa de natureza aplicada, onde a forma de abordagem será por meio de pesquisa qualitativa, exploratória, de campo e estudo de caso a ser aplicado em terminais de exportação de minério de ferro no Brasil.

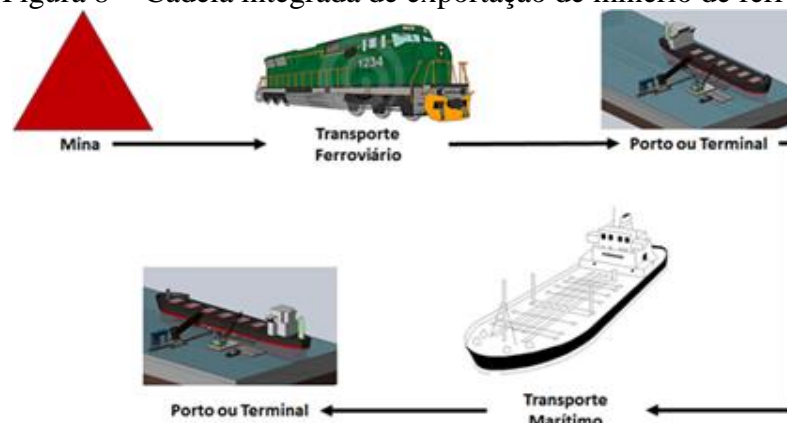
A metodologia contempla a cadeia integrada de exportação de minério de ferro, abrangendo as etapas de desenvolvimento da engenharia, construção do projeto, transporte ferroviário, operação e transporte marítimo até os terminais portuários de destino final.

A metodologia não considera as premissas:

- Análise do ciclo de vida dos equipamentos e sistemas utilizados nos terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil;
- Energia incorporada na manutenção das instalações, equipamentos e sistemas utilizados nos terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil;
- Energia incorporada na construção de ferrovias, dutovias e embarcações;
- Emissões do gás metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Somente serão consideradas as emissões do dióxido de carbono (CO₂), devido à relevância sobre os efeitos nas mudanças climáticas e no efeito estufa;
- Descarte no final do ciclo de vida e reciclagem.

Devido à abrangência e complexidade do trabalho, algumas considerações foram adotadas com objetivo de delimitar o trabalho de pesquisa. A Figura 8 apresenta a cadeia integrada de exportação de minério de ferro.

Figura 8 - Cadeia integrada de exportação de minério de ferro.



Fonte: Produção do próprio autor.

O Quadro 3 apresenta o mapeamento dos itens e as respectivas considerações adotadas no desenvolvimento da metodologia. As considerações e premissas adotadas em cada etapa da cadeia integrada de exportação de minério de ferro são dispostas no “Apêndice H”.

Quadro 3 - Mapeamento dos itens delimitados no desenvolvimento da metodologia.

Itens	Vantagens	Desvantagens	Riscos
Não foi considerada a energia incorporada no processo de transporte de entrada (construção da ferrovia), apenas a energia direta consumida.	Simplificação no desenvolvimento da metodologia devido à falta de informações e restrições decorrentes das particularidades de cada projeto.	Não contempla a energia incorporada na construção do projeto da ferrovia.	Não consideração desta parcela energética na determinação do índice emissões CO ₂ do projeto.
Não foi considerada a energia incorporada na construção das embarcações, apenas a energia direta consumida.	Simplificação no desenvolvimento da metodologia devido à falta de informações e restrições decorrentes das particularidades de cada projeto.	Não contempla a energia incorporada na construção do projeto de embarcações.	
Não foi considerada a energia incorporada no processo de transporte de entrada (construção do Minerioduto), apenas a energia direta consumida.	Simplificação no desenvolvimento da metodologia devido à falta de informações e restrições decorrentes das particularidades de cada projeto.	Não contempla a energia incorporada na construção do projeto do minério duto.	
Não foi considerada a energia incorporada no processo de transporte de entrada (construção de rodovias), apenas a energia direta consumida.	Simplificação no desenvolvimento da metodologia devido à falta de informações e restrições decorrentes das particularidades de cada projeto.	Não contempla a energia incorporada na construção do projeto de rodovias.	
Não foi considerada a energia incorporada no processo de manutenção em geral.	Simplificação no desenvolvimento da metodologia devido à falta de informações e restrições decorrentes das particularidades de cada projeto.	Não contempla a energia incorporada na manutenção.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O conceito do “Índice de emissões CO₂ de um projeto” é fundamentado a partir da energia total incorporada no ciclo de vida do projeto, contemplando a energia direta e indireta incorporada nas fases de engenharia, construção, operação, transporte rodoviário, dutoviário, ferroviário e marítimo. A metodologia utiliza como referência principal as emissões de CO₂, em função de ser o principal gás responsável pelas transformações no ecossistema global, decorrentes dos gases de efeito estufa GEE e das mudanças climáticas.

O processo de engenharia consolida os insumos e os produtos incorporados nesta etapa do projeto, tendo como referência principal o número de documentos técnicos, serviços empregados no desenvolvimento de engenharia e atividades complementares, tais como: sondagem, topografia, *scanner a laser 3D*, dentre outros.

Em seguida, é estruturado o processo de construção do projeto, por meio da consolidação do inventário dos principais materiais, serviços, energia direta e indireta empregados na etapa de construção.

Com base nas informações consolidadas na base de conhecimento do projeto, inicia-se o desenvolvimento das equações para determinação do índice de emissões CO₂ na etapa de engenharia e construção de um projeto.

O processo de transporte ferroviário, dutoviário, rodoviário e transporte marítimo consolida a energia direta total consumida no ciclo de vida do projeto. Exclusivamente para o processo de transporte dutoviário é considerado a energia indireta no acionamento do sistema de bombeamento.

A estruturação do processo operacional é realizada com base no consumo de energia direta e indireta empregados no ciclo de vida do projeto. Em função da inexistência de insumos e produtos utilizados nos processos operacionais dos terminais portuários de exportação de minério de ferro, não faz parte do desenvolvimento das equações do índice de emissões de CO₂ no processo operacional.

Finalmente, são introduzidos no desenvolvimento da metodologia, conceitos e iniciativas de redução de emissões de GEE baseados em critérios de sustentabilidade, dentre eles: utilização de fontes de energia renováveis e adoção de iniciativas de maior eficiência energética. Ambos os critérios, são denominados na metodologia como “compensação de emissões CO₂”, e contribuem com a redução do índice de emissões de CO₂ do projeto na busca de maior sustentabilidade ambiental no ciclo de vida.

A “Equação Geral do Índice de Emissões de CO₂ de um Projeto”, considera em todas as etapas do projeto, o balanço da energia incorporada considerando o ciclo de vida e a respectiva capacidade produtiva.

Com relação à interpretação do resultado do índice de emissões de CO₂ de um projeto, quanto menor for o valor numérico do índice, o projeto será mais sustentável na dimensão ambiental.

5.2 PREMISSAS DE DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

O detalhamento das premissas de desenvolvimento do índice de emissões de CO₂ do projeto é apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Premissas de desenvolvimento do índice de emissões de CO₂ do projeto.

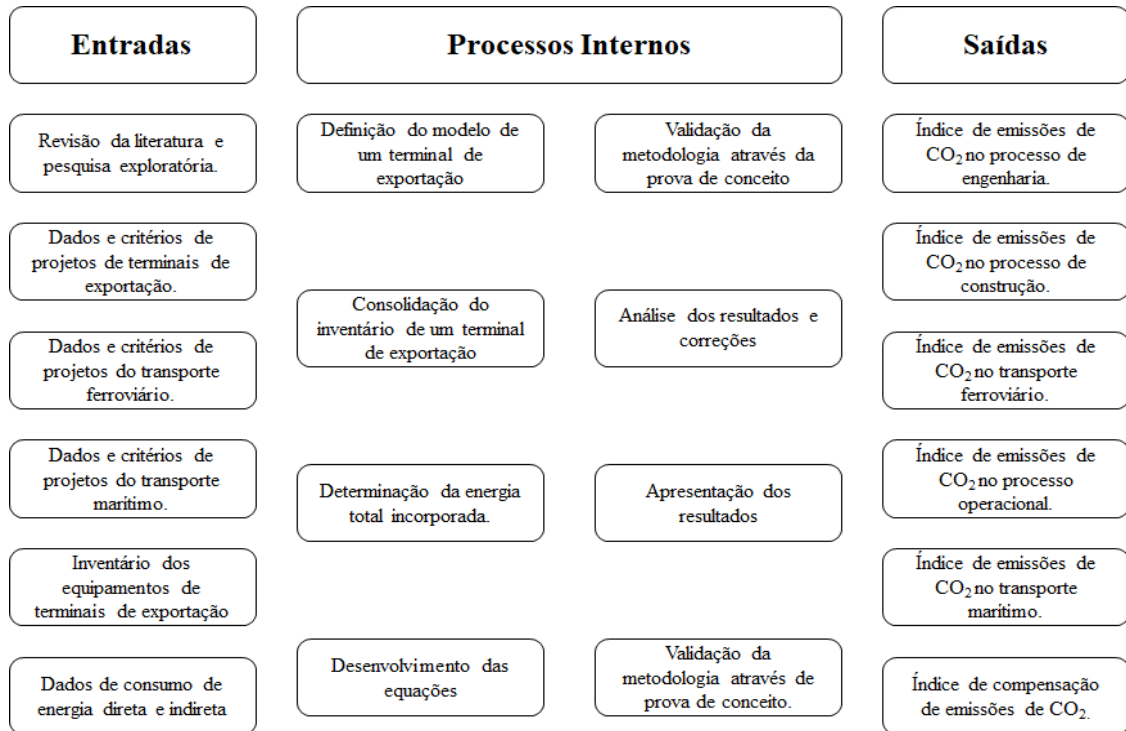
Fase	Etapa	Descrição
Engenharia	Desenvolvimento engenharia conceitual	Avaliação do balanço energético para desenvolvimento do projeto conceitual, considerando os recursos humanos e energia direta e indireta empregados na realização dos serviços de engenharia.
	Desenvolvimento engenharia básica	Avaliação do balanço energético para desenvolvimento do projeto básico, considerando os recursos humanos e energia direta e indireta empregados na realização dos serviços de engenharia.
	Desenvolvimento engenharia detalhada	Avaliação do balanço energético para desenvolvimento do projeto detalhado, considerando os recursos humanos e energia direta e indireta empregados na realização dos serviços de engenharia.
Construção	Execução do projeto	Avaliação do balanço energético no processo de construção, considerando o inventário dos materiais e serviços empregados na construção do projeto.
Operação	Operação do projeto	Avaliação do balanço energético no processo de operação, considerando o inventário de energia direta e indireta necessários para operação do projeto.
Transporte	Transporte rodoviário, ferroviário e marítimo	Avaliação do balanço energético no processo de transporte, considerando o inventário de energia direta necessários para transportar minérios.
	Transporte dutoviário	Avaliação do balanço energético no processo de transporte dutoviário, considerando o inventário de energia indireta necessários para transportar minérios.

Fonte: Produção do próprio autor.

No “Apêndice I” é detalhada a sequência de desenvolvimento e aplicação do método de energia incorporada em projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro.

Para estruturar as etapas de desenvolvimento da metodologia, foram estabelecidas as entradas, processos internos e os resultados denominados como saídas. A Figura 9 apresenta o fluxograma macro da estruturação da metodologia.

Figura 9 - Fluxograma da estruturação da metodologia.



Fonte: produzido pelo autor.

5.3 EQUAÇÃO GERAL DO ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ DE UM PROJETO PORTUÁRIO

O índice de emissões de CO₂ de um projeto portuário é definido como a energia total incorporada no projeto em relação ao ciclo de vida e correspondente capacidade produtiva. A equação (1) apresenta o índice de emissões de CO₂ de um projeto portuário.

$$IEPP = IEDE + IEC P + IETF + IETD + IETR + IETM + IEPO - (CEFR + CEEE) \quad (1)$$

Sendo:

IEDE – Índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento da engenharia [*t CO₂/t MFe*]

IECP – Índice de emissões de CO₂ na construção do projeto [*t CO₂/t MFe*]

IETF – Índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário [*t CO₂/t MFe*]

IETD – Índice de emissões de CO₂ no transporte dutoviário [*t CO₂/t MFe*]

IETR – Índice de emissões de CO₂ no transporte rodoviário [*t CO₂/t MFe*]

IETM – Índice de emissões de CO₂ no transporte marítimo [*t CO₂/t MFe*]

IEPO – Índice de emissões de CO₂ no processo operacional [*t CO₂/t MFe*]

CEFR – Compensação de emissões de CO₂ com fontes renováveis de energia [*t CO₂/t MFe*]

CEEE – Compensação de emissões de CO₂ com programas de eficiência energética [*t CO₂/t MFe*]

Com relação à interpretação dos resultados do índice de emissões de CO₂ de um projeto portuário, quanto menor for o valor numérico do índice, mais sustentável dentro da dimensão ambiental considerando o ciclo de vida e capacidade produtiva avaliada do projeto.

A *CEFR* e *CEEE* possuem o sinal negativo na equação geral em função de reduzirem o índice de emissões de CO₂ do projeto, respectivamente, por meio da utilização de fontes renováveis de energia e da adoção de programas de eficiência energética, aos quais contribuem com a redução nas emissões do CO₂.

A consolidação da metodologia será realizada por meio do desenvolvimento de estudo de caso, a partir da aplicação das equações e conceitos apresentados.

5.4 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA

A energia incorporada no desenvolvimento da engenharia é determinada como a energia total consumida na fase de desenvolvimento da engenharia em relação a capacidade produtiva no respectivo ciclo de vida. A equação (2) apresenta a energia incorporada no desenvolvimento da engenharia.

$$EIDE = \frac{ETE}{Cp \cdot Cv} \quad (2)$$

Sendo:

EIDE - Energia incorporada no desenvolvimento da engenharia [*kWh/t MFe*]

ETE - Energia total consumida na fase de desenvolvimento da engenharia [*kWh*]

Cp - Capacidade produtiva do projeto por ano [*t MFe / ano*]

Cv - Ciclo de vida do projeto [*ano*]

A energia total consumida no desenvolvimento da engenharia é calculada levando em consideração o somatório total dos recursos humanos empregados no desenvolvimento da engenharia conceitual, básica e detalhados do projeto, assim como os serviços especializados e os respectivos equipamentos necessários para consolidação do desenvolvimento da engenharia do projeto. A equação (3) apresenta a energia total consumida no desenvolvimento da engenharia para mesma fonte de geração de energia elétrica.

$$ETE = \{ [(\sum Hh_c \cdot C_{ep}) + (\sum Hh_b \cdot C_{ep}) + (\sum Hh_d \cdot C_{ep})] \} \quad (3)$$

Sendo:

ETE - Energia total consumida na fase de desenvolvimento da engenharia [*kWh*]

Hhc - Homem hora empregado no desenvolvimento de engenharia conceitual [*Hh*]

Hhb - Homem hora empregado no desenvolvimento da engenharia básica [*Hh*]

Hhd - Homem hora empregado no desenvolvimento da engenharia detalhada [*Hh*]

Cep - Coeficiente de energia incorporado nas atividades de um profissional de engenharia conceitual, básica e detalhada [*kWh/Hh*]

A Tabela 16 apresenta a produtividade por tipo de profissional e fase de engenharia. Os valores foram obtidos por meio de uma pesquisa exploratória com empresas de engenharia que no Brasil, tendo como referência os projetos desenvolvidos no período de 2011 a 2017.

Tabela 16 - Produtividade por tipo de profissional e fase de engenharia.

Tipo de profissional	Fase de engenharia	Produtividade [Hh/A1]
Técnico, engenheiro, especialista.	Conceitual	30 a 40
Técnico, engenheiro, especialista.	Básico	25 a 35
Técnico, engenheiro, especialista.	Detalhado	20 a 30

Fonte: produzido pelo autor.

Para desenvolvimento do dimensionamento dos recursos humanos empregados nas atividades de engenharia, foi adotada a métrica da quantificação do homem hora trabalhado por fase de engenharia conceitual, básica e detalhada. As equações (4), (5) e (6) apresentam a forma de contabilização dos recursos humanos empregados na execução das atividades de engenharia.

$$Hh_c = \{ [(\sum AI \cdot Hh_{AI}) + (\sum QLP \cdot Hhe)] \} \quad (4)$$

$$Hh_b = \{ [(\sum AI \cdot Hh_{AI}) + (\sum QLP \cdot Hhe)] \} \quad (5)$$

$$Hh_d = \{ [(\sum AI \cdot Hh_{AI}) + (\sum QLP \cdot Hhe)] \} \quad (6)$$

Sendo:

Hh_c - Homem hora empregado no desenvolvimento de engenharia conceitual [Hh]

Hh_b - Homem hora empregado no desenvolvimento da engenharia básica [Hh]

Hh_d - Homem hora empregado no desenvolvimento da engenharia detalhada [Hh]

$\sum AI$ - Somatório total de AI equivalente total por fase de engenharia [*adimensional*]

Hh_{AI} - Quantidade total de homem hora trabalhado por fase de engenharia [Hh]

$\sum QLP$ - Somatório total de empregados (topografia, sondagem, scanner 3D) [*adimensional*]

Hhe - Homem hora empregado nos serviços especiais de engenharia [Hh]

Em decorrência da necessidade de maior competitividade, a etapa de desenvolvimento de engenharia pode ser executada parcial ou integralmente em outros países. Desta forma, como existe uma grande variação nas emissões de GEE em função da matriz energética, faz-se necessário a consideração do tipo de fonte geradora de energia elétrica devido as emissões de GEE. O índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento da engenharia para mesma fonte geradora de energia elétrica é apresentada na equação (7).

$$IEDE = \{ [(EIDE \cdot FE) + (Vol_{comb} \cdot FE_c)] \} \quad (7)$$

Sendo:

$IEDE$ - Índice emissões CO₂ no desenvolvimento da engenharia [$t\ CO_2/t\ MFe$]

$EIDE$ - Energia incorporada no desenvolvimento da engenharia conceitual [$kWh/t\ MFe$]

FE - Fator de emissão de CO₂ por fonte geradora de energia convencional [$t\ CO_2/kWh$]

FE_c - Fator de emissão de CO₂ em função do tipo de combustível [$t\ CO_2/l$]

Vol_{comb} - Volume de combustível total nas atividades de engenharia por produção [$l/t\ MFe$]

O índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento da engenharia, considerando diferentes fontes de geração de energia elétrica, para diferentes fases de desenvolvimento de engenharia é apresentado na equação (8).

$$IEDE = \{ [(EIDE_c \cdot FE) + (EIDE_b \cdot FE) + (EIDE_d \cdot FE)] + [(Vol_{comb} \cdot FE_c)] \} \quad (8)$$

Sendo:

IEDE - Índice emissões CO₂ no desenvolvimento da engenharia [*t CO₂/ t MFe*]

EIDE_c - Energia incorporada no desenvolvimento da engenharia conceitual [*kWh/ t MFe*]

EIDE_b - Energia incorporada no desenvolvimento da engenharia básica [*kWh/ t MFe*]

EIDE_d - Energia incorporada no desenvolvimento da engenharia detalhada [*kWh/ t MFe*]

FE - Fator de emissão de CO₂ por fonte geradora de energia convencional [*t CO₂/ kWh*]

FE_c - Fator de emissão de CO₂ em função do tipo de combustível [*t CO₂/ l*]

Vol_{comb} - Volume de combustível total nas atividades de engenharia por produção [*l/ t MFe*]

5.5 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NA CONSTRUÇÃO DO PROJETO

A energia incorporada na construção de um projeto é definida como a energia total consumida na construção do projeto em relação a capacidade produtiva no correspondente ciclo de vida do projeto. A equação (9) apresenta os parâmetros utilizados na determinação da energia incorporada na fase de construção do projeto.

$$EICP = \frac{ETC}{Cp \cdot Cv} \quad (9)$$

Sendo:

EICP - Energia incorporada na construção do projeto [*kWh/ t MFe*]

ETC - Energia total consumida na construção do projeto [*kWh*]

Cp - Capacidade produtiva do projeto por ano [*t MFe / ano*]

Cv - Ciclo de vida do projeto [*ano*]

A energia total consumida na construção do projeto considera os materiais e serviços empregados na etapa de construção do projeto. A equação (10) apresenta a energia total consumida na etapa de construção para a mesma fonte de geração de energia elétrica.

$$ETC = \{ [(\sum Vnn \cdot dem \cdot Cei) + (\sum Em) + (\sum Et)] \} \quad (10)$$

Sendo:

ETC - Energia total consumida na construção do projeto [*kWh*]

Vnn - Volume total aplicado de materiais no projeto [*m*³]

dem - Densidade específica do material [*t/m*³]

Cei - Coeficiente de energia incorporada nos materiais [*kWh/t*]

Em - Energia total empregada nas atividades de montagem do projeto [*kWh*]

Et - Energia total empregada no transporte dos materiais do projeto [*kWh*]

A energia incorporada no processo de fabricação de correias transportadoras pode ser avaliada a partir do levantamento de dados disponível no “Capítulo 3 – Materiais e Métodos”. Os dados foram obtidos por meio da pesquisa realizada em conjunto com a empresa Mercúrio. A equação (11) apresenta o dimensionamento da energia empregada nas atividades de construção e montagem de um projeto.

$$Em = \{ [(\sum Hh_{mec} \cdot Cei_{mec}) + (\sum Hh_{el} \cdot Cei_{el}) + (\sum Hh_{civ} \cdot Cei_{civ})] \} \quad (11)$$

Sendo:

Em - Energia total empregada nas atividades de montagem do projeto [*kWh*]

Hh_{eq} - Homem hora utilizado na construção de equipamentos [*Hh*]

Hh_{tr} - Homem hora utilizado na construção correias transportadoras [*Hh*]

Hh_{civ} - Homem hora utilizado na construção civil [*Hh*]

Cei_{eq} - Coeficiente de energia incorporado na construção de equipamentos [*kWh/Hh*]

Cei_{tr} - Coeficiente de energia incorporado nas atividades de construção [*kWh/Hh*]

Cei_{civ} - Coeficiente de energia incorporado na construção civil [*kWh/Hh*]

A equação (12) apresenta o dimensionamento da energia direta consumida no transporte dos materiais aplicados no projeto.

$$Et = Dp \cdot Cm \cdot PCI \quad (12)$$

Sendo:

E_t - Energia total empregada no transporte dos materiais do projeto [kWh]

D_p - Distância total percorrida entre o ponto de origem e o destino final [km]

C_m - Eficiência por tipo de motor e veículo de transporte [l/km]

PCI - Poder calorífico inferior do combustível utilizado nos equipamentos [kWh/l]

O índice de emissões de CO_2 na construção do projeto para a mesma fonte geradora de energia é obtido por meio da equação (13).

$$IECP = \{ [(EICP \cdot FE) + (Vol_{comb} \cdot FE_c)] \} \quad (13)$$

Sendo:

$IECP$ - Índice de emissões CO_2 na construção do projeto [$t CO_2/t MFe$]

$EICP$ - Energia incorporada na construção do projeto [$kWh/t MFe$]

FE - Fator de emissão de CO_2 por fonte geradora de energia convencional [$t CO_2/kWh$]

FE_c - Fator de emissão de CO_2 em função do tipo de combustível [$t CO_2/l$]

Vol_{comb} - Volume de combustível total nas atividades de engenharia por produção [$l/t MFe$]

No caso da realização das atividades de construção em países diferentes do Brasil, deverá ser considerada a matriz energética local do país de execução e o respectivo fator de emissão de CO_2 . A equação (14) apresenta o índice de emissões de CO_2 na construção do projeto considerando diferentes fontes geradoras de energia.

$$IECP = \{ [(\sum EICP_n \cdot FE_n) + [(\sum Vol_{comb} \cdot FE_c)] \} \quad (14)$$

Sendo:

$IECP$ - Índice de emissões CO_2 na construção do projeto [$t CO_2/t MFe$]

$\sum EICP_n$ - Energia incorporada na construção com fontes de energia diversas [$kWh/t MFe$]

FE_n - Fator de emissão de CO_2 por fonte geradora de energia convencional [$t CO_2/kWh$]

FE_c - Fator de emissão de CO_2 em função do tipo de combustível [$t CO_2/l$]

$\sum Vol_{comb}$ - Volume de combustível total nas atividades de engenharia por produção [$l/t MFe$]

5.6 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO

A energia incorporada no transporte ferroviário é determinada como a energia total direta consumida em relação à capacidade de transporte na ferrovia e a correspondente distância percorrida. A equação (15) apresenta a energia incorporada no transporte ferroviário.

$$EITF = \frac{ETF}{Ctf \cdot Lf} \quad (15)$$

Sendo:

EITF - Energia incorporada no transporte ferroviário por ano [*kWh / t MFe.km*]

ETF - Energia total consumida no transporte ferroviário por ano [*kWh*]

Ctf - Capacidade de transporte na ferrovia por ano [*t MFe*]

Lf - Distância total percorrida na ferrovia por ano [*km*]

A energia total consumida no transporte ferroviário considera a energia direta total consumida para percorrer a distância entre os pontos de carregamento de vagões e os terminais portuários de exportação. A equação (16) apresenta a energia total consumida no desenvolvimento da engenharia para a mesma fonte de geração de energia elétrica.

$$ETF = \sum Vol_{comb} \cdot PCI \quad (16)$$

Sendo:

ETF - Energia total consumida no transporte ferroviário por ano [*kWh*]

Vol_{comb} - Volume total de combustível utilizado por ano [*l*]

PCI - Poder calorífico inferior do combustível utilizado [*kWh/l*]

Em função da inexistência de outros tipos de cargas no transporte ferroviário de retorno até o ponto de carregamento, deverá ser considerado a distância percorrida dobrada, incluindo o percurso com carga e sem carga. A equação (17) apresenta a determinação da distância total percorrida na ferrovia por ano.

$$Lf = \frac{Ctf \cdot (D_p \cdot 2)}{C_c} \quad (17)$$

Sendo:

L_f - Distância total percorrida na ferrovia por ano [km]

C_{tf} - Capacidade transportada na ferrovia por ano [$t MFe$]

D_p - Distância percorrida por trecho da ferrovia por ano [km]

C_c - Capacidade total útil de transporte de carga pela composição de vagões [$t MFe$]

A equação (18) apresenta a determinação do volume total de combustível utilizado nas locomotivas.

$$Vol_{comb} = C_{tf} \cdot L_f \cdot EE_{loc} \quad (18)$$

Sendo:

Vol_{comb} - Volume total de combustível utilizado nas locomotivas [l]

C_{tf} - Capacidade transportada na ferrovia por ano [$t MFe$]

L_f - Distância total percorrida na ferrovia por ano [km]

EE_{loc} - Eficácia energética da locomotiva [$l / tMFe.km$]

A equação (19) apresenta o índice de emissões de CO_2 no transporte ferroviário para mesma fonte de conversão de energia.

$$IETF = EITF \cdot L_f \cdot FE \cdot C_v \quad (19)$$

Sendo:

$IETF$ - Índice de emissões de CO_2 no transporte ferroviário [$t CO_2 / t MFe$]

$EITF$ - Energia incorporada no transporte ferroviário por ano [$kWh / t MFe.km$]

L_f - Distância total percorrida na ferrovia por ano [km]

FE - Fator de emissão de CO_2 por fonte geradora de energia convencional [$t CO_2 / kWh$]

C_v - Ciclo de vida do projeto [ano]

O índice de emissões de CO_2 no transporte ferroviário é influenciado pelo tipo de fonte de energia direta utilizada e o correspondente fator de emissão de CO_2 . Com base na equação (19), o índice de emissões de CO_2 no transporte ferroviário para as diferentes fontes de energia direta é obtido pela equação (20).

$$IETF = \{ [(EITF_1 \cdot Lf_1 \cdot FE \cdot Cv) + (EITF_2 \cdot Lf_2 \cdot FE \cdot Cv) + (EITF_n \cdot Lf_n \cdot FE \cdot Cv)] \} \quad (20)$$

Sendo:

IETF - Índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário [*t CO₂/t MFe*]

EITF_{1,2,n} – Energia incorporada no transporte ferroviário [*kWh/t MFe*]

LF_{1,2,n} - Distância total percorrida na ferrovia por ano [*km*]

FE - Fator de emissão de CO₂ por fonte geradora de energia convencional [*t CO₂/kWh*]

Cv – Ciclo de vida do projeto [*ano*]

A metodologia não considera a energia incorporada no processo de construção e manutenção das ferrovias, locomotivas e vagões, tais como: obras com terraplanagem, de encostas, recortes de taludes, aterros, tratamento de solos e demais atividades realizadas no processo de construção e manutenção da ferrovia.

5.7 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO TRANSPORTE DUTOVIÁRIO

A energia incorporada no transporte dutoviário é definida como a energia total consumida no transporte dutoviário em relação à respectiva capacidade de transporte. A equação (21) apresenta os parâmetros da energia incorporada no transporte dutoviário.

$$EITD = \frac{ETD}{Ctd} \quad (21)$$

Sendo:

EITD -Energia incorporada no transporte dutoviário por ano [*kWh/t MFe*]

ETD - Energia total consumida no transporte dutoviário por ano [*kWh*]

Ctd - Capacidade de transporte dutoviário por ano [*t MFe*]

O índice de emissões de CO₂ no transporte dutoviário considera a energia direta e indireta incorporada no processo de bombeamento. O índice de emissões de CO₂ no transporte dutoviário para a mesma fonte de conversão de energia é apresentado na equação (22).

$$IETD = EITD \cdot FE \cdot Cv \quad (22)$$

Sendo:

IETD - Índice de emissões de CO₂ no transporte dutoviário [*t CO₂/ t MFe*]

EITD Energia incorporada no transporte dutoviário por ano [*kWh/ t MFe*]

FE - Fator de emissão de CO₂ por fonte geradora de energia convencional [*t CO₂/ kWh*]

Cv – Ciclo de vida do projeto [*ano*]

O índice de emissões de CO₂ no transporte dutoviário é influenciado pelo tipo de fonte de energia direta e indireta utilizado. Com base na equação (22), o índice de emissões de CO₂ no transporte dutoviário para diferentes fontes de conversão de energia é apresentado na equação (23).

$$IETD = \{ [(EITD_1 \cdot FE \cdot Cv) + (EITD_2 \cdot FE \cdot Cv) + (EITD_n \cdot FE \cdot Cv)] \} \quad (23)$$

Sendo:

IETD - Índice de emissões de CO₂ no transporte dutoviário [*t CO₂/ t MFe*]

EITD_{1,2,n} – Energia incorporada no transporte ferroviário [*kWh/ t MFe*]

FE - Fator de emissão de CO₂ por fonte geradora de energia convencional [*t CO₂/ kWh*]

Cv – Ciclo de vida do projeto [*ano*]

A metodologia não considera a energia incorporada no processo de construção e manutenção das dutovias, dentre os principais, pode-se citar: obras com terraplanagem, obras de contenção de encostas, recortes de taludes, aterros, tratamento de solos, fornecimento de materiais, obras civis, obras estruturais e demais atividades realizadas no processo de construção da rede de dutos não fazem parte do escopo do trabalho de pesquisa.

5.8 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO

A energia incorporada no transporte rodoviário é determinada como a energia direta total consumida em relação à capacidade de transporte rodoviário na correspondente distância percorrida. A equação (24) apresenta a energia incorporada no transporte rodoviário.

$$EITR = \frac{ETR}{Ctr \cdot Lf} \quad (24)$$

Sendo:

EITR - Energia incorporada no transporte rodoviário por ano [*kWh / t MFe.km*]

ETR - Energia total consumida no transporte rodoviário por ano [*kWh*]

Ctr - Capacidade de transporte rodoviário por ano [*t MFe*]

Lf - Distância total percorrida por ano [*km*]

A energia total consumida no transporte rodoviário considera o volume total de combustível consumido para percorrer a distância entre os pontos de carregamento de caminhões e os terminais e portos. A equação (25) apresenta a energia total consumida no desenvolvimento da engenharia para a mesma fonte de geração de energia elétrica.

$$ETR = \sum Vol_{comb} \cdot PCI \quad (25)$$

Sendo:

ETR - Energia total consumida no transporte rodoviário por ano [*kWh*]

Vol_{comb} - Volume total de combustível utilizado por ano [*l*]

PCI – Poder calorífico inferior do combustível utilizado [*kWh/l*]

O índice de emissões de CO₂ no transporte rodoviário é definido a partir do somatório do consumo de energia direta em relação à carga transportada (tonelada bruta) e a respectiva distância percorrida na rodovia. O índice de emissões de CO₂ no transporte rodoviário para a mesma fonte de conversão de energia é obtido pela equação (26).

$$IETR = EITR \cdot Lf \cdot FE \cdot Cv \quad (26)$$

Sendo:

IETR - Índice de emissões de CO₂ no transporte rodoviário [*t CO₂/ t MFe*]

EITR- Energia incorporada no transporte rodoviário por ano [*kWh / t MFe.km*]

Lf - Distância total percorrida por ano [*km*]

FE - Fator de emissão de CO₂ por fonte geradora de energia convencional [*t CO₂/ kWh*]

Cv – Ciclo de vida do projeto [*ano*]

A metodologia não considera a energia incorporada no processo de construção e manutenção dos veículos rodoviários, assim como as atividades de construção das rodovias.

5.9 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO TRANSPORTE MARÍTIMO

A energia incorporada no transporte marítimo é definida como a energia direta total consumida no transporte marítimo em relação à capacidade de transporte na respectiva distância percorrida. A equação (27) apresenta a energia incorporada no transporte marítimo.

$$EITM = \frac{ETM}{Ctm \cdot Lf} \quad (27)$$

Sendo:

EITM - Energia incorporada no transporte marítimo [*kWh / t MFe.km*]

ETM - Energia total consumida no transporte marítimo por ano [*kWh*]

Ctm - Capacidade de transporte marítimo por ano [*t MFe*]

Lf - Distância total percorrida por ano [*km*]

O índice de emissões de CO₂ é determinado a partir do somatório do consumo de energia direta em relação à carga transportada (tonelada bruta) e a respectiva distância percorrida até os terminais portuários de importação de minério de ferro, denominado como “derrota”. A capacidade de transporte marítimo deve ser compatível com a capacidade produtiva do terminal portuário.

Para mensurar o consumo total de combustível marítimo foi utilizada a metodologia sugerida por Psaraftis e Kontovas (2008). A equação (28) apresenta a metodologia para determinação do consumo total de combustível por tipo de embarcação por viagem.

$$C = G \cdot T + F \cdot \frac{L}{V} + g \cdot t + f \cdot \frac{L}{v} \quad (28)$$

Sendo:

C - Consumo total de combustível por embarcação [*t*]

G - Consumo de combustível durante o carregamento da embarcação [*t / dia*]

F - Consumo de combustível em mar da embarcação carregada [*t / dia*]

g - Consumo de combustível durante o descarregamento da embarcação [*t / dia*]

f - Consumo de combustível em mar da embarcação vazia [*t / dia*]

T - Tempo de carregamento da embarcação [*dias*]

t - Tempo de descarregamento da embarcação [*dias*]

L - Distância entre dois terminais portuários [km]

V - Velocidade da embarcação carregada [km/dia]

v - Velocidade da embarcação descarregada [km/dia]

De acordo com Psaraftis e Kontovas (2008), o fator de emissão é baseado em fatores médios, que dependem das características do motor e do combustível utilizado. A Tabela 17 mostra os fatores de emissão sugeridos pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e pelo *International Maritime Organization* (IMO).

Tabela 17 - Fatores de emissão para navios.

Fonte de Pesquisa	Média (t.CO₂/t comb.)	Valor Mínimo (t.CO₂/t comb.)	Valor Máximo (t.CO₂/t comb.)
IPCC 2006 Guidelines	3,19	3,010	3,24
IMO 2000	3,17	3,159	3,175

Fonte: Produzido pelo autor, baseado no IPCC (2006); Psaraftis e Kontovas (2008); *International Maritime Organization* (2000).

A equação (29) apresenta a determinação do número total de embarcações de mesma capacidade para atender a capacidade produtiva anual de um terminal portuário de exportação.

$$N_{emb} = \frac{C_{tm}}{C_{p_{emb}}} \quad (29)$$

Sendo:

N_{emb} – Número de embarcações utilizadas no transporte marítimo [*Adimensional*]

C_{tm} - Capacidade de transporte marítimo por ano [$t MFe$]

$C_{p_{emb}}$ - Capacidade de transporte nominal de carga de uma embarcação [$t MFe$]

A equação (30) apresenta a distância total percorrida por ano “derrota” entre os terminais portuários de exportação e importação.

$$L_f = D_{ep} \cdot N_{emb} \quad (30)$$

Sendo:

L_f – Distância total percorrida “derrota” por ano [km]

D_{ep} – Distância entre terminais portuários de exportação e importação “derrota” [km]

A equação (31) apresenta o volume total consumido de combustível utilizado nas embarcações para atender à capacidade produtiva anual de transporte.

$$Vol_{comb} = C \cdot N_{emb} \quad (31)$$

Sendo:

Vol_{comb} - Volume total de combustível utilizado nas embarcações [t]

C - Consumo total de combustível pela embarcação [t]

N_{emb} – Número de embarcações utilizadas no transporte marítimo [*Adimensional*]

A equação (32) apresenta a energia total consumida no transporte marítimo para atender a capacidade produtiva anual de transporte.

$$ETM = Vol_{comb} \cdot PCI \quad (32)$$

Sendo:

ETM - Energia total consumida no transporte marítimo [kWh]

Vol_{comb} - Volume total de combustível utilizado nas embarcações [l]

PCI – Poder calorífico inferior do combustível utilizado nas embarcações [kWh/l]

O índice de emissões de CO_2 no transporte marítimo para mesma fonte de conversão de energia é apresentado através da equação (33).

$$IETM = EITM \cdot L_f \cdot FE \cdot C_v \quad (33)$$

Sendo:

$IETM$ - Índice de emissões de CO_2 no transporte marítimo [$t CO_2/t MFe$]

$EITM$ - Energia incorporada no transporte marítimo [$kWh / t MFe.km$]

L_f - Distância total percorrida por ano “derrota” [km]

FE - Fator de emissão de CO_2 por fonte geradora de energia convencional [$t CO_2/kWh$]

C_v - Ciclo de vida do projeto [*ano*]

A metodologia não considera a energia incorporada no processo de construção, manutenção e demais atividades realizadas nas embarcações considerando o ciclo de vida.

5.10 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO PROCESSO OPERACIONAL

A energia incorporada no processo operacional é determinada como a energia direta e indireta total consumida no processo operacional em relação à correspondente capacidade de movimentação de minério, incluindo os processos de recebimento e embarque de minério de ferro. A equação (34) apresenta a energia incorporada na fase de operação.

$$EIPO = \frac{ETO}{Cpm} \quad (34)$$

Sendo:

EIPO - Energia incorporada no processo operacional por ano [*kWh / t MFe*]

ETO - Energia total consumida no processo operacional por ano [*kWh*]

Cpm - Capacidade de movimentação de minério por ano [*t MFe*]

A energia total consumida no processo operacional é determinada com base no consumo total de energia direta e indireta empregados no processo operacional. A capacidade de movimentação de minério contempla o processo de recebimento e o embarque do terminal portuário. A energia total consumida na operação do projeto para a mesma fonte de geração de energia elétrica é apresentada pela equação (35).

$$ETO = \{ [(\sum EIO) + (\sum EDO)] \} \quad (35)$$

Sendo:

ETO - Energia total consumida na operação por ano [*kWh*]

EIO - Energia total indireta consumida no processo operacional por ano [*kWh*]

EDO - Energia total direta consumida no processo operacional por ano [*kWh*]

A equação (36) apresenta a energia direta consumida no processo operacional de um terminal portuário.

$$EIO = \sum C_{energia} \quad (36)$$

Sendo:

EIO - Energia total indireta consumida no processo operacional [*kWh*]

C_{energia} - Consumo total de energia em todos os equipamentos utilizados no projeto por ano [*kWh*]

A equação (37) apresenta a energia direta consumida no processo operacional de um terminal portuário.

$$EDO = \sum Vol_{comb} \cdot PCI \quad (37)$$

Sendo:

EDO - Energia total direta consumida no processo operacional [*kWh*]

Vol_{comb} - Volume total de combustível utilizado nos veículos leves e pesados [*l*]

PCI - Poder calorífico inferior do combustível utilizado [*kWh/l*]

O índice de emissões de CO₂ no processo operacional é estabelecido com base no consumo total de energia direta e indireta empregados no processo operacional. O índice de emissões de CO₂ no processo operacional para mesma fonte de conversão de energia é demonstrado pela equação (38).

$$IEPO = EIPO \cdot FE \cdot Cv \quad (38)$$

Sendo:

IEPO - Índice de emissões de CO₂ no processo operacional [*t CO₂/t MFe*]

EIPO - Energia incorporada no processo operacional por ano [*kWh/t MFe*]

FE - Fator de emissão de CO₂ por fonte geradora de energia convencional [*t CO₂/kWh*]

Cv - Ciclo de vida do projeto [*ano*]

A metodologia considera a energia direta e indireta empregada no processo de produção do porto ou terminal de exportação de minério de ferro.

5.11 COMPENSAÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ COM A UTILIZAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS

A adoção de fontes de energia mais limpas e renováveis na implantação dos projetos proporcionam oportunidades de reduções significativas nas emissões de GEE. A compensação ecológica com a utilização de fontes renováveis de energia é definida como a relação entre as emissões totais evitadas na operação no ciclo de vida e a correspondente capacidade produtiva. A equação (39) apresenta os parâmetros a serem utilizados na determinação da compensação ecológica decorrente da utilização de fontes renováveis de energia.

$$CEFR = \frac{EEOP}{Cp} \cdot Cv \quad (39)$$

Sendo:

CEFR - Compensação ecológica com a utilização de fontes renováveis de energia [*tCO₂/t MFe*]

EEOP - Emissões totais evitadas na operação do projeto por ano [*t CO₂/ano*]

Cv - Ciclo de vida do projeto [*ano*]

Cp - Capacidade produtiva do projeto por ano [*t MFe/ano*]

A equação (40) apresenta os parâmetros a serem utilizados na determinação das emissões totais evitadas na operação do projeto.

$$EEOP = \{ [(\sum EFR \cdot FE) - (\sum EFR \cdot FR)] \} \quad (40)$$

Sendo:

EEOP - Emissões de CO₂ evitadas na operação do projeto por ano [*t CO₂ / ano*]

EFR - Energia total gerada com fontes de energia renováveis por ano [*kWh / ano*]

FE - Fator de emissão de CO₂ por fonte geradora de energia convencional [*t CO₂/ kWh*]

FR - Fator de emissão de CO₂ em função do tipo de fonte geradora de energia renovável [*t CO₂/ kWh*]

A equação (41) apresenta a energia incorporada no processo operacional oriunda de fontes de energia renováveis.

$$EFR = \sum G_{energia} \quad (41)$$

Sendo:

EFR - Energia total gerada com fontes de energia renováveis por ano [kWh/ano]

$G_{energia}$ - Geração de energia através de fontes renováveis por ano [kWh/ano]

A metodologia não considera a energia incorporada no processo de construção dos sistemas de geração e conversão de energia elétrica e transmissão, o escopo não faz parte do trabalho de pesquisa.

5.12 COMPENSAÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ COM PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A implementação de programas de eficiência energética no desenvolvimento de projetos proporciona reduções significativas na energia total consumida e proporcionam reduções nas emissões de CO₂ com a utilização racional de energia. A energia incorporada evitada com programas de eficiência energética é definida como a energia total evitada na operação em relação à correspondente capacidade produtiva do projeto. A equação (42) apresenta os parâmetros a serem utilizados na determinação da energia incorporada evitada com programas de eficiência energética.

$$EREE = \frac{ETEO}{Cp} \quad (42)$$

Sendo:

$EREE$ - Energia incorporada evitada com programas de eficiência energética por ano [$kWh/tMFe$]

$ETEO$ - Energia total evitada na operação do projeto por ano [kWh]

Cp - Capacidade produtiva do projeto por ano [$tMFe/ano$]

A equação (43) apresenta os parâmetros a serem utilizados na determinação da energia total evitada na operação do projeto.

$$E_{TEO} = \sum EE \quad (43)$$

Sendo:

E_{TEO} - Energia total evitada na operação do projeto por ano [kWh]

EE - Energia evitada com programa de eficiência energética por ano [kWh]

A equação (44) apresenta a energia total evitada na operação com a adoção de práticas e programas de eficiência energética no projeto.

$$EE = \sum EC_{evitada} \quad (44)$$

Sendo:

EE - Energia evitada com programa de eficiência energética por ano [kWh]

$EC_{evitada}$ - Energia total evitada com adoção de programas de eficiência energética por ano [kWh]

A equação (45) apresenta os parâmetros a serem utilizados na determinação da compensação ecológica com a utilização de programas de eficiência energética.

$$C_{EEE} = E_{REE} \cdot FE \cdot C_v \quad (45)$$

Sendo:

C_{EEE} - Compensação de emissões de CO₂ com de programas de eficiência energética [t CO₂/t MFe]

E_{REE} - Energia incorporada evitada com programas de eficiência energética por ano [kWh/t MFe]

FE - Fator de emissão de CO₂ por fonte geradora de energia convencional [t CO₂/kWh]

C_v - Ciclo de vida do projeto [ano]

A metodologia promove o uso eficiente da energia elétrica por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de

equipamentos, processos e usos finais de energia. Busca-se maximizar os benefícios da energia economizada e evitada, promovendo a transformação do mercado de eficiência energética, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica.

6 ESTUDO DE CASO

O desenvolvimento do estudo de caso é uma etapa importante na consolidação da metodologia e deve possuir abrangência, representatividade e exequibilidade para aplicação dos conceitos desenvolvidos.

Foi estruturado um método de seleção do local de aplicação do estudo de caso visando buscar maior aderência a aplicação da metodologia desenvolvida. O Quadro 5 apresenta o método de seleção do local para aplicação do estudo de caso.

Quadro 5 - Método de seleção para desenvolvimento estudo de caso.

Requisito	Descrição	Critério de Avaliação	Pontuação
DAIP- Disponibilidade de acesso às informações do projeto.	Avalia a disponibilidade das empresas públicas e privadas em disponibilizar as informações dos terminais portuários.	0 % - Não possui disponibilidade de acesso às informações. 100 % - Possui disponibilidade de acesso às informações.	0 % - 0 100 % - 40
ATDT- Aderência ao tema de estudo desenvolvido na Tese.	Avalia a aplicabilidade da metodologia desenvolvida em função do conceito do projeto do porto ou terminal.	0 % - Não possui aderência ao tema de estudo. 100 % - Possui aderência ao tema de estudo.	0 % - 0 100 % - 30
RNTP- Representatividade e de produção no contexto nacional de exportação de minério de ferro.	Avalia a representatividade em volume de produção no contexto nacional de exportação de minério de ferro.	0 % - 0 a 5 % do volume total exportado de minério de ferro no Brasil. 50 % - 5 a 10 % do volume total exportado de minério de ferro no Brasil. 100 % - acima de 10 % do volume total exportado de minério de ferro no Brasil.	0 % - 0 50 % - 5 100 % - 10
CTLD- Custo e tempo envolvidos FEL 1na etapa de levantamento de dados.	Avalia o custo e tempo despendidos na etapa de desenvolvimento do levantamento de dados.	0 % - não aderente ao prazo e orçamento disponível para desenvolvimento da etapa de levantamento de dados. 100 % - aderente ao prazo e orçamento disponível para desenvolvimento da etapa de levantamento de dados.	0 % - 0 100 % - 10

CITP- Confiabilidade das informações.	Avalia a confiabilidade das informações levantadas na fase de coleta de dados.	0 % - Baixa confiabilidade de informações, desenhos e dados. 50 % - Contém confiabilidade de informações, desenhos e dados em até 50 %. 100 % - Contém confiabilidade de informações, desenhos e dados acima de 80 %.	0 % - 0 50 % - 5 100 % - 10
---	--	---	-----------------------------------

Fonte: produção do próprio autor.

A Tabela 18 apresenta as principais características dos terminais de exportação de minério de ferro localizados no Brasil, contemplando as informações de localização, produção e relevância no contexto de exportação de minério de ferro no Brasil.

Tabela 18 - Principais terminais e portos de exportação de minério de ferro no Brasil.

Terminal de Exportação	Localização	Produção Anual (t MFe)
TMPM	São Luís - MA	180.000.000
TUB	Vitória - ES	110.000.000
TIG	Mangaratiba - RJ	45.000.000
CPBS	Itaguaí - RJ	25.000.000
CSN	Itaguaí - RJ	30.000.000
SUDESTE	Itaguaí - RJ	50.000.000

Fonte: Adaptado pelo autor (Departamento Nacional de Produção Mineral, 2016).

De acordo com os resultados alcançados com a aplicação do método, os terminais TIG e CPBS apresentaram o total de 95 pontos e selecionados para o desenvolvimento do estudo de caso. A Tabela 19 apresenta os resultados do processo de seleção contemplando os terminais de exportação de minério de ferro avaliados no Brasil.

Tabela 19 - Resultados da seleção dos terminais para desenvolvimento do estudo de caso.

Terminal de Exportação	DAIP	ATDT	RNTP	CTLD	CITP	Pontuação
TMPM	0	30	10	0	10	50
TUB	0	30	10	0	10	50
TIG	40	30	5	10	10	95
CPBS	40	30	5	10	10	95
CSN	0	30	5	10	10	55
SUDESTE	0	30	5	10	10	55

Fonte: produção do próprio autor.

6.1 INVENTÁRIO DOS TERMINAIS DE EXPORTAÇÃO

Os terminais TIG e CPBS são administrados pelo setor privado, por uma empresa brasileira, tendo como principal atividade a exportação de minério de ferro. Devido às características dos terminais no processo de entrada, os modais dutoviário e rodoviário não fazem parte do escopo de desenvolvimento do estudo de caso. O Quadro 6 apresenta os principais processos que serão desenvolvidos no estudo de caso. As informações utilizadas no desenvolvimento do estudo de caso foram obtidas com as empresas.

Quadro 6 - Processos avaliados no estudo de caso.

Processos	TIG	CPBS
Desenvolvimento do Projeto	x	x
Construção do Projeto	X	x
Transporte Ferroviário	X	x
Transporte Dutoviário	Não aplicado	Não aplicado
Transporte Rodoviário	Não aplicado	Não aplicado
Transporte Marítimo	X	x
Processo Operacional	X	x
Compensação Ecológica	X	x

Fonte: produção do próprio autor.

6.2 CARACTERÍSTICAS DO TERMINAL DA ILHA GUAÍBA

O TIG é localizado em uma ilha, na cidade de Mangaratiba, no estado do Rio de Janeiro, dentre suas principais características, possui o modal ferroviário para o recebimento de minérios e píer de atracação de navios para exportação. A Figura 10 apresenta a visão geral do TIG.

Figura 10 - Terminal da Ilha Guaíba TIG.



Fonte: Vale (2017).

As principais informações do TIG são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Principais informações e características do projeto do TIG.

Informações e Características TIG	
Local de instalação	Mangaratiba – Rio de Janeiro
Capacidade embarque anual (t)	45.000.000
Capacidade de descarga anual (t)	45.000.000
Capacidade estática de armazenagem (t)	3.000.000
Equipamentos instalados no processo de descarga (Qtd)	11
Equipamentos instalados no processo de armazenagem (Qtd)	6
Equipamentos instalados no processo de embarque (Qtd)	10
Potência elétrica instalada (MW)	26
Consumo de energia elétrica (GWh)	51
Capacidade do carregador de navios 1 (t/h)	13.800
Capacidade do carregador de navios 2 (t/h)	15.000

Fonte: adaptado pelo autor (VALE, 2017).

O terminal possui dois berços de atracação e navios com capacidades distintas e uma única rota de correias transportadoras de minério. Apesar da disponibilidade de dois carregadores de navios, a operação de carregamento de navios não ocorre de forma simultânea devido ao sistema de transporte de minério ser singelo. A Figura 11 apresenta os detalhes do píer de atracação de navios do TIG.

Figura 11 - Visão geral do píer de atracação de navios do TIG.



Fonte: Vale (2017)

Os dois carregadores de navios utilizados no projeto são do tipo *travelling*, e possuem a capacidade de transladar sobre toda estrutura do píer para carregamento de navios nos berços lado Norte e Sul. A Figura 12 apresenta os detalhes do carregador de navios tipo *travelling* utilizado no píer de atracação de navios do TIG.

Figura 12 - Carregador de navios tipo *travelling* do TIG



Fonte: Vale (2017)

O pátio de estocagem de minério de ferro possui capacidade estática de três milhões de toneladas métricas, contemplando três equipamentos de manuseio de minério de ferro e suas respectivas correias transportadoras. A Figura 13 apresenta os detalhes do pátio de estocagem de minério do TIG.

Figura 13 - Pátio de estocagem de minério do TIG



Fonte: Vale (2017)

Os três equipamentos de recuperação e empilhamento de minério de ferro possuem a capacidade de transladar sobre toda pista do pátio de estocagem para formação de pilhas ou carregamento de navios nos berços lado Norte e Sul. A Figura 14 apresenta os detalhes da empilhadeira recuperadora utilizada no TIG.

Figura 14 - Empilhadeira recuperadora utilizada no TIG.



Fonte: Vale (2017)

De acordo com os dados consolidados no inventário do processo de descarga, tem-se o comprimento total de correia transportadora, 3.979 m, o peso total de aço empregado nos equipamentos, 3.912 t, e o volume total de concreto, 6.004 m³. O inventário dos principais equipamentos do processo de descarga é apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Inventário dos equipamentos do processo de descarga.

Equipamento	Largura da correia (mm)	Comprimento (m)	Peso estrutural (t)
Ponte Ferroviária	Não se aplica	1.705	3.000
TR01A	1.372	167	23,52
TR01B	1.372	147	22,80
TR01C	1.524	300	66,33
TR02A	1.372	445	84,03
TR02B	1.372	445	33,56
TR02C	1.524	500	98,89
TR02D	1.524	230	27,55
TR02E	1.829	40	24,79
VV 1 e 2	Não se aplica	Não se aplica	240
VV 3	Não se aplica	Não se aplica	290,50

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

De acordo com os dados consolidados, o comprimento total da correia transportadora, 7.060 m, o peso total de aço empregado nos equipamentos, 3.705 t, e o volume de concreto, 6.702 m³. A relação do inventário dos equipamentos do processo de armazenagem é mostrada na Tabela 22.

Tabela 22 - Inventário dos equipamentos do processo de armazenagem.

Equipamento	Largura da correia (mm)	Comprimento (m)	Peso estrutural (t)
TR03A	1524	2.450	124,56
TR03B	1524	2.250	115,82
TR03C	1524	2.000	104,90
ERG 1	1829	120	1.120
ERG 2	1829	120	1.120
ERG 3	1829	120	1.120

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

De acordo com os dados consolidados, o comprimento total da correia transportadora, 5.095 m, o peso total de aço empregado nos equipamentos, 3.914 t, e o volume de concreto, 23.822 m³. A relação do inventário dos equipamentos do processo de embarque é apresentada na Tabela 23.

Tabela 23 - Inventário dos equipamentos do processo de embarque.

Equipamento	Largura da correia (mm)	Comprimento (m)	Peso estrutural (t)
Ponte de acesso ao píer	Não se aplica	378	Não se aplica
Píer atracação	Não se aplica	340	Não se aplica
TR04A	1.524	560	44,10
TR05A	1.524	740	141,58
TR07A	1.829	70	30,26
TR08A	1.524	1.015	182,73
TR09A	1.524	842	154,57
TR09B	1.524	890	160,60
CNG 1	1.829	130	1.600
CNG 2	1.829	130	1.600

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

De acordo com os dados consolidados, o comprimento total da correia transportadora, 16.134 m, o peso de aço empregado nos equipamentos, 11.531 t, e o volume de concreto, 36.528 m³. A consolidação do inventário geral dos equipamentos do TIG é apresentada na Tabela 24.

Tabela 24 - Inventário geral dos equipamentos do TIG.

Processo	Comprimento correia (m)	Peso estrutural (t)	Volume de concreto (m³)
Descarga	3.979	3.912	6.004
Armazenagem	7.060	3.705	6.702
Embarque	5.095	3.914	23.822
Total	16.134	11.531	36.528

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

6.3 CARACTERÍSTICAS DA COMPANHIA PORTUÁRIA BAÍA DE SEPETIBA

A Companhia Portuária Baía de Sepetiba é localizada na cidade de Itaguaí, no estado do Rio de Janeiro, dentre suas principais características de projeto possui o modal ferroviário para o recebimento de minérios e o píer de atracação de navios para exportação. A Figura 15 apresenta a visão geral da linha do píer de atracação de navios da CPBS.

Figura 15 - Companhia portuária baía de Sepetiba - CPBS.



Fonte: Vale (2017).

A Tabela 25 apresenta as principais informações e características da CPBS.

Tabela 25 - Principais informações e características da CPBS.

Informações e Características	
Local de instalação	Itaguaí – Rio de Janeiro
Capacidade embarque anual (t)	25.000.000
Capacidade de descarga anual (t)	25.000.000
Capacidade estática de armazenagem (t)	2.000.000
Equipamentos instalados no processo de descarga (Qtd)	5
Equipamentos instalados no processo de armazenagem (Qtd)	4
Equipamentos instalados no processo de embarque (Qtd)	6
Potência elétrica instalada (MW)	14
Consumo de energia elétrica (GWh)	28
Calado berço (m)	18,1
Comprimento do píer (m)	320
Comprimento ponte de acesso ao píer (m)	700

Fonte: adaptado pelo autor (VALE, 2017).

De acordo com os dados consolidados, o comprimento total da correia transportadora, 1.313 m, o peso de aço empregado nos equipamentos, 523,58 t, e o volume de concreto, 3.056

m³. A relação do inventário dos equipamentos do processo de descarga é apresentada na Tabela 26.

Tabela 26 - Inventário dos equipamentos do processo de descarga.

Equipamento	Largura da correia (mm)	Comprimento (m)	Peso estrutural (t)
Pera ferroviária	Não aplicado	Não aplicado	Não aplicado
TD01	1.400	450	85,33
TD02	1.200	523	87,45
TD03	1.200	320	60,30
VVS 1	NA	20	290,50

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

De acordo com os dados consolidados, o comprimento total da correia transportadora, 3.240 m, o peso total de aço empregado nos equipamentos, 2.357,5 t, e o volume de concreto, 3.203 m³. A relação do inventário dos equipamentos do processo de armazenagem é apresentada na Tabela 27.

Tabela 27 - Inventário dos equipamentos do processo de armazenagem.

Equipamento	Largura da correia (mm)	Comprimento (m)	Peso estrutural (t)
TRS01	1.200	1.500	58,75
TRS03	1.200	1.500	58,75
ERS1	2000	120	1.120
ERS3	2000	120	1.120

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

De acordo com os dados consolidados, tem-se o comprimento total da correia transportadora, 6.360 m, o peso total de aço empregado nos equipamentos, 2.797 t, e o volume de concreto, 14.272 m³. A relação do inventário dos equipamentos do processo de embarque é apresentada na Tabela 28.

Tabela 28 - Inventário dos equipamentos do processo de embarque.

Equipamento	Largura da correia (mm)	Comprimento (m)	Peso estrutural (t)
Ponte de acesso ao píer	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Píer	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
TE01	1.400	1.230	203,04
TE02	1.400	3.500	148,75
TE03	1.400	1.500	245,62
CNS 1	2.000	130	2.200

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

De acordo com os dados consolidados, tem-se o total de 10.913 m de correia transportadora, o peso de aço empregado nos equipamentos é de 5.678,5 t e o volume de concreto é 20.531 m³. O inventário geral dos equipamentos da CPBS é apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 - Consolidação do inventário dos equipamentos da CPBS.

Processo	Comprimento (mm)	Peso estrutural (t)	Volume de concreto (m³)
Descarga	1.313	523,58	3.056
Armazenagem	3.240	2.357,5	3.203
Embarque	6.360	2.797,41	14.272
Total	10.913	5.678,50	20.531

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

6.4 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DE ENGENHARIA

As informações demonstradas foram obtidas a partir do sistema de gestão e controle de documentos do TIG e CPBS, e as mesmas são confidenciais. As respectivas quantidades de documentos técnicos existentes são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 - Consolidação dos dados de engenharia do TIG e CPBS.

Terminal	Número Total de A1 equivalente
TIG	18.601,75
CPBS	13.736,00

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

6.5 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DE CONSTRUÇÃO DO TIG

A energia total consumida no TIG é de 1.431,90 GWh considerando um ano de operação, sendo 29,59 % nos transportadores de correia, 66,76 % em estrutura metálica e 3,64 % em estruturas de concreto. A Tabela 31 apresenta a energia total consumida por processo no TIG.

Tabela 31 - Energia total consumida por processo no TIG.

Projeto	ETC transportador de correia (GWh)	ETC estrutura metálica (GWh)	ETC Estrutura de Concreto (GWh)
Descarga	66,69	324,33	8,66
Armazenagem	220	307,19	10,14
Embarque	137	324,49	33,35
Total	423,7	956,02	52,15

Fonte: produção do próprio autor.

6.6 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DE CONSTRUÇÃO DA CPBS

A energia total consumida no CPBS é de 804,65 GWh considerando um ano de operação, sendo 37,92 % nos transportadores de correia 58,51 % em estrutura metálica e 3,57 % e em estruturas de concreto. A Tabela 32 apresenta a energia total consumida por processo no CPBS.

Tabela 32 - Energia total consumida na construção da CPBS.

Projeto	ETC transportador de correia (GWh)	ETC estrutura metálica (GWh)	ETC estrutura de Concreto (GWh)
Descarga	40,71	43,40	4,27
Armazenagem	82,58	195,45	4,48
Embarque	181,81	231,92	19,98
Total	305,11	470,79	28,74

Fonte: produção do próprio autor.

6.7 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO

Os terminais são localizados na região da Costa Verde, no estado do Rio de Janeiro, a empresa MRS Logística é responsável pelo transporte ferroviário entre os pontos de carregamento nas minas e os terminais TIG e CPBS.

A distância total percorrida entre os pontos de carregamento de vagões localizados no estado de Minas Gerais, e os terminais TIG e CPBS correspondem, respectivamente, a 940 km e 915 km. A Figura 16 apresenta a visão geral da malha ferroviária operada pela MRS Logística.

Figura 16 - Visão geral da malha ferroviária MRS.



Fonte: adaptado pelo autor, MRS (2018) (acesso no site em 04/01/2018)

Com relação ao indicador de eficiência energética das locomotivas, no ano de 2016 foi alcançado 2,49 L/k.tMFe.km (litro/mil tonelada de minério de ferro quilômetro bruto), representando um aumento de eficiência de 2,7 % comparado com o ano de 2015. Os dados de

eficiência energética das locomotivas no período de 2012 a 2016 são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 - Eficiência energética das locomotivas MRS.

Ano	2012	2013	2014	2015	2016
Eficiência energética (L/k.tMFe.km)	2,81	2,76	2,68	2,56	2,49

Fonte: adaptado pelo autor, relatório anual MRS (2016).

O valor de 2,66 L/k.tMFe.km (litro/mil tonelada de minério de ferro quilômetro Bruto) foi utilizado como premissa para eficiência energética da locomotiva, representando a média da eficiência energética, no período de 2012 a 2016, na empresa MRS.

6.8 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DO TRANSPORTE MARÍTIMO

Os principais destinos internacionais de exportação dos terminais portuários TIG e CPBS foram levantados para desenvolvimento do estudo de caso. A Tabela 34 apresenta os principais terminais de destino de exportação para o TIG e CPBS.

Tabela 34 - Principais terminais de destino exportação para o TIG e para CPBS.

Destinos de Exportação	Distância em relação a TIG [km]	Distância em relação a CPBS [km]
Sohar - Omã	17.816,24	18.529,26
Caofeidian - China	21.253,55	22.103,62
Rizhao - China	20.738,69	21.568,39
Dalian - China	21.044,27	21.886,93
Qingdao - China	21.594,32	22.403,18
Subic Bay - Filipinas	18.786,68	19.595,54

Fonte: Adaptado pelo autor com base em informações obtidas na área de navegação (VALE, 2017).

Em função da sazonalidade de destinos de exportação decorrente das variações de mercado, foram adotadas as distâncias médias “derrotas” de exportação em relação aos terminais portuário TIG e CPBS. A Tabela 35 apresenta as distâncias de exportação a serem adotadas no estudo de caso para os terminais.

Tabela 35 - Distância média de exportação do TIG e da CPBS.

Porto de Origem	Distância média exportação [km]
TIG	20.205,7
CPBS	21.014,5

Fonte: Adaptado pelo autor com base em informações obtidas na área de navegação (VALE, 2017).

A capacidade média de transporte das embarcações para ambos terminais TIG e CPBS é de 200.000 t. Os dados foram obtidos na etapa de levantamento de dados pelos terminais TIG e CPBS. A premissa simplifica o desenvolvimento dos cálculos a serem consolidados no estudo de caso.

6.9 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DE PROCESSO OPERACIONAL DO TIG E DA CPBS

Os dados consolidados referentes à potência instalada e ao consumo de energia para o TIG e CPBS estão apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 - Potência instalada e consumo de energia no TIG e CPBS.

Terminais Portuários	Potência instalada [MW]	Consumo de energia [GWh]
TIG	26	51
CPBS	14	28

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

Os dados referentes ao consumo específico de energia direta e indireta no TIG e na CPBS, por material movimentado, foram obtidos com base nas informações históricas de desempenho operacional no período de 2012 a 2016. O consumo específico médio de energia no TIG foi 1,12 MWh/t e na CPBS, 1,27 MWh/t. A Tabela 37 apresenta o consumo consolidado de energia direta e indireta aplicado nos terminais portuários TIG e CPBS para o período de análise de 2012 a 2016.

Tabela 37 - Consumo específico de energia direta e indireta no TIG e na CPBS.

Terminais Portuários	2012 (MWh/t)	2013 (MWh/t)	2014 (MWh/t)	2015 (MWh/t)	2016 (MWh/t)
TIG	1,12	1,13	1,11	1,16	1,10
CPBS	1,26	1,28	1,27	1,26	1,30

Fonte: produção do próprio autor baseado nos documentos de engenharia (VALE, 2017).

7 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A aplicação da metodologia considera a capacidade anual de produção e o ciclo de vida do projeto dos terminais. Os cenários avaliados reproduzem a variação do programa de produção, sendo estabelecidos os limites: superior, intermediário e inferior de produção anual. A Tabela 38 apresenta os cenários de produção considerados para os terminais.

Tabela 38 - Cenários de produção anual do TIG e da CPBS.

Cenários de Produção Anual	TIG	CPBS
Limite superior de produção	47.000.000	25.000.000
Limite intermediário (média)	42.500.000	22.000.000
Limite inferior de produção anual	38.000.000	18.000.000

Fonte: produção do próprio autor.

Em função da ausência da determinação do ciclo de vida dos terminais, serão adotados cenários de ciclo de vida para realizar uma análise de sensibilidade do índice de emissões de CO₂ dos projetos. A Tabela 39 apresenta as premissas gerais do ciclo de vida do projeto.

Tabela 39 - Premissas gerais do ciclo de vida para o TIG e CPBS.

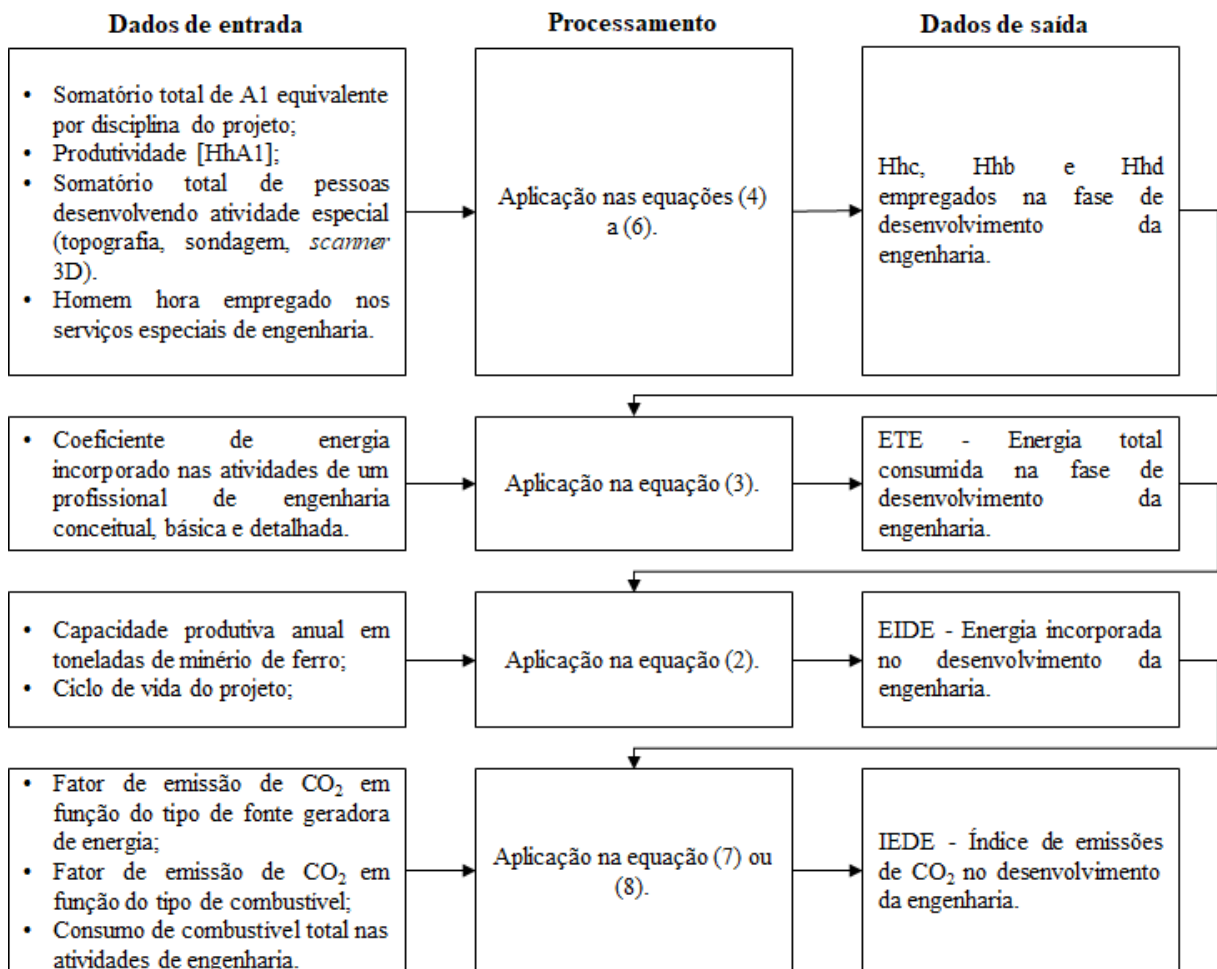
Ciclos de Vida	TIG	CPBS
A	10 anos	10 anos
B	20 anos	20 anos
C	30 anos	30 anos
D	40 anos	40 anos
E	50 anos	50 anos
F	60 anos	60 anos

Fonte: produção do próprio autor.

7.1 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO DESENVOLVIMENTO ENGENHARIA

Para calcular o índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento da engenharia, foram consolidados os dados dos projetos e utilizado as equações (2) a (8) para processamento e para obtenção dos dados de saída. A Figura 17 apresenta o fluxograma de desenvolvimento do IEDE, contemplando os dados de entrada, as equações e os dados de saída.

Figura 17 - Fluxograma de aplicação da metodologia para o IEDE.



Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados do IEDE para o terminal portuário TIG contemplando a análise em relação ao ciclo de vida e capacidade produtiva são apresentados na Tabela 40.

Tabela 40 - Índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento da engenharia no TIG.

Ciclos de Vida (anos)	IEDE	IEDE	IEDE
	(t CO ₂ /t MFe) (Cp min.) x 10 ⁻⁴	(t CO ₂ /t MFe) (Cp méd.) x 10 ⁻⁴	(t CO ₂ /t MFe) (Cp máx.) x 10 ⁻⁴
10 anos	2,6406	2,8332	2,9889
20 anos	1,3203	1,4166	1,4945
30 anos	0,9444	0,9444	0,9963
40 anos	0,6601	0,7083	0,7472
50 anos	0,5281	0,5666	0,5978
60 anos	0,4401	0,4722	0,4982

Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados do índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento da engenharia para a CPBS contemplando a análise em relação ao ciclo de vida e a capacidade produtiva são apresentados na Tabela 41.

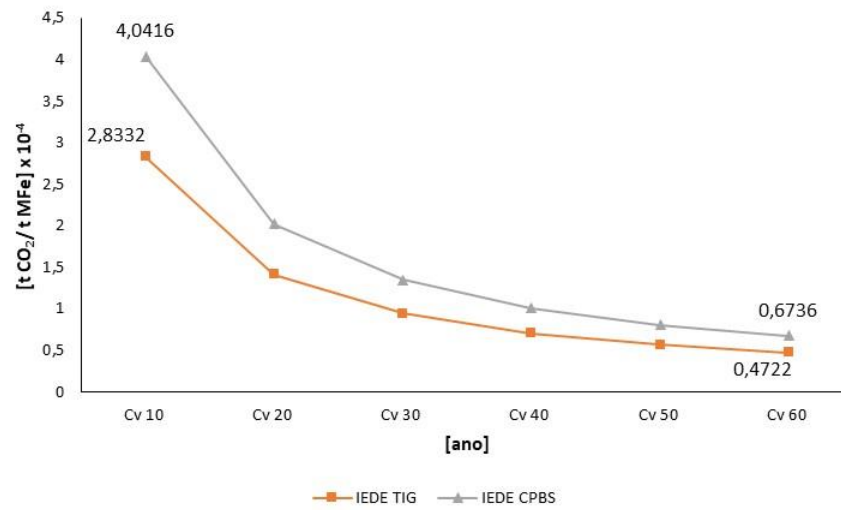
Tabela 41 - Índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento da engenharia na CPBS.

Ciclos de Vida (anos)	IEDE	IEDE	IEDE
	(t CO ₂ /t MFe) (Cp min.) x 10 ⁻⁴	(t CO ₂ /t MFe) (Cp méd.) x 10 ⁻⁴	(t CO ₂ /t MFe) (Cp máx.) x 10 ⁻⁴
10 anos	4,1164	4,0416	4,1493
20 anos	2,0582	2,0208	2,0747
30 anos	1,3472	1,3472	1,3831
40 anos	1,0291	1,0104	1,0373
50 anos	0,8233	0,8083	0,8299
60 anos	0,6861	0,6736	0,6916

Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 5 apresenta os resultados do índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento da engenharia considerando a capacidade de produção média do TIG e da CPBS. O TIG apresentou o melhor índice, sendo 31,23 % mais sustentável dentro da dimensão ambiental quando avaliado para o ciclo de vida de 60 anos, considerando a execução da engenharia no Brasil.

Gráfico 5 - Índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento da engenharia para o TIG e para a CPBS.



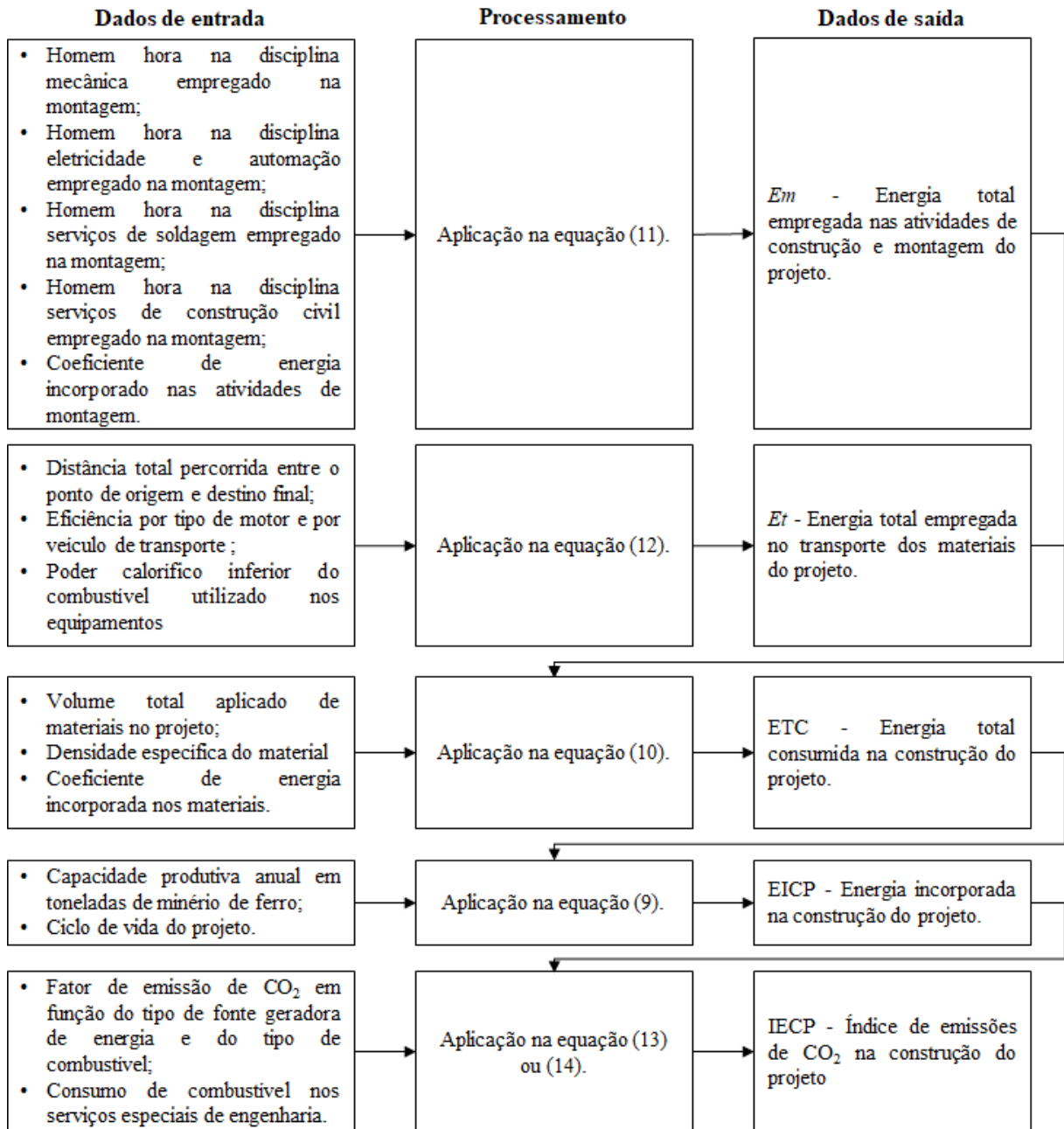
Fonte: produzido pelo autor.

Com relação à análise de projeção de aumento no ciclo de vida de 10 anos para 60 anos, considerando a capacidade produtiva média, tem-se o aumento de 600 % na condição de sustentabilidade na dimensão ambiental de ambos projetos.

7.2 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NA CONSTRUÇÃO DO PROJETO

Para calcular o índice de emissões de CO₂ na construção do projeto, foram consolidados os dados dos projetos e utilizado as equações (9) a (14) para o processamento e a obtenção dos dados de saída. A Figura 18 apresenta o fluxograma de desenvolvimento do IECP.

Figura 18 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do IECP.



Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados do índice de emissões de CO₂ na construção do TIG contemplando a análise do ciclo de vida e a capacidade produtiva são apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 - Índice de emissões de CO₂ na construção do TIG.

Ciclos de Vida (anos)	IECP (t CO₂/t MFe) (Cp min.) x 10⁻⁴	IECP (t CO₂/t MFe) (Cp méd.) x 10⁻⁴	IECP (t CO₂/t MFe) (Cp máx.) x 10⁻⁴
10 anos	525,60	469,90	424,90
20 anos	262,80	234,90	212,40
30 anos	175,20	156,60	141,60
40 anos	131,40	117,40	106,20
50 anos	105,10	93,90	84,90
60 anos	87,60	78,30	70,80

Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados do índice de emissões de CO₂ na construção da CPBS contemplando a análise do ciclo de vida e a capacidade produtiva são apresentados na Tabela 43.

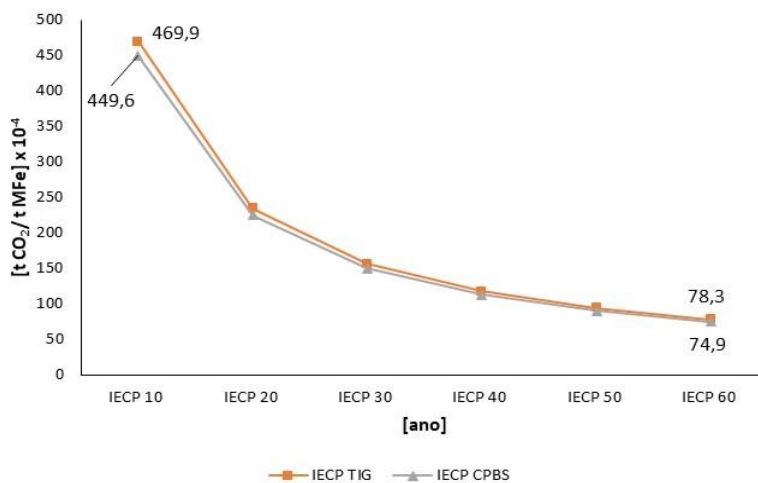
Tabela 43 - Índice de emissões de CO₂ na construção da CPBS.

Ciclos de Vida (anos)	IECP (t CO₂/t MFe) (Cp min.) x 10⁻⁴	IECP (t CO₂/t MFe) (Cp méd.) x 10⁻⁴	IECP (t CO₂/t MFe) (Cp máx.) x 10⁻⁴
10 anos	549,60	449,60	395,70
20 anos	274,80	224,80	197,80
30 anos	183,20	149,80	131,90
40 anos	137,40	112,40	98,90
50 anos	109,90	89,90	79,10
60 anos	91,60	74,90	65,90

Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 6 apresenta os resultados do índice de emissões CO₂ na construção do projeto considerando a capacidade de produção média dos terminais de exportação de minério de ferro TIG e CPBS. A CPBS apresentou o melhor índice, sendo 4,53 % mais sustentável na dimensão ambiental quando avaliado para o ciclo de vida de 60 anos.

Gráfico 6 - Índice de emissões de CO₂ na construção do projeto para o TIG e para CPBS.



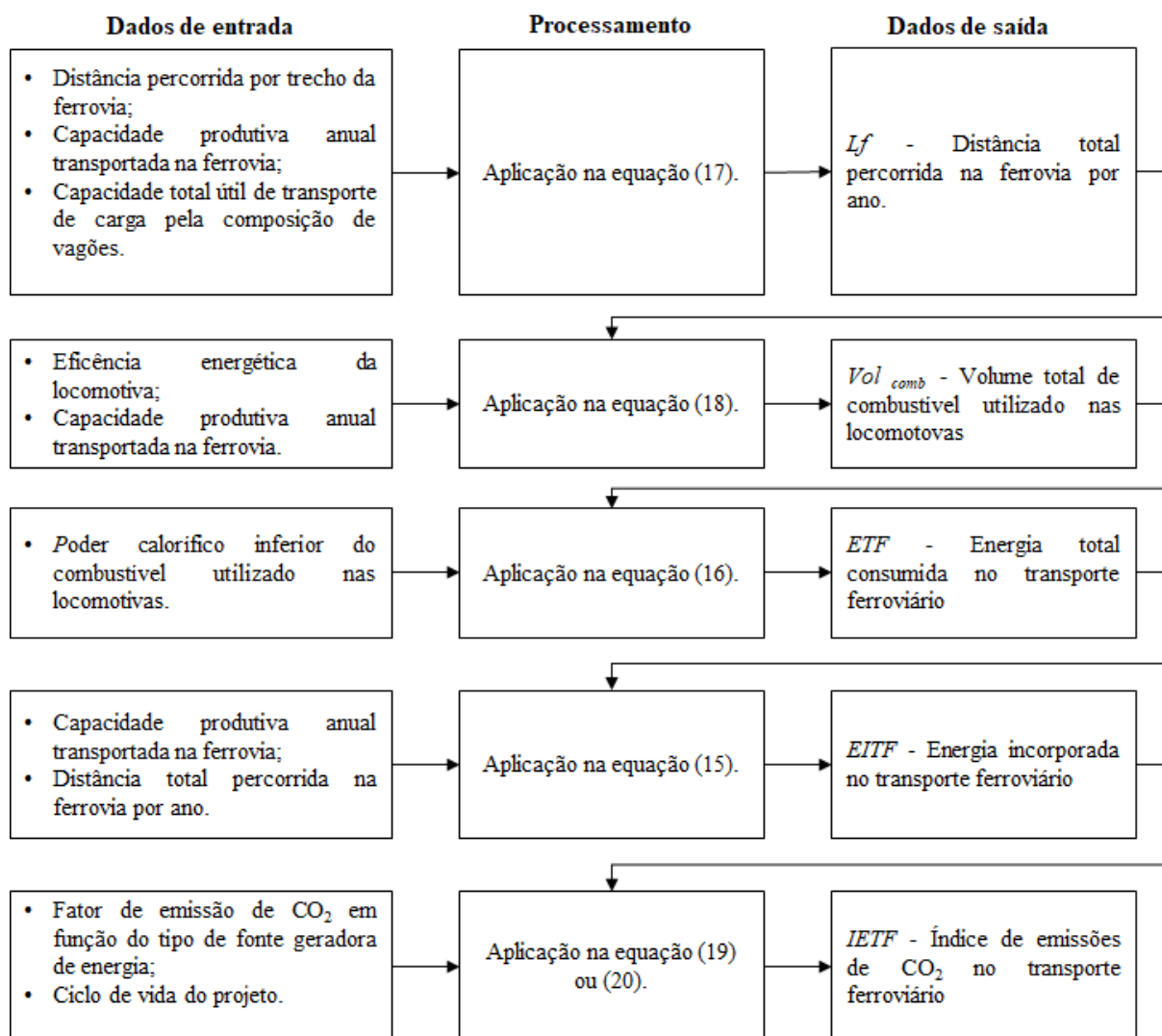
Fonte: produzido pelo autor.

Com relação à análise de projeção de aumento no ciclo de vida de 10 anos para 60 anos, considerando a capacidade produtiva média, tem-se o aumento de 600% na condição de sustentabilidade na dimensão ambiental para ambos projetos TIG e CPBS.

7.3 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO

Para calcular o índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário, foram consolidados os dados dos projetos e utilizado as equações (15) a (20) para processamento e obtenção dos dados de saída. A Figura 19 apresenta o fluxograma de desenvolvimento do IETF.

Figura 19 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do IETF.



Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados do índice de emissões de CO_2 no transporte ferroviário para o TIG contemplando a análise de sensibilidade em relação ao ciclo de vida e à capacidade produtiva são apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 - Índice de emissões de CO_2 no transporte ferroviário no TIG.

Ciclos de Vida (anos)	IETF	IETF	IETF
	(t CO_2 /t MFe) (C_p min.) $\times 10^{-4}$	(t CO_2 /t MFe) (C_p méd.) $\times 10^{-4}$	(t CO_2 /t MFe) (C_p máx.) $\times 10^{-4}$
10 anos	2.389	2.672	2.955
20 anos	4.778	5.344	5.909
30 anos	7.167	8.015	8.864
40 anos	9.556	10.687	11.819
50 anos	11.945	13.359	14.774
60 anos	14.333	16.031	17.728

Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados do índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário para a CPBS contemplando a análise de sensibilidade em relação ao ciclo de vida e capacidade produtiva são apresentados na Tabela 45.

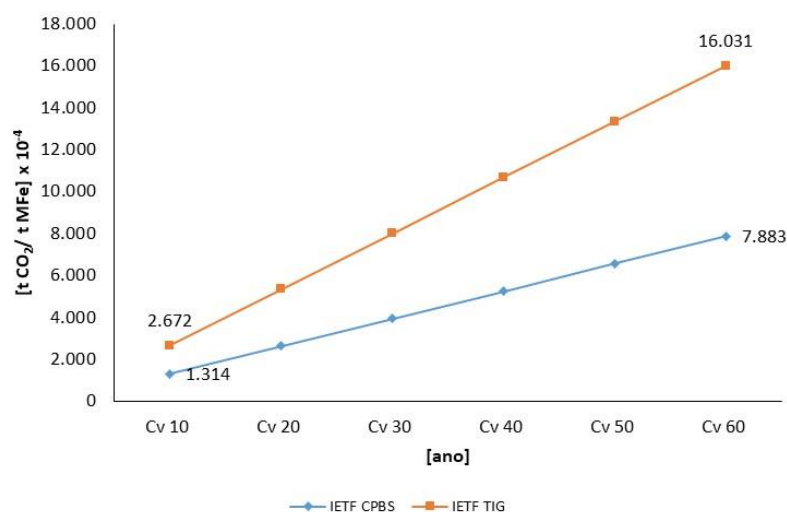
Tabela 45 - Índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário na CPBS.

Ciclos de Vida (anos)	IETF (t CO ₂ /t MFe) (Cp min.) x 10 ⁻⁴	IETF (t CO ₂ /t MFe) (Cp méd.) x 10 ⁻⁴	IETF (t CO ₂ /t MFe) (Cp máx.) x 10 ⁻⁴
10 anos	1.075	1.314	1.493
20 anos	2.150	2.628	2.986
30 anos	3.225	3.942	4.479
40 anos	4.300	5.256	5.972
50 anos	5.375	6.569	7.465
60 anos	6.450	7.883	8.958

Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 7 apresenta os resultados do índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário considerando a capacidade de produção média dos terminais de exportação de minério de ferro TIG e CPBS. A CPBS apresentou o melhor índice, sendo 50,82 % mais sustentável na dimensão ambiental quando avaliado para o ciclo de vida de 60 anos.

Gráfico 7 - Índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário para o TIG e para CPBS.



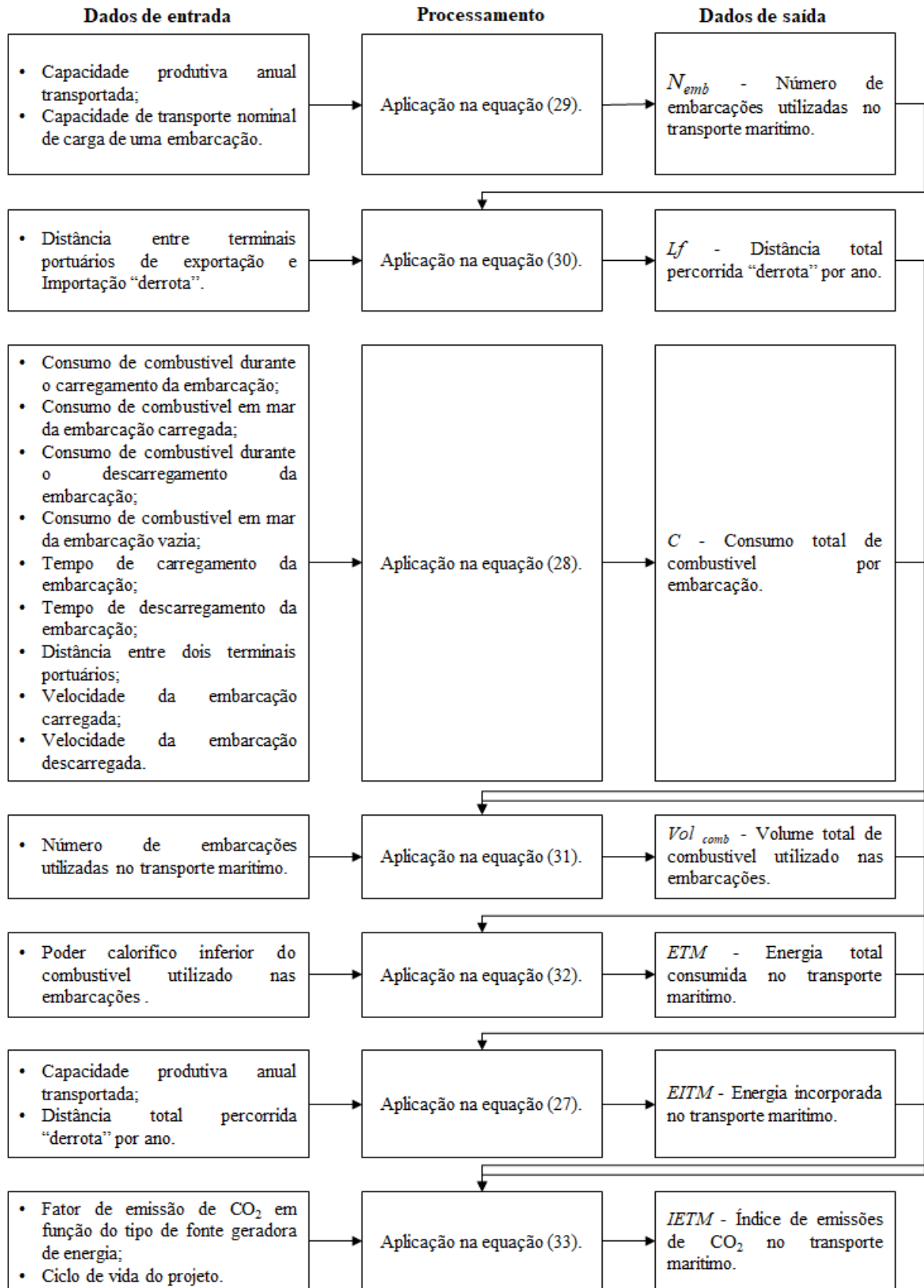
Fonte: produzido pelo autor.

Com relação à análise de projeção de aumento no ciclo de vida de 10 para 60 anos, considerando a capacidade produtiva média, tem-se uma redução de 83,33 % na condição de sustentabilidade na dimensão ambiental para ambos projetos TIG e CPBS.

7.4 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO TRANSPORTE MARÍTIMO

Para calcular o índice de emissões de CO₂ no transporte marítimo, foram consolidados os dados dos projetos e utilizado as equações (27) a (33) para processamento e obtenção dos dados de saída. A Figura 20 apresenta o fluxograma de desenvolvimento do IETM.

Figura 20 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do IETM.



Fonte: produção do próprio autor.

Em função da complexidade no levantamento de dados referentes ao *mix* de embarcações e de destinos finais de exportação para o TIG e para a CPBS, foram adotadas como premissas as distâncias médias de transporte das embarcações até os destinos finais, respectivamente, 20.205,7 km para o TIG e 21.014,50 km para a CPBS.

Os resultados do índice de emissões de CO₂ no transporte marítimo para o TIG e para a CPBS contemplam a análise em relação ao ciclo de vida e à capacidade produtiva dos projetos. A Tabela 46 apresenta os resultados do índice de emissões de CO₂ no transporte marítimo para o TIG e para a CPBS.

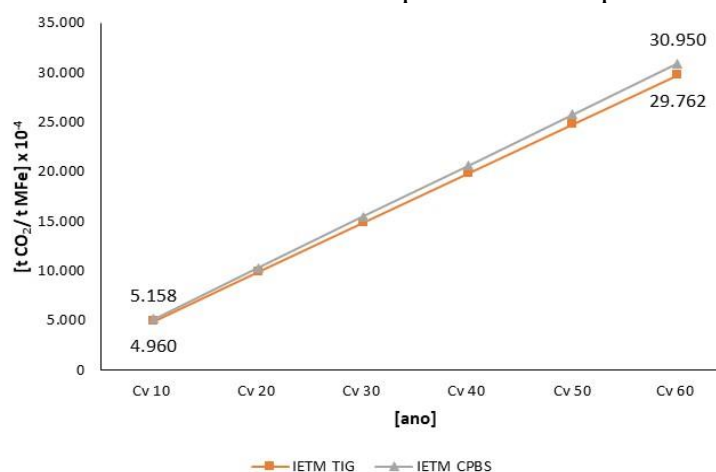
Tabela 46 - Índice de emissões de CO₂ no transporte marítimo para o TIG e CPBS.

Ciclos de Vida	IETM – TIG (t CO ₂ /t MFe) x 10 ⁻⁴	IETM – CPBS (t CO ₂ /t MFe) x 10 ⁻⁴
10 anos	4.960	5.158
20 anos	9.921	10.317
30 anos	14.881	15.475
40 anos	19.841	20.633
50 anos	24.801	25.792
60 anos	29.762	30.950

Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 8 apresenta os resultados do índice de emissões de CO₂ no transporte marítimo considerando a capacidade de produção média para o TIG e para a CPBS. O TIG apresentou 3,84 % mais sustentável na dimensão ambiental quando comparado com a CPBS para o ciclo de vida de 60 anos.

Gráfico 8 – Índice de emissões de CO₂ no transporte marítimo para o TIG e para a CPBS.



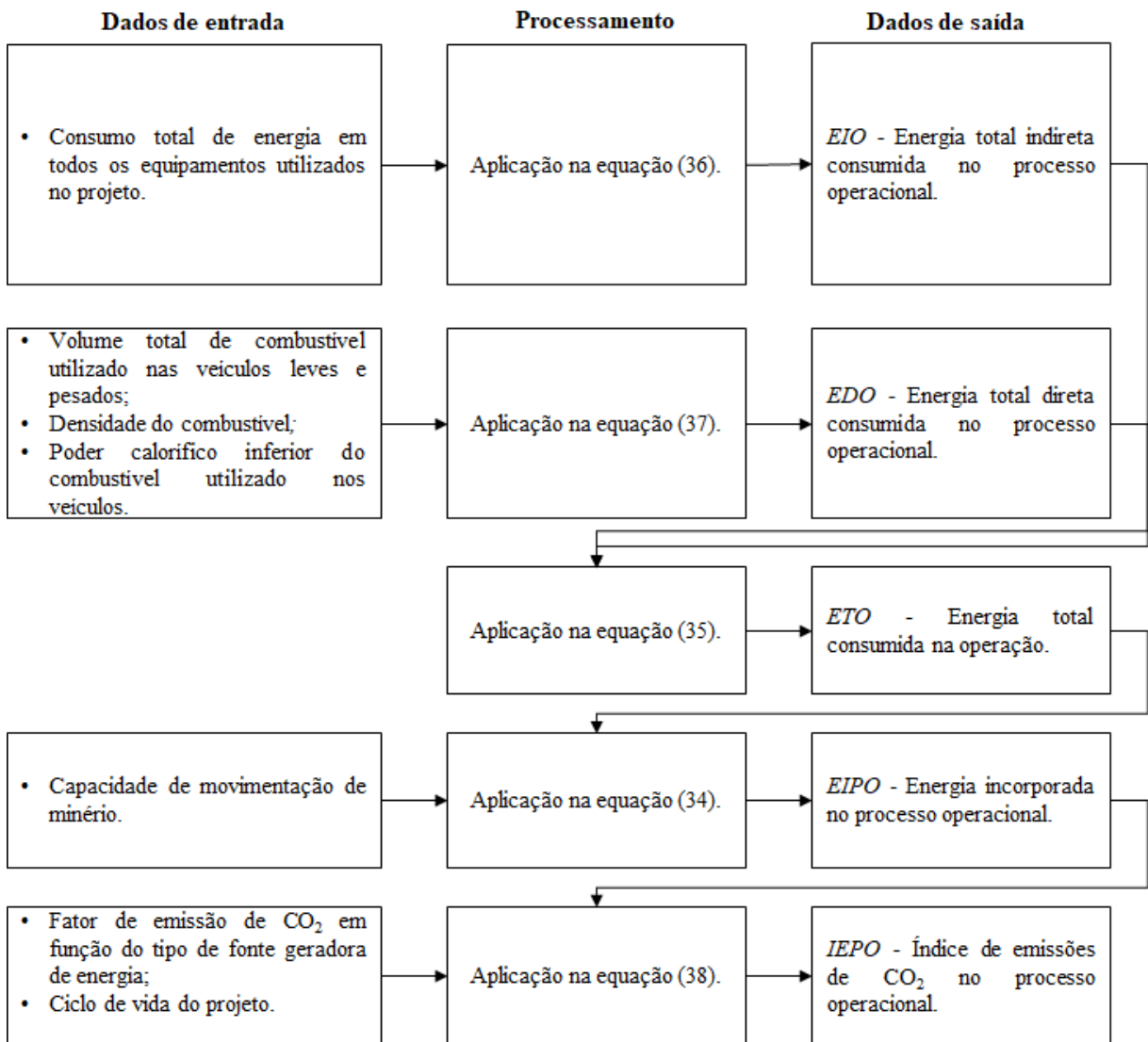
Fonte: produzido pelo autor.

Com relação à análise de projeção de aumento no ciclo de vida de 10 para 60 anos, considerando a capacidade produtiva média, tem-se uma redução de 83,33 % na condição de sustentabilidade na dimensão ambiental para ambos projetos TIG e CPBS.

7.5 ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ NO PROCESSO OPERACIONAL

Para calcular o índice de emissões de CO₂ no processo operacional foram consolidados os dados dos projetos e utilizado as equações (34) a (38) para processamento e obtenção dos dados de saída. A Figura 21 apresenta o fluxograma de desenvolvimento do IEPO.

Figura 21 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do IEPO.



Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados do índice de emissões de CO₂ no processo operacional para o TIG contemplando a análise em relação ao ciclo de vida e à capacidade produtiva são apresentados na Tabela 47.

Tabela 47 - Índice de emissões de CO₂ no processo operacional do TIG.

Ciclos de Vida (anos)	IEPO (t CO₂/t MFe) (Cp min.) x 10⁻⁴	IEPO (t CO₂/t MFe) (Cp méd.) x 10⁻⁴	IEPO (t CO₂/t MFe) (Cp máx.) x 10⁻⁴
10 anos	14,79	13,21	11,94
20 anos	29,55	26,42	23,89
30 anos	44,33	39,64	35,84
40 anos	59,11	52,85	47,79
50 anos	73,89	66,06	59,74
60 anos	88,67	79,28	71,69

Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados do índice de emissões de CO₂ no processo operacional para a CPBS contemplando a análise em relação ao ciclo de vida e à capacidade produtiva são apresentados na Tabela 48.

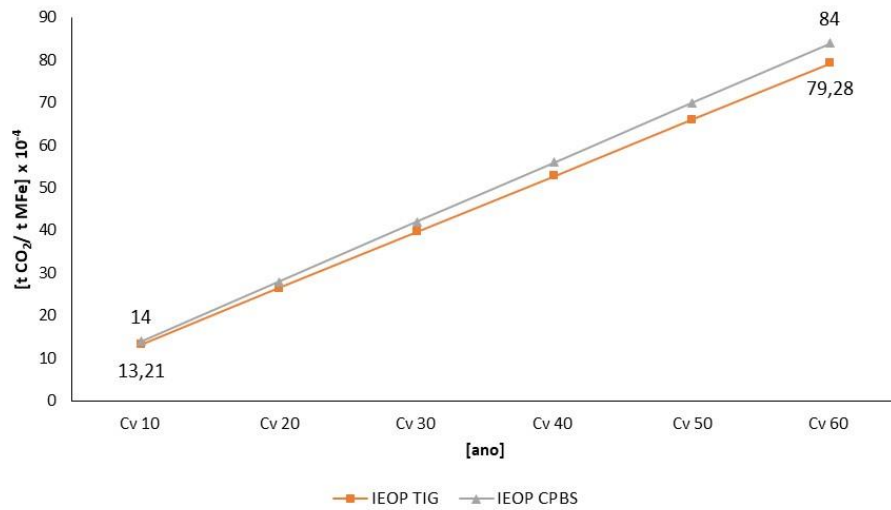
Tabela 48 – Índice de emissões de CO₂ no processo operacional da CPBS.

Ciclos de Vida (anos)	IEPO (t CO₂/t MFe) (Cp min.) x 10⁻⁴	IEPO (t CO₂/t MFe) (Cp méd.) x 10⁻⁴	IEPO (t CO₂/t MFe) (Cp máx.) x 10⁻⁴
10 anos	17,12	14	12,33
20 anos	34,25	28	24,66
30 anos	51,38	42	36,99
40 anos	68,51	56	49,32
50 anos	85,63	70	61,65
60 anos	102,77	84	73,99

Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 9 apresenta os resultados do índice de emissões de CO₂ no processo operacional considerando a capacidade de produção para o TIG e para a CPBS. O TIG apresentou 5,59 % mais sustentável na dimensão ambiental quando comparado com a CPBS para o ciclo de vida de 60 anos.

Gráfico 9 - Índice de emissões de CO₂ no processo operacional para o TIG e para a CPBS.



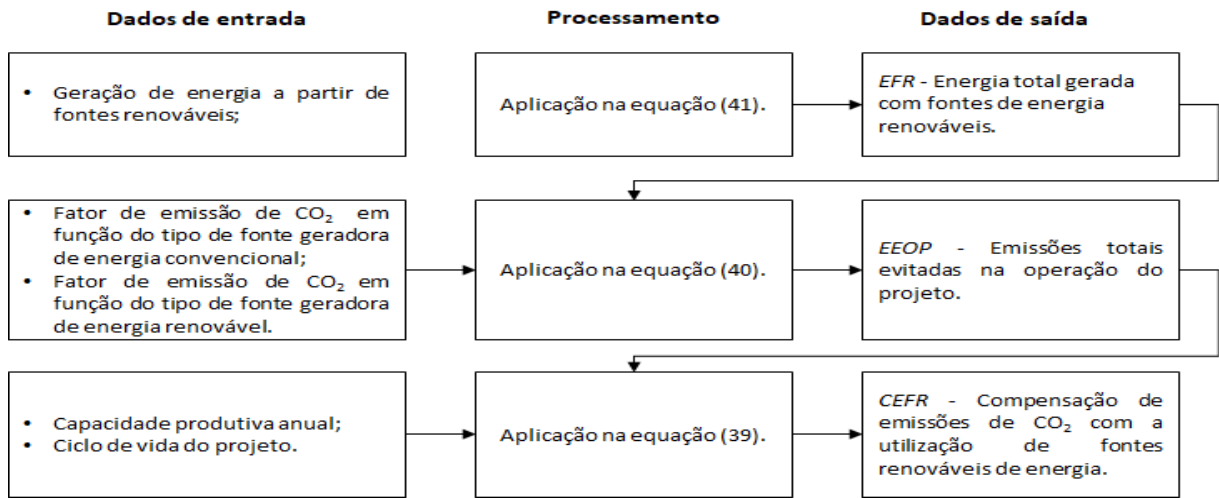
Fonte: produzido pelo autor.

Para análise de sensibilidade de 60 anos, o TIG e a CPBS, respectivamente apresentaram o índice de emissões de CO₂ no processo operacional 600% superior em relação ao ciclo de vida de 10 anos.

7.6 COMPENSAÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ COM A UTILIZAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

Para calcular a compensação de emissões de CO₂ com a utilização de fontes renováveis, foram consolidados os dados dos projetos, utilizando as equações (39) a (41) para processamento e obtenção dos dados de saída. A Figura 22 apresenta o fluxograma de desenvolvimento do CEFER.

Figura 22 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do CEFR.



Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados da compensação de emissões de CO₂ com a utilização de fontes renováveis de energia para o TIG em relação ao ciclo de vida e à capacidade produtiva é apresentado na Tabela 49. Em função da inexistência de sistemas de geração de energia renováveis no TIG, a compensação ecológica no TIG foi desconsiderada.

Tabela 49 – Compensação de emissões de CO₂ com a utilização de fontes renováveis no TIG.

Ciclos de Vida	CEFR (tCO ₂ /tMFe) (Cp min.) x 10 ⁻⁴	CEFR (tCO ₂ /tMFe) (Cp méd.) x 10 ⁻⁴	CEFR (tCO ₂ /tMFe) (Cp máx.) x 10 ⁻⁴
10 anos			
20 anos			
30 anos	0	0	0
40 anos			
50 anos			
60 anos			

Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados da compensação de emissões de CO₂ com a utilização de fontes renováveis, é apresentado na Tabela 50.

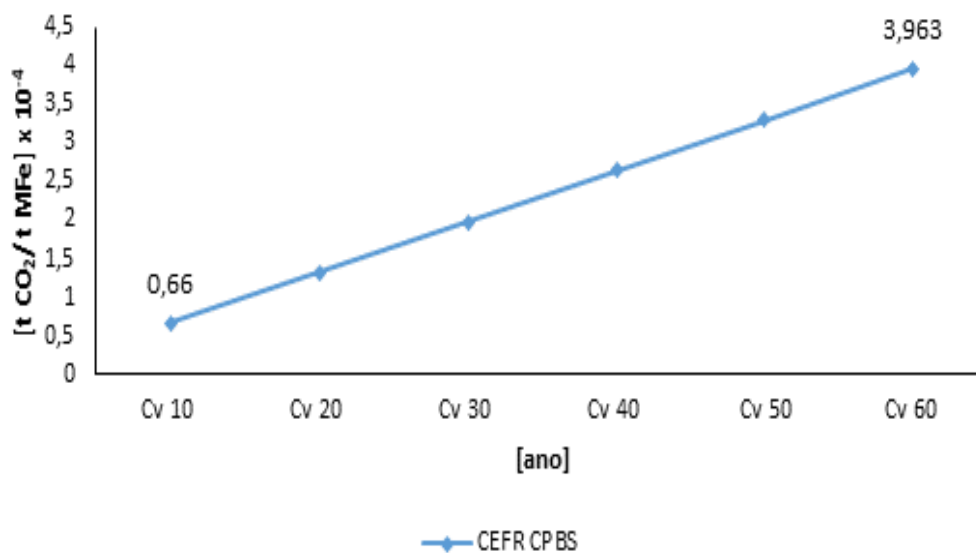
Tabela 50 - Compensação de emissões de CO₂ com a utilização de fontes renováveis na CPBS.

Ciclos de Vida	CEFR (tCO ₂ /tMFe) (Cp min.) x 10 ⁻⁴	CEFR (tCO ₂ /tMFe) (Cp méd.) x 10 ⁻⁴	CEFR (tCO ₂ /tMFe) (Cp máx.) x 10 ⁻⁴
10 anos	0,807	0,660	0,581
20 anos	1,614	1,321	1,162
30 anos	2,422	1,981	1,744
40 anos	3,229	2,642	2,325
50 anos	4,036	3,302	2,906
60 anos	4,843	3,963	3,487

Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados apresentados na Tabela 50 para a CPBS, representa a instalação de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica, responsável pelo suprimento de energia elétrica para o centro administrativo da CPBS. O Gráfico 10 apresenta os resultados da compensação de emissões de CO₂ média para a CPBS. A CPBS, no horizonte de análise entre 10 e 60 anos, apresenta aumento de 600 % na compensação de emissões de CO₂.

Gráfico 10 - Compensação de emissões de CO₂ com a utilização de fontes renováveis para o TIG e para a CPBS.

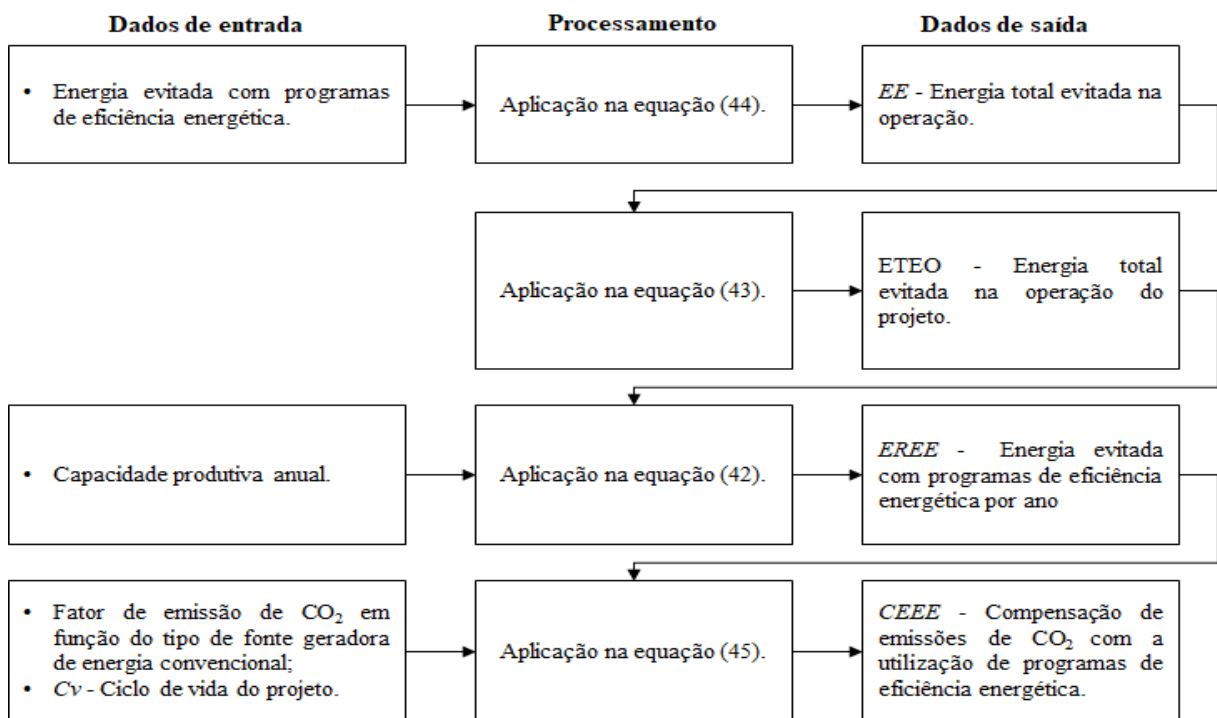


Fonte: produção do próprio autor.

7.7 COMPENSAÇÃO DE EMISSÕES DE CO₂ COM PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para calcular a compensação de emissões de CO₂ com programas de eficiência energética, foram consolidados os dados dos projetos utilizando as equações (42) a (45) para processamento e obtenção dos dados de saída. A Figura 23 apresenta o fluxograma de desenvolvimento do CEEE.

Figura 23 - Fluxograma de aplicação para desenvolvimento do CEEE.



Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados da compensação de emissões CO₂ com programas de eficiência energética para o TIG e para a CPBS não foram considerados no estudo de caso em função da inexistência de projetos implantados em ambos terminais. A Tabela 51 apresenta os resultados da compensação de emissões de CO₂ com programas de eficiência energética no TIG e na CPBS.

Tabela 51 - Compensação de emissões de CO₂ com programas de eficiência energética para o TIG e para a CPBS.

Ciclos de Vida	CEEE (tCO₂/tMFe) (Cp min) x 10⁻⁴	CEEE (tCO₂/tMFe) (Cp méd.) x 10⁻⁴	CEEE (tCO₂/tMFe) (Cp máx.) x 10⁻⁴
10 anos			
20 anos			
30 anos	0	0	0
40 anos			
50 anos			
60 anos			

Fonte: produzido pelo autor.

7.8 RESULTADOS DO ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ DO PROJETO

7.8.1 Resultados para o ciclo de vida de 10 anos

O resultado do índice de emissões de CO₂ no projeto para o ciclo de vida de 10 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para o TIG é apresentado na Tabela 52.

Tabela 52 - Índice de emissões de CO₂ para o TIG no ciclo de vida de 10 anos.

Índice emissões (t CO₂/t MFe)	Cp (min.) x 10⁻⁴	Cp (méd.) x 10⁻⁴	Cp (máx.) x 10⁻⁴
IEDE	2,6	2,8	2,9
IECP	525,6	469,9	424,9
IETF	2.388,9	2.671,8	2.954,7
IETM	4.960,3	4.960,3	4.960,3
IEOP	14,7	13,2	11,9
CEEE	0	0	0
CEFR	0	0	0
IEPP	7.892,1	8.118,0	8.354,7

Fonte: produzido pelo autor.

O resultado do índice de emissões de CO₂ no projeto para o ciclo de vida de 10 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para a CPBS é apresentado na Tabela 53.

Tabela 53 - Índice de emissões de CO₂ para a CPBS no ciclo de vida de 10 anos.

Índice emissões (t CO ₂ /t MFe)	Cp (min.) x 10 ⁻⁴	Cp (méd.) x 10 ⁻⁴	Cp (máx.) x 10 ⁻⁴
IEDE	4,1	4,0	4,1
IECP	549,6	449,6	395,7
IETF	1.075	1.313,8	1.493
IETM	5.158,3	5.158,3	5.158,3
IEOP	17,1	14,0	12,3
CEEE	0	0	0
CEFR	-0,8	-0,6	-0,5
IEPP	6.803,3	6.939,2	7.062,9

Fonte: produzido pelo autor.

A CPBS apresenta o índice de emissões de CO₂ médio do projeto de 14,58 % menor quando comparado com o TIG, sendo mais sustentável na dimensão ambiental no ciclo de vida de 10 anos. A Tabela 54 apresenta a análise comparativa entre o TIG e a CPBS.

Tabela 54 - Índice emissões de CO₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 10 anos.

Índice emissões (t CO ₂ /t MFe)	Cp (min.) x 10 ⁻⁴	Cp (méd.) x 10 ⁻⁴	Cp (máx.) x 10 ⁻⁴
IEPP TIG	7.892,1	8.118	8.354,7
IEPP CPBS	6.803,3	6.939,2	7.062,9

Fonte: produzido pelo autor.

7.8.2 Resultados para o ciclo de vida de 20 anos

O resultado do índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida de 20 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para o TIG é apresentado na Tabela 55.

Tabela 55 - Índice de emissões de CO₂ para o TIG no ciclo de vida de 20 anos.

Índice emissões (t CO ₂ /t MFe)	Cp (min.) x 10 ⁻⁴	Cp (méd.) x 10 ⁻⁴	Cp (máx.) x 10 ⁻⁴
IEDE	1,3	1,4	1,4
IECP	262,8	234,9	212,4
IETF	4.777,8	5.343,6	5.909,4
IETM	9.920,6	9.920,6	9920,6
IEOP	29,5	26,4	23,8
CEEE	0	0	0
CEFR	0	0	0
IEPP	14.992,0	15.526,9	16.067,6

Fonte: produzido pelo autor.

O resultado do índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida de 20 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para a CPBS é apresentado na Tabela 56.

Tabela 56 - Índice de emissões de CO₂ para a CPBS no ciclo de vida de 20 anos.

Índice emissões (t CO₂/t MFe)	Cp (min.) x 10⁻⁴	Cp (méd.) x 10⁻⁴	Cp (máx.) x 10⁻⁴
IEDE	1,3	1,4	1,5
IECP	274,8	224,8	197,8
IETF	2.150	2.627,7	2.986,1
IETM	10.316,7	10.316,7	10.316,7
IEOP	34,2	28,0	24,6
CEEE	0	0	0
CEFR	-1,6	-1,3	-1,1
IEPP	12.775,4	13.197,3	13.525,6

Fonte: produzido pelo autor.

A CPBS apresenta o índice de emissões de CO₂ do projeto 15,19 % menor quando comparado com o TIG, sendo mais sustentável na dimensão ambiental no ciclo de vida de 20 anos. A Tabela 57 apresenta a análise comparativa para o TIG e a CPBS.

Tabela 57 - Índice de emissões de CO₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 20 anos.

Índice emissões (t CO₂/t MFe)	Cp (min.) x 10⁻⁴	Cp (méd.) x 10⁻⁴	Cp (máx.) x 10⁻⁴
IEPP TIG	14.992	15.526,9	16.067,6
IEPP CPBS	12.775,4	13.197,3	13.525,6

Fonte: produzido pelo autor.

7.8.3 Resultados para o ciclo de vida de 30 anos

O resultado do índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida de 30 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para o TIG é apresentado na Tabela 58.

Tabela 58 – Índice de emissões de CO₂ do TIG para o ciclo de vida de 30 anos.

Índice emissões (t CO₂/t MFe)	Cp (min.) x 10⁻⁴	Cp (méd.) x 10⁻⁴	Cp (máx.) x 10⁻⁴
IEDE	0,9	0,9	1,0
IECP	175,2	156,6	141,6
IETF	7.166,7	8015,4	8.864,1
IETM	14.880,9	14.880,9	14.880,9
IEOP	44,3	39,6	35,8
CEEE	0	0	0
CEFR	0	0	0
IEPP	22.268,0	23.093,4	23.923,4

Fonte: produzido pelo autor.

O resultado do índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida de 30 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para a CPBS é apresentado na Tabela 59.

Tabela 59 - Índice de emissões de CO₂ da CPBS para o ciclo de vida de 30 anos.

Índice emissões (t CO₂/t MFe)	Cp (min.) x 10⁻⁴	Cp (méd.) x 10⁻⁴	Cp (máx.) x 10⁻⁴
IEDE	1,3	1,3	1,3
IECP	183,2	149,8	131,9
IETF	3.225	3.941,6	4.479,2
IETM	15.475	15.475	15.475
IEOP	51,3	42	36,9
CEEE	0	0	0
CEFR	-2,4	-1,9	-1,7
IEPP	18.933,4	19.607,8	20.122,6

Fonte: produzido pelo autor.

A CPBS apresenta o índice de emissões de CO₂ médio do projeto 15,32 % menor quando comparado com o TIG, sendo mais sustentável na dimensão ambiental no ciclo de 30 anos. A Tabela 60 apresenta a análise comparativa entre o TIG e a CPBS.

Tabela 60 - Índice de emissões de CO₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 30 anos.

Índice emissões (t CO₂/t MFe)	Cp (min.) x 10⁻⁴	Cp (méd.) x 10⁻⁴	Cp (máx.) x 10⁻⁴
IEPP TIG	22.268	23.093,4	23.923,4
IEPP CPBS	18.933,4	19.607,8	20.122,6

Fonte: produzido pelo autor.

7.8.4 Resultados para o Ciclo de Vida de 40 anos

O resultado do índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida de 40 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para o TIG é apresentado na Tabela 61.

Tabela 61 - Índice de emissões de CO₂ do TIG para o ciclo de vida de 40 anos.

Índice emissões (t CO₂/t MFe)	Cp (min.) x 10⁻⁴	Cp (méd.) x 10⁻⁴	Cp (máx.) x 10⁻⁴
IEDE	0,6	0,7	0,7
IECP	131,4	117,4	106,2
IETF	9.555,6	10.687,2	11.818,8
IETM	19.841,2	19.841,2	19.841,2
IEOP	59,1	52,8	47,7
CEEE	0	0	0
CEFR	0	0	0
IEPP	29.587,9	30.699,3	31.814,6

Fonte: produzido pelo autor.

O resultado do índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida de 40 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para a CPBS é apresentado na Tabela 62.

Tabela 62 - Índice de emissões de CO₂ da CPBS para o ciclo de vida de 40 anos.

Índice emissões (t CO₂/t MFe)	Cp (min.) x 10⁻⁴	Cp (méd.) x 10⁻⁴	Cp (máx.) x 10⁻⁴
IEDE	1,0	1,0	1,0
IECP	137,4	112,4	98,9
IETF	4.300	5.255,5	5.972,2
IETM	20.633,3	20.633,3	20.633,3
IEOP	68,5	56	49,3
CEEE	0	0	0
CEFR	-3,2	-2,6	-2,3
IEPP	25.137	26.055,6	26.752,4

Fonte: produzido pelo autor.

A CPBS apresenta o índice de emissões de CO₂ médio do projeto 15,36 % menor quando comparado com o TIG, sendo mais sustentável na dimensão ambiental no ciclo de vida de 40 anos. A Tabela 63 apresenta a análise comparativa entre o TIG e a CPBS.

Tabela 63 - Índice de emissões de CO₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 40 anos.

Índice emissões (tCO ₂ /tMFe)	Cp (min.) x 10 ⁻⁴	Cp (méd.) x 10 ⁻⁴	Cp (máx.) x 10 ⁻⁴
IEPP TIG	29.587,9	30.699,3	31.814,6
IEPP CPBS	25.137	26.055,6	26.752,4

Fonte: produzido pelo autor.

7.8.5 Resultados para o Ciclo de Vida de 50 anos

O resultado do índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida de 50 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para o TIG é apresentado na Tabela 64.

Tabela 64 - Índice de emissões de CO₂ do TIG para o ciclo de vida de 50 anos.

Índice emissões (t CO ₂ /t MFe)	Cp (min.) x 10 ⁻⁴	Cp (méd.) x 10 ⁻⁴	Cp (máx.) x 10 ⁻⁴
IEDE	0,5	0,5	0,6
IECP	105,1	93,9	84,9
IETF	11.944,5	13.359,0	14.773,5
IETM	24.801,4	24.801,4	24.801,4
IEOP	73,8	66	59,7
CEEE	0	0	0
CEFR	0	0	0
IEPP	36.925,3	38.320,8	39.720,1

Fonte: produzido pelo autor.

O resultado do índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida de 50 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para a CPBS é apresentado na Tabela 65.

Tabela 65 – Índice de emissões de CO₂ da CPBS para o ciclo de vida de 50 anos.

Índice emissões (t CO ₂ /t MFe)	Cp (min.) x 10 ⁻⁴	Cp (méd.) x 10 ⁻⁴	Cp (máx.) x 10 ⁻⁴
IEDE	0,8	0,8	0,8
IECP	109,9	89,9	79,1
IETF	5.375	6.569,4	7.465,3
IETM	25.791,7	25.791,7	25.791,7
IEOP	85,6	70	61,6
CEEE	0	0	0
CEFR	-4,0	-3,3	-2,9
IEPP	31.359	32.518,5	33.395,6

Fonte: produzido pelo autor.

A CPBS apresenta o índice de emissões de CO₂ médio do projeto 15,36 % menor quando comparado com o TIG, sendo mais sustentável na dimensão ambiental no ciclo de vida de 50 anos. A Tabela 66 apresenta a análise comparativa entre o TIG e CPBS.

Tabela 66 - Índice de emissões de CO₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 50 anos.

Índice emissões (t CO ₂ /t MFe)	Cp (min.) x 10 ⁻⁴	Cp (méd.) x 10 ⁻⁴	Cp (máx.) x 10 ⁻⁴
IEPP TIG	36.925,3	38.320,8	39.720,1
IEPP CPBS	31.359	32.518,5	33.395,6

Fonte: produzido pelo autor.

7.8.6 Resultados para o Ciclo de Vida de 60 anos

O resultado do índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida de 60 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para o TIG é apresentado na Tabela 67.

Tabela 67 - Índice de emissões de CO₂ do TIG para o ciclo de vida de 60 anos.

Índice emissões (t CO ₂ /t MFe)	Cp (min.) x 10 ⁻⁴	Cp (méd.) x 10 ⁻⁴	Cp (máx.) x 10 ⁻⁴
IEDE	0,4	0,4	0,5
IECP	87,6	78,3	70,8
IETF	14.333,4	16.030,8	17.728,2
IETM	29.761,7	29.761,7	29.761,7
IEOP	88,6	79,2	71,6
CEEE	0	0	0
CEFR	0	0	0
IEPP	44.271,7	45.950,4	47.632,8

Fonte: produzido pelo autor.

O resultado do índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida de 60 anos e capacidades produtivas mínima, média e máxima para a CPBS é apresentado na Tabela 68.

Tabela 68 - Índice de emissões de CO₂ da CPBS para o ciclo de vida de 60 anos.

Índice emissões (t CO₂/t MFe)	Cp (min.) x 10⁻⁴	Cp (méd.) x 10⁻⁴	Cp (máx.) x 10⁻⁴
IEDE	0,6	0,6	0,7
IECP	91,6	74,9	65,9
IETF	6.450	7.883,3	8.958,4
IETM	3,09500	3,09500	3,09500
IEOP	102,7	84	73,9
CEEE	0	0	0
CEFR	-4,8	-3,9	-3,4
IEPP	37.590,1	38.988,9	40.045,5

Fonte: produzido pelo autor.

A CPBS apresenta o índice de emissões de CO₂ médio do projeto de 15,39 % menor quando comparado com o TIG, sendo mais sustentável na dimensão ambiental no ciclo de vida de 60 anos. A Tabela 69 apresenta a análise comparativa entre o TIG e CPBS.

Tabela 69 - Índice de emissões de CO₂ do TIG e da CPBS para o ciclo de vida de 60 anos.

Índice emissões (t CO₂/t MFe)	Cp (min.) x 10⁻⁴	Cp (méd.) x 10⁻⁴	Cp (máx.) x 10⁻⁴
IEPP TIG	44.271,7	45.950,4	47.632,8
IEPP CPBS	37.590,1	38.988,9	40.045,5

Fonte: produzido pelo autor.

7.8.7 Resultados do Índice de Emissões de CO₂ do Projeto

A Tabela 70 apresenta a consolidação dos resultados do IEPP em relação ao ciclo de vida e a capacidade de produção para o TIG.

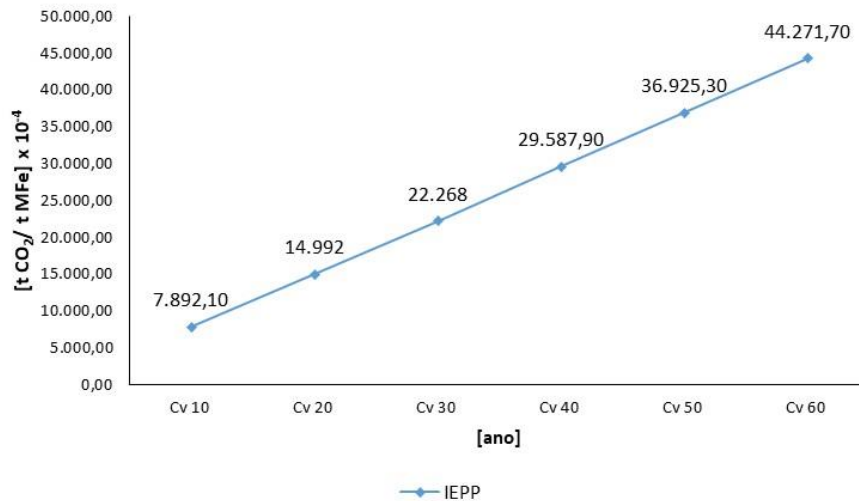
Tabela 70 - Variação do IEPP do TIG em relação ao ciclo de vida.

IEPP (t CO ₂ /t MFe)	Ciclo de Vida (anos)	Cp (min.) x 10 ⁻⁴	Cp (méd.) x 10 ⁻⁴	Cp (máx.) x 10 ⁻⁴
IEPP TIG	10	7.892,1	8.118	8.354,7
	20	14.992	15.526,9	16.067,6
	30	22.268	23.093,4	23.923,4
	40	29.587,9	30.699,3	31.814,6
	50	36.925,3	38.320,8	39.720,1
	60	44.271,7	45.950,4	47.632,8

Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 11 apresenta a variação do IEPP em relação ao ciclo de vida e à capacidade de produção mínima para o TIG.

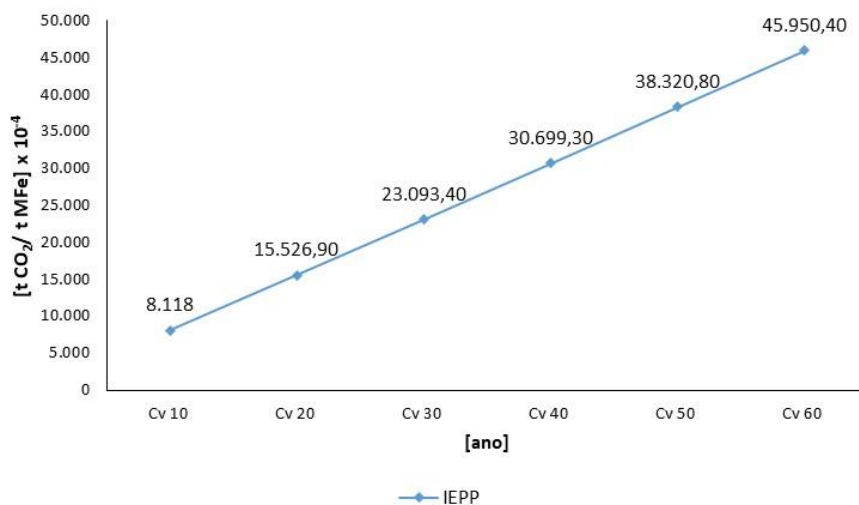
Gráfico 11 - IEPP do TIG em relação ao ciclo de vida e à CP mínima.



Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 12 apresenta a variação do IEPP em relação ao ciclo de vida e à capacidade de produção média para o TIG.

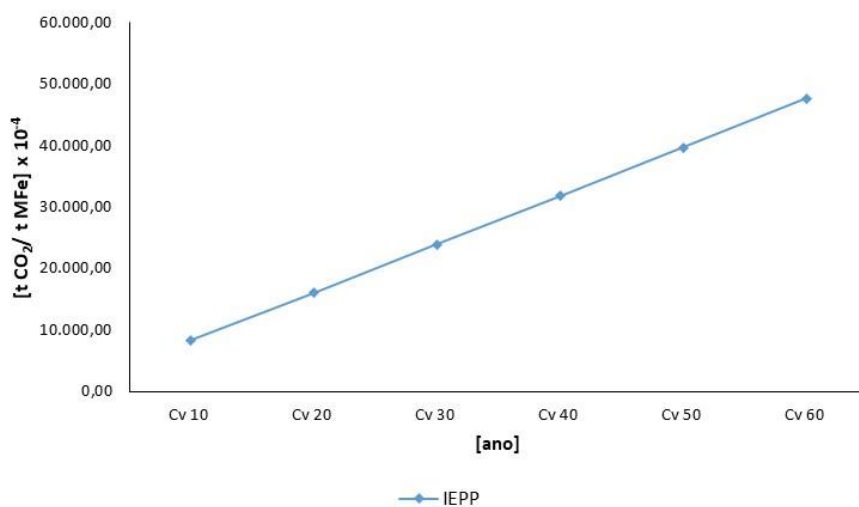
Gráfico 12 - IEPP do TIG em relação ao ciclo de vida e à CP média.



Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 13 apresenta a variação do IEPP em relação ao ciclo de vida e à capacidade de produção máxima para o TIG.

Gráfico 13 - IEPP do TIG em relação ao ciclo de vida e à CP máxima.



Fonte: produzido pelo autor.

A Tabela 71 apresenta a consolidação dos resultados do IEPP em relação ao ciclo de vida e a capacidade de produção para a CPBS.

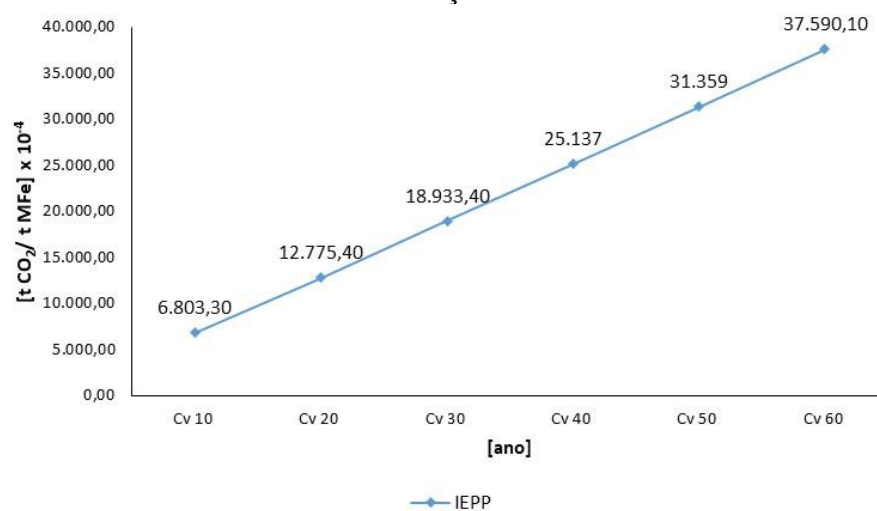
Tabela 71 - Variação do IEPP da CPBS em relação ao ciclo de vida.

IEPP (t CO ₂ /t MFe)	Ciclo de Vida (anos)	Cp (min.) x 10 ⁻⁴	Cp (méd.) x 10 ⁻⁴	Cp (máx.) x 10 ⁻⁴
IEPP CPBS	10	6.803,3	6.939,2	7.062,9
	20	12.775,4	13.197,3	13.525,6
	30	18.933,4	19.607,8	20.122,6
	40	25.137	26.055,6	26.752,4
	50	31.359	32.518,5	33.395,6
	60	37.590,1	38.988,9	40.045,5

Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 14 apresenta a variação do IEPP em relação ao ciclo de vida e à capacidade de produção mínima para a CPBS.

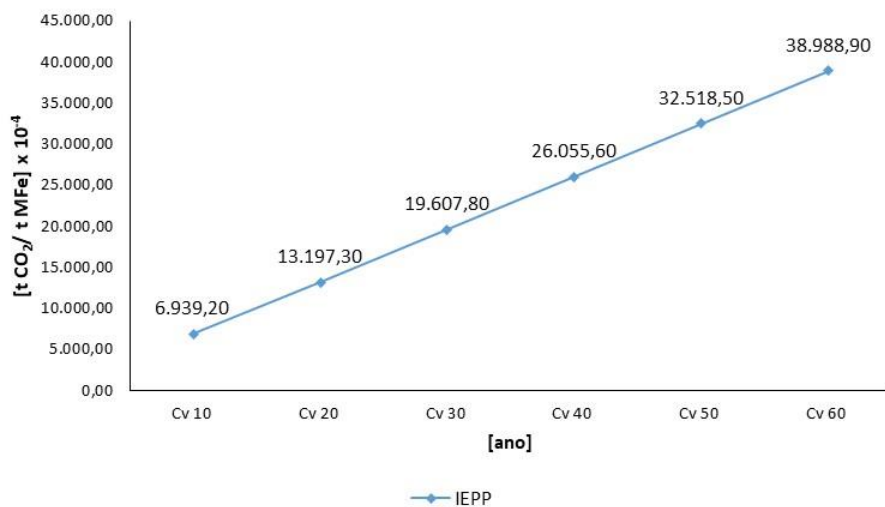
Gráfico 14 - IEPP da CPBS em relação ao ciclo de vida e à CP mínima.



Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 15 apresenta a variação do IEPP em relação ao ciclo de vida e à capacidade de produção média para a CPBS.

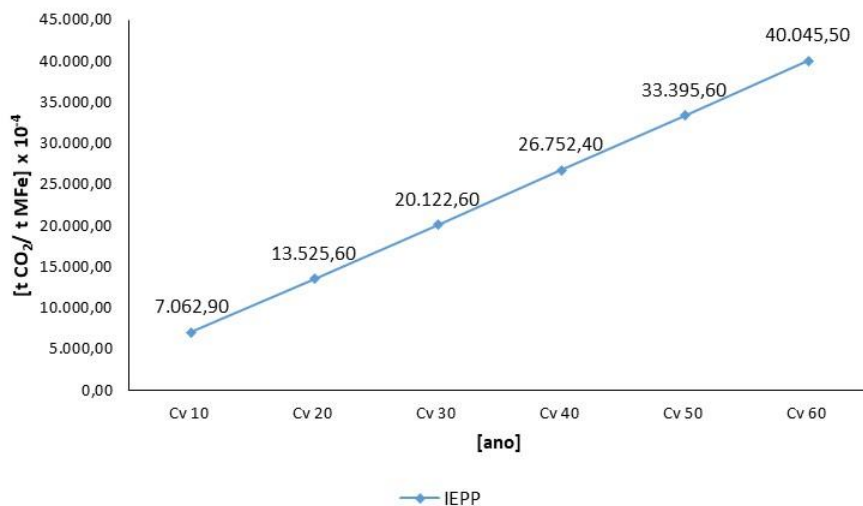
Gráfico 15 - IEPP da CPBS em relação ao ciclo de vida e à CP média.



Fonte: produzido pelo autor.

O Gráfico 16 apresenta a variação do IEPP em relação ao ciclo de vida e à capacidade de produção máxima para a CPBS.

Gráfico 16 - IEPP da CPBS em relação ao ciclo de vida e à CP máxima.



Fonte: produzido pelo autor.

7.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ÍNDICE DE EMISSÕES DE CO₂ DO PROJETO

Com o objetivo de analisar os resultados desenvolvidos no estudo de caso, foram estabelecidas premissas para a avaliação dos resultados do IEPP. A Tabela 72 apresenta as categorias da análise e as premissas para o TIG e para a CPBS.

Tabela 72 - Análise do resultado do índice de emissões de CO₂ do projeto portuário.

Categoria	Premissa da Análise
Análise do ciclo de vida	Avaliação do IEPP em função da variação do ciclo de vida, considerando o horizonte de variação entre 10 a 60 anos e capacidade produtiva máxima.
Análise de engenharia	Avaliação do IEPP em função da variação do número de documentos de engenharia do projeto, considerando a execução do projeto no Brasil.
Análise de construção	Avaliação do IEPP em função da variação dos materiais e dos serviços empregados na construção do projeto, considerando a execução do projeto no Brasil.
Análise do transporte (entrada e saída)	Avaliação do IEPP em função da variação da distância entre os pontos de origem e destino para os transportes ferroviário e marítimo.
Análise da operação	Avaliação do IEPP em função da variação da energia direta e indireta empregada na operação do projeto.
Análise da compensação	Avaliação do IEPP em função da adoção de fontes de energia renováveis.

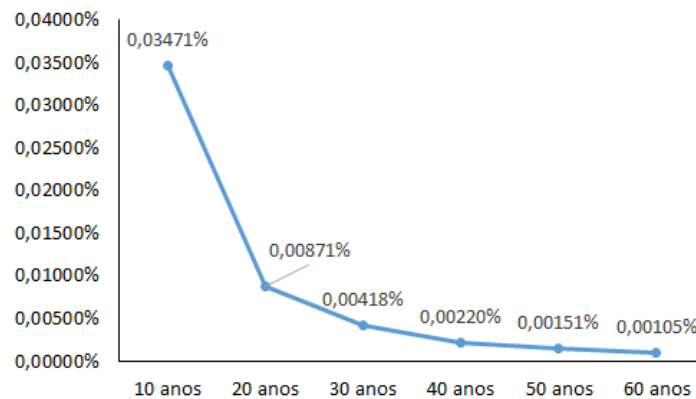
Fonte: produzido pelo autor.

7.9.1 Análise do Ciclo de Vida

7.9.1.1 Índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento da engenharia

Os resultados apresentados no IEDE para o TIG indicam uma variação de 0,03471 % a 0,00105 % sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 17 apresenta a composição percentual do IEDE no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

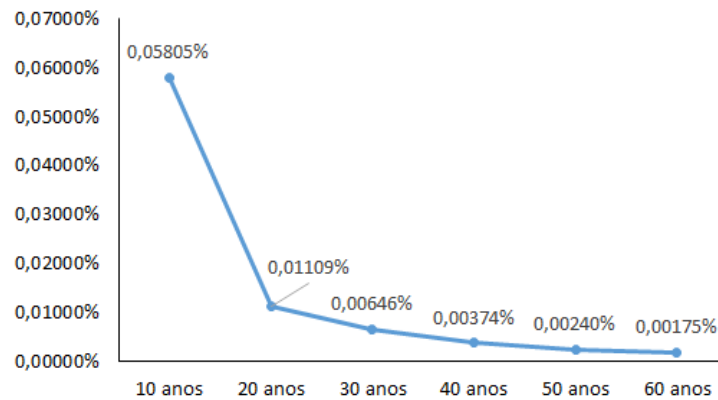
Gráfico 17 - Composição do IEDE em relação ao ciclo de vida no TIG.



Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados apresentados no IEDE para a CPBS indicam uma variação de 0,058 % a 0,00175 % sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 18 apresenta a composição percentual do IEDE no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

Gráfico 18 - Composição do IEDE em relação ao ciclo de vida na CPBS.

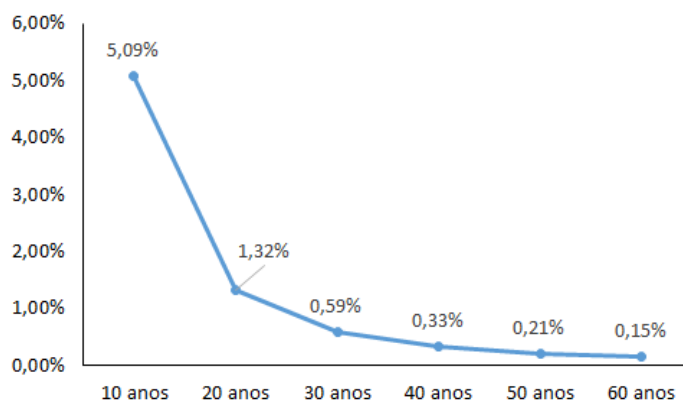


Fonte: produzido pelo autor.

7.9.1.2 Índice emissões de CO₂ na construção do projeto

Os resultados apresentados no IECP para o TIG indicam uma variação de 5,09 % a 0,15 % sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 19 apresenta a composição percentual do IECP no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

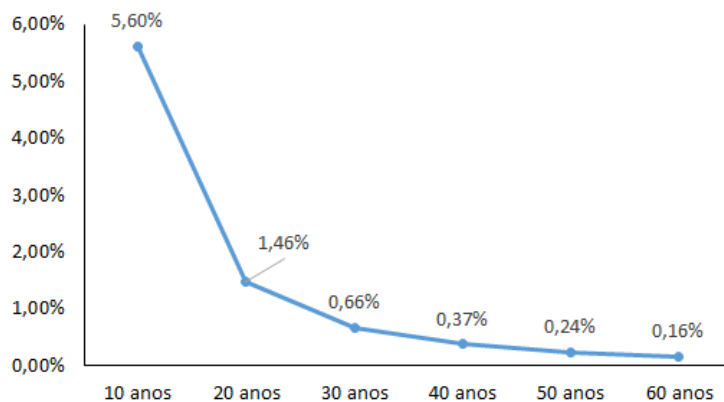
Gráfico 19 - Composição do IECP em relação ao ciclo de vida no TIG.



Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados apresentados no IECP para a CPBS indicam uma variação de 5,60 % a 0,16 % sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 20 apresenta a composição percentual do IECP no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

Gráfico 20 - Composição do IECP em relação ao ciclo de vida na CPBS.

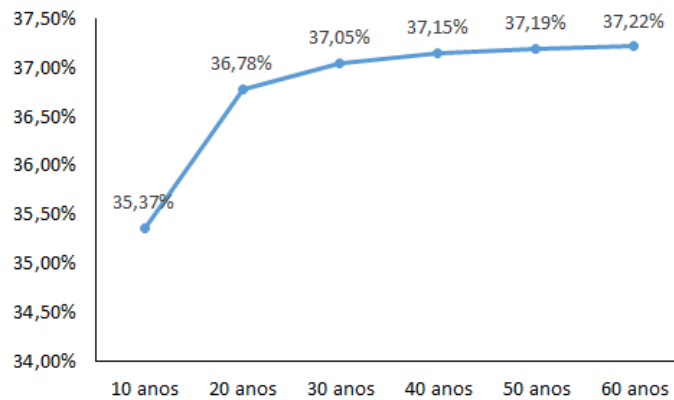


Fonte: produzido pelo autor.

7.9.1.3 Índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário

Os resultados apresentados no IETF para o TIG indicam uma variação de 37,22 % a 35,37 % sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 21 apresenta a composição percentual do IETF no índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

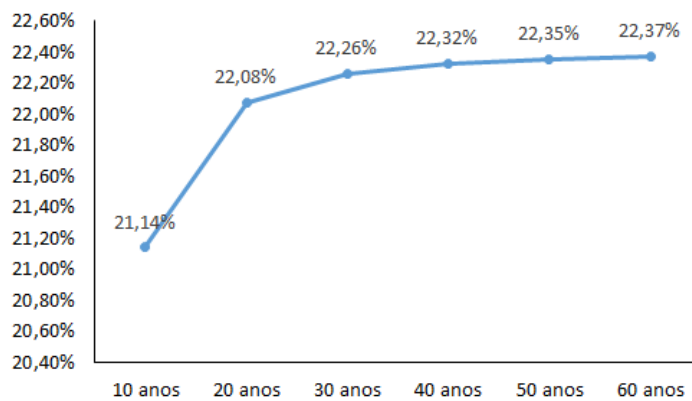
Gráfico 21 - Composição do IETF em relação ao ciclo de vida no TIG.



Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados apresentados no IETF para a CPBS indicam uma variação de 22,37 % a 21,14 % sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 22 apresenta a composição percentual do IETF no índice de emissões de CO₂ para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

Gráfico 22 - Composição do IETF em relação ao ciclo de vida na CPBS.

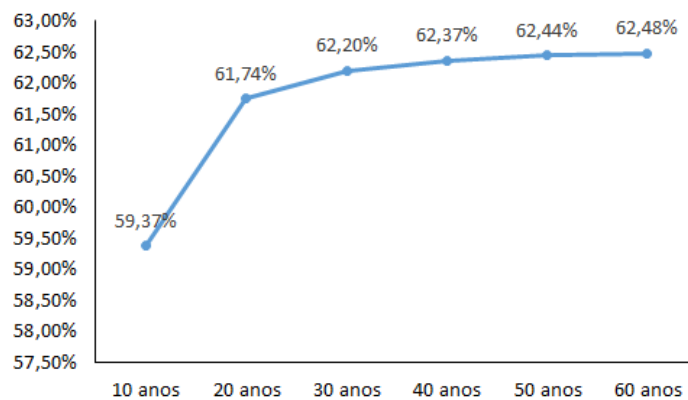


Fonte: produzido pelo autor.

7.9.1.4 Índice de emissões de CO₂ no transporte marítimo

Os resultados apresentados no IETM para o TIG indicam uma variação de 62,48 % a 59,37 % sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 23 apresenta a composição percentual do IETM no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

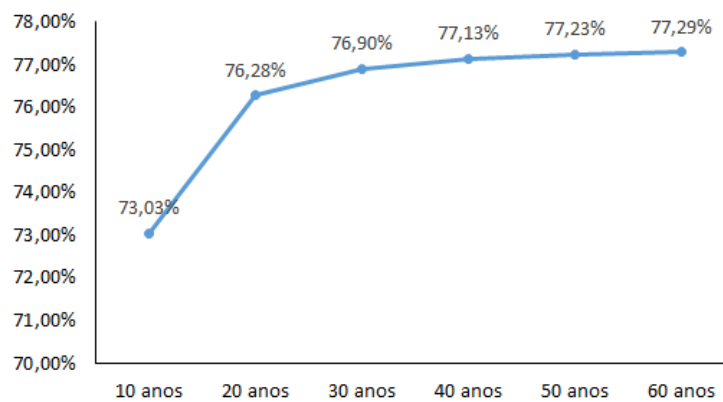
Gráfico 23 - Composição do IETM em relação ao ciclo de vida no TIG.



Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados apresentados no IETM para a CPBS indicam uma variação de 77,29 % a 73,03 % sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 24 apresenta a composição percentual do IETM no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

Gráfico 24 - Composição do IETM em relação ao ciclo de vida na CPBS.

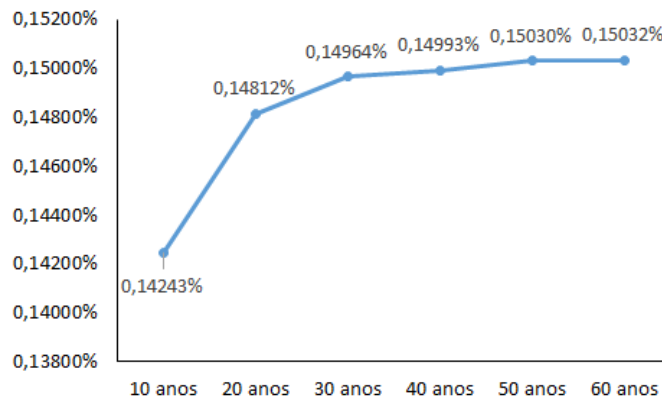


Fonte: produzido pelo autor.

7.9.1.5 Índice de emissões de CO₂ no processo operacional

Os resultados apresentados no IEOP para o TIG indicam uma variação de 0,15032 % a 0,14243 % sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 25 apresenta a composição percentual do IEOP no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

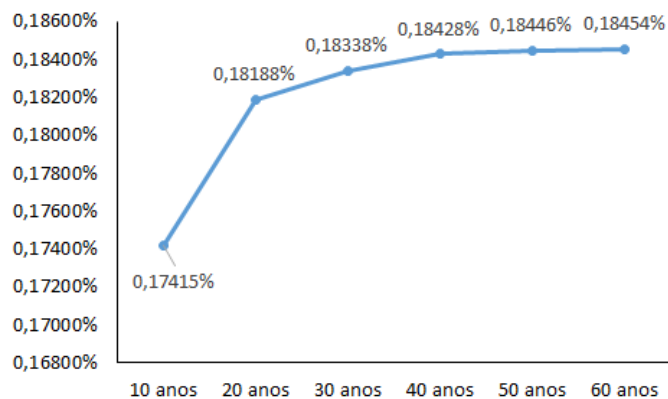
Gráfico 25 - Composição do IEOP em relação ao ciclo de vida no TIG.



Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados apresentados no IEOP para a CPBS indicam uma variação de 0,18454 % a 0,17415 % sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 26 apresenta a composição percentual do IEOP no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

Gráfico 26 - Composição do IEOP em relação ao ciclo de vida na CPBS.

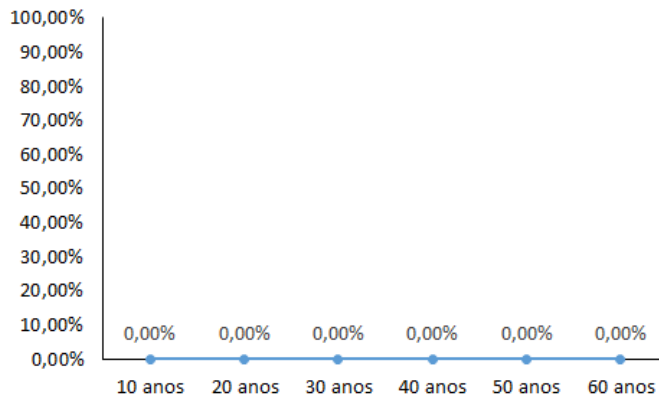


Fonte: produzido pelo autor.

7.9.1.6 Compensação de emissões de CO₂ com a utilização de fontes renováveis

Os resultados apresentados na CEFR para o TIG não apresentam contribuição sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 27 apresenta a composição percentual da CEFR no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

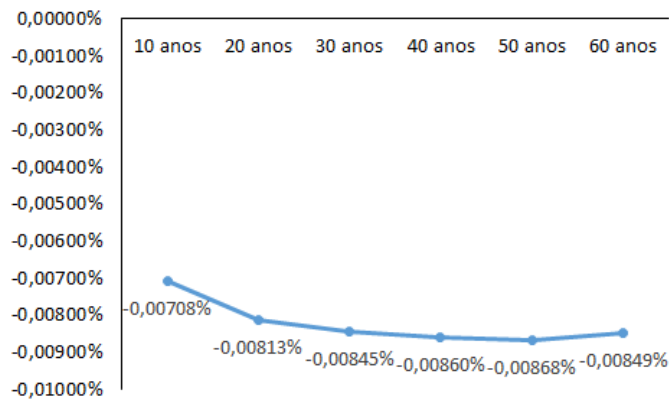
Gráfico 27 – Composição da CEFR em relação ao ciclo de vida no TIG.



Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados apresentados na CEFR para a CPBS indicam uma variação de 0,00849 % a 0,00708% sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 28 apresenta a composição percentual da CEFR no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

Gráfico 28 - Composição da CEFR em relação ao ciclo de vida na CPBS

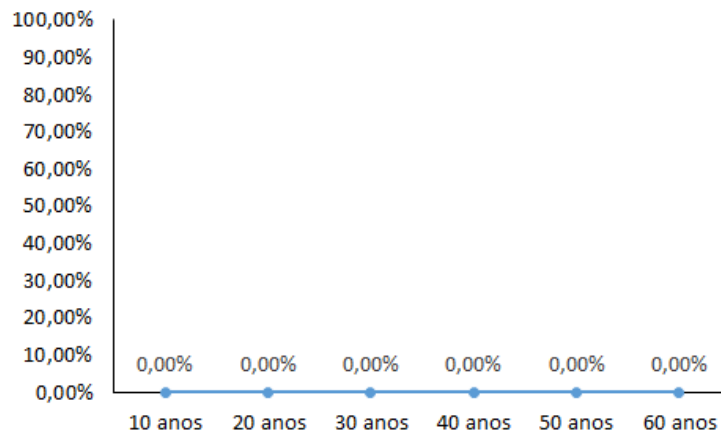


Fonte: produzido pelo autor.

7.9.1.7 Compensação de emissões de CO₂ com programas de eficiência energética

Os resultados apresentados no CEEE para o TIG não apresentam contribuição sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 29 apresenta a composição percentual da CEEE no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

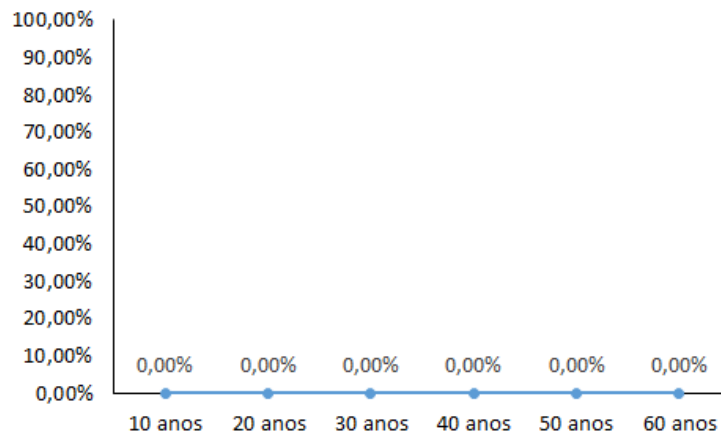
Gráfico 29 - Composição do CEEE em relação ao ciclo de vida no TIG.



Fonte: produzido pelo autor.

Os resultados apresentados no CEEE para a CPBS não apresentam contribuição sobre o índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida de 10 a 60 anos. O Gráfico 30 apresenta a composição percentual da CEEE no índice de emissões de CO₂ do projeto para o ciclo de vida entre 10 e 60 anos.

Gráfico 30 - Composição do CEEE em relação ao ciclo de vida na CPBS.



Fonte: produzido pelo autor.

7.9.2 Análise de engenharia

Os resultados do índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento de engenharia são influenciados pelas premissas do projeto. De acordo com os resultados do estudo de caso, a quantidade de documentos técnicos do TIG é 26,16 % superior comparado com a CPBS, influenciando no aumento do Hh e da ETE incorporados na etapa de engenharia. A Tabela 73 mostra os principais dados considerados no estudo de caso e a análise entre os terminais.

Tabela 73 - Análise dos dados do IEDE do TIG e da CPBS.

Dados Principais	TIG	CPBS	Variação [%]
Hh (min.)	1.395.131,25	1.030.200,00	
Hh (méd.)	1.674.157,50	1.236.240,00	
Hh (máx.)	1.953.183,75	1.442.280,00	
ETE (min.) – kWh	912.201,20	673.592,31	TIG 26,16% superior
ETE (méd.) – kWh	1.094.641,44	808.310,77	
ETE (máx.) – kWh	1.277.081,68	943.029,23	
Documentos - A1 equiv.	18.601,75	13.736,00	

Fonte: produzido pelo autor.

O item de grande relevância no resultado do IEDE concerne na capacidade produtiva dos terminais. A Tabela 74 apresenta a análise da capacidade produtiva entre os terminais TIG e CPBS.

Tabela 74 - Análise dos resultados do IEDE do TIG e da CPBS.

Capacidade Produtiva	TIG	CPBS	Variação [%]
Cp (min.)	38.000.000,00	18.000.000,00	TIG 52,63 % superior
Cp (méd.)	42.500.000,00	22.000.000,00	TIG 48,24 % superior
Cp (máx.)	47.000.000,00	25.000.000,00	TIG 46,81 % superior

Fonte: produzido pelo autor.

Apesar do TIG apresentar 26,16 % de esforço adicional de engenharia em relação à CPBS, a capacidade produtiva média é 48,24 % superior a CPBS, corroborando com o menor IEDE dentro do ciclo de vida avaliado.

7.9.3 Análise construção

Os resultados do índice de emissões de CO₂ na construção do projeto são influenciados pelos materiais e serviços incorporados no projeto. Os materiais e os serviços aplicados no projeto do TIG são superiores em relação à CPBS. A Tabela 75 mostra os principais itens considerados no estudo de caso e a análise comparativa entre os terminais.

Tabela 75 - Análise dos dados do IECF do TIG e da CPBS.

Dados Principais	TIG	CPBS	Variação [%]
ETC (Fabricação das estruturas) – GWh	956,02	470,79	TIG 50,76 % superior
ETC (Montagem das estruturas) – Hh	389.753.343	191.933.199	TIG 50,76 % superior
ETE (Construção civil) – m ³	37.254,86	20.531,04	TIG 44,89 % superior
ETC (Execução civil) – Hh	185.137,12	102.028,48	TIG 44,89 % superior
ETE (Fabricação das correias) – GWh	423,76	305,11	TIG 28,00 % superior
ETC (Montagem das correias) – Hh	27.257,64	19.144,09	TIG 29,77 % superior

Fonte: produzido pelo autor.

A CPBS apresentou o menor índice de emissões de CO₂ na construção do projeto, sendo 4,53 % mais sustentável na dimensão ambiental quando avaliado para o ciclo de vida de 60 anos. O resultado representa os incrementos adicionais do TIG em relação à CPBS decorrentes da energia incorporada na fabricação, na montagem, na construção civil, na fabricação e montagem de correias.

7.9.4 Análise do transporte

A análise do transporte contempla o modal de entrada e de saída dos terminais, respectivamente, transporte ferroviário e marítimo. Os resultados do índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário do projeto são influenciados pelas distâncias entre os terminais e os pontos de carregamento, além de sua respectiva capacidade produtiva. Em função da capacidade produtiva do TIG ser 48,24 % superior em relação à CPBS, a distância total a ser percorrida para transporte é aumentada de forma proporcional, gerando grande consumo de energia direta. A Tabela 76 mostra os principais dados considerados no estudo de caso e a análise entre o TIG e a CPBS.

Tabela 76 - Análise dos dados do IETF TIG e CPBS.

Dados Principais	TIG	CPBS	Variação [%]
ETF (min) - GWh	2.976,34	634,43	TIG 78,68 % superior
ETF (méd.) - GWh	3.723	947,73	TIG 74,54 % superior
ETF (máx.) - GWh	4.553,14	1.223,82	TIG 73,12 % superior
Lf (ano) min - km	2.533.333,33	1.140.000,00	TIG 55,00 % superior
Lf (ano) méd. - km	2.833.333,33	1.393.333,33	TIG 50,82 % superior
Lf (ano) máx. - km	3.133.333,33	1.583.333,33	TIG 49,47 % superior
Trecho ferrovia - km	500	475	TIG 5,00% superior

Fonte: produzido pelo autor.

A CPBS apresentou o menor índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário, sendo 50,82 % mais sustentável na dimensão ambiental quando avaliado para o ciclo de vida de 60 anos. O resultado do TIG é decorrente do aumento da energia incorporada no transporte para atendimento à produção do TIG, sendo 74,54 % superior em relação à CPBS para a produção média.

Com relação a análise do índice de emissões de CO₂ no transporte marítimo, a “derrota” média adotada para o TIG é 4 % inferior comparado à CPBS, em função da capacidade produtiva do TIG ser superior à da CPBS, a quantidade média de navios para suprir a capacidade produtiva anual do TIG é 48,24 % superior à da CPBS, culminando no aumento do ETF médio do TIG em 46,17% comparado à CPBS. A Tabela 77 apresenta a análise dos dados do TIG e da CPBS.

Tabela 77 - Análise dos dados do IETM do TIG e da CPBS.

Dados Principais	TIG	CPBS	Variação [%]
ETM (min) - GWh	6,98	3,43	TIG 50,74 % superior
ETM (méd.) - GWh	7,81	4,20	TIG 46,17 % superior
ETM (máx.) - GWh	8,63	4,77	TIG 44,68 % superior
Lf (ano) min - km	3.839.083	1.891.305	TIG 50,74 % superior
Lf (ano) méd. - km	4.293.711,25	2.311.595	TIG 46,16 % superior
Lf (ano) máx. - km	4.748.339,5	2.626.812,5	TIG 44,68 % superior
Derrota média - km	20.205,7	21.014,5	CPBS 4,00 % inferior
Qtd Navios min. (ano)	190	90	TIG 52,63 % superior
Qtd Navios med. (ano)	212,5	110	TIG 48,24 % superior
Qtd Navios máx. (ano)	235	125	TIG 46,81 % superior
C (Consumo total comb./por tipo navio) – (t)	3.119,68	3.244,23	CPBS 3,99 % inferior

Fonte: produzido pelo autor.

O TIG apresentou IETM 3,84 % menor comparado com à CPBS para o ciclo de vida de 60 anos. O resultado é justificado pela capacidade produtiva superior do TIG e “derrota” média de 808,8 km inferior comparado à CPBS.

7.9.5 Análise da operação

Com relação a análise do índice de emissões de CO₂ no processo operacional, a potência instalada no TIG é 46,15 % superior à da CPBS, e o consumo de energia acompanha a mesma proporção. Quando se avalia o consumo específico de energia, a CPBS apresenta 13,39 % superior ao TIG. A Tabela 78 apresenta a análise dos dados do TIG e da CPBS.

Tabela 78 - Análise dos dados do IEOP do TIG e da CPBS.

Dados Principais	TIG	CPBS	Variação [%]
EI (Energia indireta) - GWh	51	28	TIG 45,10 % superior
ED (Energia direta) - MWh	53,64	26,82	TIG 50,00 % superior
Potência instalada [MW]	26	14	TIG 46,15 % superior
Consumo específico médio de energia [MWh/t]	1,12	1,27	CPBS 13,39 % inferior

Fonte: produzido pelo autor.

O índice de emissões de CO₂ no processo operacional do TIG se apresentou 5,59% menor comparado com a CPBS para o ciclo de vida de 60 anos, sendo mais sustentável na dimensão ambiental no ciclo de vida e na capacidade produtiva avaliada. Apesar do TIG possuir mais equipamentos, os mesmos possuem menores distâncias de movimentações de carga, fazendo com que o consumo específico de energia seja menor quando comparado com a CPBS.

7.9.6 Análise da Compensação de Emissões de CO₂

Com relação à análise da compensação de emissões de CO₂ decorrente da utilização de fontes renováveis, somente a CPBS possui a utilização de fontes de energia renováveis nas suas instalações industriais. A Tabela 79 apresenta a análise dos dados do TIG e CPBS.

Tabela 79 - Análise dos dados da CEFER do TIG e da CPBS.

Dados Principais	TIG	CPBS	Variação [%]
Geração de energia elétrica solar fotovoltaica – (kWh-ano)	0	43,3	NA

Fonte: produzido pelo autor.

O TIG não apresentou nenhum tipo de compensação de emissões de CO₂ em função de não possuir nenhum sistema instalado utilizando fontes renováveis. Ao contrário, a CPBS possui um sistema de geração de energia elétrica solar fotovoltaica que permite o suprimento de energia elétrica para o centro administrativo.

Com relação à compensação por meio de programas de eficiência energética, ambos terminais não possuem nenhum programa, sendo uma grande oportunidade de redução do índice de emissões de CO₂.

8 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento do trabalho foi possível elaborar uma metodologia para tornar tangível a avaliação da sustentabilidade na dimensão ambiental de um terminal portuário de exportação de minério de ferro, criando um novo conceito denominado como “Índice de Emissões de CO₂ de Projetos de Terminais Portuários de Exportação de Minério de Ferro”.

A cadeia integrada de exportação de minério de ferro no Brasil foi mapeada, onde foi identificado os tipos de conceitos aplicados nos processos de entrada, processamento interno e saída. Com relação ao processamento interno, verificou-se pequenas variações de conceitos adotados nos projetos de terminais portuários, sendo amplamente utilizado o virador de vagões no processo de recebimento, empilhadeiras e recuperadoras e correias transportadoras no processo de manuseio e armazenagem e carregadores de navios no processo de embarque.

No sentido de consolidar a metodologia desenvolvida, foi realizado o estudo de caso em dois terminais portuários localizados no estado do Rio de Janeiro, no Brasil, sendo adotadas as premissas de análise do ciclo de vida entre 10 e 60 anos e limites inferior, intermediário e superior de capacidade produtiva.

Com relação aos resultados do estudo de caso, a CPBS obteve o menor índice de emissões de CO₂ do projeto em todas as configurações avaliadas para o ciclo de vida e para a capacidade de produção. A CPBS apresentou o IEPP para o ciclo de vida de 10 e 60 anos, respectivamente, 0,694 tCO₂/t MFe e 3,899 tCO₂/t MFe, e os resultados do TIG para o mesmo ciclo de vida, foram 0,812 tCO₂/t MFe e 4,595 tCO₂/t MFe. A CPBS apresentou ser 14,53 % mais sustentável na dimensão ambiental no ciclo de vida de 10 anos e 15,15 % no ciclo de vida de 60 anos. Os resultados indicam que a CPBS comparada com o TIG, irá emitir 109,3 milhões de toneladas de CO₂ a menos nas exportações de minério de ferro no ciclo de vida de 60 anos.

Com relação aos resultados por processo do índice de emissões de CO₂ do TIG e da CPBS, considerando o ciclo de vida entre 10 e 60 anos e a capacidade de produção média, foram obtidos os seguintes resultados:

- O TIG apresentou o menor índice de emissões de CO₂ no desenvolvimento de engenharia, sendo 31,23 % mais sustentável na dimensão ambiental quando

comparado com a CPBS. Para o ciclo de vida de 10 e 60 anos, o TIG apresentou o IEDE (t CO₂/ t MFe) de $2,83 \times 10^{-4}$ e $4,72 \times 10^{-5}$ e CPBS 4×10^{-4} e $6,73 \times 10^{-5}$;

- A CPBS apresentou o menor índice de emissões de CO₂ na construção do projeto, sendo 4,53 % mais sustentável na dimensão ambiental quando comparado com o TIG. Para o ciclo de vida de 10 e 60 anos, o TIG apresentou o IECF (t CO₂/ t MFe) de $4,70 \times 10^{-2}$ e $7,83 \times 10^{-3}$ e a CPBS $4,49 \times 10^{-2}$ e $7,49 \times 10^{-3}$;
- A CPBS apresentou o menor índice de emissões de CO₂ no transporte ferroviário, sendo 50,82 % mais sustentável na dimensão ambiental quando comparado com o TIG. Para o ciclo de vida de 10 e 60 anos, o TIG apresentou o IETF (t CO₂/ t MFe) de 0,267 e 1,60 e a CPBS 0,131 e 0,788;
- O TIG apresentou o menor índice de emissões de CO₂ no transporte marítimo, sendo 3,84 % mais sustentável na dimensão ambiental quando comparado com a CPBS. Para o ciclo de vida de 10 e 60 anos, o TIG apresentou o IETM (t CO₂/ t MFe) de 0,496 e 2,97 e a CPBS 0,519 e 3,09;
- O TIG apresentou o menor índice de emissões de CO₂ no processo operacional, sendo 5,59 % mais sustentável na dimensão ambiental quando comparado com a CPBS. Para o ciclo de vida de 10 e 60 anos, o TIG apresentou o IEPO (t CO₂/ t MFe) de $1,32 \times 10^{-3}$ e $7,92 \times 10^{-3}$ e a CPBS $1,40 \times 10^{-3}$ e $8,40 \times 10^{-3}$;
- Com relação a compensação de emissões de CO₂ decorrente de utilização de fontes renováveis, a CPBS possui um sistema de geração de energia solar fotovoltaica, responsável pelo suprimento de energia elétrica do centro administrativo da CPBS, reduzindo as emissões de CO₂ do projeto. Para o ciclo de vida de 10 e 60 anos, a CPBS apresentou CEF (t CO₂/ t MFe) de $6,60 \times 10^{-5}$ e $3,96 \times 10^{-4}$;
- Os resultados do índice de emissões de CO₂ com programas de eficiência energética para o TIG e para a CPBS não foram considerados no estudo de caso em função da inexistência de projetos.

O trabalho desenvolvido consolida uma metodologia para análise prévia das emissões de CO₂ na fase de desenvolvimento do projeto, criando oportunidades de aperfeiçoamento do projeto na busca de maior sustentabilidade ambiental.

8.2 DIFICULDADES E LIÇÕES APRENDIDAS

Dentre as dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho, foi necessário a análise de documentos de engenharia para a realização de cálculos e construção das informações para aplicação no estudo de caso. Como lição aprendida, antes de selecionar os locais e os processos a serem desenvolvidos o estudo de caso, faz-se necessário uma avaliação para certificar a disponibilidade das informações.

Com relação à etapa de consolidação do inventário da engenharia dos projetos, identificou-se dificuldades no levantamento das informações por meio do sistema de gerenciamento de documentos. Desta forma, consolidou-se a documentação sem a separação por disciplina. Com relação aos impactos na análise do resultado do índice de emissões de CO₂ na fase de engenharia, a falta da separação dos documentos por disciplina impossibilitou o cálculo do índice de emissões de CO₂ por especialidade.

Em função da inexistência da informação referente à energia incorporada no processo de fabricação das correias transportadoras, foi desenvolvido um estudo em parceria com um fabricante de correia transportadora para criar o coeficiente de energia incorporada no processo de fabricação e montagem.

Na etapa de levantamento de dados referentes à energia indireta incorporada na operação do projeto, constatou-se divergências de informações entre os documentos técnicos de engenharia e o consumo real de energia indireta. Como lição aprendida, em função da inexistência de um estudo de demanda de energia elétrica no TIG e na CPBS, realizou-se o levantamento de dados no campo para obtenção do consumo real. Os dados foram coletados no período de 2016 e 2017.

No desenvolvimento do método para o cálculo do índice de emissões de CO₂ no processo de construção do projeto, constatou-se a falta de informações técnicas referentes ao projeto civil de alguns transportadores de correias do TIG e da CPBS, sendo necessário o desenvolvimento de estudos de engenharia a partir dos desenhos existentes para obtenção dos volumes de concreto aplicados nos projetos.

Referente às distâncias entre os terminais portuários de origem e de destino, apesar de existirem diversos sistemas de informações e *sites* disponíveis, observou-se grande variação de valores, sendo esses superiores a 20%. Para minimizar erros na etapa de consolidação das informações, obteve-se as informações a partir de uma empresa mineradora de grande porte

com atuação global. Como lição aprendida para trabalhos futuros, é recomendado consultar empresas especializadas no ramo de navegação para evitar divergências de informações.

Constatou-se a importância de utilizar o conhecimento e a experiência de profissionais e de empresas que atuam nas diversas áreas pesquisadas. Dentre elas, pode-se citar: informações referentes ao transporte ferroviário, ao transporte marítimo e a empresa fabricante de correias transportadoras, as empresas de engenharia e montagem eletromecânica.

8.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se:

- Analisar o índice de emissões de CO₂ na construção de ferrovias;
- Analisar o índice de emissões de CO₂ na construção de embarcações de transporte de minérios;
- Analisar o índice de emissões de CO₂ no processo de manutenção;
- Comparar o índice de emissões de CO₂ do projeto com o custo operacional no ciclo de vida;
- Comparar o índice de emissões de CO₂ do projeto com o custo de implantação do projeto;

REFERÊNCIAS

- ABEYSUNDARA, U. G. Y; BABEL, S.; GHEEWALA, S. A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka. **Building and Environment**, Amsterdã, v. 44, p. 997-1004, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.
- AGÊNCIA PARA ENERGIA. **Portugal eficiência energética 2015**: Versão Sumário. Disponível em: <http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/0000025e/xiwmvghfwwtwwhwnyxfvxdhhuahbtfr/PortugalEficiencia2015VersaoSumario.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2009.
- ALBRECHT, J. Environmental regulation, comparative advantage and the Porter hypothesis. **FEEM Working Paper**, Milão, v.2, p.1-18, 1998.
- ALMEIDA, F. **Os desafios da sustentabilidade**: uma ruptura urgente. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 280p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO. **Anuário estatístico aquaviário de 2017**. Disponível em < http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/20180112_Anu%C3%A1rio_2017_v4-4-vers%C3%A3o-final.pdf> Acesso em: 21 out. 2018.
- ASIAN PRODUCTIVITY ORGANIZATION. **Working manual on energy auditing in industries**. Tokyo, 2008. 58p.
- ADMINISTRAÇÃO DOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA. **Caderno de resultados da administração dos portos de Paranaguá e Antonina**: 2011-2015. Paranaguá, 2016. 67p.
- ARAÚJO, G. C.; SILVA, R. P. **Desenvolvimento sustentável do meio ambiente**: Estudo no Instituto Souza Cruz. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 2., 2004, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2004. p. 1-7.
- AYRES, R. Life cycle analysis: a critique. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdã, v.14, p. 199-223, 1995.
- BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 2008.
- BALAT, M. Usage of energy sources and environmental problems. **Energy Exploration & Exploitation**, Amsterdã, v. 23, n.2, p.141-168, 2005.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO. **Investimentos nos portos brasileiros**: oportunidade da concessão da infraestrutura portuária. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2468/1/BS%2022%20Investimentos%20nos%20portos%20brasileiros_P.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2004.

BARBOSA, P. T.; PINHEIRO, N. P. M.; SANTOS JR., W. L. **Metodologia FEL: Sua importância na avaliação de riscos e redução de impactos em escopo, tempo e custo de projetos complexos de engenharia**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 33., Salvador. **Anais...** Salvador: ABEPRO, 2013. p. 1- 17.

BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. p. 215.

BARSHOP, P. Best practice pays off. **European Chemical News**, London, v. 79, n. 2081, p. 16– 17, 2004.

BEG, Noreen et al. Linkages between climate change and sustainable development. **Climate Policy**, London v. 2, p. 129-144, 2002.

BERGE, B. **The ecology of building materials**. 2 ed. Burlington: Architectural Press - Elsevier Science, 2009, p. 3-28.

BOUNI, C. **Indicateurs de développement durable: l'enjeu d'organiser une information hétérogène pour préparer une décision multicritère**. In: COLLOQUE INTERNATIONAL, ABBAY DE FONTEVRAUD - INDICATEURS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE, Paris. **Annales...** Paris: Application des Sciences de l'Action (AScA), 1996. 14 p.

BRASIL. Lei nº12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a política nacional sobre Mudança Climática – PNMC e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm>. Acesso em: 09 jun. 2017.

BURSZTYN, M. (org.). **Ciência, ética e sustentabilidade**. 2 ed. São Paulo: Cortez/Brasília: UNESCO, 2001.

CAMINO, R.; MÜLLER, S., **Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores**. San José, CR: Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA), 1993. 134 p. (Série Documentos de programas IICA, n. 38).

CARVALHO, C. HENRIQUE R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Texto para Discussão n. 1606, Ipea, Brasília, n. 2011.

CARVALHO, F. F. et al. **Mineração sustentável: os desafios de conciliar a exploração de recursos não-renováveis a uma prática sustentável geradora de desenvolvimento econômico**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção - A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia E Gestão, 29., Salvador. **Anais...** Salvador: ABREPO, 2009. p. 1-10.

CARVALHO, M. M.; RABECHINI Jr., R. **Fundamentos em gestão de projetos: construindo competências para gerenciar projetos**. 3 ed.. São Paulo: Atlas, 2011.

CARVALHO, M. B. **Os fluxos migratórios na região Norte nas décadas de 70 e 80: uma análise exploratória.** Belo Horizonte: Cedeplar, 1977.

CHANG, Y. T.; LEE, S. Y.; TONGZON, J.L. Port selection factors by shipping lines: different perspectives between trunk liners and feeder service providers. **Marine Policy**, Amesterdã, v.32, n. 6, p. 877-885, 2008.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios.** 2. Ed. São Paulo: Signus, v. 1 2002. 963 p.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 104 p.

CITHERLET, S.; DEFAUX, T. Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span. **Building and Environment**, Amesterdã, v. 42, p.591-598, 2007.

COMBESSIE, J. **O método em sociologia: o que é, como faz.** São Paulo: Loyola, 2004. 192p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Oficina nacional: transporte e mudança climática.** Brasília: CNT, 2009. 15 p.

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 70-75, 2005.

COUTINHO, L. **A capa de gases de efeito estufa sobre o planeta constitui na verdade, uma falha maciça de mercado.** O que os economistas pensam sobre sustentabilidade. 34 ed., São Paulo: ARNT, 2010. 288 p.

CROSS, N. **Developments in design methodology.** New York: John Wiley & Sons, 1984. 369p.

CRUZ, I. **Desenvolvimento de um índice global para a avaliação do desempenho ambiental de sistemas de transporte de carga.** 2011. 192f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

CULLINANE, K.; WANG, T. Data envelopment analysis (DEA) and improving container port efficiency. **Research in Transportation Economics**, Amesterdã, v. 17, p. 517-566, 2006.

CUNHA, K. B. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: evolução do instrumento e perspectivas.** 2005. 190f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

DANTAS, F. A.; FREITAS, L. S. Sustentabilidade da indústria mineral do município de Pedra Lavrada-PB: um estudo a partir do uso do ISM- índice de sustentabilidade da mineração. **Revista Universo Contábil**, Blumenau, v. 10, n. 2, p. 144-160, 2014.

DINCER, I. Energy and Environmental Impacts: Present and Future Perspectives. **Energy Sources**, Amesterdã, v. 20, p. 427-453, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário mineral brasileiro: principais substâncias metálicas**. Brasília: DNPM, 2016. 31 p.

DREYER, L.C.; HAUSCHILD, M.Z.; SCHIERBECK, J. A framework for social life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, New York, v. 11, p. 88-97, 2006.

ENRIQUEZ, M. A. **Mineração maldição ou dadiva?** Os dilemas do desenvolvimento sustentável a partir de uma base mineira. São Paulo: Signus, 2008. 396p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2016**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 192 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balancoenergetico-nacional>>. Acesso em: 25 Jun. 2017.

ESCOBAR, H., Mud tsunami wreaks ecological havoc in Brazil. **Science**, Amesterdã, n. 350, p.1138-1139, 2015.

FARIAS, C. E. G. **Mineração e meio ambiente no brasil**. São Paulo: MMA, 2002. Disponível em:<http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/minera.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2016.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP). **Propostas empresariais de políticas públicas para uma economia de baixo carbono no Brasil**. Energia, transportes e agropecuária. São Paulo: Vox Editora, 2010. 104 p.

FINKBEINER, M.; SCHAU, E.M.; LEHMANN, A.; TRAVERSO, M. Towards on life cycle sustainability assessment. **Sustainability**, Amesterdã, v. 2, p. 3309-3322, 2010.

FREIRE, D. **A mineração de agregados na região metropolitana de São Paulo**. AREIA & BRITA. São Paulo: ANEPAC, 2000.

GAREL, G. A history of project management models: From pre-models to the standard models. **International Journal of Project Management**, Amesterdã, v. 31, p. 663-669, 2013.

GILBERT, C. **Studying disaster: changes in the main conceptual tools**. What is a disaster? Perspectives on the question. London and New York: Routledge, 1998. p. 11-18.

GUINÉE, J.B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. DE; OERS, L. VAN; WEGENER SLEESWIJK, A.; SUH, S.; UDO DE HAES, H.A.; BRUIJN, H. DE; DUIN, R. VAN; HUIJBREGTS, M.A.J. **Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective**. Dordrecht: Springer, 2002. 692p.

HENNEKENS, C.H.; BURING, J.E. **Epidemiology in medicine**. Boston: Little, Brown and Company, 1987, p.287-323.

HETHERINGTON, R. An input-output analysis of carbon dioxide emissions for the UK. **Energy Conversion Management**, Amesterdã, v. 37, n. 6-8, p. 979-984, 1996.

HILGEMBERG, E. M. **Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO2 decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil: um modelo interregional de insumo-produto**. 2005. 158f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

HOSMER, D.W.; LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1989. 307p.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CLASSIFICATION SOCIETIES. **Common structural rules for bulk carrier**. Disponível em: <http://www.iacs.org.uk/publications/common-structural-rules/> Acesso em: 5 Jul. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **relatório anual de atividades de junho 2016 a junho de 2017**. Disponível em: < http://portaldaminerao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2017/08/WEB_REL_IBRAM_2017.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Transport, energy and CO2: moving toward sustainability**. Executive summary, 2009. 400 p.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **"Study of Greenhouse gas emissions from ships, 2000"**. 169 p. Disponível em: <<http://cleantech.cnss.no/wp-content/uploads/2011/05/2000-IMO-Study-of-Greenhouse-Gas-Emissions-from-Ships.pdf>>. Acesso em: 17 Jul. 2017.

INDEPENDENT PROJECT ANALYSI (IPA). **Cost engineering committee - Schedule Metrics**. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE. **Greenhouse gas inventory reporting instructions**. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Londres: United Nations Environment Program, v. 1, 2, 3, 1996.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **“Climate change 2001: The Physical Science Basis – Summary for Policymakers - Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”**, 2001. Disponível em: <www.ipcc.ch>. Acesso em: 18 Jul. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMA CHANGE. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies, 2013. 590p.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. **Mudança do clima 2007: A Base das Ciências Físicas**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/portuguese/ar4-wg1-spm.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **A nova lei de diretrizes da política nacional de mobilidade urbana**. Disponível em:< http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/120106_comunicadoipea128.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2017.

JOERGENSEN, A.; DREYER, L, WANGEL, A. **The effects of three diferentes SLCA methods.** In: International Seminar on Social LCA, Montpellier. **Anais...** , Montpellier: Cirad, 2011. p. 1-8

KAMMEM, D.A.; Pacca, S. Assessing the cossts of electricity. **Annual review of Environment Resources**, Palo Alto, v. 29, p. 301-344, 2004.

KERZNER, H. **Gestão de Projetos:** As melhores práticas. São Paulo: John Wiley & Sons, 2006. 796p.

KERZNER, H. **Project management:** a systems approach to planning, scheduling, and controlling. 10 ed, New Jersey: John Wiley & Sons, 2019. 1264p.

KERZNER, H. **Using the Project Management Maturity Model:** Strategy Planning for Project Management. 2. ed., United States of America: John Wiley & Sons, 2005. 334p.

KHANNA, N. Measuring environmental quality: an index of pollution. **Ecological Economics**, Amesterdã, v. 35, n. 2, p. 191-202, 2000.

KOH, P. CO₂ market brings windfall profits for generators. **Euromoney**. London, v. 37, n. 444, p. 111-113, 2006.

KUSSANO, M. R.; BATALHA, M. O. Custos logísticos agroindustriais: avaliação do escoamento da soja em grão do Mato Grosso para o mercado externo. **Revista Gestão da produção**, São Carlos, v. 19, n. 3, p. 639-632, 2012.

LABANDEIRA, X.; LABEAGA, J. M. Estimation and control of Spanish energy-related CO₂ emissions: an input-output approach. **Energy Policy**, Amesterdã, v. 30, p. 597-611, 2002.

LAMOSO, L.P. **A exploração de minério de ferro no Brasil e no Mato Grosso do Sul.** 2001, 305 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LEFF, E. **Racionalidade ambiental: la reapropiación social de la naturaliza.** Buenos Aires: Siglo Vientiuno Editores, 2004. 568p.

LENZEN, M. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis. **Energy Policy**, Amesterdã, v. 26, n. 6, p. 495-506, 1998.

LIBERAL, C. G. Indicadores de ciência e tecnologia: conceitos e elementos históricos. **Ciência & Opinião**, Campo Comprido v. 2, n. 1/2, 2005.

LIMA, T. P. **Investimentos em portos brasileiros.** In: Infra Portos Transamérica Expo Center, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: ANTAQ, São Paulo. 2012.

MACHADO, G. V. **Meio ambiente e comércio exterior:** impactos da especialização comercial brasileira sobre o uso de energia e as emissões de carbono do país. 2002. 192f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MAIMON, D. **Passaporte verde: gestão ambiental e competitividade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996. 111 p.

MARITIME ADMINISTRATION. **Glossary of shipping terms**. Washington: U.S. Department of Transportation, 2008. p. 1-12.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo. **Revista de Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, 2010.

MIRANDA, M. M. De. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: Implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida**. 2012. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2012. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../DissertacaoMarianaMaiaDeMiranda.pdf. Acesso em: 12 jun. 2017.

MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. **Sustainable Development**, Amesterdã, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno de licenciamento ambiental**. Brasília: MMA, 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas>. Acesso em 18 de jan. de 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano nacional de mineração 2030 (PNM – 2030)**. Brasília: MME, v.1, 2010, 178 p.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global, manchas solares, El Niños e oscilação decadal do Pacífico. **Revista Climanalise**, São José dos Campos, v.3, p. 1-5, 2008.

MOLION, L. C. Desmistificando o aquecimento Global. **Intergeo**, Rondonópolis, v. 5, p. 13-20, 2007.

MONGELLI, I.; TASSIELLI, G.; NOTARNICOLA, B. Global warmings agreements, international trade and energy/carbon embodiments: an input-output approach to the Italian case. **Energy Policy**, Amesterdã, v. 34, p. 88-100, 2006.

MOREIRA, H. F. **O desenvolvimento sustentável no contexto do setor mineral brasileiro**. 2002. 58 f. Monografia (Pós graduação em Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

MUELLER, C. **Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.

MUNASINGHE, M. **Analysing the nexus of sustainable development and climate change: an overview**. OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. 2003. Disponível em: < <http://www.oecd.org/dataoecd/32/54/2510070.pdf> >. Acesso em: 14 ago. 2017.

NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Cadernos NAE**. Brasília: Núcleo de assuntos estratégicos da presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005.

NICOLESCU, B. Methodology of transdisciplinarity: levels of reality, logic of the included middle and complexity. **Transdisciplinary Journal of Engineering & Science** Amesterdã, v.1, n.1, p.19-38, 2010.

NÚÑEZ-SÁNCHEZ, R.; COTO-MILLÁN, P. The impacto of public reforms on the productivity of Spanish ports: A parametric distance function approach. **Transport Policy**, Amesterdã, v.24, p. 99-108, 2012.

PEREIRA, M.G. **Epidemiologia, teoria e prática**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1995. p.377-97.

PEUHKURI, T. Knowledge and interpretation in environmental conflict fish farming and eutrophication in the Archipelago Sea, SW Finland. **Landscape and Urban Planning**, Amesterdã, v. 61, p. 157-168, 2002.

PIFFER, E. A. **Adequação estratégica dos processos de fusões e aquisições no setor de minério de ferro** – estudo de caso da Companhia Vale do Rio Doce. 2004. 228 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

POINT CARBON. **Carbon 2006: Towards a truly global market**. Copenhagen, 2006. 60p. Disponível em: <<http://www.pointcarbon.com>>. Acesso em: 13 Ago. 2017.

PRABHU, R., COLFER, C. J. P., DUDLEY, R. G. **Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable forest management**. Jakarta: CIFOR, 1999. 183p.

PROJECT BUILDER. **O que é PMBOK**. Disponível em: <<https://www.projectbuilder.com.br/blog/o-que-e-pmbok/>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conjunto de conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK®)**. 6 ed., Pennsylvania: Newtown Square, 2017. 150p.

PSARAFTIS H.N; KONTOVAS C.A. **“Ship emissions study”, laboratory for maritime transport, national technical university of athens, report to hellenic chamber of shipping**. Athenas: National Technical University, 2008. Disponível em: <<http://www.nee.gr/downloads/180ship.emissions.study.pdf>>. Acesso em: 31 Jul. 2017.

RABECHINI JR., R.; CARVALHO, M. M. D. **Gerenciamento de Projetos na Prática**. São Paulo: Atlas, 2010.

REAP, J.; ROMAN, F.; DUNCAN, S.; BRAS, B. A survey or unresolved problems in life cycle assessment – part 1: goal and scope and inventory analysis. **International Journal of Life Cycle Assessment**, New York, v. 13, n.4, p. 290-300, 2008.

REES, W. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economies leaves out. **Environment and Urbanization**, London, v. 4, n. 2, p. 121-130, 1992.

REMMEN, A.; JENSEN, A.A.; FRYDENDAL, J.. **Life cycle management: A business guide to sustainability**. New York: United Nations Environment Programme, 2007.

RINGER, N, J. **Desafios do setor de energia eólica no Brasil: uma abordagem sistêmica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações). Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2014.

ROCHA, A. A. D. **Aplicação da metodologia Front-End-Loading no ciclo de vida de grandes empreendimentos**. Universidade Veiga de Almeida. Rio de Janeiro, p. 55. 2014.

ROMEIRO, A. R. **Avaliação e contabilização de impactos ambientais**. Campinas: Editora UNICAMP, 2004. 400 p.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001

SANCHES, O. M. **Dicionário de orçamento, planejamento e áreas afins**. Brasília: Prisma, 1997. 295 p.

SÁNCHEZ, L.E. **Projetos de recuperação: usos futuros e a relação com a comunidade**. In: Encontro de Mineração no Município de São Paulo, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria das Administrações Regionais da Prefeitura do Municipal de São Paulo, 1994. p. 53-73.

SANTOS, I. F. S.; FILHO, G. L. T.; BARROS, R. M. Análises econômicas, de sensibilidade e elasticidade em projetos de energias renováveis no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 21, n. 2, p. 7-30, 2015.

SCHELLING, T.C. Global environmental forces. In: HELM, J>L. (Ed.) *Energy production, consumption, and consequences*. Washington, D.C.: national Academy Press, 1990. p.75-84.

SEGURA, F.R. Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). **Environmental Pollution**, Amesterdã, v. 218, p. 813-825, 2016.

SHIELDS, D.; SOLAR, S.; MARTIN, W. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicator**, Amesterdã, v. 2, n. 1-2, p. 149-160, 2002.

SHIELDS, D.; SOLAR, S.; MARTIN, W. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicator**, Amesterdã, v. 2, n. 1-2, p. 149-160, nov. 2002.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, n.8, 2007.

SILVA, L. P. **Análise do ciclo de vida energético de habitações de interesse social**. 2012. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2012.

SOUZA, G. A. **Espacialização urbana, circulação e acidentes de trânsito: o caso de Manaus-AM (2000-2006)**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SOUZA, J. B.; SACOMANO, J. B.; KYRILLOS, S. L. **Sustentabilidade empresarial e cultural organizacional sob a ótica das relações intraorganizacionais**. In: International Workshop, 6., São Paulo. **Anais...** São Paulo: Advances in Cleaner Production, p. 1- 9, 2017.

SPOSTO, R. M., PAULSEN, J. S. Energia incorporada em habitação de interesse social na fase pré-uso: o caso do Programa Minha Casa Minha Vida no Brasil. **Revista Oculum Ensaios**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 39-50, 2014.

TAVARES, S.F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225f. Tese (doutorado em Engenharia Civil) - programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, , 2006.

TESTER, J.W., et. al. **Sustainable energy: choosing among options**. Massachusetts: MIT Press, 2005.

THORMARK, C. Conservation of energy and natural resources by recycling building waste. **Journal of Resources, Conservation and Recycling**, Amesterdã, v.33, p113-130, april, 2001.

TORGAL, F. P., JALALI, S. Introdução. In: TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. A sustentabilidade dos materiais de construção. Vila Verde, Portugal: Gráfica Vilaverdense, 2010a. p. 9-40.

TOURINHO, O. A. F.; MOTTA, R. S.; ALVES, Y. L. B. **Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral**. Texto para discussão n° 976, IPEA, Rio de Janeiro, agosto, 2003.

TRZESNIAK, P. Indicadores quantitativos: como obter; avaliar; criticar e aperfeiçoar. **Revista de Gestão e Tecnologia**, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 5-18, 2014.

UNEP/SETAC. **Guidelines for social life cycle assessment of products: social and socio-economic lca guidelines complementing environmental lca and life cycle costing, contributing to the full assessment of goods and services within the contex of sustainable development**. Quebec: CIRAG, 2009. 104p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Caring for climate: a guide to the climate change convention and the Kyoto Protocol**. Bonn: Climate Change Secretariat (UNFCCC), 2005.

UNITED NATIONS. **United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)**. 1992. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2017.

UTAMA, A.; GHEEWALA, S.H. Life cycle energy of single landed houses in Indonesia. **Energy and Buildings**, Amesterdã, v.40, p.1911-1916, 2008.

VALDIVIA, S.; SONNEMANN, G. A UNEP/SETAC **Approach towards a life cycle sustainability assessment of products**. In: International Seminar on Social LCA, Montpellier. **Anais...** Montpellier: UNEP/SETAC, 2011.

VANZ, S. A. S. **A produção discente em comunicação: análise das citações das dissertações defendidas nos Programas de Pós-Graduação do RGS**. 2004. 143 f. Dissertação (Mestrado em Comunicação e Informação) – Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

VEIGA, J. E. da; Oliveira, S.B.; Molion, L.C.B.; Vale, P.M. **Aquecimento global: Frias contendas científicas**. São Paulo: SENAC, 2008.

VENTURA FILHO, A. **O Brasil no contexto energético mundial**. São Paulo: NAIPPE/USP, 2009.

VERAS, M. **Gerenciamento de projetos: project model canvas (pmc)**. Rio de Janeiro: Brasport, 2014.

VIEIRA, G. B. B. **Modelo de governança aplicado a cadeias logístico-portuárias**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

VIEIRA, G. B. B.; KLIEMANN NETO, F. J. Taxonomy for the classification of container ports: a contribution to port governance. **Revista Espacios**, Chovet, v. 37, n.3, p. 23-39, 2016.

WCED- World Commission on Environment and Development. **Development and international co-operation: environment**, report of the world commission on environment and development. New York: Common Future, 1987.

WEIJDE, G. V. D. **Front-end loading in the oil and gas industry: towards a fit front-end development phase**. Mekelweg: Delft University of Technology, 2008. 106p.

WEISSER, D. A guide to life-cycle greenhouse gases (GHG) emissions from electric supply Technologies. **Energy**, Amesterdã, v.32, p.1546-1559, 2007.

WINTHER, B.N.; HESTNES, A.G. Solar versus green: the analysis of a Norwegian Row House. **Solar Energy**, v.66, n.6, p.387-393, 1999.

WRINKLER, J.; BILITEWSKI, B. Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management. **Waste Management**, Amesterdã, v. 27, p.1021-1031, 2007.

APÊNDICE A – Hipóteses levantadas para definição da caracterização do problema.

Hipóteses	Problemas	Oportunidades
Baixo nível cultural da sociedade brasileira referente a questões de sustentabilidade nos projetos.	Projetos com análise de viabilidade baseada em critérios técnicos e econômicos.	Introduzir o conceito de sustentabilidade na fase de desenvolvimento dos projetos.
Inexistência de estudos de avaliação de ciclo de vida de projetos de terminais e portos de exportação de minério de ferro no Brasil.	Projetos antigos desenvolvidos em uma época onde questões ligadas a sustentabilidade eram pouco difundidas no Brasil.	Introduzir o conceito de análise de ciclo de vida na fase de concepção dos projetos, objetivando maximizar o retorno financeiro no ciclo de vida.
Análise de viabilidade de projetos baseado na visão de um menor custo de implantação e operação no Brasil.	Projetos com custo de manutenção superior na visão do longo prazo, gerando desperdícios de materiais e serviços.	Introduzir o conceito de análise de viabilidade do projeto baseado na maximização do uso de materiais e serviços, considerando o ciclo de vida.
Falta de base de dados referentes aos melhores conceitos inventário de projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.	Adoção de critérios de projetos baseados em práticas antigas com baixo desempenho.	Desenvolver um estudo minucioso de terminais portuários no Brasil, consolidando o inventário de equipamentos e processos, criando uma base de dados na área de terminais portuários de exportação de minério de ferro.
Inexistência de um banco de dados referentes a lições aprendidas no desenvolvimento de projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.	Inexistência de um processo de otimização de projetos baseado nas lições aprendidas com o desenvolvimento de projetos anteriores.	Desenvolver um banco de dados com informações de projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil, visando criar uma base de dados confiável para o aperfeiçoamento dos projetos.
Estudos de eficiência energética implementada somente a na etapa de operação dos projetos para reduzir custo.	Falta de metodologia para otimização energética de projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil	Desenvolver estudos para consolidar o inventario do consumo energético do projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.
Desconhecimento do impacto de emissões de CO ₂ ocasionado na etapa de desenvolvimento de engenharia do projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.	Inexistência de estudos de emissões de GEE na etapa de desenvolvimento da engenharia no projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil	Mensurar as emissões de GEE na etapa de desenvolvimento de engenharia no projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.

APÊNDICE A – Hipóteses levantadas para definição da caracterização do problema.

(conclusão)

Hipóteses	Problemas	Oportunidades
Desconhecimento dos impactos de emissões de CO ₂ ocasionados na etapa de transporte ferroviário de projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.	Inexistência de estudos de emissões de GEE na etapa de transporte ferroviário de projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.	Desenvolver uma metodologia para mensurar as emissões de GEE na etapa de transporte ferroviário de projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.
Desconhecimento dos impactos de emissões de CO ₂ ocasionados na etapa de transporte marítimo de projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.	Inexistência de estudos de emissões de GEE na etapa de transporte marítimo de projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil	Desenvolver uma metodologia para mensurar as emissões de GEE na etapa de transporte marítimo de projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.
Desconhecimento dos impactos de emissões de CO ₂ ocasionados na etapa de operação do projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.	Inexistência de estudos de emissões de GEE na etapa de operação de projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil	Desenvolver uma metodologia para mensurar as emissões de GEE na etapa de operação de projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.

Fonte: Produção do próprio autor.

APÊNDICE B – Definições do setor portuário segundo a Lei Nº 12.815/2013.

Termo	Definição
Porto organizado	Bem público construído e aparelhado para atender a necessidades de navegação, de movimentação de passageiros ou de movimentação e armazenagem de mercadorias, e cujo tráfego e operações portuárias estejam sob jurisdição de autoridade portuária.
Área do porto organizado	Área delimitada por ato do poder executivo que compreende as instalações portuárias e a infraestrutura de proteção e de acesso ao porto organizado.
Instalação portuária	Instalação localizada dentro ou fora da área do porto organizado e utilizada em movimentação de passageiros, em movimentação ou armazenagem de mercadorias, destinadas ou provenientes de transporte aquaviário.
Terminal de uso privativo	Instalação portuária explorada mediante autorização e localizada fora da área do porto organizado.
Concessão	Cessão onerosa do porto organizado, com vistas à administração e à exploração de sua infraestrutura por prazo determinado.
Arrendamento	Cessão onerosa de área e infraestrutura públicas localizadas dentro do porto organizado, para exploração por prazo determinado.
Operador portuário	Pessoa jurídica pré-qualificada para exercer as atividades de movimentação de passageiros ou movimentação e armazenagem de mercadorias, destinadas ou provenientes de transporte aquaviário, dentro da área do porto organizado.
Autoridade portuária	Administração do porto organizado.
Delegação	Transferência, mediante convênio, da administração e da exploração do porto organizado para municípios ou estados, ou a consórcio público.

Fonte: BRASIL (1993a).

APÊNDICE C – Levantamento dos dados da energia incorporada na fabricação de correias transportadoras.



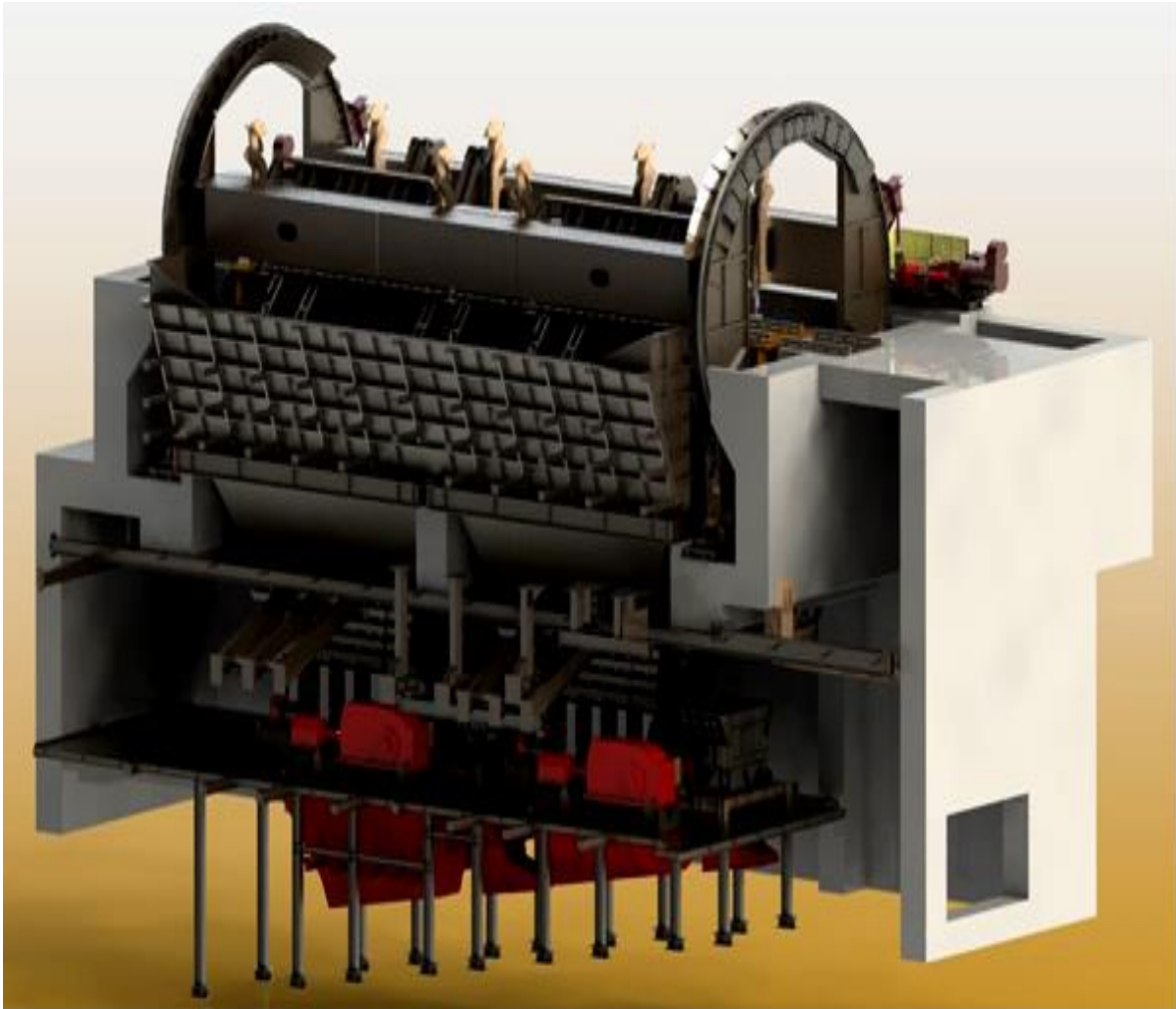
Dados Mercurio
Desenvolvimento Tese Doutorado UNESP - Área de Energia

Energia consumida (KWh)	jan	fev	mar	abr	junho	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2016	468.650	506.632	537.236	564.634	511.882	588.014	534.408	539.042	568.694	517.342	193.368	1.041.110
2017	519.630	498.090	498.135	637.205	613.030	646.755						

Volume de produção (ton)	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2016												
Correia Transportadora TÊXTIL	762	957	785	854	948	1009	1023	1015	789	695	653	682
Correia Transportadora CABOS-DE-AÇO	297	391	320	332	369	392	397	395	306	270	254	170
2017												
Correia Transportadora TÊXTIL	741	785	819	937	1001	638						
Correia Transportadora CABOS-DE-AÇO	343	226	573	430	440	350						

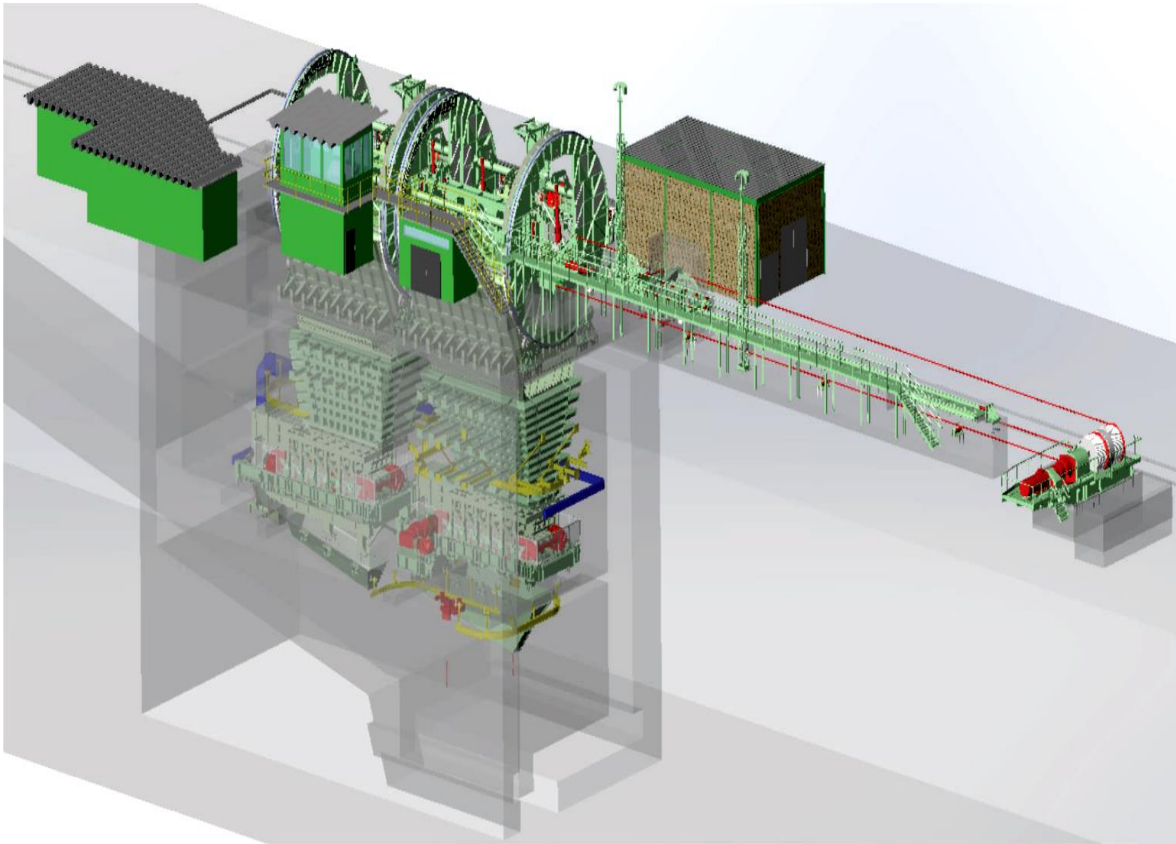
Ton emissão CO2	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2016	350	356	381	330	400	350	370	382	360	340	320	340
2017	257	323	317	372	377	340						

APÊNDICE D - Equipamento virador de vagões de minério de ferro.



Fonte: Produção do próprio autor baseado nos desenhos VALE (2017).

APÊNDICE E - Visão geral do virador de vagões de minério de ferro



Fonte: Produção do próprio autor baseado nos desenhos VALE (2017).

APÊNDICE F - Equipamento empilhadeira recuperadora de minério de ferro.



Fonte: Produção do próprio autor baseado nos desenhos VALE (2017).

APÊNDICE G – Principais tipos de navios graneleiros e suas características.

Tipo de Navio	Descrição
Minibulkers	Navios de 100 a 130m de comprimento, menos de 10m de calado e de 3.000 a 14.999 deadweight tonnage (dwt) (tonelada de peso morto). Utilizados no tráfego costeiro, em viagens de curta distância, servindo como navios alimentadores para navios de maior porte.
Handysize	Navios de 15.000 a 35.000 toneladas de porte bruto.
Handymax	Navios de 35.000 a 50.000 toneladas de porte bruto.
Supramax	Navios com uma capacidade entre 50.000 a 60.000dwt. Devido ao seu pequeno tamanho, são capazes de operar em regiões com pequenos portos, com determinadas restrições de comprimento e calado.
Panamax	Navios de 60.000 a 80.000 toneladas de porte, que não pode exceder os 294,13 m (965 pés) de comprimento, os 32,31 m (106 pés) de boca e os 12,04 m (39,5 pés) de calado.
New Panamax	O New Panamax foi criado como resultado dos planos de expansão do Canal do Panamá. As novas eclusas terão 427 m (1.400 pés) de comprimento, 55 m (180 pés) de largura e 18,30 m (60 pés) de profundidade.
Suezmax	Após a sua reabertura em 1975, a capacidade de passagem subiu para os 150.000 dwt.
Capesize	Navios de 80.000 a 170.000 toneladas de porte bruto.
VLBC	Very Large Bulk Carrier. Navio com cerca de 270m e calado de 20m, de 180.000 a 200.000 dwt. Muito especializado, especialmente construído para tráfegos específicos.
VLOC	Very Large Ore Carriers. Navios com 150.000 a 320.000 toneladas de porte bruto e mais de 20 metros de calado.
ULOC	Ultra Large Ore Carriers. Navios acima dos 300.000 dwt. Os maiores navios desta classe transportam minério de ferro entre o Brasil e os mercados globais (principalmente, Europa e Ásia). Devido ao seu tamanho, há apenas um número restrito de portos, em todo o mundo, com infraestrutura capaz de receber tal tamanho do navio.
Seawaymax	Como o nome sugere, os navios Seawaymax são os maiores navios que podem passar através das eclusas do St. Lawrence Seaway (Grandes Lagos).

APÊNDICE G - Principais tipos de navios graneleiros e suas características

(conclusão).

Tipo de Navio	Descrição
Chinamax Valemax	Navios Chinamax são minereiros enormes, limitados a 360m (1180 pés) de comprimento, 65 m (213 pés) de boca e a um calado de 24 m (79 ft), o limite operacional dos portos da China Continental que servem as grandes siderúrgicas do país. A tonelagem de porte bruto destes navios ronda os 380.000 a 400.000 DWT. Os navios Chinamax são os maiores graneleiros já construídos e os maiores, atualmente, em serviço. A Vale SA é uma empresa multinacional brasileira de mineração e um dos maiores operadores logísticos do Brasil, que mantém uma frota de grandes navios graneleiros (ULOC) para transportar minério de ferro do Brasil para portos asiáticos.

Fonte: Produzido pelo autor, baseado em informações da área de navegação Vale (2017).

APÊNDICE H – Mapeamento das premissas adotadas no desenvolvimento da metodologia.

Processo Macro	Premissas da Metodologia
Desenvolvimento da engenharia conceitual, básica e detalhada	A metodologia considera o desenvolvimento de pesquisa exploratória com as principais empresas de engenharia no setor de mineração com objetivo de utilizar a experiência de índices de produtividade de desenvolvimento de engenharia através do A1 equivalente.
Construção do projeto	A metodologia considera a energia total incorporada no projeto com exceção do projeto civil de fundações, obras de terraplanagem e tratamento de solos.
Operação do projeto	A metodologia considera a energia direta a indireta empregada na operação, mão de obra e capacidade produtiva de exportação de minério de ferro.
Manutenção do projeto	A metodologia não considera a execução do plano de manutenção dentro do ciclo de vida do projeto.
Transporte ferroviário	A metodologia considera a energia consumida no transporte ferroviário e o respectivo volume transportado de minério de ferro.
Transporte Marítimo	A metodologia considera a energia consumida no transporte marítimo, as principais rotas internacionais entre os pontos de carregamento das embarcações e os terminais portuários de importação, além do volume transportado de minério de ferro.
Ciclo de vida do projeto	A metodologia considera a adoção de premissas de ciclos de vida de projetos infinitos, de acordo com o objetivo específico de cada projeto de porto ou terminal de exportação de minério de ferro no Brasil.
Capacidade produtiva do projeto	A metodologia considera a possibilidade de adoção de premissas de capacidade produtiva de projetos infinitos, de acordo com o objetivo específico de cada projeto de porto ou terminal de exportação de minério de ferro no Brasil.
Compensação ecológica decorrente da utilização de fontes renováveis de energia	A metodologia considera a possibilidade de adoção de fontes de renováveis de energia no projeto na etapa de concepção do projeto, como uma forma de aperfeiçoar o índice de emissões de CO ₂ do projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.

APÊNDICE H – Mapeamento das premissas adotadas no desenvolvimento da metodologia.

(Conclusão)

Processo Macro	Premissas da Metodologia
Compensação ecológica com a utilização de programas de eficiência energética	A metodologia considera a possibilidade de adoção de iniciativas e programas de eficiência energética na etapa de concepção do projeto, como uma forma de aperfeiçoar o índice de emissões de CO ₂ do projeto de terminais portuários de exportação de minério de ferro no Brasil.

Fonte: Produção do próprio autor.

APÊNDICE I - Sequência de desenvolvimento e aplicação do método de energia incorporada em projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro.

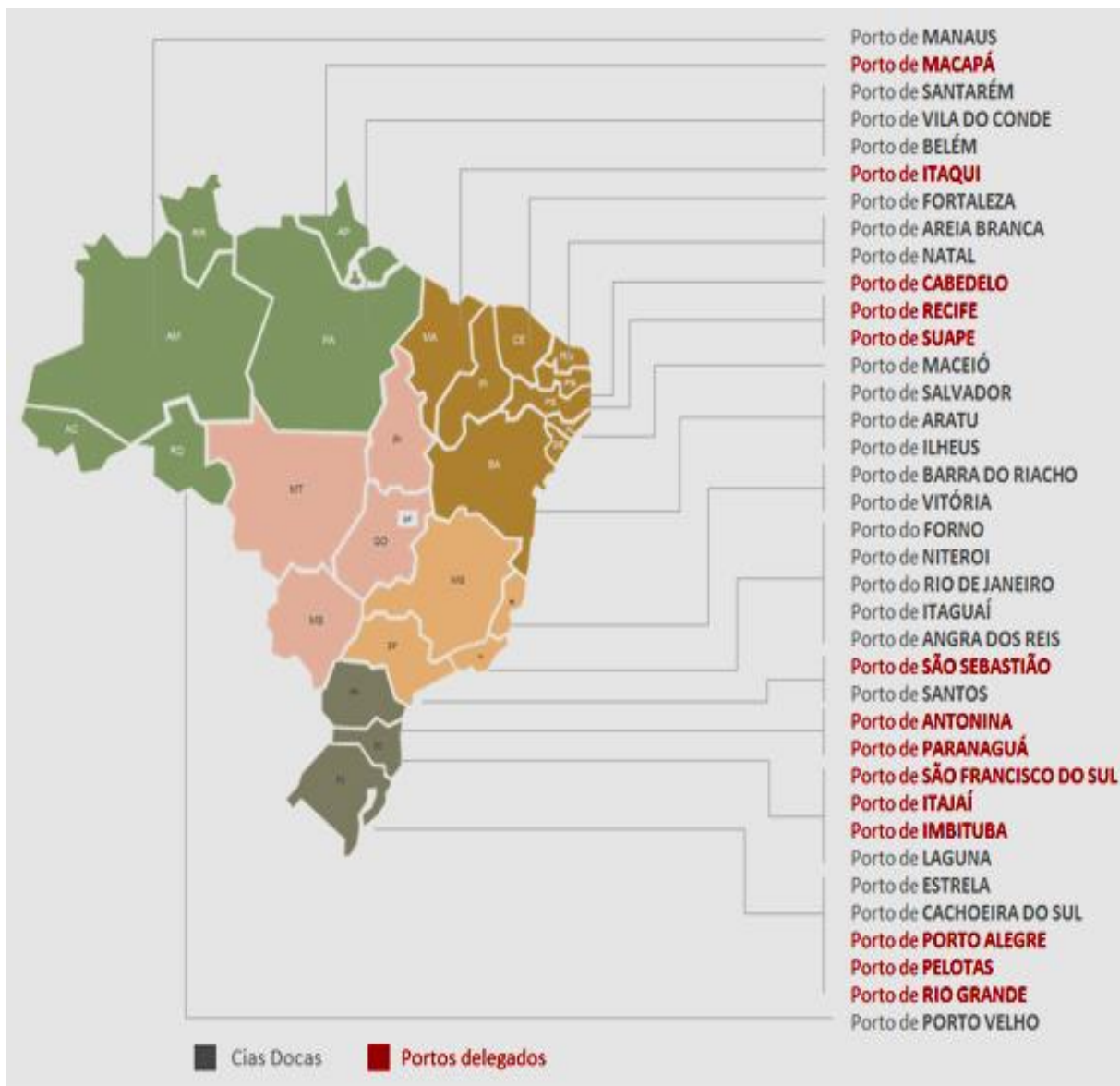
Fase	Etapa	Descrição
Engenharia	Desenvolvimento engenharia conceitual	Avaliação do balanço energético para desenvolvimento do projeto conceitual, considerando os recursos humanos empregados na realização dos serviços em relação.
	Desenvolvimento engenharia básica	Avaliação do balanço energético para desenvolvimento do projeto básico, considerando os recursos humanos empregados na realização dos serviços.
	Desenvolvimento engenharia detalhada	Avaliação do balanço energético para desenvolvimento do projeto detalhado, considerando os recursos humanos empregados na realização dos serviços em relação a matriz energética.
Construção	Fabricação de materiais e componentes	Avaliação do balanço energético no processo de fabricação de materiais e componentes, considerando o inventário dos materiais e componentes empregados na construção do projeto.
	Transporte até a obra	Avaliação do balanço energético no processo de transporte dos materiais e componentes, considerando o ponto de origem e destino de execução das obras.
	Execução da obra	Avaliação do balanço energético no processo de execução da obra, considerando os serviços necessários para realização da montagem do projeto.
Operação	Energia direta e indireta operacional	Avaliação do balanço energético no processo operacional do projeto, considerando a energia direta e indireta empregada na operação do projeto.

APÊNDICE I - Sequência de desenvolvimento e aplicação do método de energia incorporada em projetos de terminais portuários de exportação de minério de ferro.

(Conclusão)		
Fase	Etapa	Descrição
Operação	Energia direta e indireta operacional	Avaliação do balanço energético no processo operacional do projeto, considerando a energia direta e indireta empregada na operação do projeto.
Transporte ferroviário	Transporte de materiais na ferrovia	Avaliação do balanço energético no processo operacional da malha ferroviária, considerando a energia direta empregada no transporte de material.
Transporte marítimo	Transporte de materiais na ferrovia	Avaliação do balanço energético no processo operacional das embarcações utilizadas no processo de exportação, considerando a energia direta empregada no transporte de material.

Fonte: Produção do próprio autor.

ANEXO A - Categorização e distribuição dos 37 portos públicos no Brasil.



Fonte: SEP (2014).

ANEXO B - Principais malhas ferroviárias no Brasil



Fonte: ANTT (2016).