

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E SOCIEDADE**

FABRÍZIO NICOLAI MANCINI

**PLANEJAMENTO ENERGÉTICO EM INDÚSTRIAS ENERGO-INTENSIVAS:
UMA ABORDAGEM TÉCNICA, ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL**

TESE

CURITIBA

2022

FABRÍZIO NICOLAI MANCINI

**PLANEJAMENTO ENERGÉTICO EM INDÚSTRIAS ENERGO-INTENSIVAS:
UMA ABORDAGEM TÉCNICA, ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL**

***ENERGY PLANEJAMENTO IN ENERGY-INTENSIVE INDUSTRIES: A
TECHNICAL, ECONOMIC, ENVIRONMENTAL AND SOCIAL APPROACH***

Tese apresentada como requisito para a obtenção do título de Doutor em Tecnologia e Sociedade pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Christian Luiz da Silva

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba



FABRIZIO NICOLAI MANCINI

**PLANEJAMENTO ENERGÉTICO EM INDÚSTRIAS ENERGO-INTENSIVAS: UMA ABORDAGEM TÉCNICA,
ECONÔMICA, AMBIENTAL E SOCIAL**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Tecnologia E Sociedade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologia E Sociedade.

Data de aprovação: 18 de Fevereiro de 2022

Prof Christian Luiz Da Silva, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Alexandre Rasi Aoki, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Prof Decio Estevao Do Nascimento, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Nilton Cesar Lima, Doutorado - Usp-Universidade de São Paulo

Prof Thulio Cicero Guimaraes Pereira, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 18/02/2022.

Dedico este trabalho a Deus,
a minha Família, uma verdadeira dádiva,
sem vocês não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos mil ao meu orientador Professor Doutor Christian Luiz da Silva, aos membros das bancas de qualificação e defesa, professores doutores Alexandre Rasi Aoki, Décio Estevão do Nascimento, Nilton Cesar Lima e Thulio Cícero Guimarães Pereira.

Obrigado a minha Família, que acompanhou todo este desenvolvimento acadêmico, Lidiane, Amanda, Pedro, Ana Letícia. Meus pais, nem tenho lhes agradecer, Edson (conhecido sempre como Mancini) e Fátima, vocês são meu exemplo de pessoas que lutam e valorizam a Família, bem preciosíssimo que temos.

Aos meus colegas de caminhadas, que sempre me incentivaram, especialmente Daniel Poit, que me apresentou ao NPEnergia, e Adriana Ripka, que sempre foi muito prestativa e muito me auxiliou nas épocas de PPGTE.

Uma lembrança cara, meu muito obrigado a professora doutora Faimara do Rocio Strauhs que esteve na minha entrevista de ingresso ao doutorado. Obrigado!!!

Obrigado aos colegas docentes e discentes, presentes nesta caminhada!

A Secretaria do Curso, pela cooperação e presença em todos estes momentos, presenciais e virtuais!

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Toda a educação, no momento,
não parece motivo de alegria, mas de tristeza. Depois,
no entanto, produz naqueles que assim foram
exercitados um fruto de paz e de justiça.
(Hebreus 12:11).

RESUMO

A utilização de energia pelas indústrias energo-intensivas, primeiro setor em consumo, e sua correlação com a geração de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais e sociais indicam uma oportunidade para inserir novos indicadores e métodos para selecionar soluções energéticas no planejamento energético das indústrias. O objetivo da tese é propor um método de planejamento energético baseado em um Sistema de Gestão de Energia que possibilite a seleção de projetos de soluções energéticas avaliando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Para atingir este objetivo realizou-se, como metodologia, uma pesquisa descritiva e exploratória dos Sistemas de Gestão de Energia (SGE) e da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) esquematizando seus processos e elementos fundamentais e selecionando técnicas e métodos na revisão sistemática. Construiu-se um modelo teórico baseado nos objetos-modelo do SGE, ACV e de documentos do setor de planejamento energético e eficiência energética. Um método de planejamento foi proposto contemplando o mapeamento dos aspectos a serem utilizados, de indicadores, seleção de ferramentas para a revisão energética e seleção de projetos findando com o método voltado à realidade brasileira. A identificação de aspectos na revisão e em documento de ACV com recomendações para o Brasil foi inserida contemplando os tipos de impactos. A seleção de indicadores apontou para a importância do *benchmarking*, especialmente após a simulação com as contribuições dos relatórios de sustentabilidade e *Environmental, Social and Governance* (ESG). A seleção de ferramentas apontou alternativas úteis. A execução do passo a passo do planejamento energético para o setor de papel e celulose, terceira indústria quanto ao consumo de energia do Brasil. Para o subsegmento de celulose, demonstra a aplicação do método, com exceção da seleção de projetos (forneceu somente dados), e pôde-se mapear elementos do setor, utilizando-se documentos do setor e relatórios de sustentabilidade e ESG. Conclui-se que utilizar a ACV para selecionar indicadores não tradicionais para o setor fomentam a mensuração real de impactos, permitindo a contabilização destes. Assim como a seleção de projetos de soluções energéticas que poderá contemplar um ACV se a política energética e o SGE da indústria energo-intensiva disponibilizar de recursos, comum em grandes projetos com requisitos socioambientais legais.

Palavras Chaves: Planejamento Energético; Indicadores de Desempenho; Seleção de Soluções Energéticas; Avaliação do Ciclo de Vida; Indústria do Papel e Celulose.

ABSTRACT

The use of energy by the energy-intensive industries, the first sector in consumption, and its correlation with the generation of greenhouse gases and other environmental and social impacts show an opportunity to insert new indicators and methods to select energy solutions in the energy planning of industries. The aim of the thesis is to propose an energy planning method based on an Energy Management System that allows the choice of energy solutions projects evaluating technical, economic, environmental, and social aspects. To achieve this aim, a descriptive and exploratory research of Energy Management Systems (SGE) and Life Cycle Assessment (LCA) was conducted, designing its processes and fundamental elements and selecting techniques and methods in the systematic review. A theoretical model was construct based on the model objects of the SGE, LCA and documents from the energy planning and energy efficiency sector. A planning method was propose contemplating the mapping of aspects to be used, indicators, choice of tools for energy review and selection of projects ending with the method focused on the Brazilian reality. The identification of aspects in the review and LCA document with recommendations for Brazil was inserted contemplating the types of impacts. The choice of indicators pointed to the importance of benchmarking, especially after simulation with the contributions of sustainability and Environmental, Social and Governance (ESG) reports. The choice of tools pointed out useful alternatives. The execution of the step by step of energy planning for the pulp and paper sector, the third industry in Brazil's energy consumption. For the pulp subsegment, it proves the application of the method, except for project choice (supplied only data), and it was possible to map elements of the sector, using industry documents and sustainability and ESG reports. It concluded that using LCA to select non-traditional indicators for the sector promote the real measurement of impacts, allowing their accounting. As well as the selection of energy solutions projects that may include a LCA if the energy policy and the SGE of the energy-intensive industry make available resources, common in large projects with legal socio-environmental requirements.

Key Words: Energy Planning; Performance Indicators; Choice of Energy Solutions; Life Cycle Assessment; Pulp and Paper Industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais produtos de exportação do Brasil segundo o OEC	25
Figura 2 - Mapa Mental da Revisão Sistemática de SGE e planejamento energético	38
Figura 3 - Ciclo PDCA proposto na ABNT NBR ISO 50001.....	39
Figura 4 - Diagrama conceitual do processo de planejamento energético.....	42
Figura 5 - Diagrama conceitual do processo de planejamento energético (nível tático)	43
Figura 6 - Exemplo de diagrama <i>fence</i> com fluxos de energia e medição e fronteiras	45
Figura 7 - Concentração por país de autores de artigos de SGE na indústria energo-intensiva.....	55
Figura 8 - <i>Framework</i> de Gestão Energética Integrativa de Schulze et al. (2016)s ..	60
Figura 9 - Níveis de otimização da Revisão Energética ou EE Check do STRUCTese®	61
Figura 10 - Framework do GEMS.....	62
Figura 11 - evolução do projeto ESS.....	63
Figura 12 - Ferramentas Lean por parte do ciclo PDCA do SGE	64
Figura 13 - Cascata das perdas energéticas do STRUCTeses ®.....	69
Figura 14 - Portfólio de ideias de melhoria com a análise de viabilidade e potenciais economias	73
Figura 15 - AHP proposto no sistema GEMS	73
Figura 16 - Modelo da proposta sueca do ESS	78
Figura 17 - Exemplos de classificação de políticas públicas e sua implementação ..	81
Figura 18 - Modelo DEA para Eficiência energética e econômica, com custos e emissões de GEE	82
Figura 19 - Mapa Mental da Revisão Sistemática de ACV e planejamento energético	84
Figura 20 - Etapas de uma ACV.....	87
Figura 21 - Exemplo de um sistema de produto para ACV.....	89
Figura 22 - procedimentos simplificados para análise de inventário.....	91
Figura 23 - Concentração de Autores por País	94
Figura 24 - Modelo do ReCiPe 2008	103
Figura 25 - Modelo do ReCiPe 2016	104
Figura 26 - Objeto-modelo de um SGE com contribuições de ACV.....	110
Figura 27 - Fluxo para a sistematização hipotético-dedutiva do modelo teórico	111

Figura 28 - Fluxo para utilização do PDE no modelo teórico	111
Figura 29 - Fluxo para utilização do PROPEE no modelo teórico	112
Figura 30 - Fluxo para utilização da ACV no modelo teórico	114
Figura 31 - Pesquisa exploratório do SGE na indústria energo-intensiva	123
Figura 32 - Pesquisa Exploratória da ACV na indústria energo-intensiva.....	123
Figura 33 - Metodologia para elaboração do método proposto na tese	125
Figura 34 - Níveis de otimização da revisão energética do STRUCTese®.....	129
Figura 35 - Cascata das perdas energéticas do STRUCTeses ®.....	129
Figura 36 - AHP proposto no sistema GEMS	131
Figura 37 - Portfólio de ideias de melhoria com a análise de viabilidade e potenciais economias	132
Figura 38 – Estrutura Preliminar do SGE	134
Figura 39 – Avaliação Preliminar.....	136
Figura 40 – Planejamento	138
Figura 41 – Implementação.....	142
Figura 42 – Checagem SGE	143
Figura 43 – Estrutura Preliminar do SGE	143
Figura 44 - Produção da Celulose.....	144
Figura 45 - Processos de produção da celulose.....	150
Figura 46 - Processos de recuperação química na produção de celulose	151
Figura 47 - Aspectos e dimensões do SGE.....	156
Figura 48 - Exemplo de diagrama <i>fence</i> com fluxos de energia e medição e fronteiras	182
Figura 49 - Diagrama conceitual do processo de planejamento energético (nível tático).....	183

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Setores industriais de maior consumo energético em 2020 (BEN2021) no Brasil.....	20
Tabela 2 - Busca preliminar individual com as palavras-chave em inglês e português	35
Tabela 3 - Busca com as palavras-chave combinadas dos eixos sistema de gestão de energia e avaliação de ciclo de vida.....	35
Tabela 4 – Busca dos termos com possível combinação com Indústria Energointensiva.....	36
Tabela 5 - Níveis e Dimensões de Maturidade do EMMM (Introna et al. (2014)).....	66
Tabela 6 - Estratégia de classificação de Roosa.....	67
Tabela 7 - Níveis e Dimensões de Maturidade do EMMM de Introna et al. (2014) ...	68
Tabela 8 - Técnicas para a Estrutura Preliminar do SGE	135
Tabela 9 - Divisão Funcional do Modelo Teórico.....	135
Tabela 10 - Elementos para avaliação preliminar da maturidade do SGE, aspectos e dimensões pretendidos	136
Tabela 11 - Elementos da avaliação preliminar quantitativa do SGE, aspectos e dimensões pretendidos	137
Tabela 12 - Técnicas para adequação da política energética ao SGE	138
Tabela 13 - Diretrizes para o mapeamento de processos do SGE	139
Tabela 14 - Aspectos gerais para auditorias e medições do SGE	140
Tabela 15 - Tarefas necessárias para auditoria energética apontado pela ASHRAE	140
Tabela 16 - Documentos necessários para auditoria energética apontado pela ASHRAE	141
Tabela 17 - Avaliação preliminar quantitativa do subsegmento celulose	146
Tabela 18 - Equipe do SGE da simulação: celulose.....	148
Tabela 19 - Distribuição do consumo energético por etapa de produção de celulose	149
Tabela 20 - Divisão funcional do subsegmento celulose	150
Tabela 21 - Avaliação SWOT do subsegmento celulose.....	151
Tabela 22 - Benchmarking de contribuições com objetivos e propostas das empresas	152
Tabela 23 – Usos significativos de energia do subsegmento celulose	153
Tabela 24 - Plano de ação	154
Tabela 25 - Equipe SGE	185
Tabela 26 - Equipe Indústria	185

Tabela 27 - Equipe Externa.....	186
---------------------------------	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Barreiras em Planejamento Energético, Geração Distribuída e Eficiência Energética, Biomassa e Transportes pertinente ao Planejamento Energético da Indústria Energo-Intensiva	22
Quadro 2 - Barreiras em Petróleo & Gás pelas Rotas Estratégicas pertinentes ao Planejamento Energético da Indústria Energo-Intensiva	23
Quadro 3 - Ciclo PDCA e as etapas previstas na família ABNT NBR ISO 50001.....	40
Quadro 4 - Elementos e Requisitos de uma política energética pela ABNT NBR ISO 50001	41
Quadro 5 - Os três níveis de fronteira do IDE na ABNT NBR ISO 50006	44
Quadro 6 - Temas elencados no PDE 2031 que podem contribuir no planejamento energético	50
Quadro 7 - Temas elencados no PROPEE da ANEEL que podem contribuir no planejamento energético	51
Quadro 8 - Publicações sobre SGE em indústria energo-intensiva no portal Periódicos da Capes	54
Quadro 9 - Artigos selecionados sobre SGE vinculados à indústria energo-intensiva	55
Quadro 10 - Contribuições para a preparação do SGE vinculados à revisão e avaliação bibliográfica	58
Quadro 11 - Modelos de Implementação do SGE na revisão bibliográfica	65
Quadro 12 - Avaliação preliminar do SGE na revisão bibliográfica.....	67
Quadro 13 - Medições energéticas no SGE na revisão bibliográfica	71
Quadro 14 - Seleção de projetos no SGE na revisão bibliográfica	75
Quadro 15 - Conexões com ACV no SGE presentes na revisão bibliográfica	79
Quadro 16 – Avaliação e Análise de dados no SGE na revisão bibliográfica	83
Quadro 17 - Princípios da ACV	86
Quadro 18 - Elementos mínimos do objetivo em uma ACV	87
Quadro 19 - Elementos mínimos do escopo da ACV	88
Quadro 20 - Elementos mínimos do ICV	90
Quadro 21 - Elementos mínimos da AICV.....	92
Quadro 22 - Publicações sobre ACV em indústrias energo-intensivas na Base Periódicos da Capes	95
Quadro 23 - Visão setorial sobre o recorte bibliográfico de ACV	96
Quadro 24 - Base de dados do recorte bibliográfico de ACV	98
Quadro 25 - Softwares utilizados no recorte bibliográfico de ACV.....	100
Quadro 26 - Enquadramentos utilizados no recorte bibliográfico de ACV	102

Quadro 27 – Consolidação do Ciclo PDCA com as contribuições da revisão sistemática do SGE.....	113
Quadro 28 – Consolidação do Ciclo PDCA com as contribuições da revisão sistemática da ACV.....	116
Quadro 29 - Modelo Teórico do Planejamento Energético	117
Quadro 30 - Modelo Teórico do Fazer, Checar e Agir	118
Quadro 31 – Entradas dos objetos-modelo para a construção do modelo teórico..	124
Quadro 32 - Contribuições da revisão sistemática de SGE para fixar aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais	127
Quadro 33 – Objetivos e Subobjetivos apontados no AHP de Finnerty et al. (2017)	127
Quadro 34 - Identificação dos aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais	128
Quadro 35 - Publicações sobre o setor de Papel e Celulose.....	145
Quadro 36 - Elementos para uma política energética simulada: celulose	147
Quadro 37 - Os três níveis de fronteira do IDE na ABNT NBR ISO 50006	184

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
ACV-e	Avaliação de Ciclo de Vida Estratificado
ACV-m	Avaliação de Ciclo de Vida Modular
ACV-S	Avaliação Social do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APE	Autoprodução de Energia
ASCV	Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers</i>
BEN	Balço Energético Nacional
CAFe	Comunidade Acadêmica Federada
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ PE!	<i>Cooperative Effort on Process Emissions in Manufacturing</i>
DAP	Declaração Ambiental de Produto
DEDA	<i>Dalian Economic Development Area</i>
DSF	<i>Decision Support Framework</i>
EC	Economia Circular
EDP	<i>Environmental Product Declaration</i>
EE	Eficiência Energética
EMEEES	<i>Evaluation and Monitoring for the EU Directive on Energy-Use Efficiency and Energy Services</i>
EMF	<i>Ellen MacArthur Foundation</i>
EMS	<i>Environmental Energy System</i>
EnMS	<i>Energy Management System</i>

ENR	Energia Não Renovável
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ER	Energia Renovável
ETS	Energia Térmica Solar
FETA	<i>Fuzhou Economic and Technological Area</i>
FIEP	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
GEE	Gás de Efeito Estufa
<i>GEMS</i>	<i>Global Energy Management System</i>
IA	Inteligência Artificial
Ibict	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEI	Indústria Energo-Intensiva
iNDC	<i>Intended Nationally Determined Contributions</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel of Climate Change</i>
IPEA	<i>Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada</i>
ISO	<i>International Organization of Standardization</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
MC	Mediações e Culturas
MEC	Ministério de Educação
MEN	Matriz Energética Nacional
MME	Ministérios de Minas e Energia
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
NDC	<i>Nationally Determined Contributions</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OEC	<i>The Observatory of Economic Complexity</i>
OIE	Oferta Interna de Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
PD2T	Políticas Públicas e Dinâmicas de Desenvolvimento Territorial
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PE	Planejamento Energético

PEA	<i>Preliminary Energy-Use Analysis</i>
PNE	Plano Nacional de Energia
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PP	Políticas Públicas
PPGTE	Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade
PR	Paraná
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RED	Recurso Energético Distribuído
ReSOLVE	<i>Regenerate, Share, Optimise, Loop, Virtualise, Exchange</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem da Indústria
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SIN	Sistema Interligado Nacional
S-LCA	<i>Social Life Cycle Assessment</i>
STRUCTese®	<i>Structured Efficiency System for Energy</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>
TD	Tecnologia e Desenvolvimento
TE	Transição Energética
tep	Tonelada Equivalente de Petróleo
TT	Tecnologia e Trabalho
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

®	Marca Registrada
J	Joule
Wh	Watt hora
k	Quilo (10^3)
G	Giga (10^9)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Problema da Pesquisa	26
1.2	Objetivos	27
1.2.1	Objetivo Geral	27
1.2.2	Objetivos Específicos	27
1.3	Justificativa	28
1.3.1	Aderência ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade ...	30
<u>1.3.1.1</u>	<u>Linha de Pesquisa Tecnologia e Desenvolvimento</u>	<u>30</u>
<u>1.3.1.2</u>	<u>Grupo de pesquisa Políticas Públicas e Dinâmicas de Desenvolvimento Territorial (PD2T)</u>	<u>31</u>
<u>1.3.1.3</u>	<u>Diálogo com Outras Linhas de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação</u> .	<u>32</u>
1.4	Relevância e Ineditismo	33
1.4.1	Relevância.....	33
1.4.2	Ineditismo	34
1.5	Limitações e Delimitações	36
1.6	Estrutura do Trabalho	37
2	REVISÃO SISTEMÁTICA	38
2.1	Planejamento Energético e Sistema de Gestão de Energia	38
2.1.1	Sistema de Gestão de Energia: Revisão Documental no Brasil.....	39
<u>2.1.1.1</u>	<u>Ciclo PDCA de um Sistema de Gestão de Energia</u>	<u>40</u>
<u>2.1.1.2</u>	<u>Fontes Úteis para Elaboração do Planejamento Energético</u>	<u>49</u>
2.1.2	Planejamento Energético na Indústria Energo-Intensiva	53
<u>2.1.2.1</u>	<u>Informações Metodológicas da Revisão</u>	<u>53</u>
<u>2.1.2.2</u>	<u>Contribuições e Limitações</u>	<u>56</u>
2.2	Soluções Energéticas e Avaliação do Ciclo de Vida	83
2.2.1	Avaliação do Ciclo de Vida: Revisão Documental no Brasil.....	84
<u>2.2.1.1</u>	<u>Definições e Princípios</u>	<u>85</u>
<u>2.2.1.2</u>	<u>Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida</u>	<u>87</u>
2.2.2	Avaliação de Ciclo de Vida na Indústria Energo-Intensiva	93
<u>2.2.2.1</u>	<u>Informações Metodológicas da Revisão</u>	<u>93</u>
<u>2.2.2.2</u>	<u>Contribuições e Limitações</u>	<u>97</u>
2.3	Modelo Teórico	109
2.3.1	Diretrizes e Sistematização do Modelo Teórico	109

2.3.2	Modelo Teórico e suas Limitações	116
3	METODOLOGIA	121
3.1	Pesquisa Descritiva.....	121
3.2	Pesquisa Exploratória	122
3.3	Metodologia para o Modelo Teórico.....	124
3.4	Metodologia do Método de Planejamento Energético	125
3.5	Elementos e Ferramentas Fundamentais	126
4	MÉTODO, VALIDAÇÃO E DISCUSSÃO	133
4.1	Método	133
4.1.1	Estrutura Preliminar do SGE	133
4.1.2	Avaliação Preliminar.....	136
4.1.3	Planejamento	137
4.1.4	Implementação	141
4.1.5	Checagem	142
4.1.6	Ações Após Análise.....	143
4.2	Simulação: subsegmento de Celulose	143
4.2.1	Estrutura Preliminar do SGE	144
4.2.2	Avaliação Preliminar.....	144
4.2.3	Planejamento	146
4.3	Discussão	155
5	CONCLUSÕES	160
	REFERÊNCIAS	164
	APÊNDICE A – VISÃO GERAL DO PROTOCOLO.....	179
1	VISÃO GERAL DO PROTOCOLO.....	179
1.1	PDCA: Visão geral	179
1.1.1	Preparação para o Execução do Protocolo	180
1.1.2	Plan (Planejar).....	180
<u>1.1.2.1</u>	<u>Estabelecer a política energética</u>	<u>180</u>
<u>1.1.2.2</u>	<u>Fixar ou Estabelecer uma equipe para o SGE.....</u>	<u>181</u>
<u>1.1.2.3</u>	<u>Planejamento Energético.....</u>	<u>181</u>
<u>1.1.2.4</u>	<u>Mapear ações para enfrentar os riscos e oportunidades</u>	<u>182</u>
<u>1.1.2.5</u>	<u>Objetivos/Metas Energéticas</u>	<u>183</u>
<u>1.1.2.6</u>	<u>Revisão Energética</u>	<u>183</u>
<u>1.1.2.7</u>	<u>Usos Significativos de Energia (USE).....</u>	<u>183</u>
<u>1.1.2.8</u>	<u>Indicadores de Desempenho Energético (IDE).....</u>	<u>184</u>

1.1.2.9	<u>Linhas de Base Energéticas (LBE)</u>	184
1.1.2.10	<u>Planos de Ação para Melhoria do Desempenho Energético</u>	185
1.1.3	Do (Fazer)	186
1.1.3.1	<u>Estratégia para Seleção e Implantação dos Planos de Ação</u>	186
1.1.3.2	<u>Controles de Operação e Manutenção</u>	186
1.1.3.3	<u>Comunicação</u>	187
1.1.3.4	<u>Competências</u>	187
1.1.3.5	<u>Planejamento das Aquisições</u>	188
1.1.4	Check (Checar)	188
1.1.4.1	<u>Estratégias de Monitoramento</u>	188
1.1.4.2	<u>Analisar, avaliar e Auditar o Desempenho Energético, Planos de Ação e o próprio SGE</u>	188
1.1.5	Act (Agir)	188
1.1.5.1	<u>Fixar as ações para tratar não conformidades</u>	188
1.1.5.2	<u>Melhorias do Desempenho Energético e SGE para o próximo ciclo</u>	189
	APÊNDICE B – REFINAMENTO DO PROTOCOLO	190
2	REFINAMENTO DO PROTOCOLO	190
2.1	Refinamento do PDCA: inclusão de aspectos e dimensões	190
2.1.1	Avaliação Preliminar	191
2.1.2	Avaliação Qualitativa	192
2.1.3	Avaliação Quantitativa	194
2.1.4	Política Energética	195
2.1.5	Equipe SGE	195
2.1.6	Mapear Processos e Ações	196
2.1.7	Auditorias e Medições	197
2.1.8	Metas Energéticas, Sociais e Ambientais	200
2.1.9	Planos de ação: Projetos	201
2.1.10	Planejamento	201
2.1.11	Categorização e Seleção	201
2.1.12	Payback de Projetos em um SGE	203
2.1.13	Implantação	203
2.1.13.1	<u>Controles: Operação e Manutenção</u>	203
2.1.13.2	<u>Comunicação</u>	203
2.1.13.3	<u>Treinamento</u>	203
2.1.13.4	<u>Aquisições</u>	204

<u>2.1.13.5</u>	<u> Checagem.....</u>	<u>204</u>
<u>2.1.13.6</u>	<u> Ações após as análises.....</u>	<u>204</u>

1 INTRODUÇÃO

A energia é um dos alicerces de toda a economia, imprescindível para a sociedade (PINTO JUNIOR et al., 2016). Como elemento essencial, seu desenvolvimento funda-se no conhecimento técnico, na busca por soluções adequadas (melhores ou ótimas) e, cada vez mais, atende a aspectos ligados a sustentabilidade socioambiental, além da técnico-econômica.

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2016) aponta em sua agenda 2030, no 7º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7) a busca de energia Limpa e Acessível. Isso denota uma preocupação social e ambiental. O ODS 7, conforme aponta Organização das Nações Unidas (ONU, 2018), elenca como principais focos em suas metas: acesso à energia, aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética global, incremento da eficiência energética, cooperação internacional, expansão da infraestrutura e modernização das tecnologias de serviços.

O *Intergovernmental Panel On Climate Change* (IPCC, 2012) aponta para a necessidade de substituir fontes de energia não renovável por energia renovável, realizando estudos para fomentar a transição energética nas políticas públicas. Estas ações contra a mudança global do clima alinham-se com o 13º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 13) e aponta a conexão entre temáticas.

Ações vinculadas à eficiência energética e o aumento de instalações de energia renovável são os grandes vetores que associam o ODS 7 e ODS 13, conforme registra a *International Energy Agency* (IEA, 2019, p. 8-9), diminuindo a emissão de CO₂. Além disto, a IEA aponta a China e Europa como líderes, apesar de registrar uma desaceleração nas melhorias decorrentes da eficiência energética.

O Brasil tem uma situação muito particular. Uma matriz energética próxima do equilíbrio, com 48,4% de fontes de energias renováveis, diferente do mundo que contabiliza somente 13,8% ou a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), com 11,0%, conforme registra a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021, p. 12 e 16). A Oferta Interna de Energia (OIE), no que tange às energias renováveis, é liderada pela biomassa da cana, seguido pela fonte hidráulica, lenha e carvão vegetal, além de outras renováveis (com participação crescente da lixívia, eólicas e biodiesel).

O consumo energético no Brasil em 2020 é liderado pela indústria (32,1%) seguido pelo transporte (31,2%). A indústria tem uma matriz 63% renovável, responsável pela segunda maior geração de CO₂, expressivo gás de efeito estufa (GEE), contribuindo com 70,7 Mt de CO₂, 17,75% das emissões brasileiras conforme o Balanço Energético Nacional (BEN) 2021 relativo a 2020 (EPE, 2021a, p. 26 e 50).

O relatório final do BEN 2021 a EPE (2021b, p. 90-102) traz de forma mais detalhada a realidade da indústria brasileira, especificando aquelas com maior consumo energético, também denominadas indústria energo-intensiva¹. A Tabela 1 sintetiza os setores industriais e suas três principais fontes energéticas.

Tabela 1 - Setores industriais de maior consumo energético em 2020 (BEN2021) no Brasil

Setor Industrial	Matriz % ⁽²⁾ (10 ³ tep)	Insumos energéticos ⁽¹⁾					
		Principal	% (10 ³ tep)	Secundário	% (10 ³ tep)	Terceiro	% (10 ³ tep)
Alimentos e bebidas	9,6% (24389)	Bagaço de cana	73,98% (18044)	Eletricidade	10,31% (2515)	Lenha	9,67% (2359)
Ferro-gusa e aço	6,0% (15249)	Coque de Carvão Mineral	42,30% (6450)	Carvão vegetal	18,85% (2874)	Carvão Mineral	13,74% (2095)
Papel e celulose	5,2% (13150)	Lixívia	52,22% (6867)	Eletricidade	15,41% (2027)	Lenha	15,01% (1975)
Outras indústrias	2,5% (6299)	Eletricidade	35,34% (4116)	Lenha	12,89% (812)	Gás Natural	11,10% (699)
Química	2,3% (5835)	Gás Natural	31,91% (1820)	Eletricidade	30,61% (1785)	Outras Sec. de Petróleo	29,25% (1707)
Não ferrosos e outros - metalurgia	1,9% (4834)	Eletricidade	45,70% (2209)	Carvão Mineral / Coque de C.M.	20,11% (972)	Óleo Combustível	16,80% (812)
Cimento	1,6% (4055)	Coque de Petróleo	70,16% (2845)	Eletricidade	13,05% (529)	Carvão vegetal	9,20% (373)
Cerâmica	1,5% (3717)	Lenha	49,88% (1854)	Gás Natural	30,05% (1117)	Eletricidade	7,72% (287)
Mineração e pelotização	0,8% (2141)	Eletricidade	47,50% (1017)	Óleo Diesel	15,83% (339)	Gás Natural	10,46% (224)
Ferroligas	0,5% (1315)	Eletricidade	42,81% (563)	Carvão vegetal e lenha	40,08% (527)	Coque de Carvão Mineral	6,24% (82)
Têxtil	0,3% (749)	Eletricidade	64,75% (485)	Gás Natural	23,36% (175)	Lenha	7,08% (53)

Nota: 1) foi excluído da tabela a categoria genérica "outras fontes" pois não permite a identificação clara do energético,

2) tep - toneladas equivalentes de petróleo (equivalem a 10 Gcal ou 11,63 MWh ou 41,87 GJ ou 39,68 MBTU)

Fonte: O Autor (2022) adaptado de EPE (2021b, p. 90-102)

Ao analisar a Tabela 1, verifica-se que as três Indústrias Energo-Intensivas mais expressivas consumiram em 2020 mais de 1/5 da energia do Brasil (20,8%), possuindo matrizes particulares, muitas vezes mais renováveis que a matriz geral.

¹ Uma indústria energo-intensiva pode ser assim considerada se os custos de energia forem superiores a 2% de seu volume de negócios ou 5% de seus custos de produção, conforme artigos de Rohdin; Thollander (2006, p.1837), Trianni et al. (2016, p.1540) e Finnerty et al. (2017, p.16).

Os dois fatores indicados pela IEA (2019, p. 8-9), energias renováveis e eficiência energética estão presentes no Plano Decenal de Expansão de Energia² (PDE) para 2030 do Ministério de Minas e Energia (MME) e EPE (2021, p. 331-341), e mostram sua importância, inclusive em relação as indústrias energo-intensivas.

Exemplos são o projeto piloto resposta da demanda, implementado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)³, e a ferramenta de eficiência energética de Gestão pelo Lado da Demanda (GLD)⁴, conforme apresentado por Jannuzzi et al. (2018, p. 134-146)

No que se refere a eficiência energética o MME e EPE (2021, p. 282) apresentam no PDE 2030 um *roadmap* de ações energéticas indicando para o setor industrial a “ampliação do número de equipamentos industriais com índices mínimos (MEPS- *Minimum Energy Performance Standards*) e contemplados no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)”⁵; além de “medidas relacionadas aos sistemas de gestão de energia (SGE)” e “redes de aprendizagem em eficiência energética” conforme EPE (2020, p. 1-36).

Todos os dados e planejamentos apresentados até o momento estão ligados ao setor público. Todavia, existem direcionamentos próprios da indústria, como o caso a Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP). A FIEP definiu em 2004 como visão de futuro de seu planejamento estratégico o “desenvolvimento industrial sustentável do Paraná” elaborando a primeira edição do “Rotas Estratégicas de Energia 2015” publicado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Departamento Regional do Paraná (SENAI-PR, 2007, p. 3), ocasião em que já apontava a importância de desenvolvimento de ações para o planejamento energético, geração distribuída, eficiência energética, biomassa e transporte sustentável.

Decorrida uma década, o projeto foi revisado. Ele resultou no documento “Rotas Estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense 2031 - Energia” (SENAI-PR, 2017, p. 34), o qual acrescentou uma visão relativa aos combustíveis fósseis

² Documento de planejamento energético estatal de curto e médio prazo, vinculativo para o setor público e indicativo para o setor privado.

³ Fomenta “redução do consumo de consumidores previamente habilitados, como recurso alternativo ao despacho termelétrico fora da ordem de mérito”, previsto pela Resolução Normativa nº 792 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017) atualizado e estendido³ para todo o Sistema Interligado Nacional (SIN) com duração até 27 de junho de 2022, motivado inclusive pela crise hídrica.

⁴ Confere possibilidade a consumidores de terem efetiva participação nas economias e poderem ser remuneradas por concessionárias ou comercializadoras de energia pela economia gerada.

(imprescindível em um mundo em transição energética) e reanalisou cada uma das visões tratando das necessidades energéticas da indústria, especialmente a indústria energo-intensiva.

O documento apresenta a visão da indústria do Paraná, fruto de estudos e participação de especialistas (tanto da indústria quanto da academia) com um recorte da realidade apresentada entre 2015 e 2017. A metodologia prospectiva dos Observatórios da FIEP, com a inteligência coletiva (SENAI-PR, 2017, p. 106-110), apresentando no Quadro 1 e Quadro 2 as barreiras apontadas pertinentes ao Planejamento Energético e à indústria energo-intensiva.

Quadro 1 - Barreiras em Planejamento Energético, Geração Distribuída e Eficiência Energética, Biomassa e Transportes pertinente ao Planejamento Energético da Indústria Energo-Intensiva

<p>VISÃO 1 PLANEJAMENTO ENERGETICOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa integração entre <i>stakeholders</i> • Ausência de integração entre os elos da cadeia • Ausência de visão estratégica empresarial • Escassez de recursos humanos qualificados • Carência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I)
<p>VISÃO 2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa articulação entre iniciativa pública e privada • Fragilidade na cadeia de suprimentos local • Escassez de dados e informações sobre o segmento • Deficiência na infraestrutura • Escassez de recursos humanos qualificados
<p>VISÃO 3 EFICIÊNCIA ENERGETICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiência na infraestrutura • Obsolescência de máquinas e equipamentos do parque industrial • Baixo investimento em tecnologia • Dificuldade de acesso a recursos financeiros • Escassez de informações sobre linhas de fomento • Baixa disseminação de modelos de eficiência energética • Falta de cultura organizacional voltada à eficiência energética • Ineficiência da regulamentação • Instabilidade econômica • Baixa articulação entre os <i>stakeholders</i>
<p>VISÃO 4 GERAÇÃO DE COGERAÇÃO DE ENERGIA COM BIOMASSA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo investimento em PD&I e tecnologia • Carência de projetos de pesquisa aplicada • Baixa interação entre academia e empresas • Escassez de dados e informações sobre o segmento • Baixa conscientização sobre o aproveitamento dos resíduos como fonte de energia • Ausência de cultura de planejamento de longo prazo • Alto custo de geração e distribuição de energia a partir da biomassa
<p>VISÃO 5 ENERGIA PARA A MOBILIDADE SUSTENTÁVEL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiência no repasse de soja para produção de biodiesel • Baixa competitividade do biodiesel • Deficiência na infraestrutura para mobilidade elétrica • Limitação de energia elétrica para mobilidade • Escassez de informações sobre biorrefinarias • Limitação do teor de biodiesel • Limitações fiscais para o biodiesel e para o biogás

Fonte: adaptado de SENAI-PR (2017, p. 37, 49, 61, 73 e 85)

Quadro 2 - Barreiras em Petróleo & Gás pelas Rotas Estratégicas pertinentes ao Planejamento Energético da Indústria Energo-Intensiva

VISÃO 6 PETRÓLEO & GÁS	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de mão de obra qualificada • Falta de estímulo a PD&I • Ausência de infraestrutura compatível ao desenvolvimento da atividade • Falta de integração na cadeia produtiva • Inexistência de planejamento estratégico integrado • Existência de monopólio no fornecimento e na distribuição de gás
---	--

Fonte: adaptado de SENAI-PR (2017, p. 97)

Essas barreiras apontadas naquele momento por especialistas auxiliaram a determinar metas para a indústria com recortes de curto, médio e longo prazo com ações voltadas a quatro eixos: 1) Educação, Cultura e Informação, 2) Política de Estado; 3) Articulação e Representatividade e 4) Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) e Tecnologia.

Essas ações e metas apresentam um mapa estratégico para que a energia até 2031 contribua para um crescimento sustentável econômico, social e ambiental, na visão da indústria especialmente para indústria energo-intensiva. Pode-se citar, por exemplo, “V1 52 Desburocratização e descentralização do licenciamento ambiental para pequenos empreendimentos no setor de Energia”; “V1 64 Elaboração de política voltada à aquisição de insumos locais para a geração, transmissão e distribuição de energia” e “V1 67 Instituição de programa para promoção da sustentabilidade energética nas empresas”; conforme SENAI-PR (2017b, p. 1).

Saliente-se que muitas destas barreiras, metas e ações sofreram alterações nos últimos cinco anos, especialmente a geração distribuída, setor energético que vem se destacando e tem-se estruturado, com atores influentes e forte atuação pública e privada.

Outro plano a ser analisado é o de normas técnicas internacionais e nacionais, que fornecem ferramentas e certificações importantes para a indústria e a sociedade. Elas possibilitam melhoria contínua e o atendimento de preocupações econômicas, ambientais e sociais, trazendo para indústrias a competitividade e o ingresso em alguns mercados.

Nesse ponto destaca-se a ABNT NBR ISO 50001 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2018) que direciona a criação de um Sistema de Gestão de Energia (SGE). Ela deriva de norma internacional de mesma numeração e origem na *International Organization for Standardization* (ISO) que aponta na família da norma muitas diretrizes para a construção e manutenção de um sistema de melhoria contínua

do insumo energia sem, entretanto, adentrar em aspectos ambientais e sociais, normalmente direcionados a outras normas.

A utilização de um SGE com o suprimento desta lacuna ambiental e social de uma forma objetiva é o tema central desta tese. Resulta em uma transversalidade que o PDE 2030 registra ao abordar o ODS 7 e métricas para implementar e melhorar um SGE, redes de aprendizagem, etiquetagem e performance de equipamentos industriais conforme EPE (2020, p. 1-36).

Silva (2018, p. 27) aponta a importância da criação de um SGE e apresenta barreiras internas e externas em sua implementação. Na seara interna, identifica fatores intraorganizacionais ligados à questão econômica, comportamental e organizacional, agravado pelas questões externas, especialmente com demandas vinculadas a impactos e necessidades sociais e ambientais cada vez mais presentes internacionalmente e nacionalmente em políticas públicas dos estados e exigidas por empresas. Apesar de abordar a engenharia organizacional e interoperabilidade para superar barreiras internas na implementação de um SGE, o estudo permite uma continuidade no que se refere às barreiras externas, notadamente os aspectos ambientais e sociais.

No aspecto ambiental, na área pública, existem estudos como o de Coelho Filho et al. (2016) que apontam a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta para direcionar políticas públicas, incluindo a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) e eventual recorte social, através da avaliação social do ciclo de vida (ACV-S) ou ainda uma avaliação de sustentabilidade do ciclo de vida (ASCV).

Figura 1 - Principais produtos de exportação do Brasil segundo o OEC



Fonte: adaptado de OEC (2019)

No panorama internacional, a crescente exigência ambiental interfere de forma pontual em importantes áreas de exportação do Brasil, como pode-se verificar na Figura 1. Muitas áreas vinculam-se à indústria energo-intensiva, incrementando sua complexidade, conforme aponta os dados referentes ao Brasil no The Observatory of Economic Complexity (OEC, 2019).

Assim como ocorreu na seara do planejamento energético com o SGE, a ABNT NBR ISO 50001 e família, na ACV a família de normas ABNT NBR ISO 14040 da ABNT (2014) apresentam sua implementação, desde os inventários, avaliação e impactos, com suas etapas intermediárias, pontuando inclusive a participação da questão energética e do planejamento energético para sua realização.

Coelho Filho et al. (2016, p. 15) apontam a ACV como instrumento importante para mensurar a sustentabilidade, chamando a atenção que “nem sempre o que parece ser a melhor opção para uma “economia circular” realmente é a alternativa mais sustentável”. No entanto alerta para as dificuldades decorrentes de escopo, unidade funcional e dimensões de análises escolhidas.

A importância da indústria energo-intensiva para a economia e energia fica evidente, consolidando-se ainda uma preocupação presente: a preocupação

ambiental e social. Instrumentos como a ACV permitem a inclusão de aspectos ambientais e sociais no planejamento energético.

1.1 Problema da Pesquisa

As indústrias energo-intensivas são grandes consumidoras de energia e possuem empreendimentos que geram grandes impactos ambientais e sociais. Cada qual vinculada às características de seus setores (alimentos e bebidas; ferro-gusa e aço; papel e celulose entre outros) e suas plantas industriais, considerando, por exemplo, local em que estão implantadas, insumos utilizados (energético ou não).

Como a energia é um insumo significativo para as indústrias energo-intensivas sua manutenção e otimização são essenciais para prover competitividade e eficiência em seus processos. Importa, portanto, na execução de projetos vinculados a soluções energéticas, os quais devem compor preferencialmente um SGE.

A seleção dos projetos energéticos normalmente utiliza indicadores econômicos e técnicos e considera, não só os custos de implantação, custos de operação, manutenção e sinergias com demais utilidades industriais⁵ e processos da indústria energo-intensiva. Isso porque a energia não é um fim⁶, mas um meio.

Atualmente, dependendo do setor, indicadores ambientais e sociais podem ser contabilizados para determinadas soluções energéticas, já que dependendo do porte e impacto poderão necessitar relatórios ou estudos de impactos, além de licenças prévias, de instalação e operação.

Todas estas dinâmicas de relatório, estudos e impactos podem gerar obrigações para a indústria energo-intensiva que impactam na seleção de determinadas tecnologias, como, por exemplo, tratamento de efluentes ou medidas de mitigação ou compensação pela poluição gerada, instrumentos que poderiam de uma forma facilitada utilizar o método da ACV para essa análise.

Para projetos de soluções energéticas de menor potencial poluidor, indicadores ambientais e sociais poderão depender da visão, missão e valores que a indústria energo-intensiva possua, explorando relatórios de sustentabilidade ou de *Environmental, Social and Corporate Governance* (ESG).

⁵ Todos os processos necessários para o funcionamento de uma planta industrial podendo envolver, produção de vapor, ar comprimido, tratamento de água e efluentes, entre outros.

⁶ Apesar de atualmente algumas indústrias já inserirem em seu portfólio a possibilidade de exportação de energia, configurando um novo produto como ocorre na indústria sucro-alcooleira.

O SGE pode direcionar a construção de indicadores para possibilitar a melhoria contínua do planejamento energético e a implantação de projetos de soluções energéticas abrangendo aspectos ambientais e sociais.

Em vista disso a presente tese explora o seguinte problema: Quais indicadores ambientais e sociais (e seus pesos) podem se somar aos indicadores técnicos e econômicos na seleção de projetos de soluções energéticas em sistemas de gestão de energia (SGE) na indústria energo-intensiva?

Constituem hipóteses para a solução do problema:

- A ACV pode fornecer subsídios para fixar indicadores ambientais e sociais na seleção de projetos de soluções energéticas em SGE de indústria energo-intensiva.
- A AICV é um instrumento para auxiliar a seleção de projetos de soluções energéticas em SGE de indústria energo-intensiva.
- O peso de cada indicador (econômico, técnico, ambiental e social) poderá ser delimitado previamente por cada indústria energo-intensiva para atender requisitos legais (regulamentares) ou mercadológicos.

1.2 Objetivos

Em vista do problema das variáveis e pesos considerados nas seleções de projetos de soluções energéticas em SGE na indústria energo-intensiva a presente tese traz como objetivo geral uma contribuição na utilização de variáveis ambientais e sociais e nos objetivos específicos os meios para alcançá-lo.

1.2.1 Objetivo Geral

A presente tese tem como objetivo geral da presente tese propor um método de planejamento energético para um sistema de gestão de energia (SGE) voltado a indústria energo-intensiva.

1.2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos para desenvolver a tese:

- 1) Esquematizar os elementos fundamentais e o processo de implantação do

SGE conforme as normativas brasileiras;

- 2) Selecionar técnicas e metodologias para implantar um SGE em indústrias energo-intensivas com foco na seleção de projetos de soluções energéticas considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais;
- 3) Esquematizar os elementos fundamentais e o processo de ACV conforme as normativas brasileiras;
- 4) Selecionar técnicas e metodologias de ACV em indústrias energo-intensivas com foco na seleção de projetos de soluções energéticas considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais;
- 5) Propor um modelo teórico de SGE com contribuições da ACV e as técnicas e metodologias de SGE e ACV selecionadas;
- 6) Ordenar etapas, variáveis, indicadores e técnicas para realizar um planejamento energético em SGE orientado a seleção de projetos de soluções energéticas considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais;

1.3 Justificativa

A proposta de método de planejamento energético voltado à inserção de aspectos ambientais e sociais no SGE, utilizando como parâmetro inicial a ACV, tem como finalidade explicitar a necessidade de se pensar não só no impacto imediato das soluções energéticas, mas também no impacto existente em toda a cadeia de um determinado produto ou serviço.

Além disto, como ressaltam Coelho Filho et al. (2015, p.34), nos últimos tempos a demanda por instrumentos como a ACV cresce, pois permite a inserção do planejamento ambiental em políticas, planos e projetos dos setores públicos e privados. Entretanto estes autores, ao realizarem o estudo com a metodologia pressão-Estado-resposta (p.30-34), apresentam as dificuldades da utilização da ACV em políticas públicas, o que pode ser extrapolado para o setor privado, propondo uma aplicação de estratégias modulares ou estratificadas, ressaltando a importância de uma padronização.

Jannuzzi et al. (2018, p.54) ao abordar a projeção da demanda de energia ressalta que as abordagens mais completas de Planejamento Integrado de Recursos

Energéticos (PIR) envolvem a análise do ciclo de vida das diversas alternativas escolhidas, entretanto não apresenta em sua estrutura uma análise específica.

Uma análise dos custos ambientais e sociais é apresentada por Jannuzzi et al. (2018, p.177-182)(p177-182) tecendo considerações preliminares sobre uso de solo, resíduos, resfriamento, emissões atmosféricas, gases de efeito estufa. Apesar de indicar métricas para o custo de externalidades, através do Custo Marginal de Operação (CMO), e o custo das emissões evitadas (CAE), não aborda o ciclo de vida das soluções energéticas, somente os impactos com a instalação dos empreendimentos ou soluções energéticas.

Silva (2018, p.221) registra que muitos trabalhos sobre SGE apontam para a necessidade da integração destes sistemas com outros compatíveis, elencando a ACV como um dos sistemas interessantes, especialmente possibilitando “redução de custos, padronização de procedimentos, maior controle sobre a operação da empresa, melhoria da qualidade na informação, entre outros”. Apesar disto, este não é o foco do trabalho, que versa sobre engenharia organizacional e interoperabilidade.

Cumpra o presente trabalho sua finalidade ao propor o método que permite a execução prática para inserção dessas características de forma efetiva nas indústrias energo-intensivas. Nele está delineado um passo a passo de como realizar este planejamento, fixando suas diversas etapas, desde a influência destes aspectos na política energética, nos objetivos e metas energéticos, mas também na forma como são selecionados projetos de soluções energéticas.

De outra forma, é também um documento que explicita importantes pontos de reflexão, pois aborda uma fronteira difícil: o uso da tecnologia pela sociedade de forma a trazer efetivos benefícios a todos. A tese neste sentido apresenta a reflexão sobre uma necessária aplicação de tecnologia que garanta a coexistência de forma produtiva e com menores impactos, gerando vantagens a todos: indústria, trabalhadores, sociedade e meio ambiente.

Ao abordar esta temática, deste setor tão importante para a economia quanto para os impactos ambientais, direciona-se a discussão e a busca de ferramentas, de forma crítica, para uma transformação efetiva na busca de eficiência energética e diminuição de impactos ambientais.

A oportunidade de testar o protocolo, mesmo que de forma simulada, levanta também as dificuldades inerentes a implantação de uma nova realidade, a qual tem se mostrado transformada. Há pouco tempo presenciou-se a inserção no mundo

destas diversas matizes de sistemas de melhoria contínua (SGE entre outros sistemas) e atualmente presencia-se uma construção holística com a governança corporativa e o próprio conceito de ESG nas organizações.

Aderente a esses pensamentos, deve-se fazer um recorte sobre o próprio programa de pós-graduação, já que o tema é extremamente pertinente, relacionando Tecnologia e Sociedade, uma generalização do tema que é o relacionamento da indústria energo-intensiva e os aspectos inerentes a todos: economia, técnica, meio ambiente e sociedade.

1.3.1 Aderência ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade

Na presente tese realizam-se várias abordagens próprias do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade (PPGTE). Preliminarmente, por tratar da análise e problematização do Planejamento Energético vinculado à implantação de um Sistema de Gestão de Energia, possibilitando a inclusão de técnicas e tecnologias que valorizem os impactos ambientais, sociais e econômicos do ciclo de vida de produtos e serviços vinculados às soluções energéticas, valorizando a adoção de soluções locais (sejam produtos ou serviços) que se mostrem sustentáveis.

Outro ponto importante relativo ao PPGTE, é que se traz a inserção de pensamento reflexivo e democrático na implementação de tecnologias, utilizando indicadores que valorizem o conteúdo local para a construção do planejamento energético. Isso reforça a territorialidade e fomenta desenvolvimento local, além de proteger o ambiente de forma ampla ao permitir a mensuração de impactos.

1.3.1.1 Linha de Pesquisa Tecnologia e Desenvolvimento

A aderência da tese com a linha de Tecnologia e Desenvolvimento (TD) é confirmada pela proposta de uma nova métrica para promover o Planejamento Energético que investiga, reflete, discute e simula elementos e dinâmicas de processos de desenvolvimento territorial sustentável. Deve-se isso, especialmente, por existir um processo de apropriação e de transformação de espaços geográficos, associado fortemente ao eixo territorialidade, ao propor o uso da ACV e ACV-S, explicitando aspectos ambientais e sociais das Soluções Tecnológicas.

A proposta fornece condições para o desenvolvimento contínuo e durável do território (sustentabilidade), realizando a produção de conhecimento apontado pela linha como importantes. Essa proposta subsidia uma política energética e de desenvolvimento para o empreendimento, a qual poderá ser influenciada por políticas públicas do setor, mas também poderá ser influenciadora⁷.

Caracteriza-se também como Estudo de Futuro vinculado à gestão ambiental com indicadores socioeconômicos e ambientais. Descobre, expõe e, até, fomenta a formação de redes sociotécnicas, especialmente a comunicação com aquelas vinculadas a gestão energética, eficiência energética e ACV, as soluções energéticas locais e impactos ambientais e sociais, especialmente com a ASCV, ACV-S.

A tese quer contribuir para que tecnologias relacionadas ao planejamento energético, a ciclo de vida e suas sinergias sejam apropriadas pela sociedade e pelas empresas, possibilitando o estímulo da inovação vinculada a parte técnica e econômica, mas também para os aspectos ambientais e sociais, necessária para a sustentabilidade.

1.3.1.2 Grupo de pesquisa Políticas Públicas e Dinâmicas de Desenvolvimento Territorial (PD2T)

O vínculo ao grupo de pesquisa Políticas Públicas e Dinâmicas de Desenvolvimento Territorial (PD2T⁸) é pontual, entretanto existem duas formas de visualizar estas integrações com o grupo e com uma linha específica. De forma geral, o grupo de pesquisa está fortemente ligado à “discussão sobre o papel e a interação dos atores locais (Estado, Sociedade e Empresas) no processo de desenvolvimento territorial”.

Dentro da visão geral o trabalho, de certa forma, adianta no setor privado visões que estão cada vez mais frequentes na área pública (nacional e internacional) e já influencia a privada internacional, permitindo preparar e até fomentar a implantação de políticas públicas orientadas a transformação de espaços geográficos através da valoração de recursos naturais e infraestrutura específicos com

⁷, como ocorre com a Avaliação de Impacto Regulatório, já implantada no setor elétrico, através de consultas públicas da ANEEL

⁸ <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/3004868832115074>

participação de atores locais e regionais integrados em relações sociais, culturais e econômicas.

A tese possui uma abordagem integrada e sistêmica dos aspectos do desenvolvimento com alinhamento de desenvolvimento de um território, fomentando a compreensão do processo e da efetividade da política pública relativo à área de planejamento energético.

Quanto às linhas de pesquisa utilizadas, incluindo a linha de pesquisa “Energias Renováveis e Desenvolvimento Regional”, utilizam esta abordagem integrada e sistêmica voltadas ao local ou regional, enquanto delimitação da pesquisa. Por fim, importante salientar que o grupo se propõe a desenvolver modelos de políticas públicas e trabalhar com sua simulação, avaliação e compreensão em torno do processo de desenvolvimento territorial, podendo prover trabalhos futuros.

De forma específica, existe uma linha de pesquisa denominada Energias Renováveis e Desenvolvimento⁹, para a qual a energia e, conseqüentemente, seu planejamento e gestão, estão ligadas à realidade da economia de mercado e à sobrevivência da sociedade humana. Como o objetivo da linha é “avaliar as interações entre as escolhas da matriz energética feitas e os seus impactos e interações sob o ponto de vista econômico, social, ambiental e institucional a partir da integração com o processo de desenvolvimento da região”, com a tese é possível contribuir com o planejamento privado, o qual muitas vezes é mais eficiente do que o próprio Estado, preparando a indústria para uma atuação social e pública.

1.3.1.3 Diálogo com Outras Linhas de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação

Há, na presente tese, um forte diálogo com temas propostos nas demais linhas de pesquisa do PPGTE. Com relação a Mediações e Culturas (MC), pode-se pontuar que há vínculos com o entorno através da implantação de um Sistema de Gestão de Energia pensado nos aspectos de impactos ambientais, sociais e econômicos; ademais, há interações com a sociedade local, fomentando articulações anteriormente não valoradas, especificamente nos aspectos próprios da avaliação social do ciclo de vida das soluções energéticas.

⁹ <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelholinha/3004868832115074393108>

Com relação à linha Tecnologia e Trabalho (TT), deve-se registrar que as novas visões do trabalhador que estão sendo construídas são necessárias no processo de implantação de um Sistema de Gestão de Energia com o direcionamento proposto. Tem-se uma nova dimensão cultural da tecnologia decorrente da apropriação de conceitos como impacto ambiental, social e econômico e de economia circular pelos trabalhadores das empresas envolvidas. Ademais, há possibilidade de influenciar novas Políticas Públicas para a educação profissional, além de transformação dos discursos relativos às tecnologias de soluções energéticas ao reforçar aspectos ambientais, econômicos e sociais que tragam sustentabilidade à empresa e ao entorno. Por fim, há ainda possibilidade de estimular soluções que envolvam Tecnologia Social e Economia Solidária, especialmente por tratar de aspectos sociais.

1.4 Relevância e Ineditismo

1.4.1 Relevância

A relevância da tese situa-se, preliminarmente, por se inserir em um setor que demanda melhorias no que se refere ao aspecto ambiental e social, apesar de muitas indústrias utilizarem já de parte deste arcabouço teórico.

As métricas indicadas já são de conhecimento de muitas indústrias, entretanto a comunicação de realidades distintas nem sempre é conseguida ou almejada, especialmente quando afeta o desempenho técnico-econômico.

Como atualmente tem-se inserido requisitos ambientais e sociais em políticas públicas e, cada vez mais, o próprio mercado tem exigido, nacional e internacionalmente e nacional. Vê-se um espaço para tornar a tese como elemento útil para discussão ou implementação de um planejamento energético em um SGE de uma indústria energo-intensiva que busque a seleção de projetos de soluções energéticas considerando não só os aspectos técnicos e econômicos, mas também ambientais e sociais.

Ao discorrer sobre um sistema normatizado – o SGE proposto na ABNT NBR ISO 50001 e sua família – e realizar levantamento indicando documentos importantes para uma adequada implantação, o trabalho ganha relevância no aspecto

técnico, especialmente ao indicar fontes com o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE).

Em outro ponto, ao se buscar uma revisão bibliográfica vinculada ao SGE em indústria energo-intensiva, igualmente mostra-se a relevância da tese, já que ela condensa contribuições, instrumentos, ferramentas utilizadas por cientistas e organizações (públicas e privadas), mostrando a viabilidade de ganhos, além de também trazer as dificuldades inerentes às mudanças.

Há relevância ao se abordar a ACV e demonstrar que a técnica traz grandes contribuições para um pensamento perene, que considera não só o imediato, local, mas também todo o ciclo de vida, antes e depois dos portões da indústria. Esse conceito é fundamental para que a sociedade otimize os recursos que cada vez são mais escassos, especialmente naturais, mas também considere as diversas etapas para a elaboração de um produto ou execução de um serviço.

Contribui-se, também com a revisão bibliográfica da ACV, pois explicita-se a busca de alguns setores, identificando trabalhos voltados a equipamentos ou organizações inteiras, demonstrando a importância desta métrica para a avaliação de determinadas soluções adotadas pela indústria. Neste ponto importante ressaltar que uma solução energética, um projeto, pode envolver um equipamento que é considerado como Uso Significativo de Energia (USE), conceito primordial ao SGE.

Por fim, é relevante a discussão e conclusões que indicam aportes e limitações deste trabalho, da técnica eleita, dos temas escolhidos, possibilitando a continuidade do trabalho em futuras pesquisas já que este tema é caro a sociedade e certamente se tornará cada vez mais relevante.

1.4.2 Ineditismo

Uma pesquisa inicial foi realizada para verificar a originalidade da pesquisa em todas as bases do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) do Ministério de Educação (MEC) mediante o acesso remoto via Comunidade Acadêmica Federada (CAFe).

A estratégia utilizada foi a busca avançada com as palavras-chave das temáticas somente no campo assunto com a expressão exata (indicada na palavra-chave da Tabela 2), utilizando os filtros “expandir meus resultados” e “periódicos revisados por pares”, procurando-se os termos em inglês nas etapas subsequentes,

já que os termos em português resultaram em poucos registros conforme apontado na Tabela 2.

Tabela 2 - Busca preliminar individual com as palavras-chave em inglês e português

Palavras-Chave	Portal de Periódicos CAPES/MEC
Energy management	42.527
Gestão de energia	1
Energy management system	20.554
EnMS	124
Sistema de gestão de energia	0
SGE	148*
50001	69
Energy planning	7.321
Planejamento energético	10
Life cycle assessment	17.019
Avaliação do ciclo de vida	9
LCA	6.709
ACV	140
14040	32
Life cycle impact assessment	669
Avaliação de impacto do ciclo de vida	1
LCIA	300
AICV	1*
Energy-intensive industry	127
Indústria energo-intensiva	0

Nota: * sigla utilizada majoritariamente em outra área

Fonte: O Autor (2022)

Importante registrar que esta busca é restritiva, considera que o autor teve o cuidado de indicar como assunto uma das palavras-chave indicadas, reconhecendo-se desde já que artigos sem estas características foram descartados já que seus autores não identificaram como assunto relevante os termos procurados.

Realizada a avaliação preliminar e optando-se pela pesquisa com termos adequados à pesquisa dividiu-se a pesquisa em 2 eixos: um envolvendo SGE, outro a ACV. Na Tabela 3 demonstra-se as buscas com as combinações entre eixo SGE (linhas) e os eixos ACV (colunas) com resultados com os 3 mais expressivos resultados da Tabela 2.

Tabela 3 - Busca com as palavras-chave combinadas dos eixos sistema de gestão de energia e avaliação de ciclo de vida

Palavras-Chave	Life cycle assessment	LCA	Life cycle impact assessment	LCIA
Energy management	395	128	2*	-
Energy management system	202	66	1*	-
Energy planning	37	12	2*	1*

Nota: * sigla utilizada majoritariamente em outra área

Fonte: O Autor (2022)

A Tabela 3 indica que há uma correlação entre os temas vinculados ao SGE e à ACV. Dados os resultados desta busca, foram separados os termos em que a busca resultou positiva, utilizando a mesma metodologia para mapear os termos dos eixos SGE e ACV e confrontando os termos com o termo do eixo indústria energo-intensiva, conforme registrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Busca dos termos com possível combinação com Indústria Energo-intensiva

Palavras-Chave	Energy-intensive industry
Energy management	19
Energy management system	15
Energy planning	-
Life cycle assessment	-
LCA	-
Life cycle impact assessment	-

Fonte: O Autor (2022)

Visível que não existem artigos envolvendo em seus assuntos os três itens da pesquisa, já que nenhum dos termos pesquisados no eixo ACV terão artigos com o assunto do eixo indústria energo-intensiva. Além disso, não houve possibilidade da seleção “periódicos revisados por pares mesmo após “expandir meus resultados”.

1.5 Limitações e Delimitações

A presente tese aborda primordialmente as indústrias energo-intensivas em vista de representarem no Brasil os maiores consumidores de energia, mas também por serem consideradas o segundo maior poluidor conforme registrado no BEN 2021 (EPE, 2021a, p. 26 e 50).

A identificação do SGE e ACV indicam uma diretriz metodológica adotada para que o planejamento energético possa considerar o ciclo de vida de produtos e serviços envolvidos na seleção de projetos de soluções energéticas para a indústria energo-intensiva.

Outra delimitação importante ocorreu no plano documental, vez que a tese se respalda em normas existentes no Brasil. Delimitação essa que não é utilizada na pesquisa bibliográfica, já que os artigos nacionais presentes nas pesquisas preliminares são mínimos.

Por fim, para a validação foi selecionado um subsegmento de uma indústria nacional relevante, utilizando-se documentação do setor para propiciar uma avaliação mais próxima da realidade brasileira.

1.6 Estrutura do Trabalho

A tese está estruturada em seis capítulos. O capítulo 1, denominado Introdução, apontando o problema de pesquisa, os objetivos (geral e específicos) da tese, sua justificativa, relevância e ineditismo, além de suas limitações. O Capítulo 2, a Revisão Sistemática, apresenta a pesquisa descritiva e exploratório relativa ao SGE e ACV além do modelo teórico fruto das pesquisas. No Capítulo 3, a Metodologia, apresentam-se todas as etapas realizadas na tese, desde a pesquisa descritiva e exploratório até a metodologia para a construção do modelo teórico e posteriormente do método proposto, por fim inicia por explicitar elementos e ferramentas fundamentais para o método. O Capítulo 4 apresenta a implementação do método, uma simulação com o subsegmento de celulose abrangendo elementos do método e, por fim, uma discussão sobre os resultados. No último capítulo é realizada uma conclusão, versando sobre os resultados da tese e trabalhos futuros.

2 REVISÃO SISTEMÁTICA

A revisão sistemática proposta na presente tese é relativa aos três grandes eixos propostos relativo ao planejamento energético com dois recortes, o primeiro representado pelo SGE e sua utilização na indústria energo-intensiva, o segundo referente as contribuições da ACV na indústria energo-intensiva.

Este capítulo apresenta 3 subcapítulos 2.1 Planejamento Energético e Sistema de Gestão de Energia; 2.2 Soluções Energéticas e Avaliação do Ciclo de Vida e 2.3 Modelo Teórico.

2.1 Planejamento Energético e Sistema de Gestão de Energia

O planejamento energético é um dos passos de um SGE, portanto, necessário conhecer estes passos e a própria definição de um SGE, temática apresentada inicialmente com a revisão documental (2.1.1), delimitada a realidade brasileira e que busca apresentar a metodologia empregada para sua implantação em indústrias energo-intensivas. Posteriormente apresenta-se uma revisão bibliográfica (2.1.2) em que são avaliadas as contribuições de cada artigo selecionado com a tese.

Figura 2 - Mapa Mental da Revisão Sistemática de SGE e planejamento energético



Fonte: O Autor (2022)

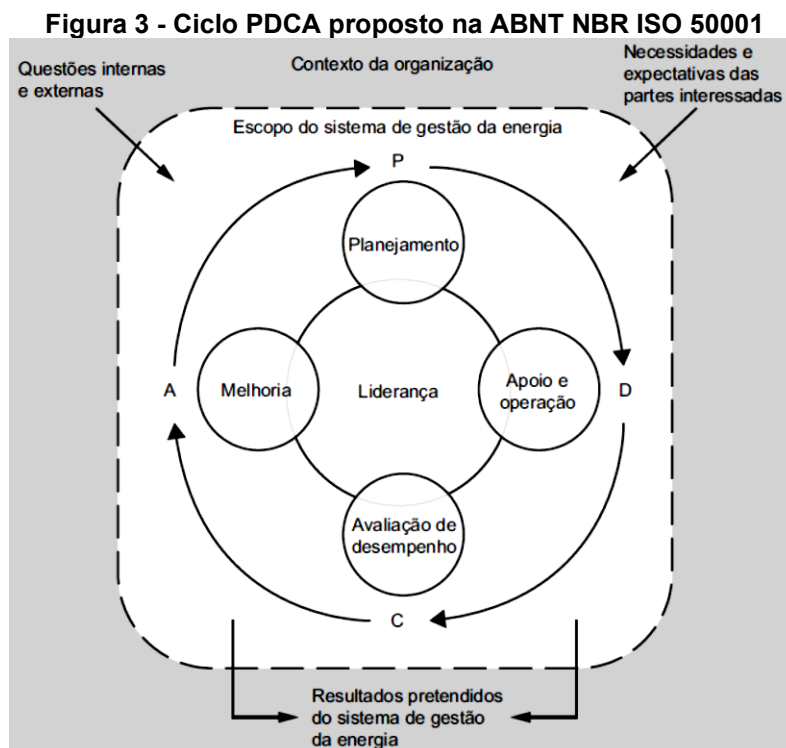
Após, conforme apresentado pela Figura 2, as contribuições apresentadas pela visão documental e bibliográfica, o estado da arte do SGE e sua aplicação às indústrias energo-intensivas e conexões com a ACV, são utilizadas para compor o modelo teórico (2.3), base para a construção de um método de planejamento energético em um SGE que possibilite a seleção de projetos de soluções energéticas considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

2.1.1 Sistema de Gestão de Energia: Revisão Documental no Brasil

A criação de um SGE formalizou-se no Brasil em 2011 com a norma ABNT NBR ISO 50001, a qual se encontra na segunda edição. A ABNT (2018, p. 2) define SGE como:

... sistema de gestão (3.2.1) que estabelece uma política energética (3.2.4), objetivos (3.4.13), metas energéticas (3.4.15), planos de ação e processo(s) (3.3.6) para alcançar os objetivos e metas energéticas.

O SGE visa estabelecer os processos necessários para melhorar continuamente o desempenho energético, englobando eficiência energética, uso e consumo da energia. Para realizar este processo de melhoria contínua utiliza-se de uma estrutura denominada *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), com a qual institui-se os requisitos para o estabelecimento, a implementação, a manutenção e a melhoria de um SGE conforme a Figura 3.



Fonte: ABNT (2018, p. ix)

Conforme a norma um SGE de uma indústria ou empreendimento deve, de forma geral, ser estabelecido e documentado, delimitando seu escopo e fronteiras, sendo necessário prever mecanismos adequados para implementá-lo, mantê-lo e avaliar continuamente o desempenho energético e do SGE (ABNT, 2018, p. 9).

2.1.1.1 Ciclo PDCA de um Sistema de Gestão de Energia

Cada etapa do ciclo PDCA propicia a construção de um SGE perene, estabelecendo metas para cada etapa do ciclo conforme pode-se averiguar no quadro:

Quadro 3 - Ciclo PDCA e as etapas previstas na família ABNT NBR ISO 50001

Plan (Planejar)	<ul style="list-style-type: none">• Estabelecer a política energética;• Constituir equipe de gestão da energia;• Mapear ações para enfrentar os riscos e oportunidades;• Realizar a revisão energética;• Identificar os usos significativos de energia (USE);• Fixar indicadores de desempenho energético (IDE);• Construir a(s) linha(s) de base energética(s) (LBE);• Fixar os objetivos e metas energéticas e• Constituir planos de ação para melhoria do desempenho energético.
Do (Fazer)	<ul style="list-style-type: none">• Implementar os planos de ação;• Estabelecer os controles de operação e manutenção;• Realizar a comunicação;• Assegurar competências e• Considerar o desempenho energético no projeto e aquisição.
Check (Checar)	<ul style="list-style-type: none">• Monitorar e medir o desempenho energético;• Analisar, avaliar e auditar o desempenho energético, planos de ação e o próprio SGE e• Realizar a análise(s) crítica(s) pela direção do desempenho energético e do próprio SGE.
Act (Agir)	<ul style="list-style-type: none">• Fixar as ações para tratar não conformidades e• Identificar como realizar as melhorias do desempenho energético e do SGE para o próximo ciclo.

Fonte: adaptado de ABNT (2018)

Com base nesta visão geral do SGE e de sua implementação através da estrutura de melhoria contínua PDCA é possível visitar cada um destes conceitos e verificar como podem ser utilizados pela indústria energo-intensiva, buscando alguns exemplos da realidade brasileira.

O ponto preliminar é o Planejar (Plan) do ciclo PDCA, pois após a indústria energo-intensiva optar pela implementação do SGE e delimitar as responsabilidades da alta direção, é fixar a política energética, a qual é definida como a “declaração da organização (3.1.1) sobre suas intenções, diretrizes e compromissos gerais relacionados com seu desempenho energético (3.4.3), como formalmente expressos pela Alta Direção (3.1.2)” (ABNT, 2018, p. 3). Este é um momento fortemente vinculado à direção. A política deve passar uma mensagem clara como os exemplos apresentados por Fossa e Sgarbi (2017):

Política energética da WEG (...) assegurar o desenvolvimento, a produção e a comercialização de produtos e serviços com maior eficiência energética, e a melhoria contínua dos nossos processos de negócio, atendendo os requisitos legais e permitindo a redução do consumo de energia e dos impactos sobre a matriz energética. (p. 62-63)

(...)

A GENERAL MOTORS DO BRASIL se compromete a preservar o meio ambiente e os recursos naturais, por meio do estabelecimento de objetivos e metas que possibilitem a melhoria contínua do seu desempenho ambiental e energético, através da disponibilidade de recursos e informações e apoio à aquisição de produtos e serviços energeticamente eficientes, visando a redução dos resíduos, o cumprimento das leis e normas, a prevenção da poluição e a boa comunicação com a comunidade. (p. 71)

A política energética assim fixada permite que qualquer membro da organização possa compreender e aplicar esta diretriz estratégica em suas atividades de trabalho, entretanto há requisitos muito claros para sua constituição conforme apontado no Quadro 4.

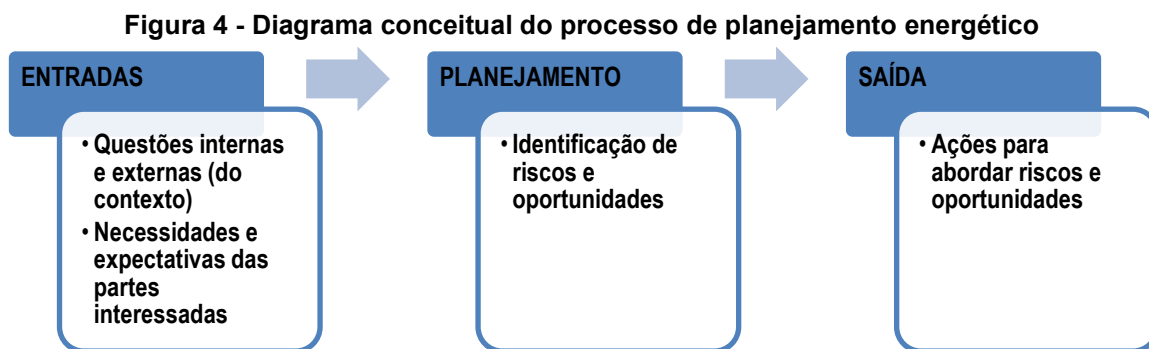
Quadro 4 - Elementos e Requisitos de uma política energética pela ABNT NBR ISO 50001

Elementos	Requisitos
Política Energética	Apropriada à Organização
Objetivos e metas energéticas	Estruturar, analisar criticamente e estabelecer
Informações e comunicação	Assegurar, documentar, disponibilizar, fornecer recursos
Satisfação de Requisitos	Legais e regulamentares (EE, uso e consumo de energia, SGE) Análise crítica periódica e atualização (se necessário)
Apoiar aquisições	Produtos e serviços energeticamente eficientes
Apoiar atividades	Projetos melhoria do desempenho energético

Fonte: O Autor (2019)

Após o estabelecimento da política é necessário constituir a equipe de gestão de energia, a qual normalmente é multidisciplinar, devido a necessidade de conhecimento do processo, normalmente com colaboradores de todos os setores responsáveis pelo uso da energia, sendo necessário estabelecer um líder e realizar uma capacitação com vistas a conhecer as minúcias dos processos, inclusive com alternativas energéticas, conforme reforça Fossa e Sgarbi (2017, p. 17).

Fixada a política energética e instituído a equipe do SGE, com toda a sua estrutura e disponibilidade de recursos, há a necessidade de realizar o planejamento energético, momento em que uma diversidade de ações de nível estratégico são realizadas para avaliar riscos e identificar oportunidades para melhoria do desempenho energético, como visto na Figura 4.



Fonte: Adaptado de ABNT (2018, p 24)

A esfera estratégica do planejamento energético vincula-se a alta direção, responsável pela identificação de riscos e oportunidades para a melhoria contínua do desempenho energético, analisa questões internas e externas, assim como a necessidade das partes interessadas (clientes internos e externos) para fixar ações para abordar estes riscos e oportunidades, bem como integrar e implementar estas ações, avaliando sua eficácia ao seu termo (ABNT, 2018, p. 11)

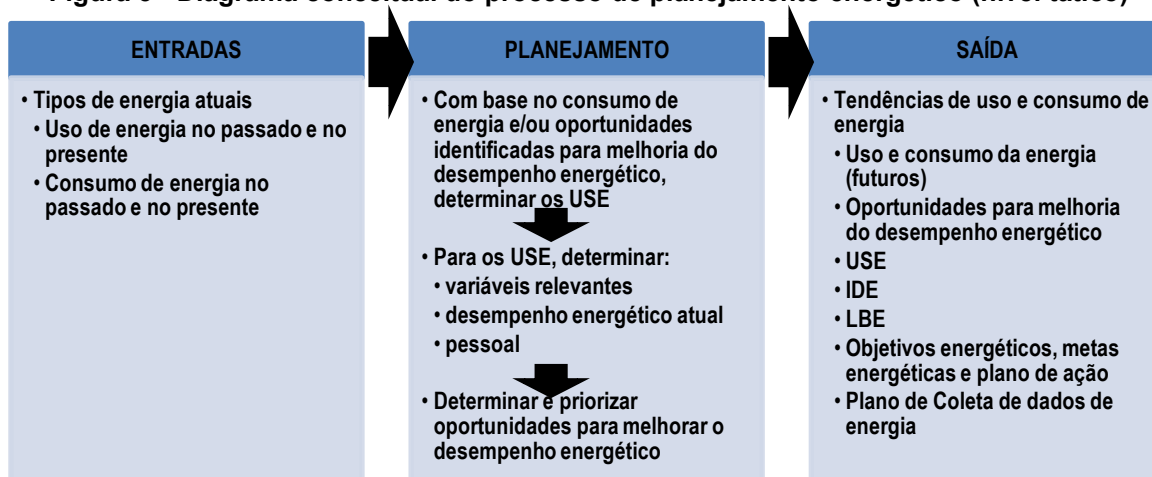
A segunda etapa do planejamento engloba a construção, com base nas políticas e planejamento estratégico, de objetivos e metas energéticas. Os objetivos energéticos são diretrizes, delimitações do que a indústria tem como alvo (ser mais sustentável, por exemplo); já as metas energéticas possuem resultados mensuráveis, como “a) percentual de melhoria do desempenho energético, b) melhoria no consumo de energia ou c) outro IDE” (ABNT, 2016a, p. 18).

A revisão energética, parte fundamental para implementação e manutenção de um SGE, é conceituada pela ABNT (2018, p. 8) como “análise da eficiência energética (3.5.3), uso da energia (3.5.4) e consumo da energia (3.5.2) com base em dados e em outras informações, conduzindo à identificação de USE (3.5.6) e a oportunidades de melhoria do desempenho energético (3.4.6)”.

O termo Uso Significativo de Energia (USE) refere-se ao “uso da energia (3.5.4) responsável por substancial consumo da energia (3.5.2) e/ou que ofereça potencial considerável para melhoria do desempenho energético (3.4.6)”.

Fossa e Sgarbi (2017, p. 15) caracterizam a revisão energética como “processo de análise focado nos usos da energia e nas suas condições de consumo e eficiência”, salientando tratar-se de uma das etapas mais importantes para o desenvolvimento de um SGE. A revisão energética realiza-se em três momentos vinculados ao planejamento, com entradas e saídas, conforme aponta a Figura 5.

Figura 5 - Diagrama conceitual do processo de planejamento energético (nível tático)



Fonte: Adaptado de ABNT (2018, p. 24)

As entradas da revisão energética (planejamento tático) propõem-se a identificar as energias atuais, seus usos e consumos atuais e passados.

A etapa do planejamento envolve a análise dos dados, realizando a revisão energética ao determinar os USE, alertando Fossa e Sgarbi (2017, p. 15, grifo nosso):

Não é razoável, ou mesmo viável, que se desenvolvam ações de melhoria de desempenho energético em todo o conjunto de usos de energia de uma determinada organização. Sendo assim, **a identificação dos usos significativos de energia orienta um processo de priorização das oportunidades**, fazendo com que as ações adotadas sejam concentradas nos processos e sistemas considerados mais relevantes ponto de vista da melhoria do desempenho energético

A saída do planejamento, conforme Figura 5, é a revisão energética, com uma visão da realidade energética e identificação de oportunidades importantes como:

Um dos grandes focos da revisão energética e do planejamento energético, preocupando-se na revisão a identificação de variáveis relevantes, do desempenho energético atual e da identificação do fator humano que influencia ou afeta o USE.

Outra saída da revisão energética, produto do planejamento energético, é a determinação de Indicadores de Desempenho Energético (IDE), os quais permitem a quantificação de do desempenho energético e serão úteis para mensurar metas energéticas. Segundo Senai-PR (2010, p. 11)

Indicadores são **variáveis** definidas para **medir um conceito abstrato**, relacionado a um significado social, econômico ou ambiental, com a intenção de **orientar decisões** sobre determinado fenômeno de interesse.

O Indicador de desempenho energético tem claro interesse econômico, porém pode também constituir-se em indicador ambiental e até social. Para sua construção a norma alerta que estes deverão ser apropriados para medir e monitorar o desempenho energético, possibilitando a organização demonstrar a melhoria. Sempre documentados (com um banco de dados histórico), com variáveis relevantes que afetam significativamente o processo, uso e consumo de energia possuem normativa própria: a ABNT NBR ISO 50006 (ABNT, 2016).

Na norma específica (ABNT, 2016, p. 6) recomenda-se a adequação do indicador aos vários usuários dentro de uma organização, induzindo sua utilização, assim como identifica a possibilidade de vários níveis e focos, permitindo a fixação das fronteiras de cada um dos indicadores, conforme Quadro 5.

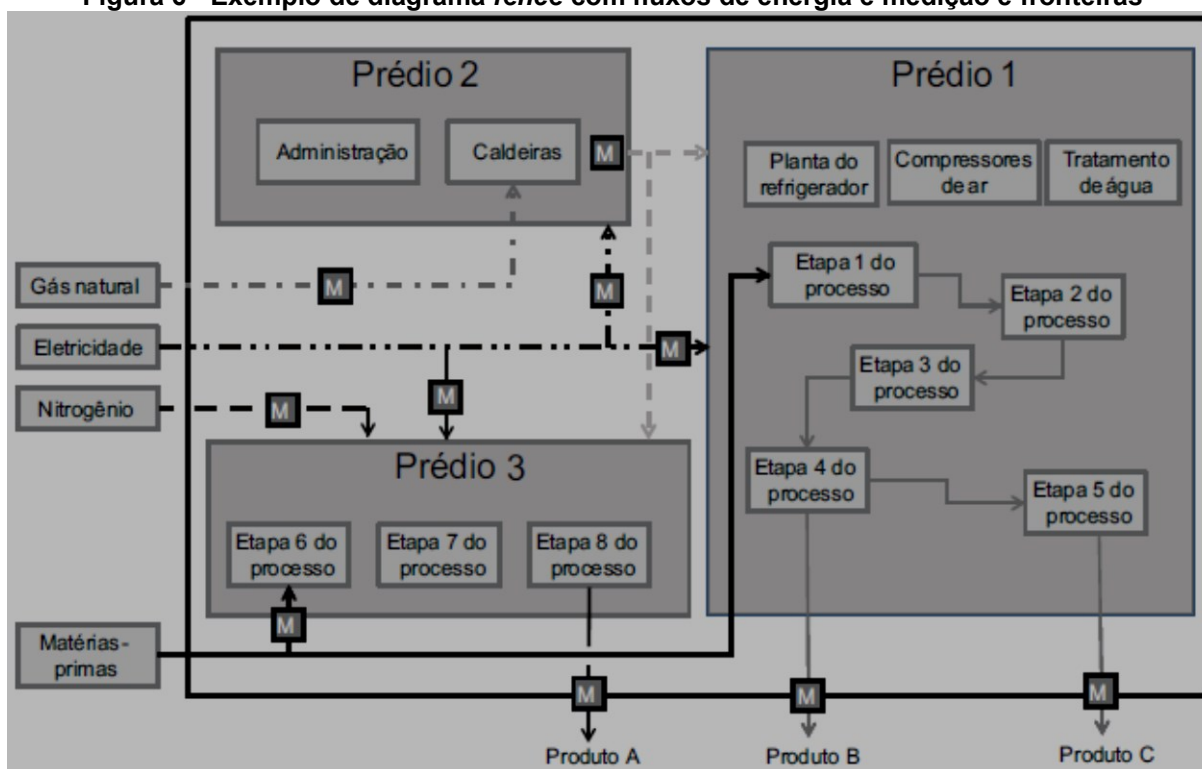
Quadro 5 - Os três níveis de fronteira do IDE na ABNT NBR ISO 50006

Nível da fronteira do IDE	Descrição e exemplos
Instalação/equipamento/ processo individual	A fronteira do IDE pode ser definida ao redor do perímetro físico de uma instalação/equipamento/processo que a organização desejar controlar e melhorar. Exemplo: Um equipamento produtor de vapor.
Sistema	A fronteira do IDE pode ser definida ao redor do perímetro físico de um grupo de instalações/processos/equipamentos que interagem entre si que a organização desejar controlar e melhorar Exemplo: O equipamento produtor de vapor e utilizador de vapor, como um secador.
Organizacional	A fronteira do IDE pode ser definida ao redor do perímetro físico de um grupo de instalações/processos/equipamentos levando em conta também a responsabilidade no gerenciamento de energia de indivíduos, times, grupos ou unidades de negócio designados pela organização Exemplo: O vapor comprado para uma fábrica(s) ou departamento da organização.

Fonte: ABNT (2016, p 7)

Após sua identificação deve-se representar as fronteiras, por exemplo com diagramas *fence* (Figura 6) ou mapas de energia para sua visualização, incluindo pontos de medição e outras informações importantes para cada energético.

Figura 6 - Exemplo de diagrama *fence* com fluxos de energia e medição e fronteiras



Legenda: M - medição

Fonte: ABNT (2016, p. 8)

A etapa seguinte é determinar as variáveis relevantes para os fluxos e desempenhos energético, vinculando variáveis para cada insumo energético, processo, sistema e organização. Utilização de processos estatísticos é adequada para avaliar a dependência e significância de variáveis, devendo-se investigar se as variáveis são medidas na planta industrial.

Definir e quantificar fatores estáticos para os IDE, que são as grandezas que ordinariamente não mudam, apesar de relevantes, podendo ser revisitados se houver alteração (incremento de capacidade de equipamentos, mudança de mistura).

Após estas determinações realiza-se a reunião de dados. A coleta, em sua primeira etapa, refere-se tanto aos IDE como LBE. Este momento serve também para registrar ausência de dados medidos detalhados dos fornecedores de energia, ausência de dados sobre variáveis relevantes, dados em formato incompatível, ausência de dados para usos energéticos específicos. Esta é uma etapa importante para identificar e justificar necessidades de novos medidores. (p. 11)

A medição pode ter várias estratégias, desde locais até centralizadas e automatizadas. A seleção da frequência de coleta é importante, deve ser coerente com suas finalidades, inclusive se o mesmo equipamento é utilizado para o processo.

Outra questão importante vinculada aos dados é a garantia da qualidade de dados, os quais deverão ter mecanismos para identificação e análise de *outliers*, um processo mais complexo de análise.

A construção de Linhas de Base Energéticas (LBE) é importante para representar quantitativamente, em um determinado período, a realidade energética possibilitando a comparação com períodos subsequentes. Usualmente pode ter uma LBE referente a instalação ou várias, dependendo das fragmentações visualizadas como importantes para a organização.

A LBE também fornece sensibilidade para analisar fatores estáticos e, presenciando-se alguma alteração não prevista, possibilita revisões, as quais poderão ser determinadas em função das alterações ou mesmo em uma ação rotineira apontada pela organização e, em especial, pelo SGE.

Na ABNT NBR ISSO 50006 há uma descrição melhor sobre a constituição da LBE, caracterizando-a preliminarmente por ser um valor do IDE em um período base, o que por si já permite uma comparação. Fixa ainda os seguintes passos para a construção da LBE (p. 18):

- determinar o propósito específico em que a LBE será utilizada;
- determinar um período de dados adequado;
- coleta de dados;
- calcular e testar a LBE.

Quanto ao propósito a especificação de cada LBE pode ter uma razão, auxiliando desde a alta direção até público externo¹⁰ a compreender a realidade energética de uma organização.

A periodicidade de uma LBE também é fator importante, vez que determinar períodos de base e períodos de reporte errado poderão não demonstrar as variações na operação decorrentes de sazonalidades, assim como outras variáveis importantes como questões climáticas, flutuação do mercado, entre outros. É usual a utilização de períodos de 12 meses em virtude do ano fiscal.

Há casos em que os períodos podem ser muito mais longos que um ano (por exemplo na instalação de uma nova fábrica, construções, que necessitam de dados

¹⁰ Neste ponto é interessante para o público externo o conhecimento de variáveis que possam demonstrar o quanto a organização é mais eficiente que outras do setor, mas também com relação ao que provoca no entorno, como por exemplo ao fixar utilização de comunidades sustentáveis para auxiliar a comunidade local reconhecer os esforços daquela organização para com as populações próximas à instalação. (VER ABNT NBR ISO 37120)

de décadas), ou mesmo quando não são disponibilizados dados, existindo a possibilidade de simular, estimar ou calcular o consumo¹¹. Outras vezes em ciclos curtos é possível estabelecer uma métrica para a utilização de equipamentos.

A coleta de dados, cálculo e teste da LBE pode envolver um período específicos com vistas a confirmar as escolhas e, sendo modelo, poderá utilizar-se de testes estatísticos para sua validação, como as ferramentas Valor-P, Teste-F ou o coeficiente de determinação, desta forma verifica-se se o modelo estatístico é o indicado para os dados apresentados.

Devem ser constituídos planos de ação pelo SGE com base na revisão energética e sua análise crítica, fazendo parte do planejamento energético o direcionamento dos planos para cada risco e oportunidade anteriormente levantado. A documentação de cada plano de ação deverá ser suficiente para a seleção caso existam mais planos que a disponibilidade econômica, de mão-de-obra ou mesmo em decorrência da complexidade de sua execução. Fixa-se na norma a necessidade de se estabelecer o que será feito, quais os recursos necessários, quem é responsável, quando estará concluído e qual método será utilizado para realizar a medição energética¹².

Após o planejamento ingressa-se no Fazer (DO) do ciclo PDCA e é necessário implementar os planos de ação selecionados, estabelecidos e documentados, cabendo a cada responsável a sua realização, assim como a equipe do SGE o acompanhamento dele. Interessante, dependendo da complexidade e do plano, constituir-se como uma ação sinérgica ou interdependente, definindo-se qual parte do escopo do plano será avaliado pelo SGE.

O controle de operação e manutenção vinculado aos planos de ação deve ser estabelecido, distribuindo-se as tarefas relativas à comissionamento e treinamento, assim como adequação da equipe com relação as melhorias esperadas. As duas áreas são importantes para o monitoramento da melhoria energética, assim, importante deixar claro quais serão os parâmetros vinculados aos IDE são necessários para cada plano de ação e quem ficará responsável.

¹¹ Como ocorre na ACV, são projeções.

¹² Apesar da norma não indicar a dinâmica é semelhante ao método 5W2H (What, Why, Who, Where, When, How, How Much), sugerindo-se sua utilização. "O que deve ser feito? (a ação, em si); por que esta ação deve ser realizada? (o objetivo); quem deve realizar a ação? (os responsáveis); onde a ação deve ser executada? (a localização); quando a ação deve ser realizada? (tempo ou condição); como deve ser realizada a ação? (modo, meios, método etc.); quanto será o custo da ação a realizar? (custo, duração, intensidade, profundidade, nível de detalhamento, etc.)". (<https://uvagpclass.wordpress.com/2017/03/30/simplifique-sua-gestao-de-processos-com-a-metodologia-5w2h/>)

A comunicação é outro elemento do SGE importante para o sucesso dos planos de ação, iniciando-se pela adequação da comunicação ao público pretendido, preocupando-se em efetivar os planos de ação, comunicando resultados (parciais ou totais) de projetos e dos próprios IDE e LBE. A comunicação assertiva em cada etapa dos planos de ação com os responsáveis pelas tarefas deverá integrar também as atribuições do SGE, podendo ser compartilhada com outros setores responsáveis pela sua implantação.

Ao selecionar responsáveis para cada etapa de implementação da ação de melhoria é necessário garantir a competência de quem é responsável ou providenciá-la através de capacitação, inclusive com relação as etapas seguintes, vinculadas aos indicadores e a mensuração do desempenho da melhoria energética proposta.

Fator imprescindível é garantir o desempenho energético em novos projetos e aquisições, além daqueles previstas no plano de ação, é o envolvimento do SGE em todos os projetos e aquisições, já que poderão impactar (positiva ou negativamente) no desempenho energético, alterar a dinâmica de sinergias de equipamentos e processos, além de possibilitar o desenvolvimento de clientes externo e cadeias de fornecimento externas na busca das metas energéticas da organização.

Na etapa checar (CHECK) do ciclo PDCA, fixadas USE, IDE e LBE, com as respectivas estratégias de medição, planejadas e implementadas (inclusive equipamentos e responsáveis), estabelece-se o processo de monitoramento e medição do desempenho energético, realizando sua avaliação, a qual deverá contar com os setores de operação e manutenção envolvidos no plano de ação, assim como os responsáveis do SGE para o acompanhamento cada projeto implementado.

O monitoramento e a medição são imprescindíveis para pontuar desvios e verificar o atingimento de metas e objetivos relativos a cada melhoria planejada e quantificada.

Após monitorar e medir o desempenho energético deve-se realizar a análise, avaliação e auditoria do desempenho energético, do plano de ação e do próprio SGE, constituindo uma etapa importante para que efetivamente se implemente um processo de melhoria contínua, já que possibilitará a manutenção, revisão e melhoria dos procedimentos.

Após o SGE realizar suas análises estes dados passam pela avaliação da diretoria, já que o SGE está localizado em um nível tático, diferente da alta direção que notadamente trabalha em um nível estratégico, especialmente por ser

responsável pela seleção de investimentos, usualmente com base nos resultados e demonstrativos não só do SGE, mas de outros setores da organização.

A última etapa do PDCA é o Agir (ACT) momento em que o SGE desenvolve ações relativas a não conformidades, estabelecendo-se de forma documentada e segundo estratégias planejadas na primeira etapa do PDCA.

Outro ponto a ser desenvolvido neste momento é a seleção de melhorias de desempenho para o próximo ciclo de PDCA, que poderá ser anual ou mais dependendo do tipo de planos de ação existentes, entretanto, conforme já registrado, os planos usualmente são anuais e acompanham o ano fiscal da organização.

Após este último momento o ciclo PDCA deve ser repetido, realizando-se novas avaliações (usualmente cada vez mais fica naturais e diretas), com seleção de novos planos de ação.

2.1.1.2 Fontes Úteis para Elaboração do Planejamento Energético

2.1.1.2.1 *Plano Decenal de Expansão de Energia*

O planejamento energético estatal deve se constituir como uma fonte para qualquer planejamento energético realizado por uma empresa energo-intensiva no Brasil. Com diversos horizontes temporais (curto, médio e longo prazo) o planejamento energético é vinculativo para o setor público e indicativo para o setor privado, direcionador das políticas públicas e de eventuais incentivos ou restrições.

A EPE e o MME são responsáveis pelo planejamento estatal brasileiro o documento mais apropriado para um SGE, em vista do horizonte temporal de curto e médio prazo e sua revisão anual são os Plano Decenais de Expansão de Energia (PDE), adequados ao ciclo PDCA (normalmente anual) e aderentes ao planejamento de qualquer empresa.

O último documento com consulta pública encerrada apresentado no Brasil é Plano Decenal de Expansão de Energia PDE 2030 MME e EPE (2021), estando o PDE 2031 disponível para consulta pública (MME e EPE, 2022).

Tradicionalmente o PDE realiza uma análise da demanda baseada em premissas econômicas e demográficas, posteriormente analisando a demanda energética, seguindo com a geração e transmissão elétrica, produção de petróleo e gás natural, abastecimento de derivados, gás natural, biocombustíveis, eficiência

energética e recursos energéticos distribuídos, análise socioambiental e consolidação de resultados. No (2022 – 2031) indicados insere um capítulo específico para o hidrogênio. O PDE 2031 (MME e EPE, 2022), neste momento, contribui com pontos de atenção sobre os temas elencados no Quadro 6.

Quadro 6 - Temas elencados no PDE 2031 que podem contribuir no planejamento energético

Categorias	Temas
Tecnologias candidatas para cenário de referência	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) • Usinas fotovoltaicas flutuantes • Resposta da demanda • Ampliação e modernização de hidrelétricas
Energia Elétrica	<ul style="list-style-type: none"> • Protagonismo do Ambiente de Contratação Livre (ACL) • Recursos Energéticos Distribuídos (RED) com aumento da autoprodução, micro e minigeração • Inserção das baterias atrás do medidor (armazenamento de energia)
Petróleo e Derivados	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de novas refinarias (foco gasolina, gás liquefeito do petróleo)
Gás Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Nova lei do Gás e Novo Mercado do Gás • Novas Unidades de Produção de Gás Natural (UPGN), terminais e gasodutos (de transporte e escoamento)
Biocombustíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Política Nacional dos Biocombustíveis (Renovabio) e medidas como • Programa Combustível para o Futuro • Regulamentação do biodiesel • Inserção do Bioquerosene de aviação (BioQAV) • Combustíveis alternativos para uso marítimo (alguns são utilizados em indústria também)
Questões socioambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Aproveitamento energético de resíduo • Otimização de recursos e infraestrutura • Mecanismos de sustentabilidade para projetos energéticos • Precificação do carbono • Mecanismos financeiros e tecnológicos para captura e armazenamento do carbono • Alinhamento com as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) do acordo de Paris • Alinhamento com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)
Tecnologias disruptivas	<ul style="list-style-type: none"> • Fomento na produção e armazenamento de hidrogênio, especialmente de baixo carbono • Estímulos para uso de hidrogênio nos setores industrial e de transporte

Fonte: adaptado de MME e EPE (2022)

Importante registrar a existência de plano de longo prazo no Brasil, intitulado Plano Nacional de Energia (PNE), os quais podem ser considerados para planos plurianuais ou para indústria energo-intensiva que possua planejamentos estratégicos de longo prazo.

2.1.1.2.2 Programas de Eficiência Energética

A eficiência energética no Brasil tem forte atuação no setor de energia elétrica, um dos insumos energéticos de parte das indústrias energo-intensivas, através de programas de eficiência energética. A ANEEL em vista da Lei nº 9.991 do BRASIL (2000) e suas alterações, a mais recente a Lei nº 13.280 do BRASIL (2016), que regulamenta a necessidade de aplicar recursos proporcionais a receita operacional líquida (ROL) pelas concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição e transmissão de energia elétrica e as concessionárias de geração e empresas autorizadas à produção independente de energia elétrica nos programas de eficiência energética e de pesquisa e desenvolvimento do setor.

Em vista disto é criado o programa de eficiência energética da ANEEL, regulado pelos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) da ANEEL (2018), documento que estabelece critérios para estimular a eficiência energética em vários setores, inclusive na indústria energo-intensiva. A utilização do PROPEE como fonte auxiliar para o planejamento energético no SGE permite também sua utilização em etapas posteriores como o Fazer e Checar, contemplando quase todas as etapas do ciclo PDCA, já que traz indicadores, necessidades de medições e a possibilidade de implantação de projetos de soluções energéticas.

No módulo 4 – Tipologias de Projeto – do PROPEE a ANEEL (2018b, p. 27-43) indica ações de eficiência energética, as quais constituem outra fonte útil para direcionar o planejamento energético no SGE, conforme apresentando no Quadro 7:

Quadro 7 - Temas elencados no PROPEE da ANEEL que podem contribuir no planejamento energético

Categorias	Temas
Melhoria nas Instalações	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminação • Condicionamento Ambiental • Sistemas Motrizes • Sistemas de Refrigeração
Outras melhorias	<ul style="list-style-type: none"> • Aquecimento solar de água • Gestão energética • Geração de energia elétrica com fontes incentivadas • Bônus para equipamentos eficientes

Fonte: adaptado de ANEEL (2018b, p. 27-43)

O foco nestas ações de melhoria de eficiência energética e o conhecimento de que tais medidas poderão, inclusive, após uma classificação, receber estímulos

econômicos para sua execução devem servir de estímulo para que a equipe do SGE tenha como meta o estudo do PROPEE e, também, dos editais de concessionárias da região de seus empreendimentos (atuais ou futuros).

Na sequência no módulo 4 – Tipologias de Projeto da ANEEL (2018b, p. 44-46) ainda prevê outros tipos de ações: Treinamento e capacitação; e Descarte de equipamentos.

Neste ponto, interessante notar que aspectos organizacionais e de processo tem um interesse pela ANEEL, além da questão contábil, mas também àquela vinculada aos resíduos sólidos e ao Programa Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), prevendo a ANEEL (2018b, p. 46, grifo nosso):

- 4.3.1 Todos os equipamentos retirados de operação deverão ser descartados e seus resíduos **destinados e dispostos em cumprimento à legislação ambiental vigente.**
- 4.3.2 De acordo com a Lei nº 12.305/2010 e o Decreto nº 9.177/2017, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a estruturar e implementar **sistemas de logística reversa**, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor. Portanto, nos projetos de eficiência energética executados no âmbito do PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, a distribuidora deverá **comprovar o descarte** dos equipamentos ineficientes trocados **por meio de contratos/acordos** firmados diretamente com **empresas especializadas em descarte ou com os responsáveis pela recepção dos equipamentos substituídos**, sejam eles fabricantes, comerciantes, importadores ou distribuidores dos produtos que deverão, de acordo com o comando legal, **realizar a logística reversa correta desses equipamentos.**

A preocupação legal com relação a questão ambiental vinculada ao resíduo e a formalização deste tratamento provoca melhorias nas AICV, reafirmando a necessidade de descarte adequado conforme legislação apontada¹³.

A medição também é ponto importante para os PEE, e conforme visto, também etapa fundamental de um SGE, já que uma auditoria energética realizada adequadamente poderá trazer grandes ganhos a qualquer indústria energo-intensiva. No Módulo 8 – Medição e Verificação de Resultados da ANEEL (2018c, p. 5) indica-se a utilização do Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP) da Efficiency Valuation Organization/ ABESCO (2012).

¹³ No Capítulo III do Decreto nº 7.404 do BRASIL (2010) prevê em seu artigo 13 que “A logística reversa é o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada”, mesmo texto apresentado artigo 3º, XIII da Lei nº 12.305 do BRASIL (2001). Ainda, é importante frisar que existe no Decreto nº 9177 do BRASIL (2017) regulamentação específica com relação a logística reversa.

2.1.2 Planejamento Energético na Indústria Energo-Intensiva

2.1.2.1 Informações Metodológicas da Revisão

Com vistas a identificar o que a sociedade tem pesquisado com relação a SGE em indústrias energo-intensivas foi realizado o levantamento com termos específicos (Energy-intensive Industr* e EnMS – sigla de SGE em inglês) nas bases utilizadas na tese, encontrando-se 28 artigos específicos com estas terminologias, um dos quais é repetição do outro (identificação distinta na mesma revista), nos mesmos termos da pesquisa efetivada no item 1.4.2 Ineditismo (p. 34), ou seja, o assunto deve ter o termo relativo ao SGE desejado, ou seja EnMS, enquanto foi possibilitado ao termo Energy-intensive Industr* a presença em qualquer parte do texto (com a expressão exata).

2.1.2.1.1 *Caracterização dos Artigos*

Os 28 artigos selecionados estão distribuídos em 18 veículos de comunicação distintos, conforme o Quadro 8, das quais duas referem-se a órgãos internacionais (IEA e OECD), entretanto somente 21 artigos estão efetivamente disponíveis para análise, para os quais será realizado levantamento dos temas primordialmente tratados e os direcionamentos de pesquisa, posteriormente comparando-os ao estudo de Silva (2018, p. 46), o qual realizou uma pesquisa extensa apresentando um recorte específico para engenharia organizacional e interoperabilidade, focando-se nas barreiras para implementação dos SGE na indústria energo-intensiva.

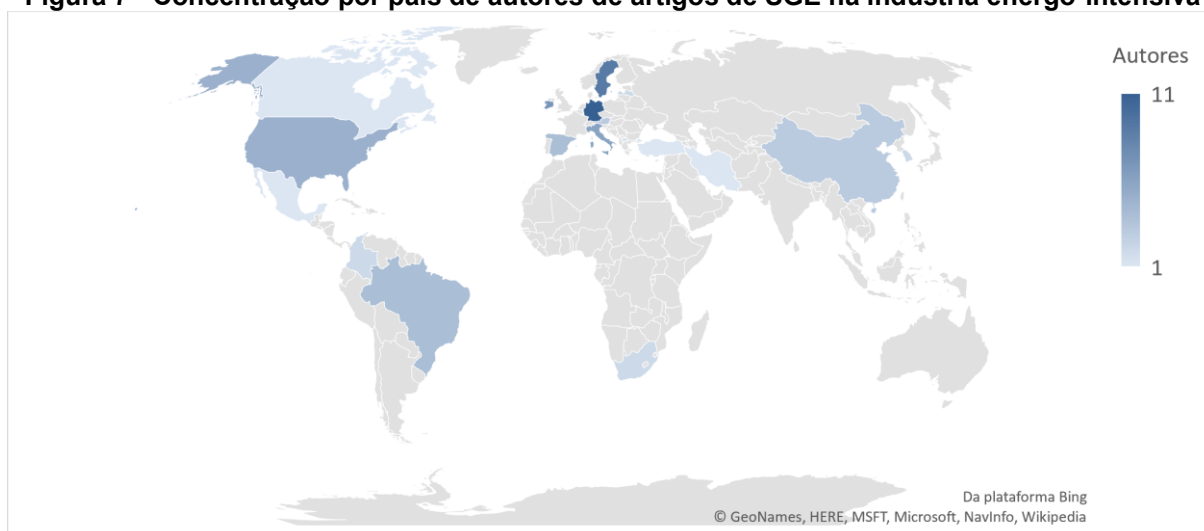
Os autores presentes em mais de uma publicação são Thollander, Patrick (4x), seguidos pelos que escreveram em dois artigos: Coakley, Daniel; Contreras, Sergio; Finnerty, Noel; Keane, Marcus M.; Ottosson, Mikael; Stenqvist, Christian; Sterling, Raymond. Assim tem-se um autor que tem publicado na área, sendo pesquisador reconhecido no setor (Thollander) e 7 outros pesquisadores que apresentaram suas publicações em duas ocasiões, por vezes inclusive revisões de publicações anteriores.

Quadro 8 - Publicações sobre SGE em indústria energia-intensiva no portal Periódicos da Capes

Revista	Artigos	Ano	Autores
Brazilian Archives of Biology and Technology	1	2018	Gonçalves Rebelo Da Silva, Vilson Roiz; Gouvêa Da Costa, Sergio Eduardo; Pinheiro de Lima, Edson; Rocha Loures, Eduardo de Freitas
Chemical Engineering & Processing: Process Intensification	1	2013	Busch, J; Dietrich, W; Drumm, C; Eickmans, J; Jupke, A
E3S Web of Conferences	1	2018	Apriyanti, Dwi; Shrestha, Sanjaya
Energética	1	2014	Bernardo Rojas Rodriguez, David; Prías, Omar
Energies	2	2017 2018	Allur, Erlantz; Larrea, Ainara; Laskurain, Iker; Rafiee, Majid; Sa, Aida; Thollander, Patrik
Energy Conversion and Management	1	2015	Lin, Boqiang; Xie, Xuan
Energy Efficiency	2	2012 2015	Nilsson, Lars; Stenqvist, Christian
Energy Engineering	1	2015	Natarajan, K
Energy Policy	1	2017	Aghajanzadeh, Arian; Allard, Fabian; Björkman, Thomas; Fossa, Alberto; Hirzel, Simon; Hürdoğan, Ertaç; Lazarevska, Ana M; Matteini, Marco; Mckane, Aimee; O'Sullivan, John; Prem, Richard; Rao, Prakash; Schreck, Bettina; Scodel, Anna; Steyn, Karel; Therkelsen, Peter; Villegal Alcántar, Noé; Zhang, Ruiqin
Energy	3	2017(2x) 2018	Coakley, Daniel; Coffey, Ronan; Contreras, Sergio; Finnerty, Noel; Keane, Marcus M; Min, Daiki; Moon, Hana; Sterling, Raymond
IEA Energy Papers	1	2012	Goldberg, Amelie; Renaud, Julia
Journal of Cleaner Production	5	2014 2016(3x) 2017	Benedetti, Miriam; Biagiotti, Sonia; Böttcher, Christian; Cesarotti, Vittorio; Introna, Vito; Müller, Martin; Nehler, Henrik; Ottosson, Mikael; Parker, Thomas; Peck, Philip; Prashar, Anupama; Rotunno, Raffaele; Schulze, Mike; Thollander, Patrik
Management of Environmental Quality: An International Journal	1	2012	Ozoli, Ga; Ros, Marika
Mathematical Problems in Engineering	1	2016	Dong-Mei, Yao; Ke-Feng, Wang; Wang, Dong; Xin-Hua, Qian; Zhang, Xin; Zou, Tao
OECD Environmental Performance Reviews	1	2019	Anonymous
Renewable and Sustainable Energy Reviews	2	2015 2017	Cagno, Enrico; Ottosson, Mikael; Paramonova, Svetlana; Sa, Aida; Thollander, Patrik (4x)
South African Journal of Science	2	2015(2x)	Du Plessis, Willemien (2x)
Water-Energy Nexus	1	2018	Grischek, Thomas; Voltz, Thomas

Fonte: O Autor (2019)

As publicações possuem concentração maior, na Suécia, Alemanha e Irlanda, entretanto com relação a autores, conforme Figura 7, esta ordem se inverte, ficando a Alemanha, Suécia, Irlanda, Itália, Estados Unidos, Brasil, Espanha, China, Áustria. Autores com mais artigos encontra-se na Irlanda, Suécia e África do Sul.

Figura 7 - Concentração por país de autores de artigos de SGE na indústria energo-intensiva

Fonte: O Autor (2019)

Outro ponto importante foi a identificação da indústria, do setor das indústrias energo-intensivas; 12 artigos tratam de indústrias ou instalações, entretanto as contribuições pertinentes dos artigos selecionados que não estão explicitamente tratando deste tipo de indústria possibilitam considerar estas contribuições.

Quadro 9 - Artigos selecionados sobre SGE vinculados à indústria energo-intensiva

Autor	Citações	Objetivo	Indústria
Böttcher e Müller (2016)	42	Avaliação de desempenho econômico e ambiental de um de um SGE	Automotiva
Drumm et al. (2013)	38	Apresenta um SGE que avalia Eficiência Energética e Gases de Efeito Estufa	Química
Lin e Xie (2015)	21	Estimar o potencial de conservação de energia aplicando modelo de co-integração	Refino de Petróleo
Moon; Min (2017)	0	Abordagem DEA para análise da eficiência de políticas em empresas energo-intensivas na Coreia	indústria energo-intensiva
Paramonova et al. (2015)	32	Análise de Programa de Eficiência Energética vinculado à indústria da Suécia	Eletricidade
Peck e Parker (2016)	9	Projeto de uma grande instalação científica energo-intensiva	Centro de Pesquisa
Sa et al. (2017)	19	mapear os fatores determinantes adoção SGE e seus impactos	indústria energo-intensiva
Sa et al. (2018)	2	Investiga critérios de decisão	indústria energo-intensiva
Silva et al. (2018)	0	Projeto e modelagem SGE	indústria energo-intensiva
Stenqvist (2015)	23	Análise da eficiência de Eficiência Energética desagregada	Papel e Celulose
Stenqvist e Nilsson (2012)	104	Análise de Programa de Eficiência Energética voluntária em indústrias da Suécia	Eletricidade
Voltz e Grischek (2018)	1	Análise comparativa da eficiência de SGE EUA x Alemanha	Saneamento

Fonte: O Autor (2022)

Após o levantamento, realizou-se a leitura de cada artigo para identificar contribuições para a tese: a aplicação da técnica de planejamento energético, otimização da seleção e eventuais contribuições relacionadas a ACV.

2.1.2.2 Contribuições e Limitações

As contribuições e limitações do recorte bibliográfico realizado nas indústria energo-intensiva em SGE são matizados em alguns tópicos buscando-se identificar elementos que realmente possam contribuir com a presente tese, vinculados ao SGE e às conexões com a ACV. Quanto ao SGE, também estão divididos em dois momentos: preparação e algumas etapas do PDCA.

2.1.2.2.1 *Revisão Bibliográfica*

Schulze et al. (2016, p.3693-3696) apresenta uma revisão bibliográfica relativa a gestão energética na indústria, abrangendo tanto SGE quanto PE, utilizando para tanto um *framework* originalmente aplicado na área médica por Tranfield et al. (2003, p.214-209) de revisão sistemática que consiste em localizar estudos existentes relevantes (base na questão de pesquisa), avaliar e sintetizar suas respectivas contribuições. A metodologia apresentada assemelha-se a utilizada em Lacerda et al. (2011, p.333-343), citada por Ruthes; Silva (2017, p.163-164) e Silva (2018, p.45-57), a qual buscou-se em parte utilizar para o presente e deverá ser utilizada na metodologia.

Finnerty et al. (2018, p.915-918) utiliza a técnica apontada por Tranfield et al. (2003, p.214-209) e Schulze et al. (2016, p.3693-3696) apresentando uma revisão muito interessante que abrange: (i) uma revisão das diretrizes e normas de política energética, (ii) uma análise das práticas de tomada de decisão, (iii) a influência dos benefícios não energéticos dos investimentos relacionados à energia e (iv) um estudo de seis organizações globais sustentáveis líderes para identificar as melhores práticas de gestão de energia. O foco em um SGE Global é, também, um diferencial.

Böttcher; Müller (2016, p.1452) ao realizar pesquisa sobre a avaliação da implantação de SGE com base na literatura de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA, citando a ISO 14001) e com foco na questão econômica, buscando uma correlação entre a parte econômica e ambiental na implantação de SGE, em vista da falta de

bibliografia opta por um *survey* tendo como base Forza (2002, p.156-157) trabalhando inicialmente com uma revisão sistemática da literatura para posteriormente apresentar questionários para a pesquisa.

Sa et al. (2018, p.2-3) estuda o SGE e os fatores de impacto na implementação de práticas de gestão de energia, com uma metodologia que mescla revisão da literatura (identifica parâmetros e pesos para tomada de decisão), questionário estruturado e entrevista (população de 15 empresas, amostra de 10 empresas energo-intensivas – cinco médias e cinco grandes) com o uso de escala Likert¹⁴ ampliada para 7 referente a três eixos: 1) estratégias e motivos ambientais das empresas para implementar práticas de eficiência energética; 2) avaliação de caso de uso da SGE (se existe requisitos do setor); e 3) apoio à tomada de decisão e comportamento de investimento. Além destes eixos foram apresentadas questões relacionadas ao nível de integração do SGE na empresa e o atingimento de suas metas. O resultado do estudo apresenta conclusões sobre os principais parâmetros a serem considerados, juntamente com a avaliação dos parâmetros de tomada de decisão, aumentando as opções para maximizar os aprimoramentos contínuos de eficiência energética no setor industrial.

A revisão bibliográfica apresenta contribuições para a preparação do SGE, algumas pertinentes a própria revisão e sua avaliação, conforme Quadro 10.

¹⁴ escala ampliada de 1 para 7. Para o primeiro eixo 1 = Discordo totalmente, 4 = Não concordo nem discordo e 7 = Concordo totalmente. Na segunda seção 1 = irrelevante, 4 = um pouco relevante e 7 = altamente relevante. Na terceira seção 1 = nem um pouco, 4 = moderadamente e 7 = grande extensão (p.3),

Quadro 10 - Contribuições para a preparação do SGE vinculados à revisão e avaliação bibliográfica

Tema	Autor	Contribuição
Revisão bibliográfica	Böttcher e Müller (2016, p. 1452)	Falta de referências unindo SGE e Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Realiza um <i>survey</i> . Base do <i>survey</i> é Forza (2002, p. 156-157).
	Du Plessis (2015, p. 26)	Revisão da literatura para identificar conexões entre lei, políticas públicas e implantação de SGE sem identificar técnicas. Cita o trabalho de Thopil; Pouris (2013) sobre diferenciação de preços de eletricidade por mercado.
	Finnerty et al. (2018, p. 915-918)	Base em Tranfield et al. (2003, p. 214-219). Acrescenta: 1) uma revisão das diretrizes e normas de política energética; 2) uma análise das práticas de tomada de decisão, 3) a influência dos benefícios não energéticos dos investimentos relativos à energia e 4) um estudo de seis organizações globais sustentáveis líderes para identificar as melhores práticas de gestão de energia.
	Schulze et al. (2016, p. 3693-3696)	Revisão sistemática: localizar estudos existentes relevantes, avaliar e sintetizar suas respectivas contribuições. Base em Tranfield et al. (2003, p. 214-219)
	Silva (2018, p. 45-57)	Revisão sistemática: semelhante a contribuição anterior. Base em Lacerda et al. (2011, p. 333-343), também citada por Ruthes; Silva (2017, p. 163-164)
Avaliação bibliográfica	Ozoliņa; Roša (2012, p. 518-520)	Avaliação de políticas públicas com base em Tanaka (2011, P. 6534-6535) mapeando e segmentando as políticas: 1) políticas de perspectiva (aspectos regulatórios, acordos negociados), 2) políticas econômicas (impostos sobre CO2 – emissões –, regime de capitalização e comércio de emissões) e 3) políticas de apoio (oportunidades para melhorias de eficiência energética, ferramentas para sua implementação)
	Schulze et al. (2016, p. 3697-3698)	Avaliação da revisão em categorias: 1) periódico, 2) ano de publicação, 3) metodologia, 4) foco geográfico, 5) porte da empresa, 6) setor industrial e foco da pesquisa.

Fonte: O Autor (2022)

No tema revisão bibliográfica a revisão sistemática é majoritária, utilizando a dinâmica proposta por Tranfield et al. (2003, p. 214-219) ou Lacerda et al. (2011, p. 333-343), direcionando para uma seleção de artigos identificando aderência através das bases, palavras-chave, título, resumo, conclusão e introdução para então realizar a leitura completa do artigo.

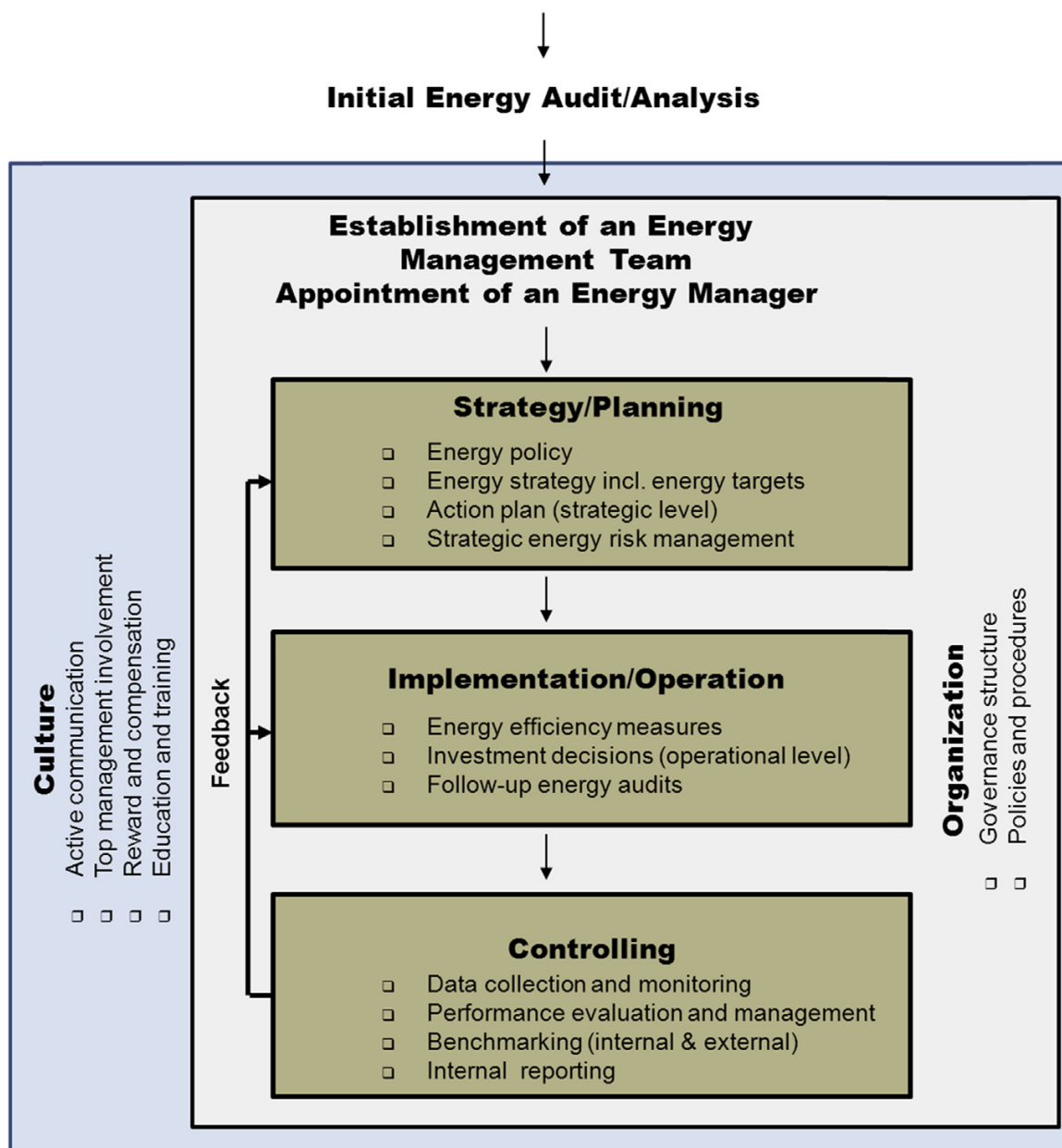
Outra contribuição importante é a consideração de revisão de diretrizes e normas de política energética de Finnerty et al. (2018, p. 915-918), a qual corrobora com a revisão documental proposta na tese, inclusive com a inserção das normas ABNT de SGE e ACV, além do PDE e PROPEE já apresentados.

A inclusão de *survey* é pertinente a tese já que a validação decorre de uma indústria energia-intensiva documentada, como Böttcher e Müller (2016) apresentam.

2.1.2.2.2 Modelos para Implementação do SGE

A divisão da revisão de literatura proposta por Schulze et al. (2016, p.3695-3696) em conceitos (1ª ordem), temas (2ª ordem) e dimensões (que agrega os temas) identifica pontos importantes para a presente pesquisa. As dimensões tratadas são: Estratégia/Planejamento, Implementação/Operacionalização, Controle, Organização, Cultura. Com base nestas dimensões e conceitos o trabalho propõe um framework muito útil para a tese, a qual inclusive é consistente com a visão organizacional proposta em Silva (2018).

Figura 8 - *Framework* de Gestão Energética Integrativa de Schulze et al. (2016)s
Strategic Management Decision

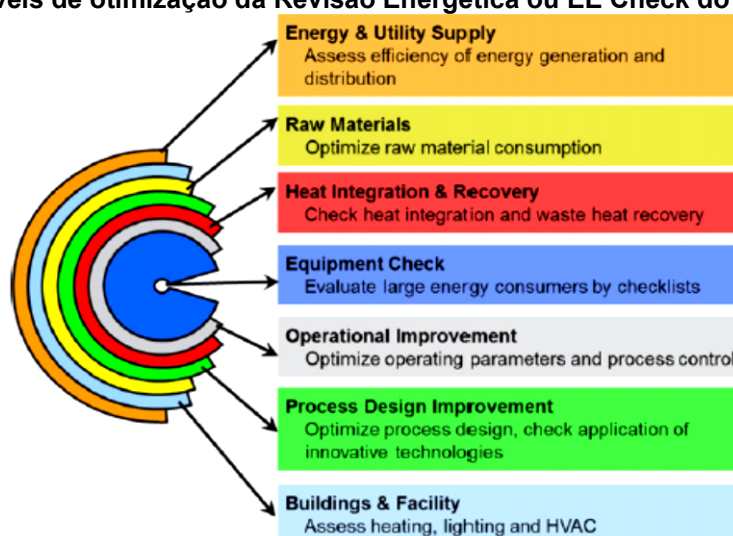


Fonte: Schulze et al. (2016, p.3703)

Apesar do SGE ser uma gestão com fluxo de melhoria contínua, utilizando um ciclo PDCA, o framework de Schulze et al. (2016, p.3703-3704) facilita a compreensão de outras dimensões (organização e cultura). Ademais, explicita a ideia inicial de gestão de decisões estratégicas, realizada pela alta gestão de uma empresa, vinculando-a com uma auditoria e análise energética inicial, para a elaboração do SGE, seguindo a Estratégia/Planejamento e a Implementação/Operacionalização que indica soluções com dados suficientes para apoiar as decisões de investimento.

Drumm et al. (2013) apresenta um SGE desenvolvido pela Bayer voltado à redução de GEE baseado em CO₂ denominado *Structured Efficiency System for Energy* (STRUCTese®). Realizado com base na ISO 50001 e DIN EM 16001 possui como diferencial não trabalhar somente com o monitoramento do consumo de energia, o que normalmente era encontrado no mercado em 2012, inclui, além da medição direta, rastreamento, *benchmarking* e definição de metas de eficiência energética em todo o ciclo energético. O sistema fragmenta-se em uma revisão energética, denominada *Energy Efficiency Check* (EE Check) e *Energy Efficiency Management*. Um dos elementos diferenciais é que a revisão energética já realiza uma “Revisão Climática” denominada *Bayer Climate Check*, baseada em uma ACV (p.101).

Figura 9 - Níveis de otimização da Revisão Energética ou EE Check do STRUCTese®



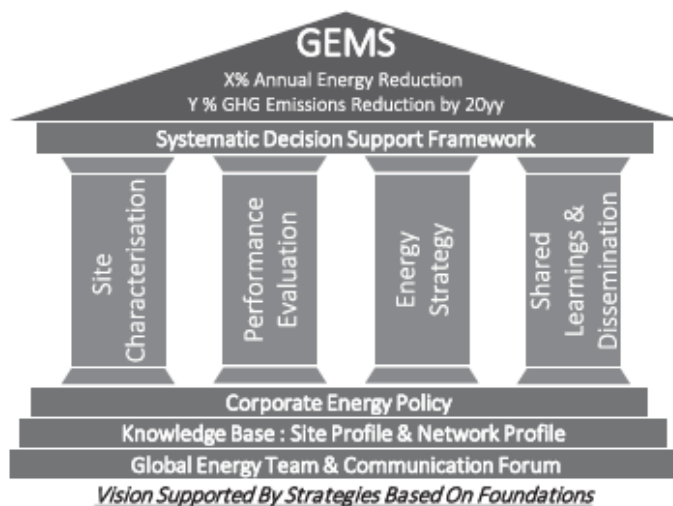
Fonte: Drumm et al. (2013, p.102)

O design STRUCTese® avalia desde a conversão primária de energia e a revisão energética com níveis de otimização (Figura 9) até as perdas energéticas em cascata (estáticas e dinâmicas) com o monitoramento *on-line*, protocolo diário energético (compara a operação e monitoramento com as melhores práticas realizadas), indicadores de performance com vistas a avaliar, de forma cada vez mais completa processos híbridos presentes nas plantas.

Finnerty et al. (2017, p.19-24) ao apresentar o desenvolvimento sistemático e a implementação de um sistema de gestão de energia global, *Global Energy Management System* (GEMS), que utiliza um quadro de apoio a decisão sistemático (*Decision Support Framework* - DSF) que tem fundamentos como fundamentos: a) Equipe global de SGE e fórum de comunicação; b) Base de conhecimento em nível local e global; e c) Política Energética Corporativa. Além disto apresenta 4 pilares

estratégicos, que são: 1) Caracterização do Local; 2) Avaliação de Desempenho; 3) Estratégia Energética; e 4) Aprendizagem e disseminação compartilhadas. Pode-se visualizar o DSF na Figura 10.

Figura 10 - Framework do GEMS



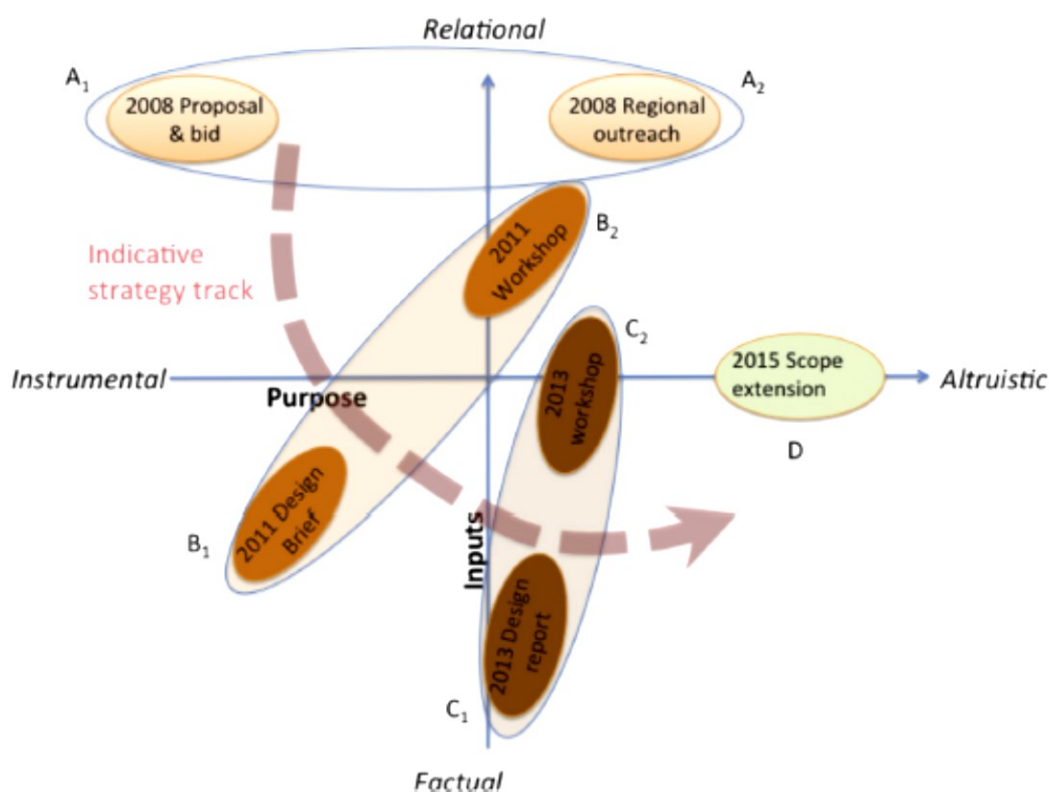
Fonte: Finnerty et al. (2017, p.20)

Para implementar o DSF do GEMS é necessário realizar avaliação quantitativa (desempenho com novos indicadores e *benchmarking*) e caracterização qualitativa (modelos de maturidade de Gestão de Energia, como o EMMM).

Peck; Parker (2016) explana como foi realizado o conceito de energia sustentável do *European Spallation Source* (ESS), um grande centro de pesquisa instalado em Lund, na Suécia, o qual é projetado como uma mescla de conceitos de sustentabilidade, normas e estratégias energéticas os quais evoluem durante o projeto, por isto coevolução.

A coevolução é mapeada no framework analítico de decisões que estabelece um plano em que o eixo vertical tem entradas de projeto e o horizontal tem propósito do projeto. No eixo vertical de entradas, que vão do extremo relacional (relacionamento das que partes interessadas tem influência dominante sobre os projetos) ao extremo factual (os projetos são direcionados por evidências científicas, observáveis e mensuráveis). No eixo horizontal os propósitos do projeto migram do extremo altruísta (o propósito do ESS é altruísta) e o extremo instrumental (o propósito da organização é atender aos donos).

Figura 11 - evolução do projeto ESS



Fonte: Peck; Parker (2016, p.149)

A sistemática de evolução do projeto, presentes na Figura 11, identifica-se desde a proposta inicial até projeto básico e executivo os direcionamentos do projeto. Esta métrica possibilita a construção de uma elemento auxiliar para a definição das políticas energéticas de qualquer empreendimento, especialmente muitos interesses estiverem envolvidos (por exemplo de setores distintos do negócio que podem demandar de uma mesmo energético e tentar priorizá-lo).

Rojas; Prías (2014, p.56-58) realizam um estudo de ferramentas baseadas nos princípios *Lean* para implementação e manutenção de um SGE, apresentando na Figura 12 que podem auxiliar a implementação de cada ciclo do PDCA.

Figura 12 - Ferramentas Lean por parte do ciclo PDCA do SGE

PHVA	Requisitos norma ISO 50001	Herramientas para mejora energética basadas en Lean			Herramientas tradicionales de Lean Manufacturing			Herramientas basadas en Lean desarrolladas para áreas distintas a la energética		
Planear	4.1 Requisitos Generales									
	4.2 Responsabilidad de la Dirección									
	4.3 Política energética									
	4.4 Planificación Energética									
	4.4.1 Generalidades									
	4.4.2 Requisitos legales y otros requisitos									
	4.4.3 Revisión energética	1	2	3						
4.4.4 Línea de base energética	5	6	7							
4.4.5 Indicadores de desempeño energético	5	6	7							
Hacer	4.5 Implementación y Operación									
	4.5.2 Competencia, formación y toma de conciencia	4								
	4.5.3 Comunicación									
	4.5.4 Documentación									
	4.5.5 Control Operacional					12			8	9
	4.5.6 Diseño									
	4.5.7 Adquisición de servicios, productos, equipos.									
Verificar	4.6 Verificación									
	4.6.1 Seguimiento, medición y análisis							10	11	
	4.6.2 Requisitos legales									
	4.6.3 Auditoría Interna del SGE									
	4.6.4 No conformidades									
4.6.5 Control de registros										
Actuar	4.7 Revisión por la dirección					13	14			

Fonte: Rojas; Prías (2014, p.57)

Os autores apresentam três famílias de ferramentas *Lean* : tradicionais Lean (utilizadas como indicadores, para controle operacional ou revisão pela direção), ferramentas de melhoria energética baseada em *Lean* (Revisão Energética, Linha de Base Energética e Indicadores de Desempenho Energético, além de Parte da Implementação e operação relativa a competência, formação e tomada de decisão) e ferramentas usadas em *Lean* de outras áreas (Controle operacional e Verificação, relativo a monitoramento, medição e análise).

Silva et al. (2018) apresenta projeto e modelagem de SGE em indústrias energo-intensivas com uma abordagem de engenharia organizacional (corporativa) com base em *Business Process Management* (BPM)¹⁵ e o *Plan, Do, Check, Act* (PDCA), o processo de melhoria contínua adotado pela norma ISO 50001. A metodologia utilizada é “básica, experimental, qualitativa e orientada de acordo com o ciclo de desenvolvimento do BPM”. Neste trabalho aponta para uma série de problemas internos e externos, delineando as dificuldades de implantação dos SGE em decorrência da cultura organizacional e da falta de envolvimento dos colaboradores, dificultando a sinergia necessária para a interoperabilidade dos sistemas existentes nas plantas industriais.

¹⁵ Propõe uma visão sistêmica do processo baseado em fluxogramas, evitando uma interpretação departamental com relação a gestão.

Quadro 11 - Modelos de Implementação do SGE na revisão bibliográfica

Autor	Contribuição
Finnerty et al. (2017, p. 19-24)	<i>Global Energy Management System</i> (GEMS) com Decision Support Framework (DSF) preve: 1) Equipe global de SGE e fórum de comunicação; 2) Base de conhecimento em nível local e global; e 3) Política Energética Corporativa. 4 pilares estratégicos, que são: 1) Caracterização do Local; 2) Avaliação de Desempenho; 3) Estratégia Energética; e 4) Aprendizagem e disseminação compartilhadas.
Peck e Parker (2016)	<i>Framework</i> analítico de decisões temporal (do projeto básico ao <i>executivo</i>) em dois eixos: 1) vertical de entradas do projeto (extremo relacional ao extremo factual) 2) horizontal os propósitos do projeto (extremo altruísta ao extremo instrumental)
Schulze et al. (2016, p. 3703-3704)	Proposta de um framework de gestão energética integrativa 1) decisão estratégica da gestão 2) revisão energética 3) dimensões Estratégia/Planejamento, Implementação/Operacionalização, Controle e Organização 4) dimensão Cultural.
Silva et al. (2018)	Modelagem de SGE em com base em <i>Business Process Management</i> (BPM) e PDCA, em conjunto com engenharia organizacional (corporativa) e interoperabilidade

Fonte: O Autor (2022)

A ferramenta predominante nos modelos de implementação de SGE são os *frameworks* que ordenam a aplicação do SGE muitas vezes combinados com outros sistemas como a ACV, suporte de decisões, BPM, entradas e propósitos do projeto.

Schulze et al. (2016) agregam a dimensão organizacional e cultural, enquanto Drumm et al. (2013) acrescentam uma dimensão ambiental, com a revisão climática, além de delinear uma métrica para a otimização do processo, desde do equipamento até a visão geral da energia, com sua geração e distribuição. Peck e Parker (2016) contribuem com uma dimensões temporal, de entradas e propósito e Silva et al. (2018) tratam de dimensões organizacionais e de interoperabilidade.

Peck e Parker (2016) traz um framework analítico e apresenta uma ferramenta que contempla conflitos existentes também na indústria energo-intensiva, já que setores de uma indústria podem ter interesses diversos em projetos de soluções energéticas, já que cada um terá um foco. Este conflito também é apresentado por Silva et al. (2018) especialmente com o conceito de interoperabilidade.

2.1.2.2.3 Avaliação Preliminar

Para realizar uma avaliação prévia, assim como acompanhar a evolução do modelo, interessante o Modelo de Maturidade proposto por Introna et al. (2014, p.110-113) denominada *Energy Management Maturity Model* (EMMM). Resumidamente o

modelo propõe um questionário 40 questões de múltiplas escolhas, qualitativas, com cinco níveis de maturidade, em cinco dimensões distintas, conforme Tabela 7

Tabela 5 - Níveis e Dimensões de Maturidade do EMMM (Introna et al. (2014))

Nível	Dimensões de Maturidade				
	Consciência, conhecimento e habilidades	Abordagem Metodológica	Gestão de desempenho energético e sistema de informação	Estrutura organizacional	Estratégia e Alinhamento
5	Otimizado	Otimizado e em uso	Otimizado e em uso	Otimizado e em uso	Otimizado e em uso
4	Altamente avançado	Sistema de Gestão de Energia em uso	Melhorado, estável e em uso	Melhorado, estável e em uso	Completamente alinhado
3	Progresso significativo	Abordagem do Projeto em uso	Padronizado e em uso	Organização dos projetos	Progresso significativo (metas compartilhadas)
2	Básico	Identificação ocasional da intervenção	Básico	Designização de pessoa responsável pela energia	Campanha de definição e conscientização de políticas
1	Espalhados	Inexistente	Inexistente	Espalhado (inexistente)	Inexistente

Fonte: adaptado de Introna et al. (2014, p.114)

Os cinco níveis proposto por Introna et al. (2014, p.111) tem como base a matriz de gestão energética exposta no guia de controle do uso da energia apresentado por CarbonTrust (2011, p.13), corroborado pelo trabalho de Ngai et al. (2013, p.455-456).

A divisão em cinco níveis apresenta uma avaliação mais precisa que a apresentada por Böttcher; Müller (2016, p.1452) quanto versa sobre a existência de SGE e sua certificação, com apenas cinco três níveis e uma dimensão (.

Na revisão apresentada para o Modelo de Maturidade Introna et al. (2014) menciona o trabalho da CarbonTrust (2011) como referência e indica, ainda, o modelo *Energy and Utility Management Maturity Model* (UEMMM) de Ngai et al. (2013, p.463), o qual trabalha com o conceito de integração de modelos de capacidade e maturidade.

Stenqvist (2015, p.3-5) apresenta de desagregação de energia em três fatores: atividade, mudanças estruturais e intensidade energética. Com relação a intensidade energética ainda propõe a segmentação com relação a consumos, identificando especificamente o uso final de combustível, o de eletricidade e o uso de energia primária. Analisando as tendências energéticas agregadas (p.6) identifica cinco consumos energéticos: total de combustível, final de combustível, eletricidade, rede de eletricidade, energia primária. A elaboração da desagregação proposta utilizou a metodologia de decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) proposta por Ang (1995, 2004, 2005) e Ang; Liu (2007) e Ang; Zhang (2000), além da análise setorial (papel e celulose) proposta por Phylipsen et al. (1997).

Sa et al. (2017), ao mapear os fatores determinantes para que uma indústria adote um programa específico com relação a gerenciamento de energia, um estudo de caso múltiplo através de entrevista semiestruturado. A identificação de fatores e atribuição de pesos é realizada com base na estratégia de classificação de Turner presente em Roosa et al. (2007) conforme Tabela 6 e matriz de gestão de energia da CarbonTrust (2011, p.13).

Tabela 6 - Estratégia de classificação de Roosa

	Estratégias				
	Confiabilidade	Eficiência	Baixo Custo	Financiamento	Consciência
Programas e Práticas	Programa de Manutenção	Avaliação de propriedade vegetal	Negociação	Estabilizar financiamento	Treinamento
	Modernização	Medição	Gerenciamento de carga	Reembrem economias ao cliente	Comunicação
	Operações	Controle	Eliminação	Financiamento de curto prazo	Modificação de comportamento
	Treinamento	Organização energética efficiency		Treinamento de análise econômica	Avaliação do programa
	Planejamento de Contingência				

Fonte: adaptado de Sa et al. (2017, p.545)

Conclui, após as análises das entrevistas que a complexidade da indústria para as grandes e o acesso ao capital para pequenas e médias empresas são as principais barreiras à adoção de um SGE.

A avaliação preliminar do SGE ou de elementos típicos é outro passo utilizado para definir diretrizes importantes no ciclo PDCA conforme o Quadro 12.

Quadro 12 - Avaliação preliminar do SGE na revisão bibliográfica

Autor	Contribuição
Finnerty et al. (2017, p. 19-24)	Quadro de apoio a decisão sistemático (<i>Decision Support Framework - DSF</i>) com avaliação: 1) quantitativa (desempenho com novos indicadores e <i>benchmarking</i>) e 2) qualitativa (modelos de maturidade de Gestão de Energia, como o EMMM)
Introna et al. (2014, p. 110-113)	<i>Energy Management Maturity Model</i> (EMMM) verificado através de entrevista estruturada contendo cinco níveis de maturidade, em cinco dimensões distintas: 1) Consciência, conhecimento e habilidades 2) Abordagem Metodológica 3) Gestão de desempenho energético e sistema de informação 4) Estrutura organizacional 5) Estratégia e Alinhamento Bases: CarbonTrust (2011, p. 13) e Ngai et al. (2013, p. 463) com o <i>Energy and Utility Management Maturity Model</i> (UEMMM)
Sa et al. (2017, p. 2-3)	Matriz de gestão de energia. Base: CarbonTrust (2011, p. 13) Avaliação com base no grau de aplicação de estratégias de gestão de energia e os programas e práticas realizados em cada uma. Usa uma escala com 3 valores. Base: Turne e Doty (2007).

Fonte: O Autor (2022)

Os modelos de maturidade são ferramentas utilizadas para levantar se o SGE está implantado e em que grau, caracterizando também a infraestrutura e

envolvimento de todas as pessoas da indústria energo-intensiva, podendo extrapolar até para fornecedores.

Os elementos constantes em um modelo de maturidade são construídos a partir de matrizes que buscam categorizar e mensurar algumas dimensões de execução de um SGE, ressaltando-se aquelas apresentadas pela matriz da CarbonTrust (2011) e de estratégias, programas e práticas previstas no handbook de Turner e Doty (2007).

Para realizar uma avaliação prévia, assim como acompanhar a evolução do SGE, o Modelo de Maturidade proposto por Introna et al. (2014, p. 110-113) denominada *Energy Management Maturity Model* (EMMM), utiliza um questionário 40 questões de múltiplas escolhas, qualitativas, com cinco níveis de maturidade, em cinco dimensões distintas, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Níveis e Dimensões de Maturidade do EMMM de Introna et al. (2014)

Nível	Dimensões de Maturidade				
	Consciência, conhecimento e habilidades	Abordagem Metodológica	Gestão de desempenho energético e sistema de informação	Estrutura organizacional	Estratégia e Alinhamento
5	Otimizado	Otimizado e em uso	Otimizado e em uso	Otimizado e em uso	Otimizado e em uso
4	Altamente avançado	SGE em uso	Melhorado, estável e em uso	Melhorado, estável e em uso	Completamente alinhado
3	Progresso significativo	Abordagem do Projeto em uso	Padronizado e em uso	Organização dos projetos	Progresso significativo (metas compartilhadas)
2	Básico	Identificação ocasional da intervenção	Básico	Designação de pessoa responsável pela energia	Campanha de definição e conscientização de políticas
1	Espalhados	Inexistente	Inexistente	Espalhado (inexistente)	Inexistente

Fonte: adaptado de Introna et al. (2014, p. 114)

Os cinco níveis proposto por Introna et al. (2014, p. 111) tem como base a matriz de gestão energética exposta no guia de controle do uso da energia de CarbonTrust (2011, p. 13), corroborado pelo trabalho de Ngai et al. (2013, p. 455-456).

2.1.2.2.4 Medições Energéticas

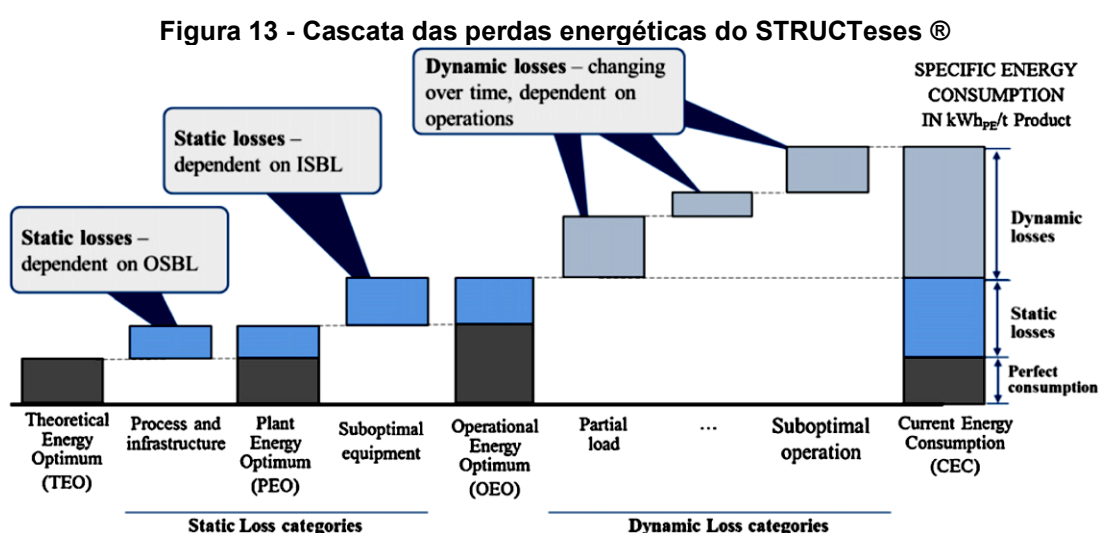
Stenqvist; Nilsson (2012, p.231-238) ao avaliar a eficácia de um PEE voluntário na Suécia entre 2005 e 2010, aponta o método para averiguar o impacto das medidas de EE, ou seja, sua eficácia. O *Evaluation and Monitoring for the EU Directive on Energy-Use Efficiency and Energy Services* (EMEEES¹⁶) de Wuppertal

¹⁶ <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/emeees>

Institute (2009) apesar do encerramento do projeto trata-se de técnica válida para a perspectiva dos SGE, inclusive da utilização do ciclo PDCA, já que trabalha no sentido de confirmar ganhos energéticos com uma combinação de medições *botton-up* e *top-down*.

Outra contribuição importante de Stenqvist; Nilsson (2012, p.234) são os indicadores relativos ao impacto na rede, o qual poderá no futuro ser utilizado para trabalhar técnicas vinculadas à participação dos consumidores de uma forma ativa, como por exemplo ocorre no projeto piloto denominado resposta da demanda, vide o 2º relatório da CCEE / ONS (2019). Os três índices referem-se a poupança gerada¹⁷, às economias energéticas indiretas¹⁸ e ao potencial de sobreposição e economias entre políticas ou medidas de economia¹⁹.

Drumm et al. (2013, p. 103-105) traz o conceito de cascata de perdas energéticas (*Energy loss cascade*), segmentando as perdas energéticas mapeadas no STRUCTeses®, o SGE da Bayer, de acordo o consumo atual e as ótimos (teórico, operacional, planta) conforme pode ser visto na Figura 13.



Legenda: CEC: Current Energy Consumption; ISBL: inside battery limit; OEO: Operational Energy Optimum; OSBL: outside battery limit; PEO: Plant Energy Optimum; TEO: Theoretical Energy Optimum

Fonte: Drumm et al. (2013, p.104)

¹⁷ Free rider coefficient expresses the share of savings, ranging between 0 and 1, that would have been implemented also without the support from the policy programme.

¹⁸ Multiplier coefficient (also called spill-over): expresses the savings that are indirectly caused by the programme in addition to what was targeted. Both participant and non-participants can implement measures without involvement (e.g., financial, technical or informative support) from the programme administration. The possible range is from 0 to in principle exceptionally large numbers.

¹⁹ Double counting coefficient expresses the potential effect from overlap and whether savings must be shared between different policies and/or saving measures. The range is between 0 and 1, where 1 represents a situation without shared savings

A técnica apresentada pela Bayer é adequada para mapear os processos de forma racional, identificando possibilidades de armazenamento de energia, inclusive os já existentes (variação decorrente do OSBL e ISBL), perdas estáticas e perdas dinâmicas (as quais são dependentes de tempo e operação).

Drumm et al. (2013, p.106-110) por fim apresentam uma implementação do piloto, identificando com a utilização do STRUCTese® com as cascatas de perdas e um projeto relativo a vapor.

Paramonova et al. (2015, p.482) trabalhando com um PEE realizado na Suécia entre 2005-2010 apresenta quantificação do *payback* de forma categorizada (novas tecnologias, ajuste de tecnologias, sistemas de controle, comportamento, outros). Este tipo de medição constitui uma avaliação importantes, seja no aspecto de medição atual e mesmo para realizar a seleção, já que o tempo de retorno do investimento pode ser limitado²⁰²¹.

Lin; Xie (2015, p.379-381) apresenta, para estimar o potencial de conservação de energia da indústria de refino de petróleo da China, uma equação formulada por Lin; Moubarak (2014, p.185) :

$$EC_t = (EI_{BAUt} - EI_{SCENARIOt}) \times VA_t \quad (1)$$

Onde:

EC_t é o potencial de conservação de energia no período t,

EI_{BAUt} é a intensidade energética dos negócios como cenário habitual,

$EI_{SCENARIOt}$ é a intensidade energética do cenário especificado de conservação de energia, e

VA_t é o valor agregado da indústria de refino de petróleo no período t.

McKane et al. (2017, p.281-283) apresenta os cálculos para diversas variáveis utilizadas pelo ISO 50001 Impacts Estimator Tool (IET) da rede ISO 50001 *Global Impacts Research Network*, parte da iniciativa denominada *Clean Energy Ministerial*²², especialmente do grupo relativo à Gestão de Energia denominado *Energy*

²⁰ Por exemplo: PEE no Brasil implica, conforme o PROPEE da ANEEL (2018^a, p. 4), tempo inferior a 48 meses, já que o prazo máximo para conclusão e projetos é de 48 meses.

²¹ Outro exemplo é a indicação da NBR ISO 50004 da ABNT (2016c, p.44) que apresenta tabela para classificação de critérios de oportunidade de melhoria de desempenho energético com os piores índices (1) para retorno simples superior a 36 meses e o melhor (4) para investimentos de menos de 6 meses.

²² <http://www.cleanenergyministerial.org/>

Management Working Group (EMWG) e de suas campanhas, incluindo especialmente a *Energy Management Campaign*.

As medições energéticas, fundamentais no SGE, possibilitam a quantificação do consumo, mas também dos resultados obtidos após a execução de planos de ação. O Quadro 13 condensa as informações primordiais das medições energéticas.

Quadro 13 - Medições energéticas no SGE na revisão bibliográfica

Autor	Contribuição
Drumm et al. (2013, p. 101, 103-105)	<p><i>Structured Efficiency System for Energy</i> (STRUCTese®) da Bayer contendo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Revisão energética: Energy Efficiency Check (EE Check) com níveis de atuação: <ol style="list-style-type: none"> a. Equipamentos com uso significativo de energia; b. Melhorias operacionais c. Integração e recuperação de calor d. Otimização do processo e. Otimização da matéria-prima f. Avaliação de construções e utilidades g. Avaliação da eficiência de geração e distribuição de energia 2) Gestão energética: Energy Efficiency Management 3) Revisão climática: Bayer Climate Check (baseada em uma ACV) <p>Conceito de cascata de perdas energéticas (<i>Energy loss cascade</i>), fixa conceitos de:</p> <ol style="list-style-type: none"> A. ótimos energéticos teórico; B. ótimos energéticos da planta; C. ótimos energéticos operacional. <p>Fixa ainda uma subdivisão das perdas em:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Perdas estáticas (subdivididas em perdas antes e depois do armazenamento - baterias); 2) Perdas dinâmicas.
Stenqvist (2015, p. 3-5)	<p>Desagregação de energia em três fatores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) atividade, 2) mudanças estruturais e 3) intensidade energética, com cinco consumos: <ol style="list-style-type: none"> a) total de combustível, b) final de combustível, c) eletricidade, d) rede de eletricidade e e) energia primária
Stenqvist; Nilsson (2012, p. 231-238)	<p>Medição independente de impactos na rede através do serviço <i>Evaluation and Monitoring for the EU Directive on Energy-Use Efficiency and Energy Services</i> (EMEEES) e são indicadores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) poupança gerada; 2) economias energéticas indiretas e 3) potencial de sobreposição e economias entre políticas ou medidas de economia.

Fonte: O Autor (2022)

A categorização das revisões (energética e climática) e das medições auxilia na compreensão do consumo e na construção de indicadores, lembre-se, ainda, que não se trata somente de energia, mas também de elementos que a influenciam como as cargas decorrentes da forma como a planta opera. A gestão energética poderá contribuir na etapa do fazer do ciclo PDCA.

A identificação de ótimos energéticos e a fixação de perdas estáticas, intrínsecas a tecnologia ou equipamentos utilizados, e perdas dinâmicas, aquelas que

poderão ser evitadas com uma operação adequada, configuram instrumentos importantes para o SGE à medida que seu conhecimento possa influir no processo.

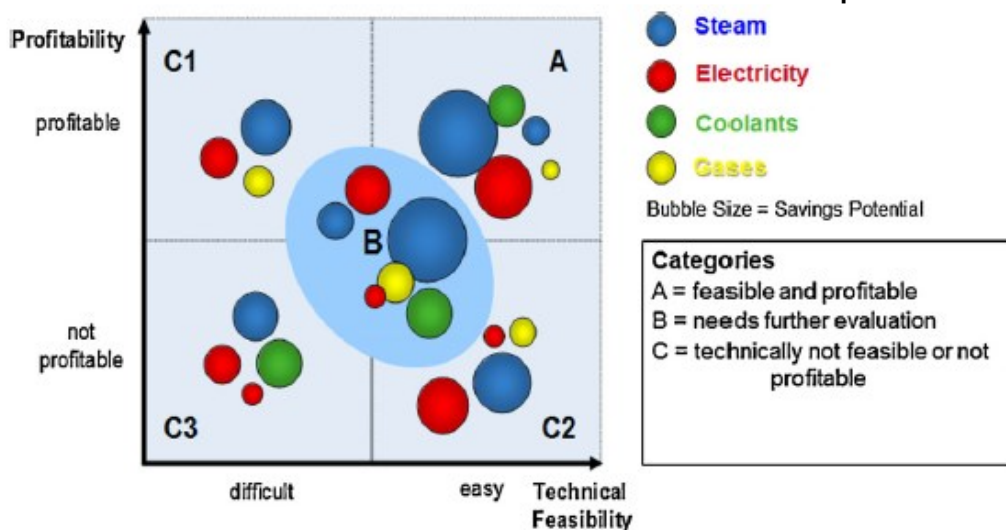
A medição do impacto na rede, a identificação de poupança de energia e até o levantamento de economias indiretas permitem a construção de um SGE que considera a dimensão social. Fator esse que pode contribuir para a adesão a programas de eficiência energética ou ao reconhecimento da reputação da organização, enquanto capital intangível.

2.1.2.2.5 Categorização e Seleção de Projetos

Paramonova et al. (2015, p.477-478) apresenta a categorização de um PEE realizado na Suécia entre 2005-2010, segmentando a avaliação e facilitando a compreensão de envolvidos em cada um dos projetos, o que permitirá inclusive a contabilização de recursos humanos e produtivos/equipamentos interno. As categorias dos PEE apresentadas são: novas tecnologias, ajuste de tecnologias, sistemas de controle, comportamento, outros (abrangendo medidas não contempladas nas demais categorias).

As ideias de melhoria decorrentes do mapeamento das perdas e possibilidades técnicas em Drumm et al. (2013, p. 102) são classificadas em três categorias de acordo com a viabilidade e rentabilidade: A) viável e rentável, B) provavelmente viável e rentável (precisa de uma avaliação adicional) e C) não viável ou não rentável (as qual é subdividida em: C1 - tecnicamente não viável, C2 - tecnicamente viável e atualmente não rentável e C3 - nem viável nem rentável). Com base nisto monta-se um portfólio, inclusive com representação gráfica em que os potenciais são traduzidos no tamanho de bolhas em quadrantes, conforme exemplo da Figura 14.

Figura 14 - Portfólio de ideias de melhoria com a análise de viabilidade e potenciais economias

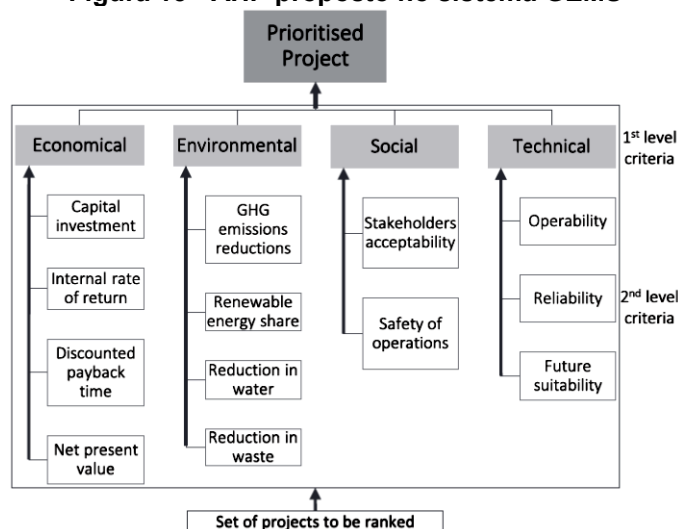


Fonte: Drumm et al. (2013, p. 104)

A visualização é muito interessante para que se perceba a viabilidade e rentabilidade, além dos potenciais de economia de cada solução energética proposta.

Finnerty et al. (2017, p.19-24) ao apresentar o desenvolvimento sistemático e a implementação de um sistema de gestão de energia global, *Global Energy Management System* (GEMS), que utiliza um quadro de apoio a decisão sistemático (*Decision Support Framework* - DSF), precisa realizar uma avaliação quantitativa (desempenho com novos indicadores e *benchmarking*) e caracterização qualitativa (modelos de maturidade de Gestão de Energia, como o EMMM) para fornecer suporte a decisão das soluções energéticas.

Figura 15 - AHP proposto no sistema GEMS



Fonte: Finnerty et al. (2017)(p.23)

Para implementar o suporte a decisão é utilizado por Finnerty et al. (2017, p.23-24) um método de tomada de decisão multicritério (*Multi-Criteria Decision-Making Method* - MCDM), conforme Wang et al. (2009, p.2272), o qual é composto de Análise Hierárquica do Processo (*Analytical Hierarchy Process* - AHP), conforme apresentado na Figura 15, e utilização de Lógica *Fuzzy*, uma técnica para ordenar solução ideal por similaridade, utilizando o *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS).

Sa et al. (2018, p.2-3) estuda o SGE e os fatores de impacto na implementação de práticas de gestão de energia, para averiguar a seleção de projetos usa uma metodologia que, além de revisão da literatura, utiliza questionário estruturado e entrevista com o uso de escala Likert²³ ampliada para 7, referente a três eixos: 1) estratégias e motivos ambientais das empresas para implementar práticas de eficiência energética; 2) avaliação de caso de uso da SGE (se existe requisitos do setor); e 3) apoio à tomada de decisão e comportamento de investimento. Além destes eixos foram apresentadas questões relacionadas ao nível de integração do SGE na empresa e o atingimento de suas metas.

Na análise métodos multicritério Sa et al. (2018, p.2) identifica um método vinculado a avaliação do ciclo de vida da sustentabilidade (tradução livre de *Life cycle sustainability assessment*), citando Ren (2018, p.46) apresenta um método fuzzy logarítmico de dois estágios empregado para determinar os pesos dos critérios de avaliação da sustentabilidade e análise relacional, que permite determinar a ordem de sustentabilidade de sistemas alternativos de energia.

A seleção de projetos de soluções energéticas constitui outro ponto na revisão bibliográfica necessário para a tese, sintetizada no Quadro 14.

²³ escala ampliada de 1 para 7. Para o primeiro eixo 1 = Discordo totalmente, 4 = Não concordo nem discordo e 7 = Concordo totalmente. Na segunda seção 1 = irrelevante, 4 = um pouco relevante e 7 = altamente relevante. Na terceira seção 1 = nem um pouco, 4 = moderadamente e 7 = grande extensão (p.3),

Quadro 14 - Seleção de projetos no SGE na revisão bibliográfica

Autor	Contribuição
Drumm et al. (2013, p. 102)	Portifólio com representação gráfica de ideias de melhoria após mapeamento de perdas e possibilidades técnicas categorizando em: A. viável e rentável, B. provavelmente viável e rentável (precisa de uma avaliação adicional) e C. não viável ou não rentável (as qual é subdividida em: C1 - tecnicamente não viável, C2 - tecnicamente viável e atualmente não rentável e C3 - nem viável nem rentável).
Finnerty et al. (2017, p. 19-24)	Utiliza um método de tomada de decisão multicritério (<i>Multi-Criteria Decision-Making Method - MCDM</i>), composto de: 1) Análise Hierárquica do Processo (<i>Analytical Hierarchy Process - AHP</i>) 2) Lógica <i>fuzzy</i> , para ordenar solução ideal por similaridade, utilizando o <i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)</i> . Base em conforme Wang et al. (2009, p. 2272).
Paramonova et al. (2015, p. 482)	Quantificação do <i>payback</i> de forma categorizada: 1) novas tecnologias; 2) ajuste de tecnologias; 3) sistemas de controle; 4) comportamento entre outros. Considera o tempo de retorno de investimento como fator importante ^{24,25} .
Sa et al. (2017, p. 2-3)	Questionário semiestruturado com uso da escala com 3 valores referente aos eixos: 1) Estratégias e motivos ambientais para implementar práticas de eficiência energética; 2) Avaliação de caso do uso do SGE e 3) Apoio a tomada de decisão e comportamento de investimento Base: Turner; Doty (2007) Na introdução do artigo aponta a utilização pelas empresas de diversas técnicas, aprofundando a discussão sobre a utilização do MCDM com utilização de lógica <i>fuzzy</i> .

Fonte: O Autor (2022)

A avaliação do *payback* é um fator importante. Entretanto, a seleção de projetos não contempla unicamente uma parte do aspecto econômico, pois as técnicas que avaliam multicritérios são as mais eficientes neste tipo de seleção, como a proposta por Finnerty et al. (2017, p. 23), alinhada à tese, que abrange em seu primeiro nível aspectos econômicos, ambientais, sociais e técnicos.

Além disso, outras ferramentas podem potencializar esta seleção como a representação gráfica apresentada em Drumm et al. (2013, p. 102) ou a lógica *Fuzzy* proposta por Finnerty et al. (2017, p. 19-24). A representação gráfica facilita a visualização e ao categorizar as soluções quanto à rentabilidade, viabilidade e potencial economia simplificam a exposição de dados. A lógica *Fuzzy* é utilizada para ordenação das soluções ideais por similaridade.

²⁴ Por exemplo: Programa de Eficiência Energética no Brasil implica, conforme o PROPEE da ANEEL (2018^a, p. 4), tempo inferior a 48 meses, já que o prazo máximo para conclusão e projetos é de 48 meses.

²⁵ Outro exemplo é a indicação da NBR ISO 50004 da ABNT (2016c, p.44) que apresenta tabela para classificação de critérios de oportunidade de melhoria de desempenho energético com os piores índices (1) para retorno simples superior a 36 meses e o melhor (4) para investimentos de menos de 6 meses.

2.1.2.2.6 Conexões com a ACV

Böttcher; Müller (2016, p.1451) apresenta o CO2 como o foco ambiental, inserindo nas hipóteses H1a até H3 a relação da produção do carbono com SGE e com questões vinculadas a produção, logística e performance, conforme pode-se averiguar (grifo nosso):

- H1a: The adoption of an energy management system is positively related with the implementation of low carbon production practices
- H1b: The adoption of an energy management system is positively related with the implementation of low carbon logistics practices
- (...)
- H2a: The degree of implementation of low carbon production practices is positively related to carbon performance
- H2b: The degree of implementation of low carbon logistics practices is positively related to carbon performance
- (...)
- H3: The adoption of an energy management system is positively related with carbon performance

Com base nas hipóteses Böttcher; Müller (2016, p.1456) descreve como se construiu o questionário submetido, indicando no APÊNDICE A as questões aplicadas, as quais os gestores poderiam selecionar uma das seguintes hipóteses (APÊNDICE A – p.1457, grifo nosso):

“To what extent are the following statements on measures to reduce carbon emissions applicable for your company?”

Low carbon production

- “We measure carbon emissions along our production processes.”
- “We measure carbon emissions along our production processes.”
- “We use low emission/emission free energy sources.”

Low carbon logistics

- “We measure carbon emissions along our transportation processes.”
- “We consolidate shipments to improve carbon efficiency in logistics.”
- “We use carbon efficient technologies for the transport of our raw materials and products”
- “We consider carbon efficiency, when selecting the mode of transport.”

“To what extent do the following statements on the performance apply to your company?
Please consider the performance over the last two years”

Carbon performance

- “Our company has reduced its energy use per unit of revenue.”
- Our company has reduced its carbon emissions per unit of revenue.”

Conforme pode-se averiguar em cada uma das variáveis propostas (produção, logística e performance do carbono) a metodologia do *survey* pode ser uma ferramenta muito assertiva com questionários construídos desta forma para facilitar tanto levantamentos iniciais quanto o monitoramento do aspecto ambiental.

Drumm et al. (2013, p. 101) apresenta um SGE desenvolvido pela Bayer voltado à redução de GEE baseado em CO₂ denominado *Structured Efficiency System for Energy* (STRUCTese®) em que a revisão energética, denominada *Energy Efficiency Check* (EE Check) já realiza uma “Revisão Climática” denominada *Bayer Climate Check*, baseada em uma ACV.

Stenqvist (2015, p.11-12) após realizar a desagregação de energia em três fatores (atividade, mudanças estruturais e intensidade energética), apesar de registrar a diversidade de combustíveis utilizados pelo setor de papel e celulose sueco (20 tipos distintos de combustíveis), calcula com base nos dados da International Energy Agency (IEA) (2007) a emissão de CO₂.

McKane et al. (2017, p.283) apresenta uma ferramenta recente da ISO 50001 relativo ao cálculo de impactos da implantação de SGE em escala nacional, regional ou global, denominada ISO 50001 Impacts Estimator Tool (IET) da rede ISO 50001 *Global Impacts Research Network*, parte da iniciativa denominada *Clean Energy Ministerial*²⁶, especialmente do grupo relativo à Gestão de Energia denominado *Energy Management Working Group* (EMWG) e de suas campanhas, incluindo especialmente a *Energy Management Campaign*. Para o cálculo do CO₂ são utilizados os da economia total de energia com base em relatório de bases compartilhadas, sempre em tCO₂/kWh.

Finnerty et al. (2017, p.19) apresenta como pilar do framework (*Decision Support Framework - DSF*) do SGE global (*Global Energy Management System - GEMS*) a estratégia e política energética corporativa, colocando como critério a sustentabilidade, identificando-a com base no programa de sustentabilidade de Allergan conforme apresentado em Whaley (2014, p.41-47).

Laskurain et al. (2017) ao analisar a influência das normas de gestão ambiental e SGA para implementação das normas de SGE realiza, através da metodologia de revisão bibliográfica, breve análise descritiva e qualitativa, ainda construindo um estudo exploratório para indústrias específicas, manufatura de

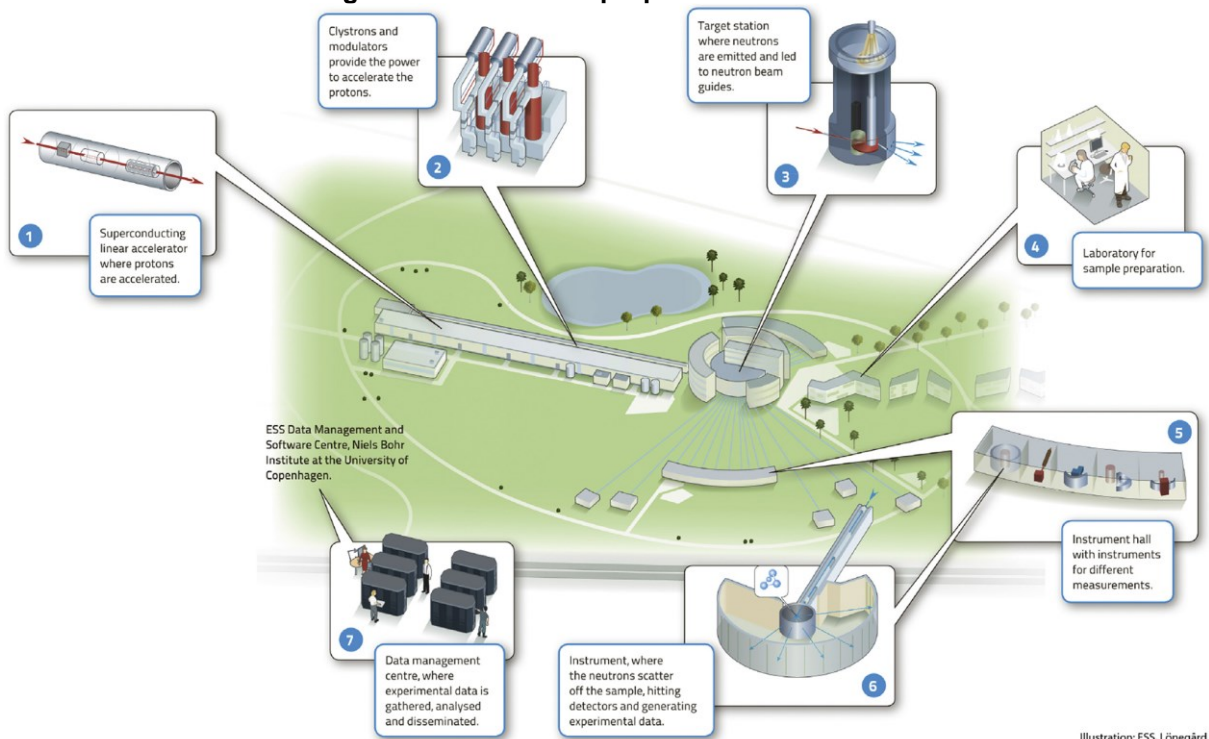
²⁶ <http://www.cleanenergyministerial.org/>

automóveis (p.11) e de resíduos sólidos urbanos (p.12). Uma contribuição importante é a apresentação do conceito de ACV que mais de uma vez está presente, para a ISO 14001:2015 seção A.6.1.2 (p.9).

Peck; Parker (2016, p.139) ao apresentar como o *European Spallation Source* (ESS) foi projetado apresentar vários conceitos de ACV e EC largamente utilizados:

- achieve a “climate neutral facility”;
- “purchase sufficient wind generating capacity to cover the integrated annual electricity use of the ESS”;
- “maximally” recycle into the Lund's district heating and “avoid the need for cooling towers”;
- “reduce the load to 35 MW or lower (270 GWh p. a. or lower)”;
- “achieve the control of energy use and the implementation of an energy culture”;
- create an energy inventory as “the central tool in this culture”;
- apply an organizational structure where “an Energy Manager will be a member of the ESS Scandinavia Management team from the outset”.

Figura 16 - Modelo da proposta sueca do ESS



Fonte: Peck; Parker (2016, p.139)

Os conceitos ACV e ECV estão presentes no modelo do ESS sueco apresentado na Figura 16, demonstrando a preocupação do centro de pesquisa tornar-se eficientes desde os primeiros momentos, ou seja, a própria escolha do projeto e local de instalação já tem como pressuposto estas métricas.

Ainda Rojas; Prías (2014, p.54) apontam o conceito ACV junto com outras técnicas de planejamento energético como *Sustainable Manufacturing Mapping* (MPP), que usa *Value Stream Mapping* (VSM), *Discrete Event Simulation* (DES).

Voltz; Grischek (2018) analisa SGE no setor da água nos EUA e na Alemanha, mapeando oportunidades para a melhoria do desempenho das empresas americanas. Uma das conclusões é a necessidade do setor de energia e de água interagirem mais.

As conexões com a ACV são sintetizadas no Quadro 15, apresentando desde técnicas até o uso de conceitos.

Quadro 15 - Conexões com ACV no SGE presentes na revisão bibliográfica

Autor	Contribuição
Böttcher e Müller (2016, p. 1451)	Questionário estruturado com base em hipóteses vinculando a relação de produção do carbono com SGE e questões de produção, logística e performance.
Drumm et al. (2013, p. 101)	Revisão Climática denominada <i>Bayer Climate Check</i> , baseada em uma ACV
Finnerty et al. (2017, p. 19)	Critério de sustentabilidade é avaliado no SGE, identificando-a com base no programa de sustentabilidade de Allergan conforme apresentado em Whaley (2014, p. 41-47)
Laskurain et al. (2017, p.9-12)	Análise descritiva e qualitativa com conceitos de ACV e estudo exploratório para manufatura de automóveis e de resíduos sólidos urbanos.
McKane et al. (2017, p. 283)	Cálculo de CO2 emitidos com base na economia total de energia após o uso da ferramenta ISO 50001 Impacts Estimator Tool (IET)
Peck e Parker (2016, p. 139)	Projeto do <i>European Spallation Source</i> (ESS) foi projetado apresentar vários conceitos de ACV: <ol style="list-style-type: none"> 1. alcançar uma "instalação neutra climática"; 2. "comprar capacidade de geração eólica suficiente para cobrir o uso anual integrado de eletricidade do ESS"; 3. "maximamente" recicle no aquecimento do distrito de Lund e "evite a necessidade de torres de resfriamento"; 4. "reduzir a carga para 35 MW ou inferior (270 GWh a. ou inferior)"; 5. "alcançar o controle do uso de energia e a implementação de uma cultura energética"; 6. criar um inventário de energia como "a ferramenta central nesta cultura"; 7. aplicar uma estrutura organizacional onde "um Gerente de Energia será membro da equipe de Gestão ESS Escandinávia desde o início".
Rojas e Prías (2014, p. 54)	Revisão que aponta técnicas de planejamento energético com conceitos de ACV: <ol style="list-style-type: none"> 1) <i>Sustainable Manufacturing Mapping</i> (MPP), que usa: <ol style="list-style-type: none"> a. <i>Value Stream Mapping</i> (VSM), b. <i>Discrete Event Simulation</i> (DES).
Stenqvist (2015, p. 11-12)	Calcula no setor de papel e celulose sueco a emissão de CO2 com base nos dados da IEA (2007) após realizar a desagregação de energia em três fatores: <ol style="list-style-type: none"> 1) Atividade, 2) Mudanças estruturais e 3) Intensidade energética.
Voltz e Grischek (2018)	Avaliação da integração água e energia no setor de saneamento americano e alemão.

Fonte: O Autor (2022)

A inserção de conceitos de ACV demonstram uma preocupação em muitos dos artigos apresentados, denotando direcionamentos específicos desde a idealização de projetos, conforme apresentado por Peck e Parker (2016); a utilização de uma revisão climática em Drumm et al. (2013); planejamento envolvendo a

sustentabilidade, como em Rojas e Prías (2014); e o cálculo de CO2 com base em economia de energia apontado em McKane et al. (2017).

Claro fica que o estabelecimento de diretrizes desde o início de um projeto ou implantação de SGE é fundamental para que os aspectos ambientais e sociais, ou mesmo da ACV, estejam presentes.

2.1.2.2.7 Avaliação e Análise de Dados dos SGE

Para realizar a análise dos dados Böttcher; Müller (2016, p.1453) utiliza a preliminarmente a técnica de Modelagem de Equações Estruturais (*structural equation modelling* – SEM) proposta em Shah; Goldstein (2006, p.149-150), modelo estatístico que busca relações entre múltiplas variáveis, no caso: implantação do SGE, produção de carbono, logística de carbono, performance de carbono e performance econômica. À seguir a técnica da regressão parcial dos mínimos quadrados (*partial least squares* - PLS) é utilizada para adequar a análise em vista dos grandes desvios da normal das variáveis e da amostra pequena. Foi utilizado o *software* SmartPLS²⁷ 2.0 para todos os passos.

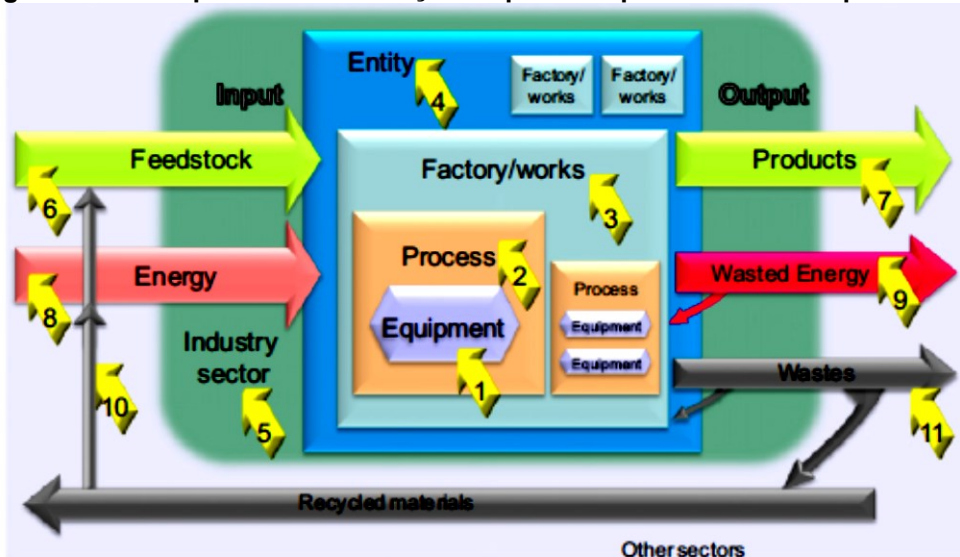
Lin; Xie (2015, p.379-382) ao estimar o potencial de conservação de energia da indústria de refino de petróleo da China utiliza a técnica de cointegração proposta por Johansen (1988), com base em dados (1991-2012), após realiza a validação do modelo pelo método de regressão dos mínimos quadrados (*Ordinary Least Square* - OLS).

Ozoliņa; Roša (2012) realiza a revisão das políticas públicas de eficiência na indústria sua medição utilizando como técnica uma revisão bibliográfica, que efetivamente constitui-se em revisão documentação sobre as políticas públicas (p.518-520), posteriormente organiza as políticas e realiza a análise com base na proposta de Tanaka (2011), segmentando a avaliação em: políticas de perspectiva (aspectos regulatórios, acordos negociados), políticas econômicas (impostos sobre CO2 – emissões –, regime de capitalização e comércio de emissões) e políticas de apoio (oportunidades para melhorias de eficiência energética, ferramentas para sua implementação).

²⁷ Atualmente existe a versão 3.0 deste *software* disponível em <https://www.smartpls.com/>

A avaliação das políticas públicas através de sua classificação e utilização de indicadores, conforme proposto em Tanaka (2011, P.6534-6535), possibilita um mapeamento da realidade normativa e dos incentivos existentes em cada ciclo estatal ou governamental, conforme-se pode-se averiguar na Figura 17.

Figura 17 - Exemplos de classificação de políticas públicas e sua implementação



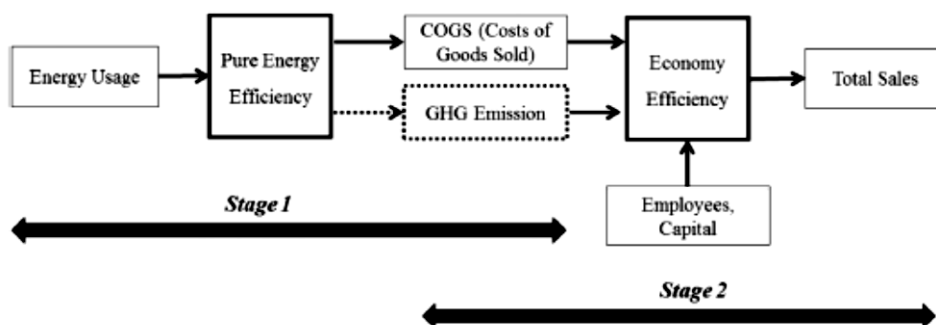
Number in Figure	Examples
1	efficiency standard for equipment
2	energy intensity benchmarking for specific process
3, 4	reduction target of energy consumption, energy audit, subsidy, tax exemption, specific agreement
5	voluntary agreement with industrial group/association, tax exemption to certain industrial sectors, partnership/programs, emission trading
6,7	measures recommending certain kinds of raw materials or products which can increase process efficiency, government procurement of goods produced with low energy consumption
8	energy and carbon tax schemes, emission trading
9	regulation for emission of exhausted gas which has heat to be used
10	use of or restriction of reused or recycled materials as energy/feedstock
11	regulation for waste treatment

Fonte: Tanaka (2011, p.6535)

Moon; Min (2017, p.26-29) apresenta o *Data Envelopment Analysis* (DEA)²⁸ para avaliar a eficiência energética das empresas de manufatura intensivas em energia na Coreia, incluindo a redução das emissões. Nesta abordagem é aplicado um DEA de dois estágios, Figura 18, e posteriormente, com o modelo determinado e os escores de eficiência, apresenta-se proposições que são estatisticamente testadas

²⁸ A aplicação do DEA em energia pode ser compreendido em Zhou et al. (2008).

Figura 18 - Modelo DEA para Eficiência energética e econômica, com custos e emissões de GEE



Fonte: Moon; Min (2017, p.28)

O DEA apresentado constrói um modelo com dados não paramétricos para testar hipóteses relativas à eficiência, certificação, porte e emissão são utilizados testes estatísticos. Os testes não paramétricos são empregados para testar hipóteses, são utilizados: ANOVA unidirecional, Kruskal-Wallis (Teste H), Wilcoxon-Mann-Whitney (Teste U) e Kolmogorov – Smirnov (Teste K-S).

A utilização da estatística efetivamente demonstra a possibilidade de utilizar ferramentas como esta para avaliar projetos que podem não ter em tese a mesma origem de dados, que os dados não tenham correlação, mas que índices produzidos por cada um possam ter este condão.

Du Plessis (2015) trabalha com as conexões entre lei, políticas públicas e implantação de SGE para mudança da matriz sul-Africana. Constrói uma evolução legislativa e apresenta os desafios da África do Sul. Uma contribuição interessante é diferenciação de preços de energia, conforme sugerido por Thopil; Pouris (2013), a qual pode já ser visualizada em aplicação no Brasil, inclusive com novidades no que se refere a consumidores com medidas como Tarifa Branca, Preço de Liquidação Horário (a ser implantado no ano de 2021), resposta da demanda (projeto piloto), que valoram ações do consumidor e modificação a precificação da energia.

A avaliação e análise de dados de SGE e seu impacto em um determinado setor é apresentada no Quadro 16.

Quadro 16 – Avaliação e Análise de dados no SGE na revisão bibliográfica

Autor	Contribuição
Böttcher e Müller (2016, p. 1453)	<p>Modelo estatístico para múltiplas variáveis denominado Modelagem de Equações Estruturais (<i>structural equation modelling</i> – SEM) para encontrar relações entre:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) implantação do SGE, 2) produção de carbono, 3) logística de carbono, 4) performance de carbono e 5) performance econômica <p>Base em Shah e Goldstein (2006, p. 149-150). Utiliza uma técnica da regressão parcial dos mínimos quadrados (<i>partial least squares</i> - PLS) para adequar a análise com grandes desvios da normal e amostra pequena. Software SmartPLS 2.0.</p>
Lin e Xie (2015, p. 379-381)	<p>Utilizam uma equação que trabalha com estimativa para a indústria de refino de petróleo na China, formulada por Lin e Moubarak (2014, p. 185):</p> $EC_t = (EI_{BAUt} - EI_{SCENARIOt}) \times VA_t$ <p>Onde:</p> <p>EC_t é o potencial de conservação de energia no período t em GJ, EI_{BAUt} é a intensidade energética dos negócios como cenário habitual, $EI_{SCENARIOt}$ é a intensidade energética do cenário especificado de conservação de energia, e VA_t é o valor agregado da indústria de refino de petróleo no período t.</p> <p>Utiliza a cointegração proposta por Johansen (1988) para estimar potencial de conservação de energia de uma série de 1991 a 2012, após utiliza o método de regressão dos mínimos quadrados (<i>Ordinary Least Square</i> – OLS)</p>
Moon e Min (2017, p. 26-29)	<p>Utilizam um <i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA) de dois estágios</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Avaliação energética pura testa hipóteses de eficiência, certificação, porte e emissão; 2) Avaliação econômica testa hipóteses com eficiência econômica, emissões, custos e vendas. <p>Testes não paramétricos empregados para testar hipóteses: ANOVA unidirecional, Kruskal-Wallis (Teste H), Wilcoxon-Mann-Whitney (Teste U) e Kolmogorov – Smirnov (Teste K-S).</p>

Fonte: O Autor (2022)

A síntese ora apresentada serviu como norte para a confecção de um modelo teórico, o qual, a medida do possível, incorpora os conceitos, técnicas e informações aqui apresentados. Com o modelo teórico será possível verificar o que é possível de ser implantado, já que nem sempre a adoção de todos os elementos é possível em um ambiente industrial, local em que os pesos das necessidades de cada parte da organização, a pressão por lucros e sustentabilidade, poderão direcionar o SGE de formas inesperadas.

2.2 Soluções Energéticas e Avaliação do Ciclo de Vida

Para possibilitar a construção da proposta de um método de planejamento energético para SGE voltado a indústria energo-intensiva com base em ACV, importante conhecer mais a área através de uma revisão documental, com foco no Brasil em vista das regulamentação que se possui (2.2.1), após apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre o ACV na indústria energo-intensiva, identificando sua proximidade com a temática da SGE (2.2.2).

Figura 19 - Mapa Mental da Revisão Sistemática de ACV e planejamento energético



Fonte: O Autor (2022)

Após, conforme apresentado pela Figura 19, as contribuições apresentadas pela visão documental e bibliográfica, o estado da arte da ACV e sua aplicação às indústrias energo-intensivas e conexões com o SGE, são utilizadas para compor o modelo teórico (2.3), base para a construção de um método de planejamento energético em um SGE que possibilite a seleção de projetos de soluções energéticas considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

2.2.1 Avaliação do Ciclo de Vida: Revisão Documental no Brasil

A ACV no Brasil possui normas que são reedições de normas internacionais, da primeira versão das normas ISO 14040 a ISO 14044 em 2001. Atualmente só existem duas normas vigentes no Brasil, a ABNT NBR ISO 14040 da ABNT (2014b) e a ABNT NBR ISO 14044 da ABNT (2014c), abrangendo desde conceitos iniciais de ACV, Inventário do Ciclo de Vida (ICV) até Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

Além das normas existem dois relatórios técnicos que apresentam exemplos, a ABNT ISO/TR 14047 e ABNT ISO/TR 14049 ambos da ABNT (2014d, 2016b), e ilustram a utilização da norma quanto a definição de objetivo, escopo, análise de inventário e avaliação de impacto.

A ACV é uma técnica para medir potenciais impactos ambientais decorrentes de fabricação e utilização de produtos ou serviços – conforme aponta o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict, 2019b) – envolvendo o processo produtivo, o uso, pós-uso, reciclagem e disposição final.

A ACV pode contribuir, conforme a norma aponta, de quatro formas:

- melhoria do desempenho ambiental,

- informação para tomadores de decisão (em todos os níveis),
- seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes e
- marketing.

A ABNT NBR ISO 14040 da ABNT (2014b) fornece a possibilidade de realizar dois tipos de estudos: ACV e ICV. O ICV não aborda os impactos ambientais potenciais, mas apresenta a interpretação de seus resultados, com recomendações e informações para tomada de decisão.

A norma alerta que a ACV é uma das várias técnicas de gestão ambiental²⁹, portanto deve-se verificar se ela é a mais adequada. Enfatiza que a ACV normalmente não enfoca aspectos econômicos ou sociais, podendo se estender ao aspecto energético, mas a abordagem e metodologias podem ser aplicadas.

Assim a ACV pode ser parte de um processo decisório mais abrangente, conforme a tese, vinculando-a com o planejamento energético em um SGE.

2.2.1.1 Definições e Princípios

A ACV é a “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” conforme pontua a norma ABNT NBR ISO 14040 da ABNT (2014b, p. 2). Já o ciclo de vida são “estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição de matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final” (p. 1), entendido pela literatura com a terminologia do berço ao túmulo (*cradle to grave*).

A definição de produto abrange bens e serviços, permitindo uma abordagem ampla para a ACV, uma vez que todos os setores podem ser contemplados com a avaliação. Já o processo é definido como “conjunto de atividade inter-relacionadas ou interativas que transformam entradas em saídas” (ABNT, 2014b, p. 3). De posse destas definições iniciais expõe-se os princípios que norteiam a ACV no Quadro 17.

²⁹ Como: avaliação de risco, avaliação de desempenho ambiental, auditoria ambiental e avaliação de impacto ambiental.

Quadro 17 - Princípios da ACV

Princípios da ACV
<ul style="list-style-type: none">• Perspectiva de ciclo de vida,• Foco ambiental,• Abordagem relativa à unidade funcional,• Abordagem iterativa,• Transparência,• Completeza e• Prioridade da abordagem científica.

Fonte: ABNT (2014b, p. 6-7)

A perspectiva de ciclo de vida apresenta considera o macroprocesso de forma integral, uma visão e perspectiva sistemática com todas as entradas, as saídas e a transferência de cargas ambientais potenciais entre estágios ou processos.

O foco ambiental deixa claro a finalidade da norma, mas não exclui outros focos (ambientais, econômicos e energéticos) atendidos por outras ferramentas.

A abordagem relativa à unidade funcional delimita as fronteiras do estudo, definindo entradas e saídas, assim como inventário e impactos. É a unidade funcional que fixa as fronteiras do escopo e objetivo, sem se esquecer de todo o ciclo de vida, reconhecendo que a saída de uma unidade funcional pode ser entrada em outra.

O princípio da abordagem iterativa reconhece uma cisão em etapas do estudo da ACV e suas interdependências, cada etapa e/ou o processo entre etapas podem ser verificados e melhorados em sua completeza e consistência.

A transparência é princípio orientador que assegura a interpretação adequada dos resultados, já que o uso das informações do ACV podem ludibriar os leitores se não houver parâmetro de comparação, como apontado por Curran (2006, p. 6).

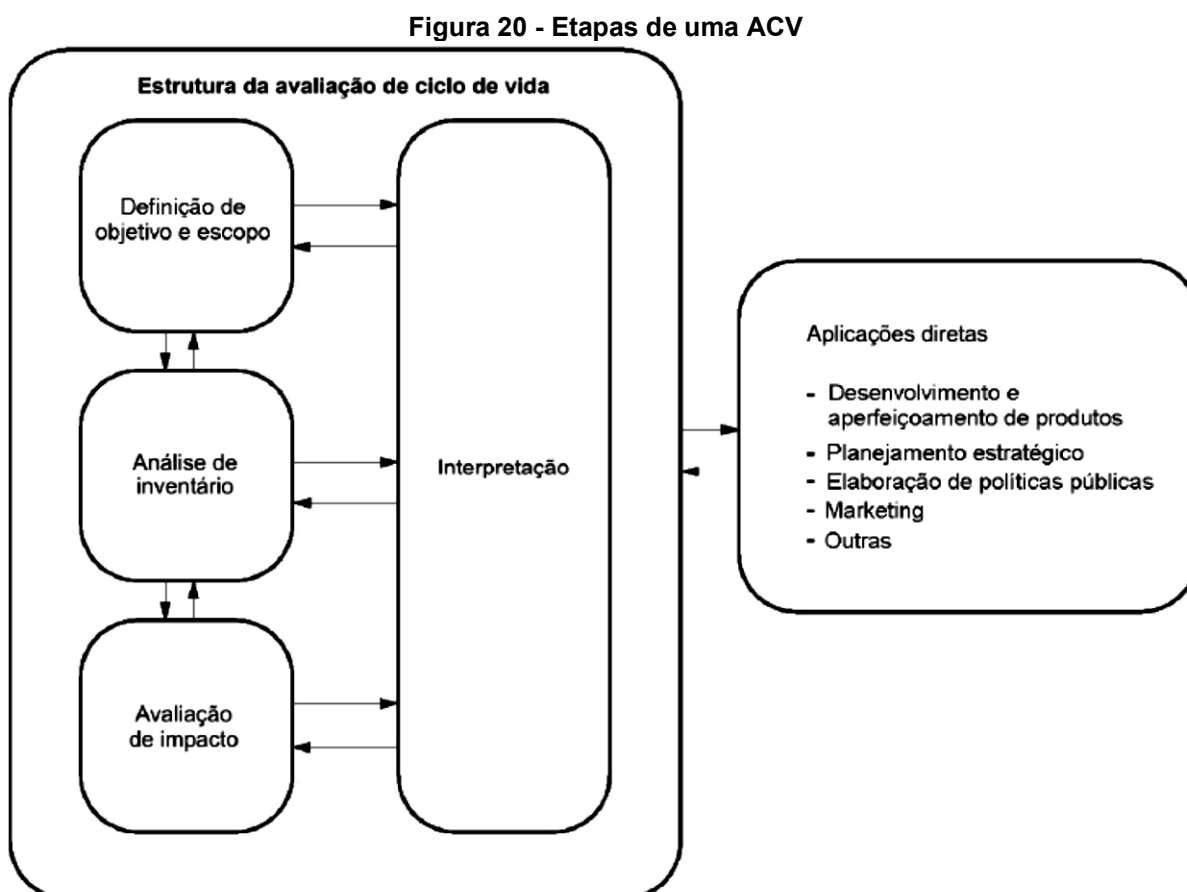
Aos versar sobre completeza indica-se a abordagem de todos os aspectos ou atributos do ambiente natural, da saúde humana e dos recursos, incluindo em técnicas mais modernas indicadores intermediários e suas interdependências.

Por fim, trata da prioridade da abordagem científica, escalonando a seleção das abordagens em: técnicas das ciências naturais, outras abordagens científicas, convenções internacionais e valores.

Após fixar os princípios e primeiras definições, é importante apresentar as etapas da ACV.

2.2.1.2 Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida

Um estudo ACV divide-se em quatro etapas que se correlacionam permitindo a quem realiza a avaliação ou utiliza os documentos interação entre a definição de objetivo e escopo, a análise de inventário, a avaliação de impactos e a interpretação, conforme pode-se verificar na Figura 20:



Fonte: ABNT (2014b, p. 8)

A definição de objetivo e escopo é a etapa inicial proposta pela norma. O objetivo é o elemento inicial, delineador do estudo a ser realizado e deve contemplar requisitos referentes à aplicação, razão do estudo, público-alvo e se a comunicação divulga publicamente comparações, a ABNT (2014b, p. 12), conforme Quadro 18.

Quadro 18 - Elementos mínimos do objetivo em uma ACV

Elementos	Abordagem
• Aplicação pretendida	Qual a finalidade da ACV?
• Razões do estudo	Qual a motivação da realização da ACV?
• Público-alvo	Qual o público, interno e/ou externo da ACV?
• Comunicação dos resultados	A divulgação dos resultados realizará alguma comparação divulgada publicamente?

Fonte: O Autor (2022)

A ACV na indústria energo-intensiva deverá deixar clara a aplicação e razão do estudo, identificando sua utilização para auxiliar na seleção de projetos de soluções energéticas. O público-alvo deve envolver a equipe do SGE e fornecedores. A comunicação poderá ser pública e comparativa, especialmente nos projetos que envolvam autoridades públicas com licenças ambientais, por exemplo.

O escopo desdobra o objetivo conforme a ABNT (2014b, p. 21) e deve avaliar a abrangência, profundidade e detalhamento para cumprir a finalidade e motivação, indicando a norma e os elementos mínimos indicados no Quadro 19.

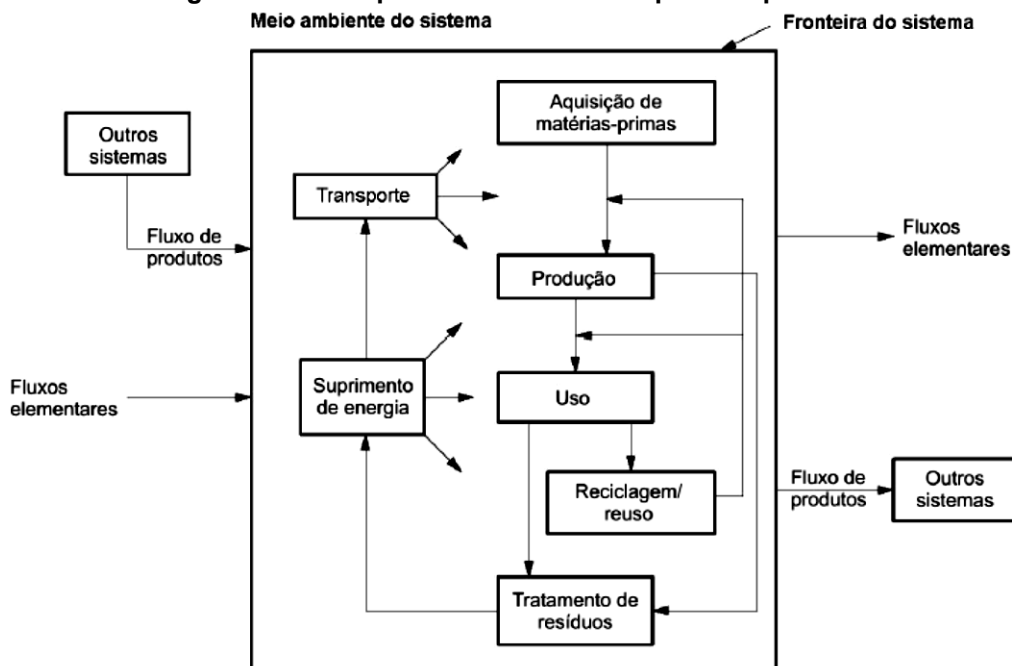
Quadro 19 - Elementos mínimos do escopo da ACV

Elementos	Abordagem
Sistema de produto	Qual produto será estudado?
Funções	Quais as características de desempenho?
Unidade funcional	Quais as unidades utilizadas? Elas permitem comparação? O fluxo de referência de cada produto é adequado para comparações?
Fronteira	Como será realizada a modelagem do sistema físico do produto? Quais são os elementos chave? Quais os processos elementares e fluxos elementares?
Procedimentos de alocação	É necessário repartir fluxos de entrada e saída de processo ou sistema de produto: Como a repartição será feita e qual a sua justificativa?
Categorias de impactos e sua metodologia de avaliação	Quais as categorias de impacto serão utilizadas? Existe um modelo de avaliação definido? As bases de dados são disponíveis?
Requisitos de dados e sua qualidade	Quais dados serão coletados? Existem recursos para esta coleta? Que cálculos serão realizados com os dados? Como serão validados os cálculos? Existe correlações?
Pressupostos e Limitações	Quais os pressupostos da ACV? Quais as limitações da ACV?
Tipos de análise crítica	A ACV seguiu adequadamente à metodologia, dados, interpretação e comunicação? Partes interessadas participaram do processo?
Tipo e formato de relatórios	Os relatórios serão de que tipo? Qual o seu formato?
Abordagem adotada	É uma alocação de fluxos elementares e impactos ambientais potenciais para um sistema de produto específico? Ou é um projeto de impactos ambientais possíveis entre sistemas de produto alternativos?

Fonte: O Autor (2022)

Para constituir adequadamente o escopo do projeto é necessário mapear o sistema de produto, identificando fluxos elementares e de produto (se necessário realizar alocação) e identificar os processos elementares, como exemplifica a Figura 21, o qual deve ser validado pela indústria energo-intensiva. Essa construção pode ser facilitada à medida que os processos de um SGE já possuem o registro de suas fronteiras, bem como seus fluxos energéticos, corroborando a ACV com a inclusão de outros fluxos que envolvam os aspectos ambientais e eventualmente sociais.

Figura 21 - Exemplo de um sistema de produto para ACV



Fonte: ABNT (2014b, p. 11)

Funções e unidades funcionais são diretrizes importantes para que SGE e ACV se complementem, vez que a função utilizada deve ter consonância com o objetivo e ser aderente ao desempenho energético, assim como fluxos de referência com unidades consistentes com o produto e os indicadores de desempenho.

A fixação de processos elementares é ímpar na construção das fronteiras e fluxos (entradas e saídas). O estabelecimento das entradas de matérias e entradas e saídas de energia é tratado especificamente pela ABNT NBR ISO 14044:2009 (2014c, p. 8). Quando às entradas e saídas de energia, a norma alerta para que se incluam:

entradas e saídas relevantes para a produção e distribuição de combustíveis, energia associada a entradas não energéticas (*feedstock Energy*) e energia de processo utilizadas dentro do sistema que está sendo modelado.

O corte de entradas e saídas e seus pressupostos sempre devem ser claros, sugerindo a ABNT (2014c, p. 9) os critérios vinculados ao tripé massa, energia e significância ambiental:

- a) **Massa:** uma decisão apropriada ao utilizar massa como critério requereria a inclusão no estudo de todas as entradas cuja contribuição cumulativa superasse uma porcentagem definida da entrada de massa do sistema de produto que está sendo modelado.
- b) **Energia:** de forma semelhante, uma decisão apropriada ao utilizar energia como critério requereria a inclusão no estudo daquelas entradas

cuja contribuição cumulativa superasse uma porcentagem definida da entrada de energia do sistema de produto.

- c) **Significância ambiental:** convém que decisões sobre critérios de corte sejam tomadas no sentido de incluir entradas que contribuam com mais do que uma parcela adicional definida da contribuição estimada de dados individuais do sistema de produto que são selecionados especificamente em função de sua relevância ambiental.

Um fator que a norma não deixa tão explícito são as categorias de impactos e sua metodologia de avaliação. A ABNT ISO/TR 14047 (2016c) traz exemplos, mas não são mandatórios, de sua estrutura. Diversas metodologias e bases de dados de impactos são apresentados na revisão bibliográfica da ACV constante no item 2.2.2 (p. 93) da tese.

A segunda etapa é a análise do Inventário de Ciclo de Vida (ICV), a qual possui um fluxo bem específicos vinculado a coleta e tratamento de dados conforme Quadro 20 e Figura 22.

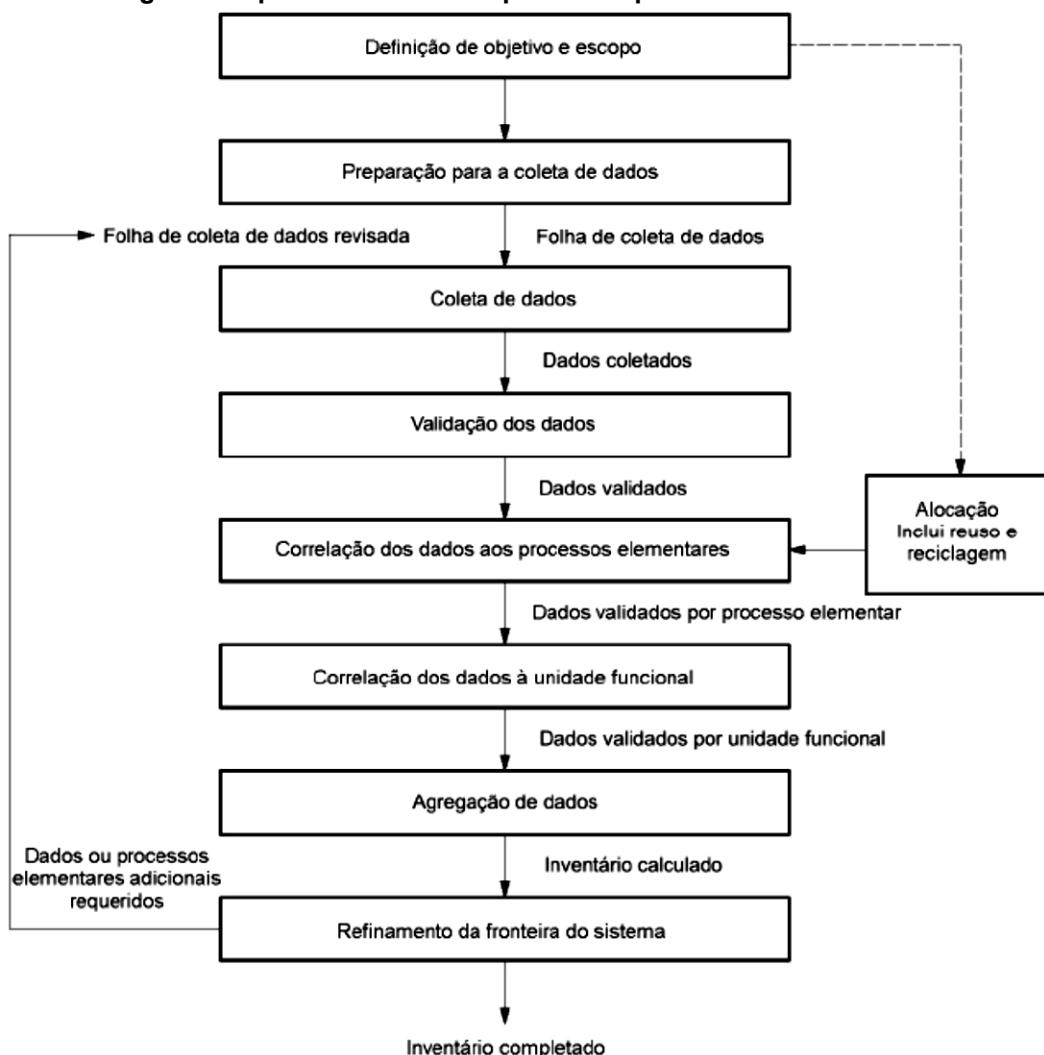
Quadro 20 - Elementos mínimos do ICV

Elementos	Abordagem
Coleta de dados	Como será realizada a preparação para a coleta de dados? Quais itens constam na folha de dados? Como está caracterizada a qualidade dos dados? Os dados são medidos, calculados ou estimados? Como e quando os dados foram coletados?
Validação de dados	Como serão tratados os dados? Os dados foram validados? Como foram tratadas as não conformidades – incerteza ou incompleteza?
Correlação de dados	Como os dados se correlacionam com os processos elementares? Como os dados se correlacionam com a unidade funcional?
Agregação de dados	Como os dados serão agregados?
Refinamento da fronteira	Pode-se propor um refinamento da fronteira do sistema? A folha de dado dever ser revisada? Como?

Fonte: O Autor (2022)

O ICV é derivado dos dados levantados do processo, assim que definidas fronteiras, fluxos e processos. Deve-se registrar de forma pormenorizada todo o processo de coleta, validação, correlação e agregação dos dados para que possam ser auditados e sofrer a análise crítica. Esse processo demanda recursos e deverá ser otimizado para permitir a construção de ICV para nortear a seleção de projetos de soluções energéticas, produto avaliado nesta tese.

Figura 22 - procedimentos simplificados para análise de inventário



Fonte: ABNT (2014c, p. 13)

O cálculo de fluxos energéticos é uma preocupação da ABNT (2014b, p.14):

Convém que o cálculo dos fluxos energéticos leve em consideração os diferentes combustíveis e fontes de energia elétrica utilizados e a eficiência de conversão e distribuição do fluxo de energia, assim como as entradas e saídas associadas à geração e uso daquele fluxo de energia.

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é a terceira etapa e visa fornecer um entendimento aprofundado sobre a significância ambiental ao relacionar o ICV com impactos ambientais potenciais, previsto na ABNT (2014b, p. 16). Seus elementos estão no Quadro 21.

Quadro 21 - Elementos mínimos da AICV

Elementos	Abordagem
Seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização	Seleção de categorias de impacto indicadores de categoria modelos de caracterização
Correlação de resultados do ICV (classificação)	
Cálculo de resultados dos indicadores de categoria (Caracterização)	
Resultados dos indicadores de categoria, resultados da AICV (perfil da ACV)	
Opcional	
Normalização	Cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores relativamente a informações de referência
Agrupamento	
Ponderação	

Fonte: O Autor (2022)

A etapa a AICV tem limitações, as quais devem ser consideradas sempre. A primeira limitação está no objetivo e escopo, o qual delimita o estudo de uma forma geral. Diferenças significativas nem sempre são encontradas entre categorias e indicadores de impacto devido à limitação dos modelos de caracterização, análise de sensibilidade e análise de incerteza, próprio desta etapa. Além disso, existem limitações no ICV quanto a fronteiras (inclusive cortes), qualidade de dados de inventário, coleta de dados, falta de dimensão espacial ou temporal podem trazer dificuldades.

A última etapa prevista é a interpretação do ciclo de vida. Ela que busca explicitar ICV e/ou AICV, resumindo-os e discutindo-os, subsidiando, dentro do escopo e objetivo inicialmente fixado, a tomada de decisão, inclusive fornecendo recomendações. Apesar da ACV prever uma abordagem iterativa, é pertinente limitá-la dentro do ciclo PDCA sobre pena de inviabilizar a utilização da ACV no SGE.

A estratégia de comunicação é fundamental, devendo-se documentá-la, inclusive considerando público-alvo, com foco em dados, métodos e pressupostos do estudo, assim como limitações. Sugere a ABNT (2014b, p. 17), quando a AVC destinar-se a terceiros, aspectos importantes a serem relatados:

- a relação com os resultados do ICV;
- uma descrição da qualidade dos dados;
- os pontos finais de categoria a serem protegidos;
- a seleção das categorias de impacto;
- os modelos de caracterização;
- os fatores e mecanismos ambientais;
- o perfil dos resultados dos indicadores.

A análise crítica, uma avaliação do processo da ACV para confirmar a obediência aos requisitos da norma quanto a metodologia, dados, interpretação e comunicação é o momento final, previsto na ABNT (2014b, p. 18), é como o checar do PDCA no SGE, permitindo que em nova avaliação o processo sofra melhorias.

2.2.2 Avaliação de Ciclo de Vida na Indústria Energo-Intensiva

2.2.2.1 Informações Metodológicas da Revisão

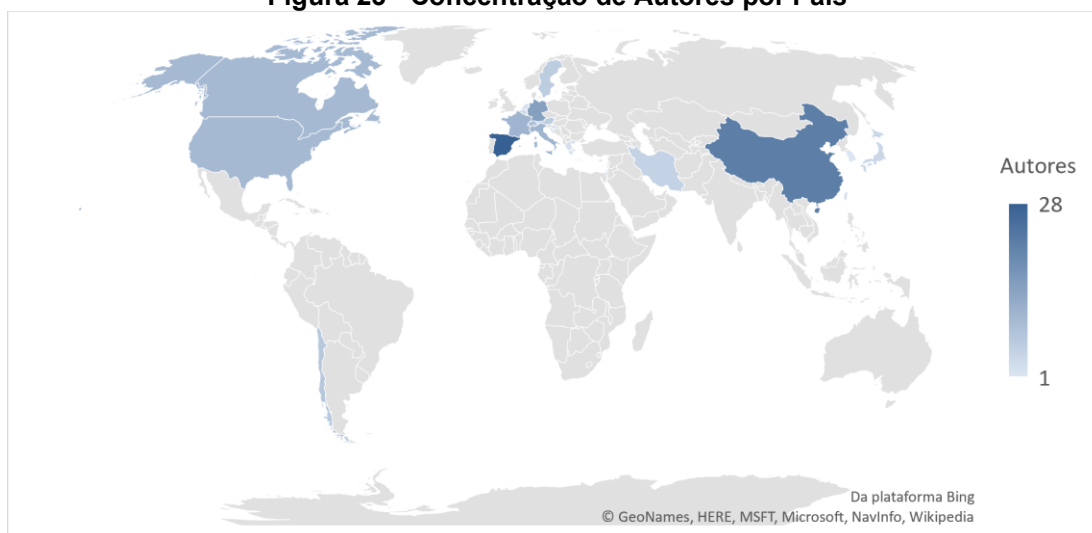
Com vistas a identificar o que a academia tem pesquisado com relação a ACV em indústrias energo-intensivas foi realizado o levantamento com termos específicos (Energy-intensive Industr* e LCA – sigla de ACV em inglês, ou sua construção) nas bases utilizadas na tese, encontrando-se 9 artigos específicos com estas terminologias, trocando-se a sigla pela expressão *Life Cycle Assessment* a busca resultou em 37 artigos, dois quais tem-se 7 artigos repetidos, um relativo a própria busca, totalizando 38 artigos.

A pesquisa foi realizada procurando os termos relativos ao eixo ACV no assunto, buscando artigos que valoram a técnica do ACV, semelhante à técnica da pesquisa dos termos efetivada no item 1.4.2 Ineditismo (p. 34), entretanto a busca dos termos do eixo das indústrias energo-intensivas não possui restrição frente a ausência de artigo com estas características que traga contribuição, corroborando o ineditismo.

2.2.2.1.1 *Caracterização dos Artigos*

Preliminarmente optou-se por realizar uma caracterização dos artigos envolvendo elementos como veículo (revistas) em que foram publicados, identificação da origem dos artigos (vinculados às instituições de origem), não foi realizado um trabalho de identificação de grupos em vista da peculiar situação dos trabalhos não possuírem autores repetidos.

Figura 23 - Concentração de Autores por País



Fonte: O Autor (2022)

A Figura 23 apresenta o número de autores por país (instituição), as publicações que possuem concentração maior (maior que 10 autores), em ordem decrescente, são, respectivamente: Espanha, China, Alemanha, França, Itália, Canadá e Estados Unidos.

Os 38 artigos estão distribuídos em 21 veículos de comunicação distintos, conforme Quadro 22, todos os artigos estavam disponíveis para análise, para os quais será realizado levantamento dos temas primordialmente tratados, buscando-se em especial mapear técnicas e diferenciais, inclusive se são relativos a alguma indústria energo-intensiva.

Quadro 22 - Publicações sobre ACV em indústrias energo-intensivas na Base Periódicos da Capes

Revista	Artigos	Ano	Autores
Applied Energy	2	2018 (2)	Li, Tianqi ; Roskilly, Anthony Paul ; Wang, Yaodong, Wu, Junnian ; Pu, Guangying ; Guo, Yan ; Lv, Jingwen ; Shang, Jiangwei
Clean Technologies and Environmental Policy	2	2018, 2016	Garcia-Herrero, Isabel ; Margallo, María ; Onandía, Raquel ; Aldaco, Rubén ; Irabien, Angel ; Mikulcic, Hrvoje ; Klemes, Jiri ; Duic, Neven
Ecological Economics	1	2018	Zhen, Wei ; Qin, Quande ; Qian, Xiaoying ; Wei, Yi-Ming
Ecological Indicators	1	2015	Avadí, Angel ; Fréon, Pierre
Energies	1	2019	Santin, Maurizio ; Chinese, Damiana ; De Angelis, Alessandra ; Zugliano, Alberto
Energy & Buildings	1	2014	Lamnatou, Chr ; Notton, G ; Chemisana, D ; Cristofari, C
Energy Policy	2	2010, 2011	Foidart, F ; Oliver-Solá, J ; Gasol, C.M ; Gabarrell, X ; Rieradevall, J ; Doluweera, Gh ; Jordaan, SM ; Moore, MC ; Keith, Dw ; Bergerson, Ja
Energy	1	2019	Song, Dan ; Lin, Ling ; Wu, Ye
Environmental Impact Assessment Review	2	2016, 2018	Anthonissen, Joke ; Van Den Bergh, Wim ; Braet, Johan ; Yu, Hojin ; Pearlmutter, David ; Schwartz, Moshe
Environmental Science & Technology	1	2013	Chao, CW ; Heijungs, R ; Ma, Hw
Food And Bioproducts Processing	1	2015	Ramasamy, V ; Titchener-Hooker, Nj ; Lettieri, P
International Journal of Greenhouse Gas Control	1	2018	Giordano, Lorena ; Roizard, Denis ; Favre, Eric
International Journal of Sustainable Development and Planning	1	2008	Kypreos, S ; Blesl, M ; Cosmi, C ; Kanudia, A ; Loulou, R ; Smekens, K ; Salvia, M ; Cuomo, V
International Journal of Life Cycle Assessment	2	2005, 2013	Tan, R ; Khoo, H Tan, R (correspondence author) ; Habert, Guillaume
Journal of Cleaner Production	10	2014 (2), 2015 (2), 2017, 2018 (3), 2019 (2), XXX	Jourdaine, Marc ; Loubet, Philippe ; Trebucq, Stéphane ; Sonnemann, Guido ; Kuckshinrichs, Wilhelm ; Koj, Jan Christian ; Jung, Johannes ; Postels, Sarah ; Bardow, André ; Garcia-Gusano, Diego ; Garraín, Daniel ; Herrera, Israel ; Cabal, Helena ; Lechón, Yolanda ; Baidya, Durjoy ; de Brito, Marco Antonio Rodrigues ; Sasmito, Agus P ; Scoble, Malcolm ; Ghoreishi-Madiseh, Seyed Ali ; Ashworth, Amanda J ; Taylor, Adam M ; Reed, Daniel L ; Allen, Fred L ; Keyser, Patrick D ; Tyler, Donald D ; Moreno-Leiva, Simón ; Díaz-Ferrán, Gustavo ; Haas, Jannik ; Telsnig, Thomas ; Díaz-Alvarado, Felipe A ; Palma-Behnke, Rodrigo ; Kracht, Willy ; Román, Roberto ; Chudinzow, Dimitrij ; Eltrop, Ludger ; Wang, Shanshan ; Lu, Chunyang ; Gao, Yu ; Wang, Ke ; Zhang, Ruiqin ; Ros-Dosdá, Teresa ; Fullana-I-Palmer, Pere ; Mezquita, Ana ; Masoni, Paolo ; Monfort, Eliseo ; Fujii, M ; Fujita, T ; Ohnishi, S ; Yamaguchi, N ; Yong, G ; Park, Hs
Livarski Vestnik	1	2016	Topic, Milan ; Tschiggerl, Karin ; Rauter, Mathias ; Döschek, Klaus ; Biedermann, Hubert ; Raupenstrauch, Harald Topic, Milan
Local Environment	1	2010	Ivner, Jenny ; Björklund, Anna Elisabeth ; Dreborg, Karl-Henrik ; Johansson, Jessica ; Viklund, Per ; Wiklund, Hans
Procedia CIRP	1	2015	Dom, C ; Behrend, R ; Giannopoulos, D ; Napolano, L ; Baños, B. García ; James, V ; Uhlig, V ; Catalá, J.M ; Founti, M ; Trimis, D
Renewable and Sustainable Energy Reviews	4	2019, 2018, 2016, 2010	Rajaeifar, Mohammad Ali ; Sadeghzadeh Hemayati, Saeed ; Tabatabaei, Meisam ; Aghbashlo, Mortaza ; Mahmoudi, Seyed Bagher ; Royo, Patricia ; Ferreira, Víctor José ; López-Sabirón, Ana M ; García-Armingol, Tatiana ; Ferreira, Germán ; Treyer, Karin ; Bauer, Christian ; Saner, Dominik ; Juraske, Ronnie ; Kübert, Markus ; Blum, Philipp ; Hellweg, Stefanie ; Bayer, Peter
Resources, Conservation & Recycling	1	2018	Song, Xiaolong ; Zhang, Chenglong ; Yuan, Wenyi ; Yang, Dong
The International Journal of Life Cycle Assessment	2	2013, 2017	Habert, Guillaume ; Gursel, Aysegul ; Ostertag, Claudia

Fonte: O Autor (2022)

Não existem autores repetidos em nenhum dos artigos (retirando aqueles que são duplicados), contando com 169 autores, distribuídos em 23 países.

2.2.2.1.2 Análise das indústrias e equipamentos vinculados à ACV

Após a caracterização foi realizada uma análise com relação a qual indústria ou equipamento o termo indústria energo-intensiva está conectado, eventualmente, encontrando alguns artigos que não tratam efetivamente de indústria energo-intensiva, os quais foram inseridos quando podem contribuir, conforme Quadro 23.

Quadro 23 - Visão setorial sobre o recorte bibliográfico de ACV

Setor Industrial	Indústria	Produto	Autores
Alimentos e bebidas	Agrícola	Resíduos em energia	Rajaeifar et al. (2019)
	Agrícola	Geral	Zhen et al. (2018)
	Agrícola	Biocombustíveis	Ashworth et al. (2015)
	Alimento	Geral	Wu et al. (2018)
	Pesca	Sardinhas	Avadi; Fréon (2015)
	Vinho	Garrafas	Jourdaine et al. (2019)
Ferro-gusa e aço	Siderurgia	Cabines elétricas (condicionamento)	Santin et al. (2019)
Outras indústrias	Automobilística	Fundição	Tschiggerl et al. (2016)
	Automobilística	Geral	Yu et al. (2018)
	Energia	Bomba geotérmica	Saner et al. (2010)
	Energia	Coletor solar	Lamnatou et al. (2014)
	Energia	Painéis fotovoltaicos	Li et al. (2018)
	Energia	Geral	Mikulčič et al. (2016)
	Energia	Geral	Treyer; Bauer (2016)
	Energia	Geral	Foidart et al. (2010)
	Energia	Geral	Ivner et al. (2010)
	Energia	Geral	Kypreos et al. (2008)
	Geral	Geral	Wang et al. (2019)
	Energo-intensiva	Captura de carbono	Giordano et al. (2018)
	Energo-intensiva	Geral	Chao et al. (2013)
	Energo-intensiva	Microondas	Dorn et al. (2015)
	Saneamento	Resíduos Sólidos Orgânicos	Fujii et al. (2014)
Saneamento	Lixo Eletrônico	Fujii et al. (2014)	
Química	Biofarmacêutica	Geral	Ramasamy et al. (2015)
	Cloro-alcalina	Eletrólise	Jung et al. (2014)
	Cloro-alcalina	Geral	Garcia-Herrero et al. (2018)
	Petroquímica	Asfalto (recuperado)	Anthonissen et al. (2016)
	Petroquímica	Gerador Diesel (Cogeração)	Doluweera et al. (2011)
	Hidrogênio	Eletrólise	Kuckshinrichs; Koj (2018)
Não ferrosos e outros - metalurgia	Alumínio	Retrofit	Royo et al. (2018)
	Cobre	Painéis fotovoltaicos	Moreno-Leiva et al. (2017)
	Zinco	Peças Fundidas	Tan; Khoo (2005)
Cerâmica	Cerâmica	Geral	Ros-Dosdá et al. (2018)
Cimento	Contreto	Agregado	Gursel; Ostertag (2017)
	Concreto	Agregado	Habert (2013)
	Cimento	Captura de carbono	García-Gusano et al. (2015)
	Cimento	Exergia	Song et al. (2019)
Mineração e pelotização	Mineração	Gerador diesel (cogeração)	Baidya et al. (2019)

Fonte: O Autor (2022)

2.2.2.2 Contribuições e Limitações

Para a caracterização da ACV utilizou-se Cherubini e Ribeiro (2015, p. 50-80)³⁰ como referência para construir a cisão implementada, que aborda, para ICV, ACV e AICV: formato de dados, bases de dados, softwares, enquadramento de avaliações, métodos de avaliações. Quanto a identificação de contribuições importante localizar indústria e equipamentos (quando pertinente), além de identifica contribuições vinculadas especificamente a planejamento energético, SGE. Por último os estudos, indicando suas contribuições metodológicas, sejam revisões ou teoria.

As bases de dados preponderantes, conforme Quadro 24, são: EcoInvent (16 artigos), GaBi (4 artigos), NBSC (3 artigos), CLCD (2 artigos) e outras bases utilizadas individualmente, muitas vezes específicas para uma área (como AESO, COPRO, ThyssenKrupp Electrolysis, EAPA, SETAC, Energy Plus Climate etc.).

³⁰ Trabalho patrocinado pelo IBICT que apresenta para plano de 2015 “Diálogos Setoriais Brasil e União Europeia: desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil”

Quadro 24 - Base de dados do recorte bibliográfico de ACV

Base de Dados	Versão	Autor	Citações
EcolInvent	2.0	Foidart et al. (2010)	33
	2.0 ³¹	Saner et al. (2010, p. 1803)	166
	2.0	Ashworth et al. (2015)	34
	2.2	García-Gusano et al. (2015)	44
	2.2	Dorn et al. (2015)	5
	2.3	Avadi; Fréon (2015)	34
	3.0	Royo et al. (2018)	17
	3.1	Moreno-Leiva et al. (2017)	21
	3.1	Giordano et al. (2018)	9
	3.1	Li et al. (2018)	10
	3.1	Kuckshinrichs; Koj (2018)	5
	3.1	Treyer; Bauer (2016)	27
	3.3	Rajaeifar et al. (2019)	34
	2000?	Ivner et al. (2010)	18
2003?	Habert (2013)	29	
?	Wang et al. (2019)	0	
GaBi	4.113	Ros-Dosdá et al. (2018)	9
	2012	Song et al. (2018)	10
	6	Garcia-Herrero et al. (2018)	6
	2015	Gursel; Ostertag (2017)	8
NBSC	2017	Wu et al. (2018)	3
	2017	Zhen et al. (2018)	2
	2018	Song et al. (2019)	1
CLCD	2018	Wang et al. (2019)	0
	2017	Song et al. (2018)	10
ELCD	3	Tschiggerl et al. (2016)	0
	3.2	Ros-Dosdá et al. (2018)	9
AESO	2010	Doluweera et al. (2011)	28
Bulan	2006	Jung et al. (2014)	29
ThyssenKrupp Eletrolysis	2014	Jung et al. (2014)	29
SETAC	2014	Dorn et al. (2015)	5
Energy Plus Climate Database	2008	Santin et al. (2019)	0
GAMS	2007	Kypreos et al. (2008)	17
ICE	?	Lamnatou et al. (2014)	57
Alcorn	?	Lamnatou et al. (2014)	57
Vários (Revisão bibliográfica)	-	Jourdaine et al. (2019)	0
Não deixa claro		Mikulčić et al. (2016)	9
		Fujii et al. (2014)	36
		Baidya et al. (2019)	4
		Yu et al. (2018)	1
		Chao et al. (2013)	4
		Ramasamy et al. (2015)	18

Fonte: O Autor (2022)

³¹ Manteve-se a versão apontada no texto (2.0) já que na referência está indicado 2.1, entretanto a informação está incorreta, a versão é tratada como 2.0, nº1. A versão 2.1 é de 2009, conforme Weidema et al. (2009)

Analisando a quantidade de citações afigura-se a relevância da base de dados EcolInvent, a qual, igualmente, permite a comparação com preocupações diminutas com relação a esta diretriz, versando mais sobre a normalização, quando necessário.

Jung et al. (2014, p. 51) em vista da temática voltada à eletrólise apresenta uma base de dados diferenciada: Bulan (2006) e ThyssenKrup Eçectrcysis, (2014a,b).

A metodologia apresentada por Doluweera et al. (2011, p. 7967) é múltipla, apresentam a base de dados da AESO³², própria de Alberta (Canadá), não indicando outra base, vinculando-se aos dados da empresa energética para a realização do estudo de ACV.

Anthonissen et al. (2016, p. 141 e 145) utilizam o *framework* de Butt et al. (2014). Apontando a base da entidade belga Control of Products (COPRO) e da European Asphalt Pavement Association (EAPA), não deixando claro o software, entretanto identifica para a utilização de enquadramento com *midpoints* e *endpoints*.

Dorn et al. (2015) apresentam uma metodologia diferenciada que implementa *Key Performance Indicators* (KPIs) para áreas econômica, ambiental e operacional. A base de dados são documentos como o da CEMEX (2010) para auxiliar na seleção de KPIs, junto com o ACV. Para o ACV utiliza a base EcolInvent 2.2 com dados do SETAC, com o software SimaPro 7.3, além de utilizar Curran (2006) e SETAC com uso da base de dados Ecoinvent 2.2.

Com relação aos softwares a realidade é um pouco distinta, já que existe uma disparidade menor entre o que foi utilizado em cada uma dos softwares, conforme apresenta o Quadro 25, de forma simplificada tem-se: SimaPro (14 artigos), GaBi (8 artigos), existindo a utilização pontual de alguns outros softwares em casos específicos (TRNSYS, TIMES), normalmente vinculados a otimizações específicas e métodos inovadores.

³² <https://www.aeso.ca/aeso/about-the-aeso/>

Quadro 25 - Softwares utilizados no recorte bibliográfico de ACV

Base de Dados	Versão	Autor	Citações
SimaPro	5	Tan; Khoo (2005)	18
	6	Ivner et al. (2010)	18
	7	Ashworth et al. (2015)	34
	7.0	Foidart et al. (2010)	33
	7.1	Habert (2013)	29
	7.1.8	Saner et al. (2010)	166
	7.3	Dorn et al. (2015)	5
	7.3	Avadí; Fréon (2015)	34
	7.3.3	García-Gusano et al. (2015)	44
	8.0.3	Royo et al. (2018)	17
	8.0.4	Treyer; Bauer (2016)	27
	8.0.5	Giordano et al. (2018)	9
	8.2.0.0	Wu et al. (2018)	3
	8.4	Rajaeifar et al. (2019)	34
GaBi	4.113	Ros-Dosdá et al. (2018)	9
	5	Jung et al. (2014)	29
	6	Garcia-Herrero et al. (2018)	6
	6.115	Li et al. (2018)	10
	6.115	Kuckshinrichs; Koj (2018)	5
	2012?	Song et al. (2018)	10
	2015?	Gursel; Ostertag (2017)	8
	2016?	Moreno-Leiva et al. (2017)	21
TIMES	2007?	Kypreos et al. (2008)	17
TRNSYS	2018?	Santín et al. (2019)	0
Vários (Revisão bibliográfica)	-	Jourdaine et al. (2019)	0
Não deixa claro	-	Mikulčić et al. (2016)	9
	-	Fujii et al. (2014)	36
	-	Doluweera et al. (2011)	28
	-	Anthonissen et al. (2016)	16
	-	Wang et al. (2019)	0
	-	Tschiggerl et al. (2016)	0
	-	Baidya et al. (2019)	4
	-	Yu et al. (2018)	1
	-	Chao et al. (2013)	4
	-	Ramasamy et al. (2015)	18
	-	Zhen et al. (2018)	2
	-	Song et al. (2019)	1
-	Lamnatou et al. (2014)	57	

Fonte: O Autor (2022)

Apesar de existir a distribuição em maior número de artigos o software SimaPro está presente nos artigos com maior número de citações, seguido pelos artigos em que não se explicita o uso de software, após pelo software GaBi.

Apesar de Doluweera et al. (2011, p. 7967) não indicarem a utilização de software para realizar o inventário e cálculo dos impactos, incluindo outra base de dados, apresenta a técnica de alocação, ou seja, vinculada ao inventário e modelagem

do ciclo de vida da cogeração e avaliação do CO₂ proposta por Ekvall; Finnveden (2001), além do anunciado por Guinée (2001) e a caracterização dos impactos realizadas por meio do CML.

Quanto ao enquadramento dos métodos de avaliação de impacto, momento em que é realizada a AICV, utilizando *midpoints* e/ou *endpoints* para avaliar o potencial impacto das tecnologias, tem-se a utilização preponderante das seguintes técnicas: CML (9 artigos), ReCiPe (7 artigos) e utilização pontual de outras técnicas (UseTox, CED, Eco-Indicator, Embodied Energy, Embodied Carbon, ILCD, Impact 2002+, TRACI, VEDA, Framework de Butt). Importante registrar que existem ocorrências com a utilização de mais de uma técnicas (uma principal, geralmente consagrada pela literatura como CML ou ReCiPe, ambas com *midpoints* e *endpoints*, e uma segunda ou terceira métrica para os impactos específicos).

Quadro 26 - Enquadramentos utilizados no recorte bibliográfico de ACV

Enquadramentos	Versão	Autor	Citações
CML	CML (base em Guinée e Ekvall)	Doluweera et al. (2011)	28
	CML 2 Baseline 2000	Foidart et al. (2010)	33
	CML 2000	Royo et al. (2018)	17
	CML 2000, UseTox, CED	Avadí; Fréon (2015)	34
	CML 2001	Ros-Dosdá et al. (2018)	9
	CML 2001	Tschiggerl et al. (2016)	0
	CML01	Habert (2013)	29
	CML2001	Moreno-Leiva et al. (2017)	21
	CML-IA 2000	Giordano et al. (2018)	9
	CNM 2001	Li et al. (2018)	10
ReCiPe	ReCiPe	Wang et al. (2019)	0
	ReCiPe	Ivner et al. (2010)	18
	ReCiPe 1.08	Kuckshinrichs; Koj (2018)	5
	ReCiPe 2008	Saner et al. (2010)	166
	ReCiPe 2008	Treyer; Bauer (2016)	27
	ReCiPe 2008 + pesos Benetto et al (2004)	Gursel; Ostertag (2017)	8
	ReCiPe 2013	Jung et al. (2014)	29
UseTox		Avadí; Fréon (2015)	34
CED		Avadí; Fréon (2015)	34
Eco-Indicator	99	Tan; Khoo (2005)	18
Embodied Energy		Lamnatou et al. (2014)	57
Embodied Carbon		Lamnatou et al. (2014)	57
Framework de Butt	2014	Anthonissen et al. (2016)	16
ILCD	2011	García-Gusano et al. (2015)	44
Impact	2002+	Rajaeifar et al. (2019)	34
TRACI	2.0	Ashworth et al. (2015)	34
VEDA		Kypreos et al. (2008)	17
Vários (Revisão bibliográfica)	-	Jourdaine et al. (2019)	0
Não deixa claro		Wu et al. (2018)	3
		Song et al. (2018)	10
		Garcia-Herrero et al. (2018)	6
		Mikulčič et al. (2016)	9
		Fujii et al. (2014)	36
		Baidya et al. (2019)	4
		Yu et al. (2018)	1
		Chao et al. (2013)	4
		Ramasamy et al. (2015)	18
		Zhen et al. (2018)	2
		Song et al. (2019)	1
	Dorn et al. (2015)	5	
	Santin et al. (2019)	0	

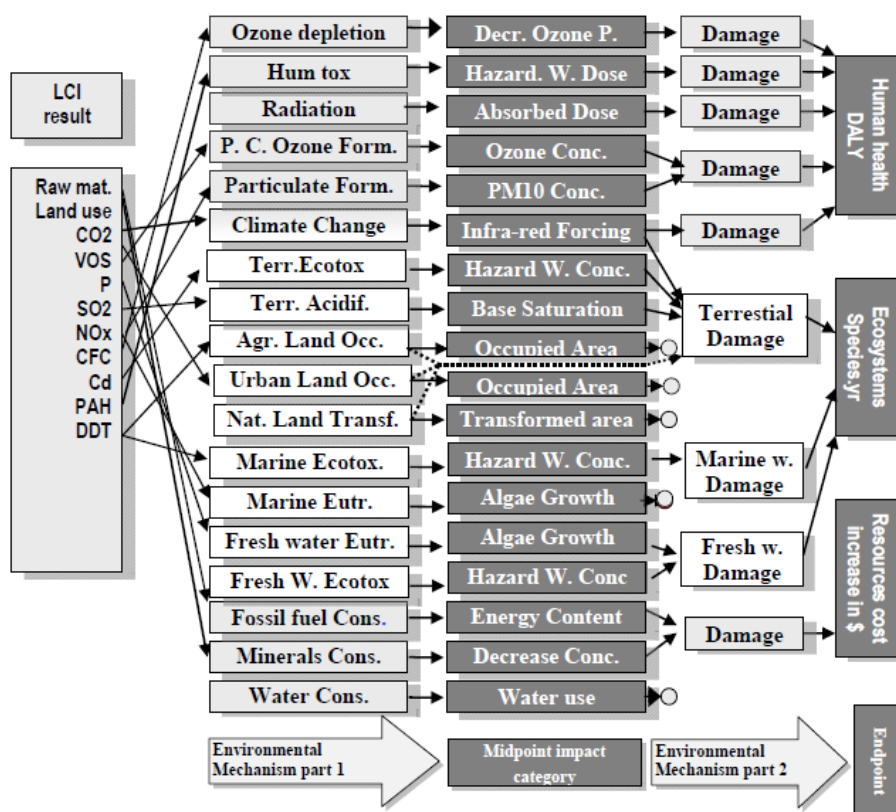
Fonte: O Autor (2022)

Com relação ao enquadramento há um equilíbrio entre CML e ReCiPe, respectivamente com 190 e 253 citações, denotando que existe uma tendência na utilização de bases com uma abordagem *midpoint* e *endpoint*, apesar do CML trabalhar somente com *midpoint*.

O ReCiPe é um enquadramento de método de avaliação, ou seja, é a forma como será realizada a AICV, que possuiu o maior número de citações, sendo também um dos mencionados pela literatura da área, inclusive o apontado Cherubini; Ribeiro (2015, p. 75 e 77) como um dos enquadramentos mais importantes, utiliza *midpoint* e *endpoint*, com atualização constante.

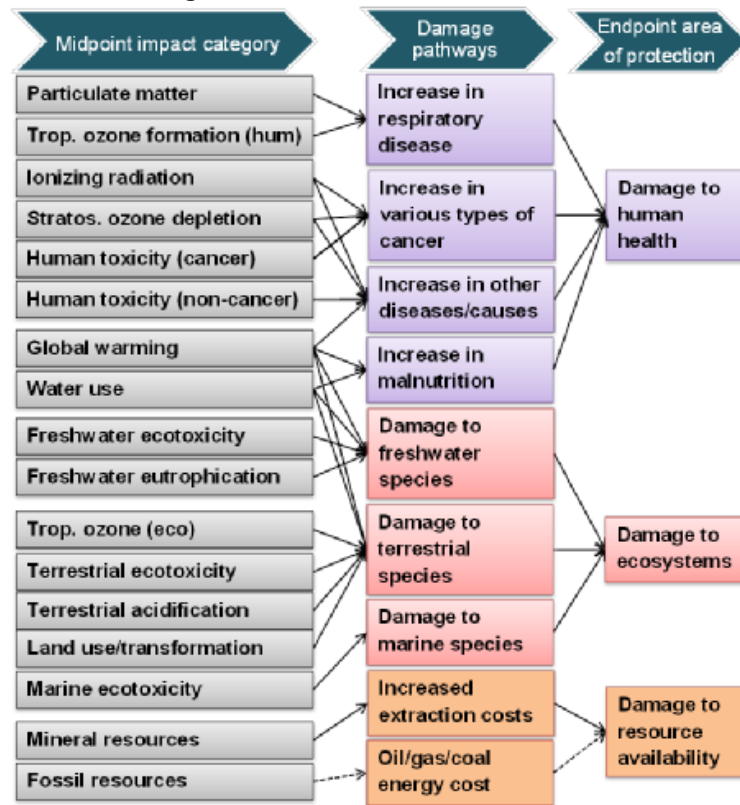
O ReCiPe é uma técnica que trabalha as categorias de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV). A ReCiPe 2008, versão utilizada no artigo, de Goedkoop et al. (2009), foi atualizada por Huijbregts et al. (2017), a ReCiPe 2016, a qual tem atualmente 18 indicadores de ponto médio (*midpoint*), como alterações climáticas ou acidificação, e 3 indicadores de ponto final (*endpoint*), englobando *midpoints* conectados aos *endpoints* ligados à saúde humana, à biodiversidade e à escassez de recursos, conforme pode-se verificar na evolução da ReCiPe 2008 na Figura 24 com ReCiPe 2016 na Figura 25.

Figura 24 - Modelo do ReCiPe 2008



Fonte: Goedkoop et al. (2009, p. 4)

Figura 25 - Modelo do ReCiPe 2016



Fonte: Huijbregts et al. (2017, p. 140)

A metodologia de Gursel e Ostertag (2017, p. 240) utiliza a base de dados e software GaBi 2015 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento ReCiPE 2008, entretanto utiliza pesos indicados por Benetto et al. (2004, p. 964).

A metodologia chave apresentada por García-Gusano et al. (2015, p. 332) utilizam a base de dados Ecoinvent 2.2, o software SimaPro 7.3.3 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento *midpoint* ILCD 2011, do International Reference Life Cycle Data System (ILCD), conforme European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (EC-JRC-IES - 2011).

Jung et al. (2014, p. 51) em vista da temática voltada à eletrólise apresentam uma base de dados diferenciada: Bulan (2006) e ThyssenKrup Eçectrçysis, (2014a,b). O software GaBi 5 é utilizado, assim como a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento ReCiPE 2013, utiliza métodos tradicionais.

Foidart et al. (2010, p. 5033) utilizam como metodologia para a ACV a base de dados Ecoinvent 2.0, o software SimaPro 7.0 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento CML 2 Baseline 2000.

A metodologia de Habert (2013, p. 119) utilizam a base de dados Ecoinvent 2003?, o software SimaPro 7.1 e a caracterização dos impactos é realizada pelo

enquadramento CML01 abordando 10 impactos ambientais distintos. A análise dos métodos pré-existentes e seus limites são abordadas no estudo.

Treyer; Bauer (2016, p. 1236-1237) apresentam como metodologia a base de dados Ecoinvent 3.1, o software SimaPro 8.0.4 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento ReCiPE 2008 v.1.11, de Goedkoop et al. (2009).

A metodologia de Moreno-Leiva et al. (2017, p. 244-245) apresentam a base de dados Ecoinvent 3.1 de Wernet et al. (2016), o software GaBi 2016 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento CML2001.

A metodologia de Royo et al. (2018, p. 1816-1817) utilizam a base de dados Ecoinvent 3.0, o software SimaPro 8.03 e a caracterização dos impactos apontados por Tukker (2000) é realizada pelo enquadramento CML 2000.

Li et al. (2018, p. 472 e 468) utilizam a base de dados Ecoinvent 3.1, o software GaBi 6.115 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento CML segundo Guinée (2001).

Giordano et al. (2018, p. 149) utilizam a base de dados Ecoinvent 3.1, o software SimaPro 8.0.5 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento CML-IA 2000, conforme

Ros-Dosdá et al. (2018, p. 556) apresentam a metodologia com a base de dados de ELCD 3.2 e Gabi 4.131, software GaBi 4.131 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento CML2001.

Para propor um novo conjunto de indicadores para avaliar o desempenho da sustentabilidade da indústria pesqueira do Peru com base na ACV e perfil nutricional Avadí; Fréon (2015, p. 520) empregam a base de dados Ecoinvent 2.3, o software SimaPro 7.3 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento ReCiPE 2008, versão 2013, CML Baseline 2000, USEtox de Rosenbaum et al. (2008), e *Cumulative Energy demand* (CED) com base no Ecoinvent 2.2.

Ashworth et al. (2015) utilizam a base de dados Ecoinvent 2.0, o software SimaPro 7 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento TRACI 2.0, conforme Bare et al. (2003). Interessante os cenários propostos com 3 momentos distintos das culturas, inclusive com a inclusão de insumos e o custo ambiental destas opções.

A metodologia utilizada por Rajaeifar et al. (2019, p. 434) fundam-se na base de dados Ecoinvent 3.3, o software SimaPro 8.4 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento Impact 2002+ de Jolliet et al. (2003).

A metodologia de Tan e Khoo (2005, p. 214) apresentam como base de dados Eco-Indicator 99, o software SimaPro 5.0 e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento Eco-indicator 99.

Song et al. (2018) utiliza a base de dados e software GaBi 2012, entretanto apresenta outras bases específicas da China, inclusive reais para registrar etapas específicas do processo.

A metodologia de Wu et al. (2018, p. 482) utilizam uma a base de dados chinês (*China Statistical Yearbook*) e dados do próprio software SimaPro 8.2.0.0 e a da pegada d'água com base em Gu et al. (2015).

A metodologia de Zhen et al. (2018, p. 19-21) é um modelo híbrido de entradas e saídas ambientais estendidas, o modelo *Environmentally Extended Input-Output* (EIO), e a ACV, gerando modelo híbrido EIO-LCA, com base no NBSC (*National Bureau of Statistics of the People's Republic of China*). A metodologia utilizada é a Extended exergy analysis (EEA) com base nos dados do NBSC.

Um trabalho que chama a atenção mas não é efetivamente ligado a indústria energo-intensiva, mas em um planejamento energético municipal realizado por Ivner et al. (2010, p. 1803) que, apesar de apresentar um planejamento recorrente (base de dados Ecoinvent 2.0, software SimaPro 7.1.8 e caracterização dos impactos com o enquadramento ReCiPE 2008) com um elemento inovador: participação popular (município). Este recurso diferenciado é respaldado no trabalho de Björklund (2012), artigo representativo da exposição.

Vários foram os artigos apresentaram metodologias diferenciadas.

Kypreos et al. (2008, p. 181) apresentam um metodologia nova, utilizando o *The Integrated MARKAL-EFOM System* (TIMES), desenvolvido pelo *Energy Technology Systems Analysis Programme* (ETSAP) da *International Energy Agency* (IEA), conforme Kypreos et al. (2008). Foram utilizados dois softwares para auxiliar na construção do modelo e da alimentação de dados, respectivamente GAMS e VEDA.

Em Ramasamy et al. (2015) não é apresentada em nenhum momento uma metodologia, referenciando Curran (2006), Rebitzer et al. (2004) e Mata et al. (2012).

Garcia-Herrero et al. (2018, p. 233) tem como base de dados e software GaBi 6, incrementado por dados relativos ao processo de Goetzfried et al. (2012), Coventry et al. (2016) e Brinkmann et al. (2014).

Chao et al. (2013, p. 2512) apresentam a *Dynamic Hybrid Multi-Region Inventory analysis* (DHMRI), tomando por base a *Environmentally Extended Multi-*

Region Input-Output Analysis (EEMRIOA) e *Life Cycle Assessment* (LCA). Apesar de existir base de EEMRIOA constroem uma base particular para o artigo, quando ao ACV recorrem a European Commission -- Joint Research Centre -- Institute for Environment and Sustainability (2010) e Guinée et al. (2011), não apresentando software nem enquadramento.

A metodologia de Zhen et al. (2018, p. 19-21) é um modelo híbrido de entradas e saídas ambientais estendidas, o modelo *Environmentally Extended Input-Output* (EIO), e a ACV, gerando modelo híbrido EIO-LCA, com base no NBSC (*National Bureau of Statistics of the People's Republic of China*).

Yu et al. (2018) utilizam a metodologia EIO-LCA, citando Joshi (1999) e LAVE et al. (1995).

Jourdaine et al. (2019) utilizam a base de dados Ecoinvent (vários até 3.4), Gabi (vários, até 4), softwares parcialmente identificados GaBi e a caracterização dos impactos é realizada pelo enquadramento ReCiPE 2016, CML, IPCC etc. Ainda menciona o PEF, LANCA e UseTox (comparações realizadas).

Santin et al. (2019) aplicam para cada parte do estudo uma metodologia. A pegada de água é de Gu et al. (2015) e a de carbono de Pandey et al. (2011), entretanto são utilizados dados do World Bank Database, além de dados climáticos do Energy Plus Climate Database 2018. Foram realizadas simulações de sistemas de climatização com base no software TRAnSient SYstem Simulation program (TRNSYS) 17, com base em sua documentação presente em Levy e Levy (2018). Foram base para o estabelecimento das questões da pegada de carbono os trabalhos de Chhipi-Shrestha et al. (2018), Chinese et al. (2017), Danish et al. (2019) e Waas et al. (2014).

Tschiggerl et al. (2016) apontam o uso da ELCD 3, uma base já em desuso da União Europeia, utilizando trabalhos como o de Guinée (2001). Tem como base estratégias da União Europeia sobre eficiência energética contida nos documentos da Comissão Europeia (CE) (2010) sobre estratégia de “crescimento inteligente, sustentável e inclusive” para 2020 e em uma diretiva sobre eficiência energética da Conselho da União Europeia (CUE); Parlamento Europeu (PE) (2012). Não aponta outros dados nem softwares para o trabalho.

Wang et al. (2019) apresentam a metodologia com base nas publicações do ILCD, duas bases de dados a Chinese Life Cycle Database (CLCD) e o Ecoinvent (p. 7). Realizam uma discussão sobre as duas bases de dados. O estudo é realizado com base no Energy Foundation para “Evaluation and Upgrading Scheme of Circular and

Low-carbon Industrial Park in Henan Province: A case study of Yongcheng Economic and Technological Development Zone”, especificamente na Yongcheng Economic Development Zone (YEDZ).

Outro estudo que trata da área de energia com equipamentos específicos é o trabalho de Lamnatou et al. (2014), o qual realiza a AICV de um sistema integrado de coletor solar (térmico), este trabalho apresenta uma metodologia diferente ao abordar na avaliação de impacto do ciclo de vida a energia incorporada (EE de Embodied Energy) e o carbono incorporado (CE de Carbon Embodied), utilizando duas bases de dados (ICE e Alcorn), vários cenários e tecnologias.

A metodologia chave apresentada neste *paper* utiliza duas bases de dados: inventory of carbon&energy (ICE) do *Sustainable Energy Research Team*, e Alcorn (2003) do *Centre for Building Performance Research*, não existem um software específico e a caracterização dos impactos é realizada pela energia e carbono incorporado, o qual pode ser caracterizado como *midpoint*.

A metodologia apresentada neste *paper* tem como base trabalhos de Hammond e Jones (2008) e Lamnatou; Chemisana (2014), o primeiro apresentado um estudo sobre a AICV baseada na energia e carbono incorporado com uma base de dados aberta da Universidade Bath (Inglaterra), no segundo artigo são abordados cenários para a AICV.

Em vista da necessidade de análise energética com relação à ACV esta conexão é mandatória, sendo explícita à fontes de energia em especial em Treyer; Bauer (2016), vinculado a escolha das melhores tecnologias de geração de energia para a transição energética nos Emirados Árabes Unidos; Saner et al. (2010), ao avaliar o impacto da eletricidade em sua avaliação; Avadí e Fréon (2015), em virtude dos gastos energéticos em cada uma das análises apresentadas; Doluweera et al. (2011), reforçam a necessidade de abordagem energética, criando cenários para teste de hipóteses; Moreno-Leiva et al. (2017), trabalham com a necessidade energética do processo do cobre com a utilização de sistema fotovoltaico ; Ros-Dosdá et al. (2018) apresentam 17 alternativas energéticas visando a seleção de soluções energéticas;

Indiretamente, em vista de seleções de materiais com menor impacto contribuem os trabalhos de Habert (2013), em vista de um dos materiais alternativos ser proveniente de uma planta termelétrica; Jung et al. (2014), ao apresentar redução de custos energéticos (diminuição de 30%) na troca de catodos do processo.

2.3 Modelo Teórico

O modelo teórico, conforme pontua Bunge (2008, p. 16), é um sistema hipotético-dedutivo relativo a um objeto-modelo, o qual é “uma representação conceitual esquemática de uma coisa ou situação real ou suposta como tal”.

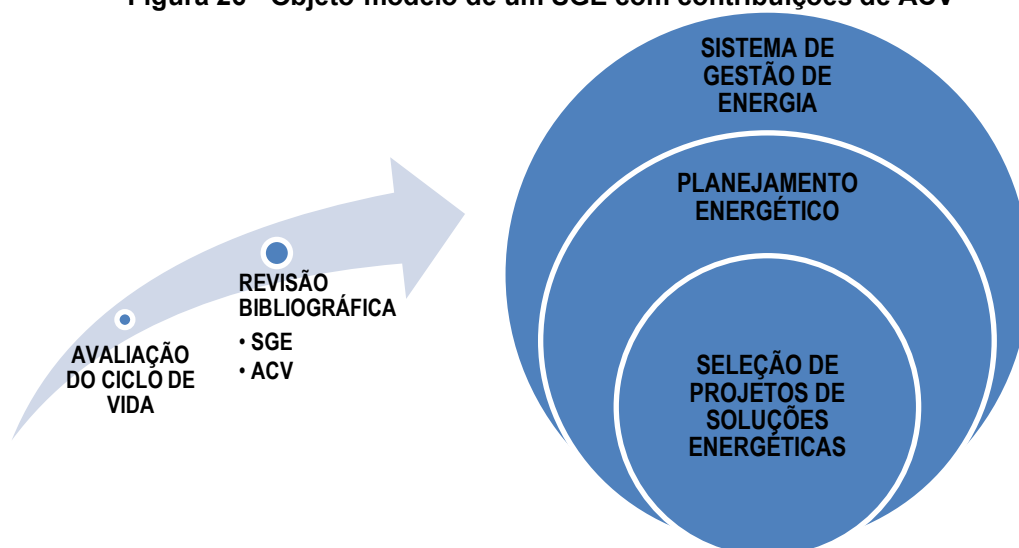
De forma sintética pode-se afirmar que o objeto-modelo é o planejamento energético realizado em um SGE voltado a indústria energo-intensiva, de forma mais específica a seleção de projetos de soluções energéticas. Já a sistematização ora apresentada refere-se a um planejamento energético com base nos elementos apresentados nos subcapítulos 2.1 Planejamento Energético e Sistema de Gestão de Energia e 2.2 Soluções Energéticas e Avaliação do Ciclo de Vida.

A união do SGE e da ACV presentes nas contribuições documentais, com as diretrizes das normas ABNT, acrescidas das contribuições compiladas na revisão bibliográfica relativa ao SGE e à ACV possibilitam a construção do modelo teórico que contribuirá para o atingimento do objetivo desta tese: propor um método de planejamento energético para um SGE voltado a indústria energo-intensiva que possibilite a seleção de projetos de soluções energéticas considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

2.3.1 Diretrizes e Sistematização do Modelo Teórico

O ponto de partida do modelo teórico é esboçar de forma transparente os objetos-modelo, que tem como base um SGE, possui como pontos focais o planejamento energético e a seleção de projetos de soluções energéticas e como elemento agregador a ACV e as contribuições da revisão bibliográfica realizada tanto em ACV como em SGE relativas à indústria energo-intensiva conforme Figura 26.

Figura 26 - Objeto-modelo de um SGE com contribuições de ACV



Fonte: O Autor (2022)

Importante ressaltar que a utilização da ACV tem como finalidade a inserção ou incremento de aspectos ambientais e sociais no SGE, no planejamento energético e na seleção de projetos de soluções energéticas. Isto significa que a utilização da ACV, através de um inventário, da avaliação do ciclo e de seus impactos não é mandatória, até porque ficaria restrita ao momento da seleção de soluções energéticas, mas a utilização de seus conceitos deve permear as outras etapas do SGE, em todo o ciclo PDCA.

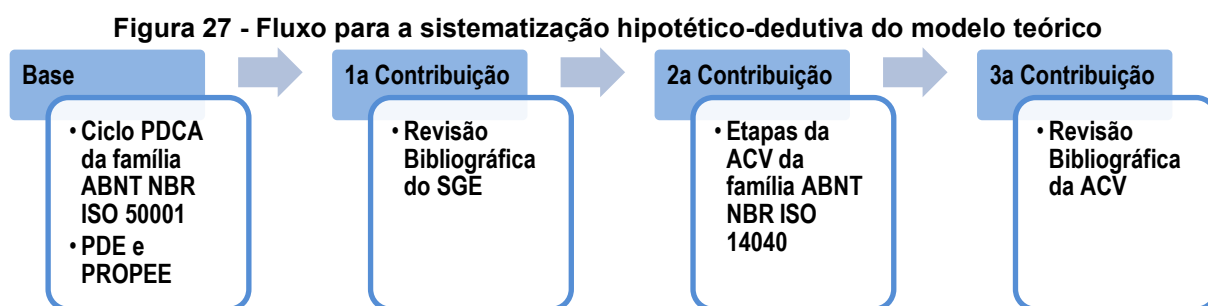
Além disto necessário frisar que o SGE e a ACV têm realidades distintas, enquanto o SGE é um processo de melhoria contínua realizado através de ciclos, com dados reais e retroalimentação do sistema (excetuando-se os projetos), os quais poderão ser medidos; a ACV é pontual, com escopo e tempos bem delimitados, trabalhando com projeções, com impactos potenciais, não existindo uma dinâmica de confirmação de dados ou resultados pretendidos.

Pode-se, portanto, definir como diretrizes:

- a) Utilização de um método híbrido de planejamento energético com base em um SGE que permita a seleção de projetos de soluções energéticas com uso da ACV, seja de conceitual ou como ferramenta, e das revisões bibliográficas de SGE e ACV;
- b) Mapeamento desde a implantação do SGE e durante o ciclo PDCA de elementos que poderão ter contribuições da ACV e das revisões bibliográficas de SGE e ACV.

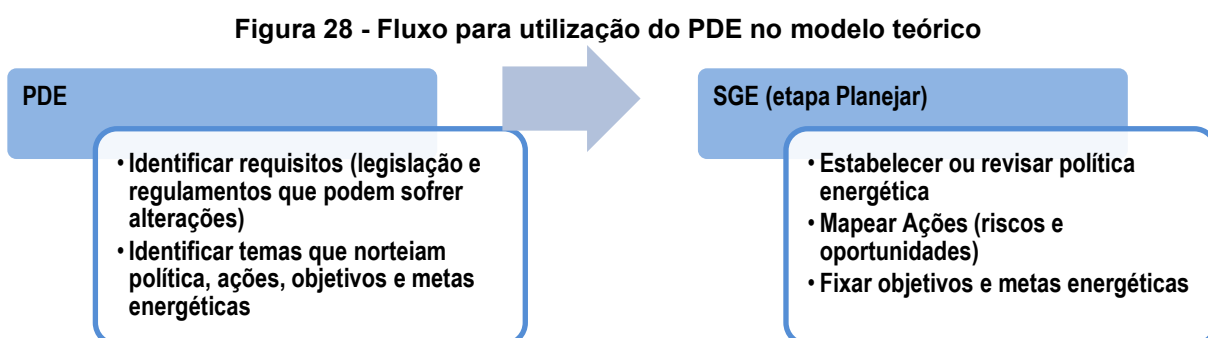
A partir das diretrizes é possível iniciar o processo de sistematização hipotético-dedutiva, consolidando as diretrizes apresentadas para dar base ao método de planejamento energético da tese.

A sistematização do modelo teórico segue o fluxo da Figura 27 que contempla a ordem de aplicação, lembrando que fontes indicadas são as levantadas neste capítulo de revisão sistemática.



Fonte: O Autor (2022)

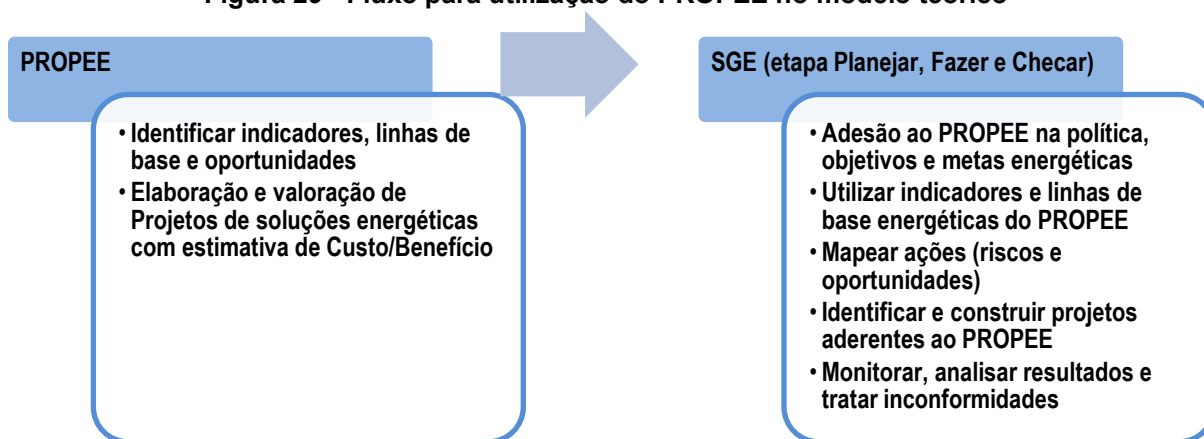
A base é o ciclo PDCA sintetizado no Quadro 3 (p. 40), que na prática pode ter algumas influências em vista das Fontes Úteis para Elaboração do Planejamento Energético, como o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e os Programas de Eficiência Energética (PROPEE), podendo influir em diversos momentos do ciclo.



Fonte: O Autor (2022)

A Figura 28 apresenta um fluxo para a utilização do PDE como uma ferramenta para auxiliar na construção ou manutenção do SGE, especificamente para a etapa de planejamento, sugerindo-se que a equipe do SGE tenha como uma de suas tarefas a avaliação do PDE para fornecer elementos que fundamentem a tomada de decisão na criação e mudança em especial da política energética, do mapeamento de ações em vista de riscos e oportunidades, estabelecimento de objetivos e metas energéticas.

Figura 29 - Fluxo para utilização do PROPEE no modelo teórico



Fonte: O Autor (2022)

A Figura 29 apresenta um fluxo e indica elementos do PROPEE que podem influenciar um SGE em suas diversas etapas, já que este programa da ANEEL fornece métricas da avaliação da eficiência energética, com indicadores claros e pesos para o estabelecimento de um coeficiente Custo/Benefício de cada projeto (elemento que serve para classificar os projetos).

A primeira contribuição é realizada com a revisão bibliográfica do SGE relativo à indústria energo-intensiva é o passo seguinte da construção do modelo teórico, apresentada uma síntese no Quadro 27.

Ao realizar a revisão bibliográfica do SGE a revisão bibliográfica e sua seleção (p. 58) indicam a revisão sistemática, utilização de survey, categorização, seleção e avaliação de artigos, útil para a metodologia da tese e para identificar *benchmarking*.

Outra contribuição são os modelos de implementação (p. 65), que apresentam frameworks e uma modelagem com base em *Business Process Management* (BPM), nas duas construções a consideração de etapas preparatórias e dimensões diversas (como a cultural e organizacional) são importantes para corroborar com a inserção de novos elementos, como a inserção do aspecto ambiental, em uma dimensão de sustentabilidade, e social, em uma dimensão cultural ou organizacional, dependendo da influência que gera.

A avaliação preliminar (p. 67) pode constituir um primeiro passo da revisão energética (ou mais ampla), quando é mapeada a maturidade de implantação do SGE, uma avaliação qualitativa que usualmente utiliza questionários, entrevistas estruturadas ou semiestruturadas, podendo envolver público interno e externo.

Quadro 27 – Consolidação do Ciclo PDCA com as contribuições da revisão sistemática do SGE

PDCA	Etapas Base	Contribuições
Plan (Planejar)	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecer a política energética 	Revisão PDE e PROPEE Inserção de outras dimensões (framework)
	<ul style="list-style-type: none"> Constituir equipe de gestão da energia; 	
	<ul style="list-style-type: none"> Mapear ações para enfrentar os riscos e oportunidades 	Revisão PDE e PROPEE Survey <i>Sustainable Manufacturing Mapping</i> (MPP)
	<ul style="list-style-type: none"> Realizar a revisão energética; 	Modelo de maturidade do SGE Survey, questionários e entrevistas (estruturadas ou semiestruturadas) Revisão climática Categorização das medições (ótimos; perdas estáticas e dinâmicas; teóricas, da planta, operacionais)
	<ul style="list-style-type: none"> Identificar os usos significativos de energia (USE); 	Survey Usos significativos ambientais
	<ul style="list-style-type: none"> Fixar indicadores de desempenho energético (IDE) 	Revisão PROPEE Revisão sistemática <i>Benchmarking</i> Indicadores ambientais
	<ul style="list-style-type: none"> Construir a(s) linha(s) de base energética(s) (LBE) 	Revisão PROPEE Linhas de base ambientais
	<ul style="list-style-type: none"> Fixar os objetivos e metas energéticas 	Revisão PDE e PROPEE Revisão sistemática <i>benchmarking</i>
	<ul style="list-style-type: none"> Constituir planos de ação para melhoria do desempenho energético 	Revisão PROPEE Revisão sistemática <i>benchmarking</i>
Do (Fazer)	<ul style="list-style-type: none"> Implementar os planos de ação 	Revisão PROPEE
	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecer os controles de operação e manutenção 	Revisão PROPEE Revisão sistemática <i>Benchmarking</i> Gestão energética
	<ul style="list-style-type: none"> Realizar a comunicação; 	
	<ul style="list-style-type: none"> Assegurar competências e 	Treinamentos e capacitação para utilizar ferramentas
	<ul style="list-style-type: none"> Considerar o desempenho energético no projeto e aquisição 	Revisão PROPEE Análise Hierárquica do Processo (AHP) Método de tomada de Decisão Multicritério (MCDM) Lógica <i>Fuzzy</i> <i>Payback</i> categorizado Questionário semiestruturado
Check (Checar)	<ul style="list-style-type: none"> Monitorar e medir o desempenho energético 	Revisão PROPEE
	<ul style="list-style-type: none"> Analisar, avaliar e auditar o desempenho energético, planos de ação e o próprio SGE 	Revisão PROPEE
	<ul style="list-style-type: none"> Realizar a análise(s) crítica(s) pela direção do desempenho energético e do próprio SGE. 	
Act (Agir)	<ul style="list-style-type: none"> Fixar as ações para tratar não conformidades 	Revisão PROPEE
	<ul style="list-style-type: none"> Identificar melhorias do desempenho energético e do SGE para o próximo ciclo. 	

Fonte: O Autor (2022)

As medições (p. 71) e sua categorização inserem-se na revisão contemplando um aspecto quantitativo da revisão, avaliando níveis de utilização energética ou economia de energia, aponta ainda medições de economias indiretas e/ou vinculadas às políticas públicas, importante em alguns setores que permitem a adesão de indústrias energo-intensivas em medidas de urgência.

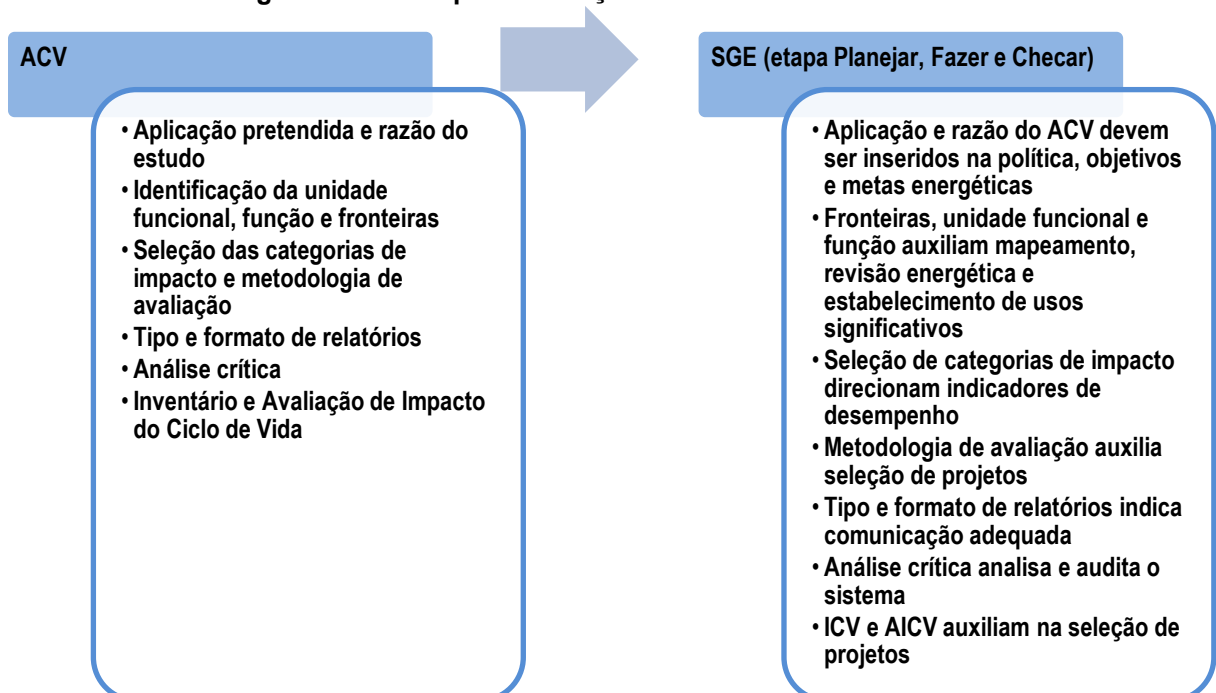
A seleção de projetos de soluções energéticas (p. 75) apresenta o Método de tomada de Decisão Multicritério (MCDM) com base na Análise Hierárquica do Processo (AHP) como o mais aplicado, evoluindo para modelos com utilização de lógica *Fuzzy*. Outra técnica empregada é o *payback* categorizado e questionários semiestruturados com escala de 3 valores para auxiliar a tomada de decisão.

A conexão com do SGE com ACV (p. 79) apresentam a introdução de indicadores e medições na área ambiental, especialmente CO₂, e ferramentas *Lean*, especialmente o *Sustainable Manufacturing Mapping* (MPP).

A segunda contribuição é a revisão documental da ACV com princípios e etapas da família ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2014a, 2014b, 2014c, 2016c).

A Figura 30 apresenta um fluxo para que a revisão documental do ACV possa contribuir nos diversos momentos do SGE já que o conhecimento da técnica facilita a implantação dos aspectos ambientais e sociais para realizar o planejamento energético e a seleção de projetos de soluções energéticas.

Figura 30 - Fluxo para utilização da ACV no modelo teórico



Fonte: O Autor (2022)

Os princípios da ACV aplicam a perspectiva de ciclo de vida e a abordagem relativa à unidade funcional, esta última permite considerar como entrada a saída de outra unidade funcional. O princípio da completeza versa incluir aspectos ambientais, relativos à saúde humana e dos recursos para a ACV e AICV.

As etapas da ACV estruturam inicialmente o objetivo e escopo, a realização do inventário, a avaliação do impacto, a interpretação, e, por fim, uma análise crítica para avaliar se a ACV foi corretamente aplicada; todos estes passos podem ser acrescidos a etapa do SGE que trata de seleção de projetos, entretanto, para tudo seja efetivo os conceitos devem permear todo o ciclo do SGA.

A terceira contribuição vem da revisão bibliográfica de ACV que tem um foco maior no foco dos artigos, consolidando-se as contribuições no Quadro 28.

Quadro 28 – Consolidação do Ciclo PDCA com as contribuições da revisão sistemática da ACV

PDCA	Etapas Base	Contribuições
Plan (Planejar)	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecer a política energética 	Valorar aspectos ambientais e sociais na política
	<ul style="list-style-type: none"> Constituir equipe de gestão da energia; 	
	<ul style="list-style-type: none"> Mapear ações para enfrentar os riscos e oportunidades 	Objetivo e escopo da ACV Identificação do método de avaliação de impacto, base e software adequado (verificar normalização) Identificação da função, unidade funcional e fronteiras
	<ul style="list-style-type: none"> Realizar a revisão energética; 	
	<ul style="list-style-type: none"> Identificar os usos significativos de energia (USE); 	Identificar fluxos
	<ul style="list-style-type: none"> Fixar indicadores de desempenho energético (IDE) 	Propor indicadores adequados
	<ul style="list-style-type: none"> Construir a(s) linha(s) de base energética(s) (LBE) 	
	<ul style="list-style-type: none"> Fixar os objetivos e metas energéticas 	Objetivo e escopo da ACV
Do (Fazer)	<ul style="list-style-type: none"> Constituir planos de ação para melhoria do desempenho energético 	ICV e AICV
	<ul style="list-style-type: none"> Implementar os planos de ação 	
	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecer os controles de operação e manutenção 	
	<ul style="list-style-type: none"> Realizar a comunicação; 	Tipo e formato de relatórios
	<ul style="list-style-type: none"> Assegurar competências e 	Treinamento da equipe do SGE
Check (Checar)	<ul style="list-style-type: none"> Considerar o desempenho energético no projeto e aquisição 	Incluir parâmetros ambientais e sociais
	<ul style="list-style-type: none"> Monitorar e medir o desempenho energético 	
	<ul style="list-style-type: none"> Analisar, avaliar e auditar o desempenho energético, planos de ação e o próprio SGE 	Análise crítica da ACV
Act (Agir)	<ul style="list-style-type: none"> Realizar a análise(s) crítica(s) pela direção do desempenho energético e do próprio SGE. 	
	<ul style="list-style-type: none"> Fixar as ações para tratar não conformidades 	
	<ul style="list-style-type: none"> Identificar melhorias do desempenho energético e do SGE para o próximo ciclo. 	

Fonte: O Autor (2022)

A revisão bibliográfica da ACV buscou mapear as contribuições referentes a: bases de dados, software, métodos de avaliação de impacto e apontar algumas metodologias diferenciadas. Fator importante é a existência de muitos estudos que examinam produtos bem específicos, como ficou registrado no Quadro 23 (p. 96).

2.3.2 Modelo Teórico e suas Limitações

O modelo teórico proposto é composto das 19 etapas do ciclo PDCA do SGE com a utilização das ferramentas indicadas na visão consolidada para cada momento do ciclo PDCA. O Quadro 29 apresenta as contribuições na etapa de planejamento.

Quadro 29 - Modelo Teórico do Planejamento Energético

PDCA	Etapas Base	Contribuições
Plan (Planejar)	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecer a política energética 	Revisão PDE e PROPEE Inserção de outras dimensões (framework) Valorar aspectos ambientais e sociais na política
	<ul style="list-style-type: none"> Constituir equipe de gestão da energia 	
	<ul style="list-style-type: none"> Mapear ações para enfrentar os riscos e oportunidades 	Revisão PDE e PROPEE Survey <i>Sustainable Manufacturing Mapping</i> (MPP) Objetivo e escopo da ACV Identificação do método de avaliação de impacto, base e software adequado (verificar normalização) Identificação da função, unidade funcional e fronteiras
	<ul style="list-style-type: none"> Realizar a revisão energética e ambiental 	Modelo de maturidade do SGE Survey, questionários e entrevistas (estruturadas ou semiestruturadas) Revisão climática Categorização das medições (ótimos; perdas estáticas e dinâmicas; teóricas, da planta, operacionais)
	<ul style="list-style-type: none"> Identificar os usos significativos de energia e ambiental (USE, USA); 	Survey Usos significativos ambientais Identificar fluxos para ACV
	<ul style="list-style-type: none"> Fixar indicadores de desempenho energético ambiental (IDE, IDA) 	Revisão PROPEE Revisão sistemática <i>Benchmarking</i> Indicadores ambientais Propor indicadores de ACV
	<ul style="list-style-type: none"> Construir a(s) linha(s) de base energética(s) e ambiental (LBE, LBA) 	Revisão PROPEE Linhas de base ambientais
	<ul style="list-style-type: none"> Fixar os objetivos e metas energéticas, ambientais 	Revisão PDE e PROPEE Revisão sistemática <i>Benchmarking</i> Objetivo e escopo da ACV
	<ul style="list-style-type: none"> Constituir planos de ação para melhoria do desempenho energético e ambiental 	Revisão PROPEE Revisão sistemática <i>Benchmarking</i> ICV e AICV

Fonte: O Autor (2022)

O ciclo do planejamento energético contribui com a inclusão das ferramentas levantadas nesta revisão sistemática de SGE e ACV, especialmente a inserção do conceito de ACV na política, usos, indicadores, linhas de base. Nesta fase realizam-se mapeamentos e revisões que permitem a constituição de um modelo presente fronteiras, fluxos energéticos e ambientais, insumos energéticos e matéria-prima, processos e etapas de produção na indústria energo-intensiva. Muitas ferramentas foram apontadas para auxiliar nesta fase incluindo: modelos de maturidade, *survey*, questionários, entrevistas, *benchmarking*, bases e softwares de ACV.

É no planejamento que é necessário realizar o ICV e AICV dos planos de ação, possibilitando o conhecimento de custos econômicos ao se dimensionar o

quotar uma tecnologia de solução energética, mas também da mensuração de seus impactos no meio ambiente ou na saúde humana, por exemplo.

Quadro 30 - Modelo Teórico do Fazer, checar e Agir

PDCA	Etapas Base	Contribuições
Do (Fazer)	<ul style="list-style-type: none"> Implementar os planos de ação 	Revisão PROPEE
	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecer os controles de operação e manutenção 	Revisão PROPEE Revisão sistemática <i>Benchmarking</i> Gestão energética
	<ul style="list-style-type: none"> Realizar a comunicação; 	Tipo e formato de relatórios
	<ul style="list-style-type: none"> Assegurar competências e 	Treinamentos e capacitação para utilizar ferramentas Treinamento da equipe do SGE
	<ul style="list-style-type: none"> Considerar o desempenho energético no projeto e aquisição 	Revisão PROPEE Análise Hierárquica do Processo (AHP) Método de tomada de Decisão Multicritério (MCDM) Lógica <i>Fuzzy</i> <i>Payback</i> categorizado Questionário semiestruturado Incluir parâmetros ambientais e sociais
Check (Checar)	<ul style="list-style-type: none"> Monitorar e medir o desempenho energético 	Revisão PROPEE
	<ul style="list-style-type: none"> Analisar, avaliar e auditar o desempenho energético, planos de ação e o próprio SGE 	Revisão PROPEE Análise crítica da ACV
	<ul style="list-style-type: none"> Realizar a análise(s) crítica(s) pela direção do desempenho energético e do próprio SGE. 	
Act (Agir)	<ul style="list-style-type: none"> Fixar as ações para tratar não conformidades 	Revisão PROPEE
	<ul style="list-style-type: none"> Identificar melhorias do desempenho energético e do SGE para o próximo ciclo. 	

Fonte: O Autor (2022)

Nas etapas subsequentes ao planejamento energético o treinamento da equipe do SGE e outros envolvidos nos planos de ação auxiliam em sua implantação. Além disto é neste momento que existe o registro do desempenho dos projetos e aquisições, sendo imperativo a consideração dos aspectos levantados pela ACV para um determinado projeto e que eles possam ser comparáveis, portanto, devem ter unidades funcionais muito bem delimitadas.

A utilização de ferramentas como o AHP e MCDM para trabalhar na ordenação dos múltiplos critérios necessários para a tomada de decisão, assim como a forma que são apresentados.

As limitações para utilização deste modelo teórico decorrem da diferença entre o SGE e a ACV. Um SGE tem como realidade, conforme a previsão normativa e os registros dos artigos examinados, um processo de melhoria contínua realizado

através de um ciclo, ou seja, trabalha-se com a retroalimentação do sistema, além de tratar (excetuando-se os projetos) dados reais, os quais poderão ser medidos. A ACV é totalmente distinta, vez que tem como pressuposto a identificação de impactos potenciais, ou seja, não é um trabalho cíclico, visto que tem como foco o mapeamento de processos produtivos (tanto de produtos quanto de serviços) que em tese são repetitivos e permitem o estabelecimento de métricas para contabilização dos impactos ambientais, os quais não são mensurados, mas projetados, não existindo uma dinâmica de confirmação de dados ou resultados pretendidos.

Nas etapas preliminares de Planejamento Energético também se fixam questões vinculadas à potencialidade de ganhos de um ou outro projeto, o que será aferido somente após sua implementação com a comparação com a LBE. Entretanto a ACV não tem este direcionamento de mensuração, da verificação do real, o que poderá ser objeto de mensuração em breve, especialmente relativo à etapa de produção e consumo³³.

Necessário, pois, estruturar um modelo teórico para apresentar variáveis e suas relações, que permitam identificar a qualidade de serem apenas potenciais, sem possibilidade de futuras mensurações, ou potenciais/reais, quando admitem alterações e mensuração.

Ainda, neste mesmo sentido, outra realidade se impõe, que decorre tanto da perspectiva de a AICV considerar o processo como um todo, incluindo etapas iniciais de um fluxo ao considerar o “berço” do produto, com a consideração de matérias primas, assim como os SGE ao considerarem insumos externos que podem influenciar o planejamento energético, o que nos remete outra característica de variáveis, ser de base ou derivada, herdando ou não características de um processo anterior.

Esta caracterização, certamente permitirá a seleção ao identificar como USE e LBE poderão ser influenciadas por características derivadas ou herdadas de variáveis com impacto externo ou *ex ante*.

Outra limitação de ordem prática do modelo teórico reside na necessidade de realizar treinamentos e do tempo necessário para realização da ACV de diversos produtos, realidade que poderá ser superada dependendo da maturidade do SGE com relação a ACV.

³³ Especialmente se os produtos tiverem alguma obrigação de logística reversa, derivada de políticas públicas, como, por exemplo, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2012).

A utilização das contribuições apontadas tem uma limitação em relação ao tipo de plano de ação levantado, especialmente ações muito simples com custo desprezível ou nulo. Há que se estabelecer uma dinâmica de melhoria contínua e de envolvimento da cultura organizacional para realmente propiciar a implantação de um modelo teórico com tantas ferramentas

3 METODOLOGIA

A metodologia apresenta como a pesquisa foi estruturada e quais técnicas empregadas para propor um método de planejamento energético para um SGE voltado a indústria energo-intensiva que possibilite a seleção de projetos de soluções energéticas considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

A pesquisa foi realizada na área de conhecimento Multidisciplinar, mais especificamente a Interdisciplinar - Engenharia/Tecnologia/Gestão. A finalidade é direcionada à pesquisa aplicada. Buscou-se um desenvolvimento experimental, visto que foi elaborado um método e simulou-se parte de sua aplicação, exceto a seleção das soluções energéticas, somente apontando dados preliminares para execução da técnica de tomada de decisões multicritérios.

Para o atingimento dos objetivos específicos previstos no item 1.2.2 (p. 27) realizou-se pesquisa descritiva e pesquisa exploratória, elaborou-se um modelo teórico, ordenaram-se elementos para o método e constituiu-se o método para o planejamento energético com as delimitações apontadas no objetivo geral.

3.1 Pesquisa Descritiva

A pesquisa descritiva (Gil, 2002, p. 42) foi realizada com a finalidade de apontar as características preconizadas nas normas do SGE e da ACV. O procedimento técnico adotado ou delineamento foi de pesquisa documental (Gil, 2002, p. 87-91), tendo como objetivo esquematizar os elementos fundamentais e processos do SGE e da ACV (objetivos específicos 1 e 3 da tese – p. 27) e as fontes identificadas no Target Gedweb³⁴.

A análise realizada nas diversas normas estudadas direcionou-se a explicitar o processo e os elementos fundamentais para implantar um SGE e realizar uma ACV, utilizando-se tabelas ou quadros para condensar as informações mais importantes que estão consolidadas com outras ideias expostas nos itens 2.1.1, denominado Sistema de Gestão de Energia: Revisão Documental no Brasil, (p. 39) e 2.2.1, denominado Avaliação do Ciclo de Vida: Revisão Documental no Brasil, (p. 84).

³⁴ <https://www.gedweb.com.br/utfpr/>

3.2 Pesquisa Exploratória

A pesquisa exploratória (Gil, 2002, p. 41) foi realizada para proporcionar maior familiaridade com as técnicas e metodologias empregadas pela indústria energo-intensiva para a implantação de SGE e da realização de ACV, seleção de projetos de soluções energéticas e elementos fundamentais do PDE e PROPEE aplicáveis ao planejamento energético proposto na tese (objetivos específicos 2 e 4 da tese – p. 27).

O procedimento técnico adotado foi de pesquisa documental e bibliográfica (Gil, 2002, p. 59-91), para as fontes documentais (PDE e PROPEE) a busca ocorreu sítios da EPE e ANEEL, para buscar as fontes bibliográficas utilizou-se o portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) do Ministério de Educação (MEC) mediante o acesso remoto via Comunidade Acadêmica Federada (CAFe).

O levantamento preliminar também foi exploratório, realizado com o mecanismo disponível no portal de periódicos da CAPES denominado busca avançada com as palavras-chave das temáticas somente no campo assunto com a expressão exata, utilizando os filtros “expandir meus resultados” e “periódicos revisados por pares”. A pesquisa preliminar está registrada no item 1.4.2 (p. 34), constatando-se a inexistência de artigos com os três eixos ao mesmo tempo: SGE, ACV e indústria energo-intensiva. Essa realidade auxiliou na formulação do problema da pesquisa: Quais indicadores ambientais e sociais (e seus pesos) podem se somar aos indicadores técnicos e econômicos na seleção de projetos de soluções energéticas em sistemas de gestão de energia (SGE) na indústria energo-intensiva?

As duas pesquisas bibliográficas contemplam os temas SGE e ACV, e duas pesquisas documentais, os documentos do PDE e PROPEE. Nas pesquisas bibliográficas seguiu-se a técnica ProKnow-C explícita em Ensslin et al. (2011) e com as contribuições de Gil (2002, p. 76-80) através das leituras exploratória, seletiva, analítica e interpretativa. Saliente-se que a restrição na busca avançada com as palavras-chave das temáticas somente no campo assunto com a expressão exata diminuiriam sensivelmente os artigos no portfólio inicial.

A revisão bibliográfica do SGE resultou em 28 artigos selecionados, durante a leitura exploratória e com base na pesquisa documental elencaram-se temas focais: revisão e avaliação bibliográfica; modelos de implementação de SGE, avaliação preliminar do SGE, medições energéticas, seleção de projetos no SGE, conexões com

ACV; e avaliação e análise de dados no SGE. Os pontos focais foram objeto leitura interpretativa, possibilitando a compreensão das técnicas e metodologias de SGE visando o atendimento do objetivo específico 2.

A revisão documental do PDE e PROPEE igualmente procedeu-se a leitura analítica e interpretativa, compilando-se informações relativos a categorias e temas elencados no planejamento energético estatal e no procedimento do programa de eficiência energética brasileiros. A Figura 31 consolida a pesquisa exploratória vinculada ao SGE

Figura 31 - Pesquisa exploratório do SGE na indústria energo-intensiva

REVISÃO DOCUMENTAL	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
<ul style="list-style-type: none"> • PDE • PROPEE 	<ul style="list-style-type: none"> • 28 artigos • Revisão bibliográfica • Modelos de implementação do SGE • Avaliação preliminar • Medições energéticas • Categorização e seleção de projetos • Avaliação e análise de dados do SGE • Correlações com ACV

Fonte: O Autor (2022)

A revisão bibliográfica do eixo ACV levantou 38 artigos em que se denotou um direcionamento quanto a: bases de dados, software, métodos de avaliação de impacto, participação popular e algumas metodologias diferenciadas. A busca destes artigos foi alterada em virtude da inexistência do termo vinculado a indústria energo-intensiva no campo assunto, registrando-se conforme a Figura 32.

Figura 32 - Pesquisa Exploratória da ACV na indústria energo-intensiva

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
<ul style="list-style-type: none"> • 38 artigos • Bases de Dados • Software • Métodos de Avaliação de Impacto • Participação Popular • Metodologias Diferenciadas • Conexões com SGE e EC

Fonte: O Autor (2022)

A análise realizada nos diversos artigos e normas estudadas possibilitou selecionar as técnicas e metodologias de SGE e ACV e temas e categorias do PDE e PROPEE de interesse para o modelo teórico e para o método de planejamento

energético pretendido na tese. Os resultados da pesquisa exploratória estão nos itens 2.1.2, denominado Planejamento Energético na Indústria Energo-Intensiva, (p. 53); 2.2.2, denominado Avaliação de Ciclo de Vida na Indústria Energo-Intensiva, (p. 93); e 2.1.1.2, denominado Fontes Úteis para Elaboração do Planejamento Energético, (p. 49).

3.3 Metodologia para o Modelo Teórico

A metodologia utilizada no modelo teórico é a de Bunge (2019, p. 31-40) que estabelece um primeiro momento com a representação de um objeto real através de um objeto-modelo e, posteriormente, realiza-se uma sistematização hipotético dedutiva de relações deste objeto-modelo.

Na tese existem pelo menos seis objetos de interesse para os quais procura-se construir uma sistematização, são eles: o SGE, a ACV, as diretrizes do PDE e PROPEE, as técnicas e metodologias do SGE e ACV para indústrias energo-intensivas.

Como são representações da realidade, esses objetos-modelo identificam entradas e saídas para atender à tese: um planejamento energético do SGE com foco na seleção de projetos de soluções energéticas considerando os aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais. Ou seja, cada objetivo traz em si entradas diferentes para a mesma saída, as quais pode-se identificar conforme o quadro com base na pesquisa descritiva e exploratória realizada anteriormente.

Quadro 31 – Entradas dos objetos-modelo para a construção do modelo teórico

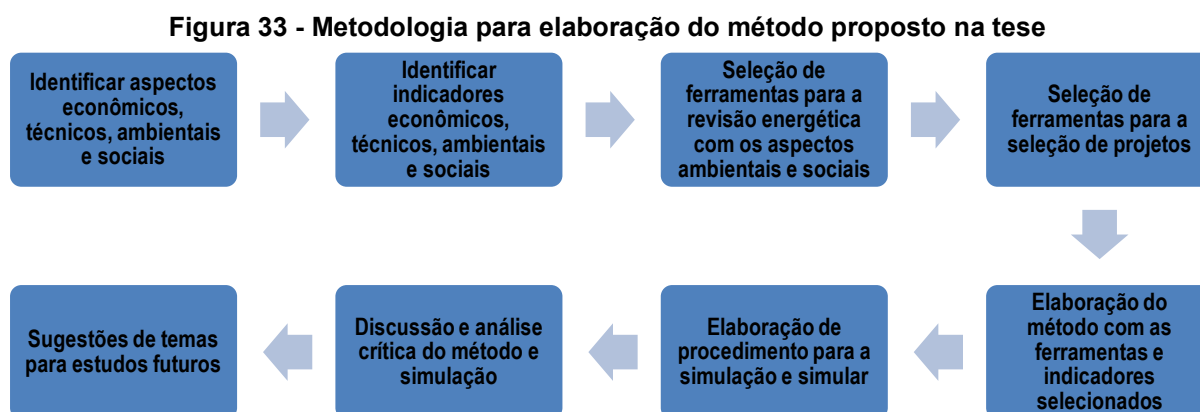
Objeto Modelo	Entradas
Pesquisa descritiva do SGE	Elementos fundamentais e Processo
Pesquisa descritiva da ACV	Elementos fundamentais e Processo
Pesquisa exploratória do PDE	Requisitos e Temas
Pesquisa exploratória do PROPEE	Requisitos e Temas
Pesquisa exploratória do SGE	Técnicas e Metodologias
Pesquisa exploratória da ACV	Técnicas e Metodologias

Fonte: O Autor (2022)

O fluxo para a elaboração do modelo teórico foi exposto no item 2.3.1, denominado Diretrizes e Sistematização do Modelo Teórico (p. 109), que contém vários fluxos que fornecem desde a visão geral até a específica para cada contribuição com as entradas interessantes para cada um dos objetos-modelo.

3.4 Metodologia do Método de Planejamento Energético

A base da metodologia é o modelo teórico e os elementos sintetizados na revisão sistemática do SGE e da ACV. O fluxo para a construção de um método que contemple a avaliação de aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais envolve os passos indicados na Figura 33.



Fonte: O Autor (2022)

Para atingir o objetivo da tese, as etapas propostas na metodologia serão desenvolvidas da seguinte forma:

1. Identificar os aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais a serem utilizados no método relativo ao SGE e à ACV para indústrias energo-intensivas, utilizando os objetos-modelo e modelo teórico e documentos selecionados para auxiliar na delimitação geográfica (realidade brasileira).
2. Identificar indicadores utilizados pela indústria energo-intensiva em seus relatórios de sustentabilidade e de *Environmental, Social and Governance* (ESG) e verificar a aplicabilidade deles para indicadores de desempenho, linhas de base e usos significativos energéticos com aspectos ambientais e sociais.
3. Selecionar ferramentas para a realização de revisão energética com aspectos ambientais e sociais explorando os objetos-modelos e, eventualmente, retomando a revisão sistemática realizada.
4. Selecionar ferramentas para realizar a seleção de projetos de soluções energéticas utilizando os objetos-modelos e, eventualmente, retomando a revisão sistemática realizada.

5. Elaborar método com as ferramentas e indicadores mapeados, identificando para cada etapa do PDCA de uma SGE para indústria energo-intensiva e as ferramentas para sua utilização.
6. Realizar uma simulação do sistema proposto buscando a comprovação de sua efetividade com dados fornecidos pela indústria energo-intensiva.
7. Discutir o método e a simulação, identificando a adequação e limites da proposta
8. Sugestões para continuidade dos estudos e validação do método proposto.

A implementação dos itens 1 a 6 desta metodologia está no item 3.5, contemplando dois momentos, um relativo ao método e o outro relativo à simulação. O item 7 da metodologia constitui o item 4.3. Por fim, o item 8 da metodologia está no Capítulo 5.

3.5 Elementos e Ferramentas Fundamentais

O primeiro passo proposto pela metodologia é a identificação dos aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais a serem utilizados no método relativo ao SGE e à ACV para indústrias energo-intensivas tendo como base a revisão sistemática realizada e documentos selecionados para auxiliar na delimitação geográfica (realidade brasileira). O Quadro 32 sintetiza as contribuições de SGE, que normalmente são: energia, custos de sua implementação, operação e manutenção.

Quadro 32 - Contribuições da revisão sistemática de SGE para fixar aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais

Autor	Contribuição
Böttcher e Müller (2016, p. 1451-1453)	Identificar no Sistema de Gestão Ambiental (SGA) Questionário estruturado sobre produção de carbono x SGE Verificar modelo estatístico de múltiplas variáveis (SEM)
Drumm et al. (2013, p. 101, 103-105)	Analisar Revisão Climática Categorização de projetos em viável e rentável
Du Plessis (2015, p. 26)	Identificar aspectos em políticas públicas do setor
Finnerty et al. (2017, p. 19-24)	Analisar Modelo de maturidade EMMM Identificar no AHP e MCDM Investigar critério de sustentabilidade
Introna et al. (2014, p. 110-113)	Avaliar Modelo de maturidade EMMM e UEMMM Avaliar Matriz de Gestão de Energia The Carbon Trust
Laskurain et al. (2017, p.9-12)	Analisar estudo exploratório com ACV e resíduos sólidos urbanos
McKane et al. (2017, p. 283)	Identifica cálculo de CO2 com base na economia total de energia
Moon e Min (2017, p. 26-29)	Analisar critério do DEA
Ozoliņa; Roša (2012, p. 518-520)	Avaliar de políticas públicas:
Peck e Parker (2016, p. 139)	Identificar objetivos das instalações:
Rojas e Prías (2014, p. 54)	Analisar MPP e VSM:
Sa et al. (2017, p. 2-3)	Matriz de Gestão de Energia The Carbon Trust Avaliar MCDM
Stenqvist; Nilsson (2012, p. 231-238)	Avaliar impactos na rede

Fonte: O Autor (2022)

O MCDM e a AHP de Finnerty et al. (2017, p. 23) proveem a seleção de projetos de soluções energéticas. Além disto, indica como objetivos os quatro aspectos da tese: econômico, técnico, ambiental e social. Quanto aos subobjetivos apresenta itens igualmente aderentes conforme Quadro 32.

Quadro 33 – Objetivos e Subobjetivos apontados no AHP de Finnerty et al. (2017)

Econômico	Técnico	Ambiental	Social
Capital investido	Operabilidade	Gases de Efeito Estuda (GEE)	Aprovação das partes interessadas
Índice interno de Retorno	Confiabilidade	Energia renovável compartilhada	Segurança operacional
Payback descontado	Escalabilidade	Redução de água	
Valor Presente Líquido		Redução de Resíduos	

Fonte: Finnerty et al. (2017, p. 23)

A revisão sistemática da ACV e as recomendações de modelos de AICV para o contexto brasileiro da Rede de Pesquisa de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (RAICV, 2019) traz como contribuição principal os métodos de avaliação de impacto, com técnicas de abordagens de *endpoint*, como impactos a saúde humana, meio ambiente e disponibilidade de recursos, e de *midpoints*, que versam sobre impactos ligados diretamente aos recursos, acidificação terrestre, eutrofização em água doce, depleção de recursos bióticos e abióticos, escassez hídrica e serviços ecossistêmicos decorrentes do uso da terra.

Com base nesses levantamentos realizados tem-se o Quadro 34.

Quadro 34 - Identificação dos aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais

Econômico	Técnico	Ambiental	Social
Capital investido	Operabilidade	Gases de Efeito Estuda (GEE) ou CO ₂ eq	Aprovação das partes interessadas
Índice interno de Retorno	Confiabilidade	Energia renovável	Segurança operacional
Payback descontado	Escalabilidade	Redução de água	Saúde humana
Valor Presente Líquido	Viabilidade Técnica	Redução de Resíduos	Políticas de perspectiva
Custos de O&M	Economia de Energia	acidificação terrestre	Políticas econômicas
Rentabilidade	Eficiência Energética	eutrofização em água doce	Políticas de apoio
	Segurança Energética	eutrofização em água doce	Economias energéticas indiretas
		depleção de recursos bióticos	
		depleção de recursos abióticos	
		escassez hídrica	
		serviços ecossistêmicos decorrentes do uso da terra	

Fonte: O autor (2022)

O segundo passo é identificar indicadores utilizados pela indústria energo-intensiva em seus relatórios de sustentabilidade e de *Environmental, Social and Governance* (ESG) e verificar a aplicabilidade deles para indicadores de desempenho, linhas de base e usos significativos energéticos com aspectos ambientais e sociais.

Esse passo deve ser realizado para cada indústria, utilizando o *benchmarking* (que é a técnica adequada para levantar o que a concorrência anda fazendo) ficando em consonância com aspectos identificados pelas políticas públicas, alocados no passo anterior no aspecto social.

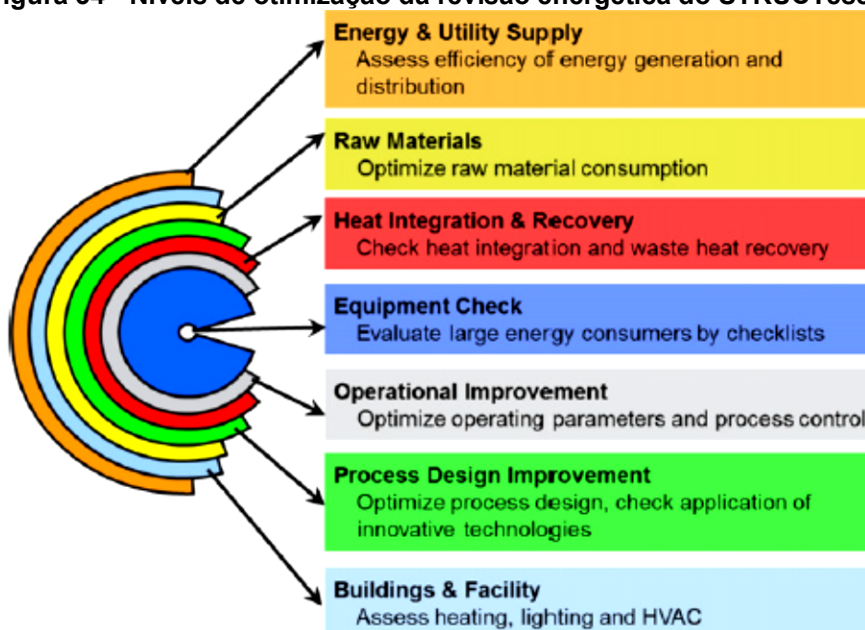
O terceiro passo é a seleção de ferramentas para a realização da revisão energética com aspectos ambientais e sociais. Ressalte-se que não se deve omitir a utilização de ferramentas vinculadas ao SGE, até porque é o fim primeiro do método proposto nesta tese.

Uma fonte apontada no SGE é, por excelência, o PROPEE que poderá ser utilizado para aproveitar políticas econômicas e de apoio. Soma-se às questões políticas a utilização do Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP) da Efficiency Valuation Organization/ ABESCO (2012).

A revisão sistemática realizada no SGE está sintetizada no Quadro 13 (p. 71), expondo em especial as ferramentas de Drumm et al. (2013) e Stenqvist (2015).

Drumm et al. (2013, p.101-102) apresentam uma revisão energética, denominada *Energy Efficiency Check* (EE Check) com 8 níveis de otimização, conforme Figura 34.

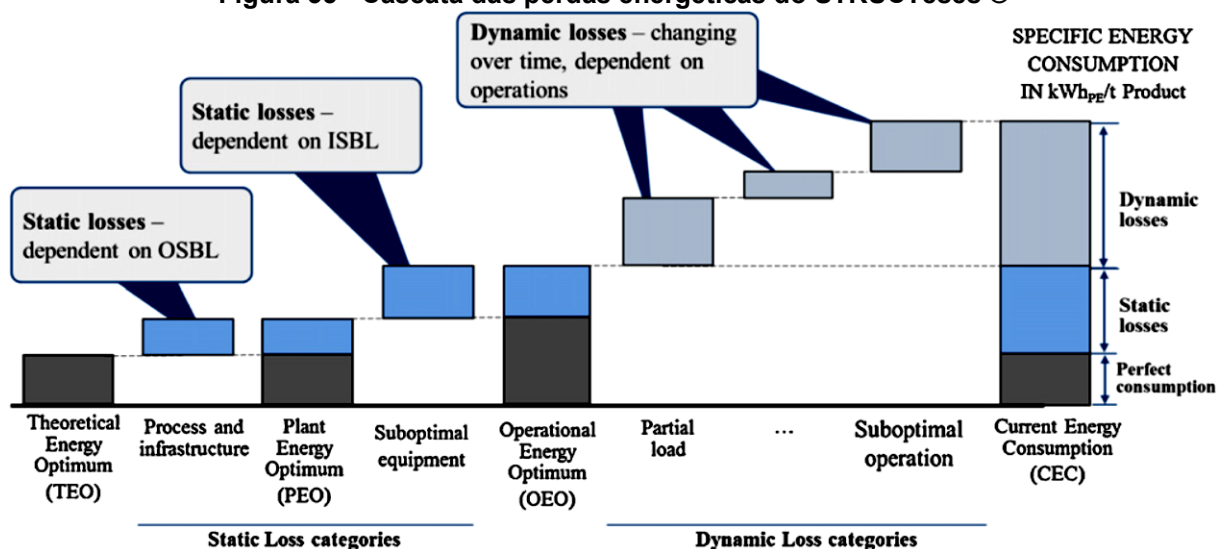
Figura 34 - Níveis de otimização da revisão energética do STRUCTese®



Fonte: Drumm et al. (2013, p. 102)

Drumm et al. (2013, p. 103-105) trazem o conceito de cascata de perdas energéticas (*Energy loss cascade*), segmenta as perdas energéticas mapeadas no STRUCTeses®, o SGE da Bayer, de acordo o consumo atual e o consumo ótimo (seja teórico, operacional, planta) conforme pode ser visto na Figura 35.

Figura 35 - Cascata das perdas energéticas do STRUCTeses ®



Legenda: CEC: Current Energy Consumption; ISBL: inside battery limit; OEO: Operational Energy Optimum; OSBL: outside battery limit; PEO: Plant Energy Optimum; TEO: Theoretical Energy Optimum

Fonte: Drumm et al. (2013, p. 104)

A técnica apresentada pela Bayer é adequada para mapear os processos de forma racional, identificando possibilidades de armazenamento de energia, inclusive os já existentes (variação decorrente do OSBL e ISBL), perdas estáticas e perdas dinâmicas (as quais são dependentes de tempo e operação).

Por outro lado, Stenqvist (2015, p. 3-5) apresenta o conceito de desagregação de energia em três fatores: atividade, mudanças estruturais e intensidade energética. Quanto à intensidade energética, ainda propõe a segmentação dos consumos, identificando especificamente o uso final de combustível, o de eletricidade e o uso de energia primária. Analisando as tendências energéticas agregadas (p. 6), identifica cinco consumos energéticos: total de combustível, final de combustível, eletricidade, rede de eletricidade, energia primária.

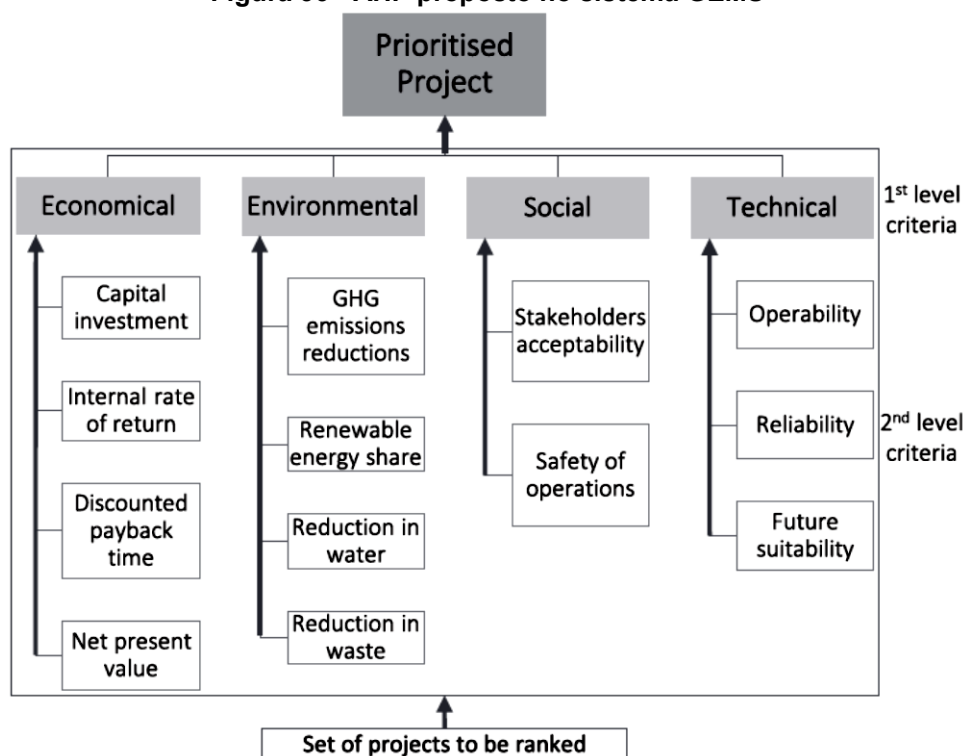
No tocante à ACV, a revisão é contemplada com o ICV e AICV, devendo-se adotar, no caso da AICV, o mesmo método de avaliação de impacto utilizado para estipular os aspectos que serão analisados no método proposto na tese.

O quarto passo do método é selecionar ferramentas para realizar a seleção de projetos de soluções energéticas e tem como base a revisão sistemática realizada, exposta no Quadro 14 (p. 75).

Finnerty et al. (2017) e Sa et al. (2017) utilizam MCDM, o primeiro apresentando a AHP. Paramonova et al. (2015) apresentam um *payback* de forma categorizada. Drumm et al. (2013) utilizam uma representação gráfica em consideração a viabilidade, rentabilidade e poupança de energia.

Finnerty et al. (2017, p. 23-24) utilizam um método de tomada de decisão multicritério (*Multi-Criteria Decision-Making Method* - MCDM), conforme Wang et al. (2009, p. 2272), o qual é composto de Análise Hierárquica do Processo (*Analytical Hierarchy Process* - AHP), Figura 36, e Lógica Fuzzy, uma técnica para ordenar solução ideal por similaridade, utilizando o *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS).

Figura 36 - AHP proposto no sistema GEMS

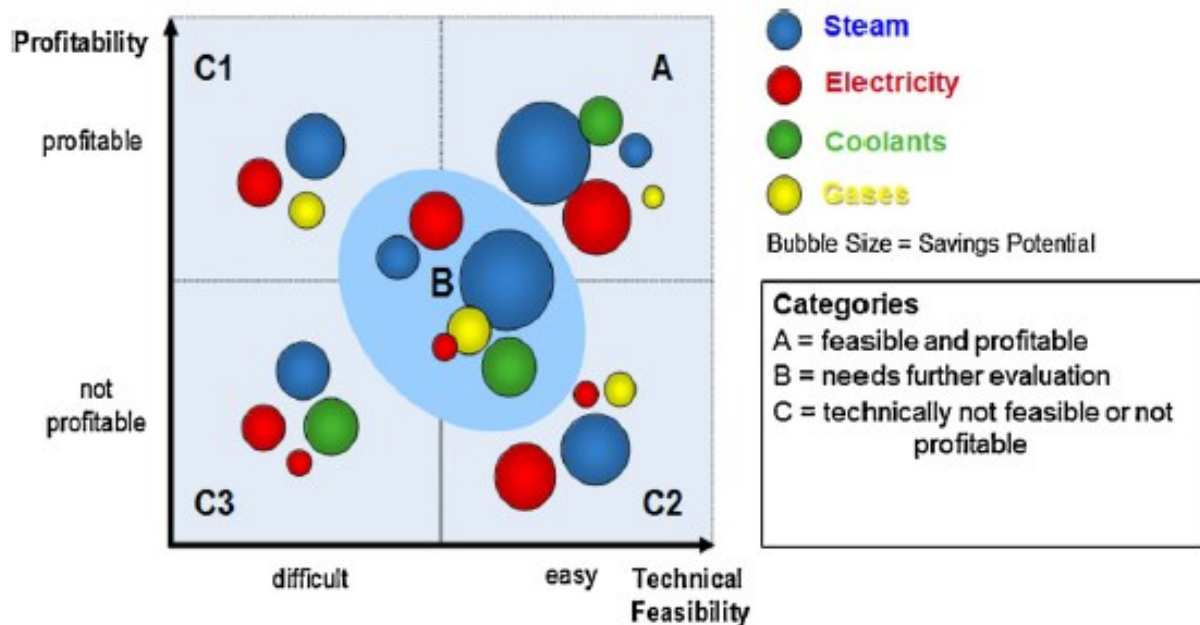


Fonte: Finnerty et al. (2017)(p. 23)

Paramonova et al. (2015, p. 477-478) apresentam a categorização de um Programa de Eficiência Energética realizado na Suécia entre 2005-2010, segmentando a avaliação e facilitando a compreensão de envolvidos em cada um dos projetos, o que permite a contabilização de recursos humanos e produtivos/equipamentos interno. As categorias são: novas tecnologias, ajuste de tecnologias, sistemas de controle, comportamento e outros (abrangendo medidas não contempladas nas demais categorias).

As ideias de melhorias decorrentes do mapeamento das perdas e possibilidades técnicas em Drumm et al. (2013, p. 102) são classificadas em três categorias de acordo com a viabilidade e rentabilidade: A) viável e rentável, B) provavelmente viável e rentável (precisa de uma avaliação adicional) e C) não viável ou não rentável (subdividida em: C1 - tecnicamente não viável, C2 - tecnicamente viável e atualmente não rentável e C3 - nem viável nem rentável). Com base nisto monta-se um portfólio, inclusive com representação gráfica em que os potenciais são traduzidos no tamanho de bolhas em quadrantes, conforme Figura 37.

Figura 37 - Portfólio de ideias de melhoria com a análise de viabilidade e potenciais economias



Fonte: Drumm et al. (2013, p. 104)

A visualização é muito interessante para que se perceba a viabilidade e rentabilidade, além dos potenciais de economia de cada solução energética proposta.

A última etapa é elaborar método com as ferramentas e indicadores mapeados, identificando para cada etapa do PDCA de uma SGE para indústria energo-intensiva as ferramentas para sua utilização.

4 MÉTODO, VALIDAÇÃO E DISCUSSÃO

O capítulo 4 versa sobre o método, a simulação (excluindo o AHP) e a discussão da proposta de método de planejamento energético de um SGE em indústria energo-intensiva com aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais e dos resultados obtidos na simulação.

A primeira parte implementa o método executando os passos previstos na metodologia, itens 3.4, relativo à Metodologia do Método de Planejamento Energético (p. 125) e 3.5, apresentando os Elementos e Ferramentas Fundamentais (p. 126).

A segunda parte apresenta uma simulação com dados do subsegmento de celulose, com exceção da seleção de projetos de soluções energéticas com a utilização do método de tomada de decisão multicritérios.

Na parte final realiza-se a discussão do método e da simulação realizada, apresentando as considerações sobre o modelo proposto e a forma de inserção da ACV para a realização do planejamento energético.

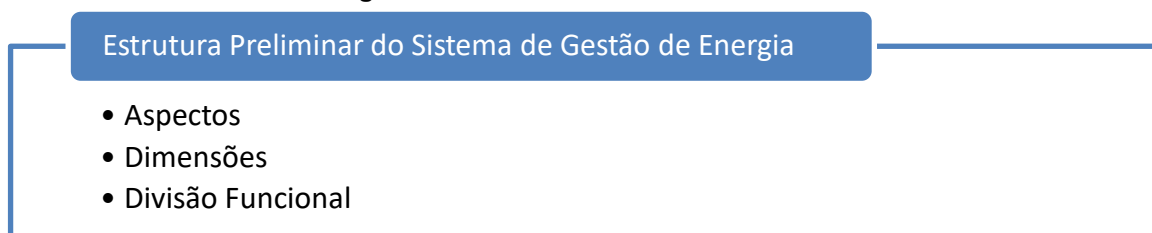
4.1 Método

A proposta de método de planejamento energético para um sistema de gestão de energia (SGE) voltado a indústria energo-intensiva que possibilite a seleção de projetos de soluções energéticas considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais está prevista neste item, subdividido em seis tópicos, dois preliminares, cuidando da estrutura e avaliação preliminar, e quatro decorrentes do PDCA.

4.1.1 Estrutura Preliminar do SGE

A Estrutura preliminar do SGE deve-se vincular aos aspectos a serem analisados para a construção do planejamento energético, além do estabelecimento de dimensões que conectam estes aspectos e da divisão funcional proporcionada.

Figura 38 – Estrutura Preliminar do SGE



Fonte: O Autor (2022)

É necessária uma estrutura preliminar que conecta os aspectos do SGE com seus equipamentos, sua divisão funcional. Deve sempre ser estabelecida com base em aspectos que o sistema pretende atender, o que pode ser norteado com as áreas em que uma indústria energo-intensiva pode ter como foco (técnico e econômico certamente sempre serão os basilares para a manutenção de uma indústria), entretanto em virtude de alterações sociais alguns parâmetros podem-se tornar importantes.

O aspecto social é selecionado em virtude do próprio programa de doutorado, vinculado a Tecnologia e Sociedade, que fomenta o debate da responsabilidade da tecnologia, conforme apontado por Jonas (2006, p. 43-46,353) ao conferir a humanidade a vocação tecnológica explícita a responsabilidade que se tem por aqueles que podem ser aliados por esta tecnologia.

A questão ambiental é temática atual, aspecto imprescindível em virtude das mudanças climáticas tão noticiadas e estudadas, especialmente com a necessidade de contribuir com técnicas para mitigar problemas e delinear soluções, como Filho et al. (2016) indicam o uso da AICV, a utilização de indicadores de sustentabilidade e a indicação de vulnerabilidade ambiental.

Os aspectos técnico, econômico, social e ambiental, apresentados para realizar a análise, foram estabelecidos na pesquisa preliminar e apresentam-se como direcionamento importante em vista da comunicação de todos os sistemas de gestão atualmente empregados.

As dimensões organizacional, cultural e de sustentabilidade realizam a comunicação de todos os aspectos, já que os valores de ativos de uma indústria energo-intensiva não estão somente nas questões técnicas ou econômicas, mas também ao ser humano e ao meio ambiente. A comunicação de cada um destes elementos denota os valores pertinentes a atualidade, entretanto, tanto aspectos

quanto dimensões, devem ser revistos sempre, com vistas a reforçar a sua necessidade, inclusão ou exclusão de aspectos e dimensões.

Tabela 8 - Técnicas para a Estrutura Preliminar do SGE

Elemento	Valores Atuais	Técnica	Prazo	Responsável
Aspectos	<ul style="list-style-type: none"> • Técnico • Econômico • Social • Ambiental 	pesquisa documental, bibliográfica e benchmarking relativo às temáticas SGE, ACV, SGA, na indústria energo-intensiva	Anual	SGE / Alta Direção
Dimensões	<ul style="list-style-type: none"> • Organizacional, • Cultural e • de Sustentabilidade 	pesquisa documental, bibliográfica e benchmarking relativo aos conectores dos aspectos aceites pela indústria energo-intensiva	Anual	SGE / Alta Direção
Divisão Funcional	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão Energética, • Recursos Energéticos Distribuídos, • Sistemas Motrizes, • Energia Térmica, • Iluminação e • Reciclagem de Resíduos 	Revisão documental com base nas Políticas Públicas relativa a SGE, ACV, (inclusive PDE e PROPEE)	Anual	SGE / Gerências

Fone: O Autor (2022)

A Tabela 8 apresenta uma orientação com relação ao aspecto da organização do SGE para cada ciclo, considerando a revisão dos aspectos, dimensões e divisão funcional como elementos importantes, que poderão inclusive ser específicos para cada setor, importante para mapear as necessidades de cada setor.

Para a identificação de aspectos, especialmente os técnicos, o PDE e PROPEE contribuem realizando uma divisão funcional, vez que sua análise identifica elementos que poderão acelerar planos de ação em vista de políticas públicas, com possíveis subsídios, benefícios ou mesmo restrições apresentadas pela Tabela 9.

Tabela 9 - Divisão Funcional do Modelo Teórico

Divisão Funcional	Subdivisão
Gestão Energética	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiência Energética (EE) • Equipamentos Eficientes (Bônus) • Gestão pela Lado da Demanda
Recursos Energéticos Distribuídos	<ul style="list-style-type: none"> • Autoprodução de Energia (APE) • Mini ou Microgeração Distribuída (MMGD) • Gás Natural (GN ou GNL) e aplicações • Armazenamento de Energia
Sistemas Motrizes ¹	
Energia Térmica	<ul style="list-style-type: none"> • Condicionamento Ambiental • Sistemas de Refrigeração • Energia Térmica Solar (ETS)
Iluminação	
Reciclagem de Resíduos	

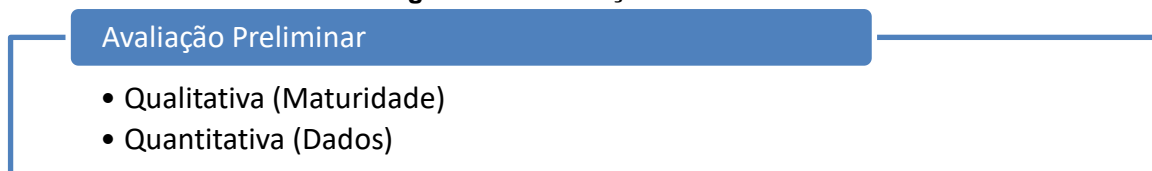
¹ A Abordagem é equivalente à apresentada para Gestão de Energia

Fonte: O Autor (2022)

4.1.2 Avaliação Preliminar

A avaliação preliminar constitui-se no primeiro passo prático para permitir uma adequada avaliação da indústria energo-intensiva e adequar ou constituir seu SGE para estabelecer um planejamento energético. A avaliação preliminar é realizada tanto de forma quantitativa e quanto qualitativa, conforme Figura 39.

Figura 39 – Avaliação Preliminar



Fonte: O Autor (2022)

A avaliação preliminar qualitativa tem como finalidade aferir a maturidade do SGE dentro de todos os aspectos e dimensões desejadas, inspirando-se na técnica aplicada por Introna et al. (2014) deve-se elaborar uma entrevista estruturada e/ou um questionário para mapear os aspectos pretendidos conforme Tabela 7 (p. 68). A pesquisa constituirá uma matriz identificando a maturidade para cada aspecto ou dimensão desejada, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Elementos para avaliação preliminar da maturidade do SGE, aspectos e dimensões pretendidos

Elemento	Item Avaliado	Alta Direção	Gerência	Funcionários	Terceiros
Valores	Social e Ambiental	AM, GD&SI, EO, EA	CCH, GD&SI	CCH, GD&SI	CCH
	Organizacional	AM, GD&SI, EO, EA	AM, GD&SI, EO	CCH, GD&SI	-
Dimensão	Cultural e de Sustentabilidade	AM, GD&SI, EO, EA	AM, GD&SI, EO	CCH, GD&SI	CCH
	Gestão Energética, Recursos Energéticos Distribuídos, Sistemas Motrizes, Energia Térmica, Iluminação e Reciclagem de Resíduos	AM, GD&SI, EA	CCH, GD&SI	AM, CCH, GD&SI	CCH
Divisão Funcional (valor técnico e econômico)		AM, GD&SI, EA	CCH, GD&SI	AM, CCH, GD&SI	-
		AM, GD&SI, EA	CCH, GD&SI	AM, CCH, GD&SI	-
		AM, GD&SI, EA	CCH, GD&SI	AM, CCH, GD&SI	-
		AM, GD&SI, EA	CCH, GD&SI	AM, CCH, GD&SI	CCH

CCH - Consciência, conhecimento e habilidades Alinhamento AM - Abordagem Metodológica

EA - Estratégia e

GD&SI - Gestão de desempenho e sistema de informação EO - Estrutura organizacional

Fone: O Autor (2022)

A avaliação quantitativa pode seguir o levantamento usual de dados relativos aos insumos energéticos e dados mensuráveis de searas econômicas (por exemplo contratos e suas modalidades), sociais e ambientais (documentação acerca das atuações e resultados de SGA, ESG, entre outros). A Tabela 11 apresenta uma sugestão de aplicação para a avaliação preliminar quantitativa.

Tabela 11 - Elementos da avaliação preliminar quantitativa do SGE, aspectos e dimensões pretendidos

Elemento	Item Avaliado	Contrato	Consumo / Custo	Substituível
Insumos Energéticos	• Eletricidade	X	MWh (histórico)	APE / MMD / EE
	• Gás Natural	X	m ³ (histórico)	Biometano
	• Bagaço de cana	Sazonalidade	t (histórico)	-
	• Coque de Carvão Mineral	X	t (histórico)	Carvão Vegetal?
	• Lixívia	Sazonalidade	t (histórico)	-
	• Coque de Petróleo	X	t (histórico)	Resíduos?
	• Carvão Mineral	X	t (histórico)	Carvão Vegetal?
SGA	• Mitigações	X	R\$	X
	• APP	X	R\$	X
Responsabilidade Social	• Ações		R\$	
Aquisições	• Produtos	X	R\$	Local/Ambiental
	• Serviços	X	R\$	Local/Ambiental

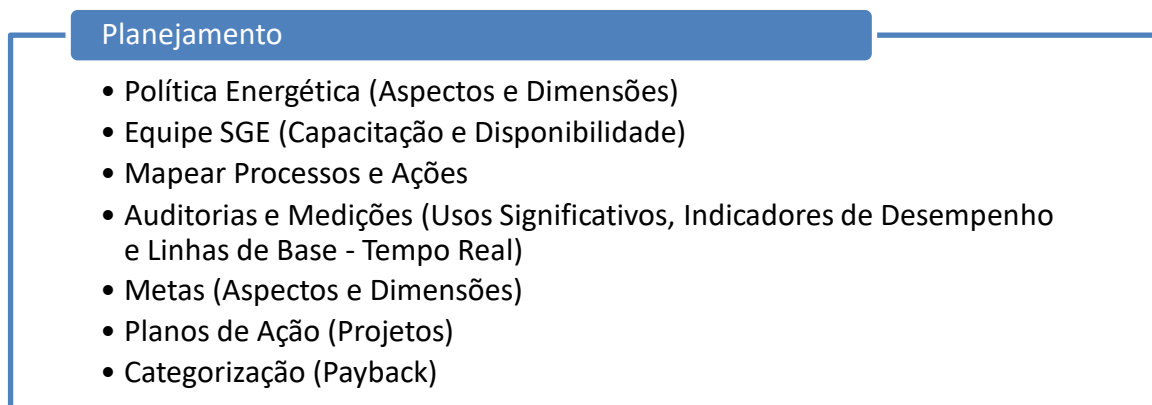
Fone: O Autor (2022)

Os elementos para quantificação de algumas medidas podem ser avaliados em vista de valores (caso a empresa possua gestão de ativos – inclusive valorando intangíveis vinculados a imagem ou questões sociais e ambientais). Importante registrar os valores, lembrando que se estão ausentes poderão compor futuros indicadores de desempenho.

4.1.3 Planejamento

O planejamento é a etapa mais extensa e o momento em que muitas técnicas do capítulo 2 podem ser utilizadas, ressaltando-se que sempre deverão ser analisados os dados relativos à Indústria Energo-Intensiva e as exigências regulamentares de cada aspecto.

Figura 40 – Planejamento



Fonte: O Autor (2022)

A política energética deve ser estabelecida para cada indústria energo-intensiva, seguindo-se preliminarmente a política, missão, visão e valores da indústria, tomando como base os direcionamentos utilizados na Política Nacional Energética, fixada em lei (que poderá indicar direcionamentos importantes e que possivelmente trará vantagens competitivas para a indústria energo-intensiva) e normas, adequando-as aos aspectos, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Técnicas para adequação da política energética ao SGE

Elemento	Requisitos	
	SGE	ACV
Política Energética	Apropriada à Organização	AICV das Soluções Energéticas
Objetivos e metas	Estruturar, analisar, criticamente e estabelecer (energia)	Incorporar Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
Informações e comunicação	Assegurar, documentar, disponibilizar, fornecer recursos	
Satisfação de Requisitos (legais e regulamentares)	EE, uso e consumo de energia, SGE, Análise crítica periódica e atualização (se necessário)	SGA, logística reversa <i>midpoint</i> e <i>endpoints</i>
Apoiar aquisições	Produtos e serviços energeticamente eficientes	Avaliando o AICV ou DAP
Apoiar atividades	Projetos melhoria do desempenho energético	Projetos melhoria de <i>midpoints</i> e <i>endpoints</i>

Fone: O Autor (2022)

A explicitação de aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais, previstos no Quadro 34 (p. 128) podem auxiliar a direcionar a elaboração da política energética com todos os seus elementos.

A equipe do SGE deve ser constituída avaliando-se a capacitação e disponibilidade apontada pela alta direção e, se necessário, poderá receber treinamento ou agregar pessoas externas ao quadro da empresa para se adequar. No caso de Indústria Energo-Intensiva que possui muitas filiais poderá ser salutar

desenvolver um fórum para construir um SGE nacional ou multinacional (Global), conforme apontado por Finnerty et al. (2017).

Mapear processos é uma etapa crucial, pois nela é possível identificar todos os insumos energéticos com suas fronteiras, considerando-se combustíveis, energias (primárias e secundárias), produtos, serviços, fornecedores, eficiência, custos vinculados ao aspectos (técnico e econômico usualmente é vinculado ao produto, entretanto podem-se aferir custos vinculados a impacto do ciclo de vida e a vocação energética) e riscos³⁵ do uso de cada insumo energético (identificação, análise de riscos – consequência, probabilidade e nível de risco – e avaliação de riscos).

Tabela 13 - Diretrizes para o mapeamento de processos do SGE

Mapeamento dos Processos	Ferramenta	Registros
Fronteiras	Diagrama Fence	Combustíveis, energias (primárias e secundárias)
Medição	Diagrama Fence Fluxos e insumos Níveis de otimização Cascata de Perdas Energéticas Desagregação de energia	Medições e Localização
Produto, Serviços e Fornecedores	Diagrama Fence	Inserção na planta
Custo	Escala Likert Payback categorizado	Custo-Benefício Produto / AICV / Vocação
Riscos	Processo de Avaliação de Riscos	Identificação do Risco (avaliação preliminar)
Sinergias	Técnica Estruturada “e se” (Swift)	Plasticidade das energias

Fone: O Autor (2022)

O mapeamento de ações ocorrerá com a ferramenta análise SWOT tomando como base oportunidades e fortalezas e diminuição de riscos preliminares avaliados.

Com a auditoria é possível constituir a visão da realidade energética e seu impacto no ciclo de vida das soluções energéticas (potencial) e as vocações energéticas locais deverão ser levantadas a fim de proporcionar o estabelecimento de metas, vinculadas aos aspectos, entretanto considerando as dimensões, que justamente apoiam o atingimento destas com relação aos aspectos.

³⁵ Conforme ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012), que trata de Gestão de Riscos – técnicas para o processo de avaliação de riscos.

Tabela 14 - Aspectos gerais para auditorias e medições do SGE

Elemento	Aspectos	
	SGE	ACV
Usos Significativos	Energias (primárias e secundárias) Original e Consolidada	Rank por indicar (Mid e End)
Indicadores de Desempenho	Energia e índices correlatos, Eficiência Energética, Rendimento, Perdas (Fixas, armazenamento e variáveis)	Midpoints e endpoints

Fone: O Autor (2022)

A Tabela 14 não contempla as linhas de base pois são construídas com base nos indicadores de desempenho para um período de 1 ano (ideal), para que o ciclo PDCA do SGE e o respectivo planejamento ocorra anualmente.

Com relação a avaliação quantitativa a contribuição com relação a indicadores é relevante no que se refere à análise de lacunas que o monitoramento deverá comportar, além de apontar um aperfeiçoamento do sistema através de auditoria energética normatizada, conforme proposta por ASHRAE nível 2 ou 3, presente em Deru et al. (2011), ultrapassando as análises preliminares (PEA), com o *survey* energético e sua análise (nível 2) ou ainda seus detalhamento (nível 3, o qual poderá até englobar simulações horárias³⁶), conforme pode-se verificar na Tabela 15 e Tabela 16.

Tabela 15 - Tarefas necessárias para auditoria energética apontado pela ASHRAE

Processo	Nível		
	1	2	3
Realizar análise preliminar do uso de energia	X	X	X
Realizar visita técnica preliminar	X	X	X
Identificar recomendações de baixo custo/sem custo	X	X	X
Identificar melhorias de capital	X	X	X
Revisão mecânica e elétrica (M&E) projeto e condição e práticas de O&M		X	X
Medir parâmetros-chave		X	X
Analisar medidas de capital (economias e custos, incluindo interações)		X	X
Encontrar com direção/O&M para revisar recomendações		X	X
Realizar testes/monitoramento adicionais			X
Executar modelagem detalhada do sistema			X
Fornecer layouts esquemáticos para recomendações			X

Fonte: adaptado de Deru et al. (2011, p. 5)

³⁶ Este tipo de simulação está sendo utilizada para a determinação do PLD horário no Brasil para Mercado de Curto Prazo (MCP) da CCEE e poderá ser extremamente interessante para as indústrias, visto que problemas pontuais relativos à horário de ponta, ultrapassagem de demanda, fator de potência pode ser localizados e otimizados.

Tabela 16 - Documentos necessários para auditoria energética apontado pela ASHRAE

Relatório	Nível		
	1	2	3
Estimativa de economia com a mudança da taxa de serviços públicos	X	X	X
Benchmarking dos indicadores de uso de energia (plantas semelhantes)	X	X	X
Resumir dados de utilidade	X	X	X
Estimativa de economia com indicadores para cumprir meta	X	X	X
Estimar economias de baixo custo/sem custo		X	X
Calcular o detalhamento do uso final		X	X
Estimar custos e economias de projetos de capital		X	X
Descrição completa do edifício e inventário do equipamento		X	X
Descrição geral do documento das medidas consideradas		X	X
Recomendar o método de medição e verificação (M&V)		X	X
Realizar análise financeira das Medições de projetos de Eficiência Energética recomendados		X	X
Escreva descrição detalhada das medidas recomendadas			X
Compilar estimativas detalhadas de custos dos projetos de EE			X

Fonte: adaptado de Deru et al. (2011, p. 5)

Estabelecidas as metas deverá ser feita uma análise de sensibilidade com relação as ações mapeadas anteriormente para estruturas Planos de Ação com Projetos com uma indicação, ante as diretrizes apontadas na divisão funcional (inclui PDE e PROPEE, podendo e devendo ser ampliada para obediência de Políticas Públicas setoriais). Neste momento é interessante aproveitar a tecnologia e construir uma base de soluções energéticas com as respectivas avaliações no que se refere a eficiência, facilidade de calcular e recalculer payback energético (podendo-se utilizar a técnica apresentada por Ramos et al. (2017, p. 18), que pode ser ampliado ao considerar não só a questão energética como também indicadores de *midpoint* e *endpoint* (podendo-se utilizar para tanto o software GaBI) com a utilização de normalização³⁷apresenta não só a avaliação com base no ciclo de vida como também considera a emissão de CO2), impactos

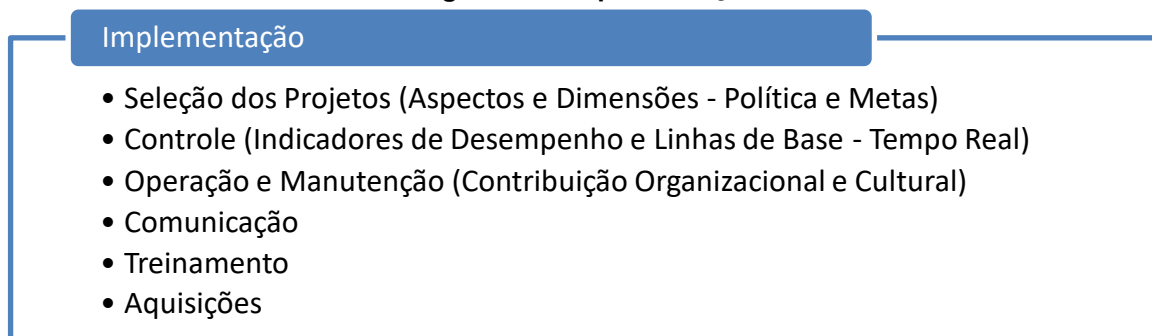
4.1.4 Implementação

Após a apresentação dos elementos que caracterizam a planta da indústria energo-intensiva, a categorização dos usos de energia e indicação da realidade com

³⁷ Técnica que deverá ser explicitada no próximo capítulo, permitindo a utilização da base de dados de outros países para suprir a falta de processos mapeados no Brasil no SICV

relação a cada um dos aspectos é possível iniciar a implementação dos projetos e os devidos controles com relação a cada uma das etapas.

Figura 41 – Implementação



Fonte: O Autor (2022)

A etapa crucial neste momento é a da Seleção de projetos, os quais deverão tem como ferramenta um vetor que poderá demonstrar de uma forma multidimensional o quão vantajoso pode ser um projeto à medida que os indicadores de desempenho puderem demonstrar as vantagens nos vários aspectos pretendidos, constituindo-se elementos para esta análise não só os aspectos (técnico, econômico, social e ambiental) mas outros fatores como custos (não só financeiro, mas alocação de mão de obra, por exemplo), riscos (explicitando riscos e consequências dos projetos), o tempo (instalação, ciclo de vida dos ativos das soluções energéticas, desmobilização, entre outros).

A utilização do método de tomada de decisão multicritério (MCDM) é preferencial, tendo como base a Análise Hierárquica do Processo (AHP) conforme apresentado na Figura 36 (p. 131). Complementa a seleção a exposição do portfólio de uma forma gráfica, como proposto na Figura 37 (p. 132).

O controle ocorrerá com base nos indicadores de desempenho e linhas de base. Assim como a operação e manutenção que considerará as constituições das dimensões organizacionais e culturais. Direcionando-se comunicações, treinamento e as próprias aquisição para o atingimento das metas, demonstrando a capacidade ou não da Indústria Energo-Intensiva para a realização de seus objetivos.

4.1.5 Checagem

Na etapa da checagem serão realizadas as análises direcionadas aos Projetos, os indicadores de desempenho utilizados, assim as novas linhas de base

técnicas, econômicas, sociais e ambientais dentro das dimensões organizacionais, culturais e de Sustentabilidade. As avaliações do Planejamento Energético com base no SGE e a crítica exercida pela Alta Direção permitem a melhoria contínua neste ciclo PDCA.

Figura 42 – Checagem SGE



Fonte: O Autor (2022)

4.1.6 Ações Após Análise

A última etapa consiste nos passos necessários para realizar a melhoria contínua, com a revisão do Planejamento Energético e de todo o arcabouço decisório com relação a aspectos, dimensões, divisões funcionais, entre outros.

Figura 43 – Estrutura Preliminar do SGE



Fonte: O Autor (2022)

Ultrapassada a exposição de como o método será implementado será apresentado no próximo capítulo sua implementação, com os pormenores de como são inseridas as principais ferramentas: AICV, Índices de circularidade e vocação energética, construção de uma base de soluções energéticas e implementação de vetores para identificação das melhores soluções para orientar o processo decisório da Alta Direção para alocação de recursos (financeiros e humanos) para os projetos de Planejamento Energético.

4.2 Simulação: subsegmento de Celulose

Para a simulação do planejamento energético foi escolhido o setor de papel e celulose, um dos setores energointensivos, compreendendo o subsegmento de celulose, conforme exposto por Moura et al (2018, p. 28 a 34), excluindo o processo de plantio e colheita.

De forma sucinta esta indústria possui duas macro etapas: produção do cavaco e produção da polpa de celulose, os quais podem ser detalhados da seguinte forma:

Figura 44 - Produção da Celulose



Fonte: Adaptado de Moura et al (2018)

4.2.1 Estrutura Preliminar do SGE

O primeiro passo é fixar a estrutura preliminar do SGE, conforme a estrutura proposta na Tabela 8 (p. 135), a qual já foi demonstrada, englobando os aspectos técnico, econômico, social e ambiental e as dimensões organizacional, cultural e de sustentabilidade, identificando como divisão funcional a gestão energética, recursos energéticos distribuídos, sistemas motrizes, energia térmica, iluminação e reciclagem de resíduos. Ressalte-se que esta estrutura deve ser revista em cada ciclo da gestão de energia para possibilitar a alteração do modelo quando necessário.

4.2.2 Avaliação Preliminar

Um segundo passo, necessário para a simulação mas que pode-se repetir para cada novo setor é a realização de uma pesquisa para trazer um retrato da realidade brasileira (ou do país que se pretender realizar o protocolo), para a qual foram pesquisados e utilizados guias, manuais e documentos do setor de papel e

celulose ou grupos conexos, com vistas a tornar a simulação a mais próxima da realidade do setor no Brasil, consolidando o levantamento no Quadro 35.

Quadro 35 - Publicações sobre o setor de Papel e Celulose

Publicação	Ano	Autores
Guia Técnico: Eficiência energética no indústria de celulose e papel: mecanismos de incentivo à eficiência energética para economia de baixo carbono	2011	Moura et al. (2011)
Panoramas Setoriais: Mudanças Climáticas – Papel e Celulose	2016	Hora; Melo (2016)
Rotas estratégicas para o futuro da indústria paranaense: Roadmapping de Papel e Celulose – horizonte de 2018	2008	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Departamento Regional do Paraná (SENAI-PR) (2008)
Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados: Segmento Papel e Celulose	2018	Moura et al. (2018)
Os segmentos industriais energo-intensivos de maiores potenciais técnicos de conservação de energia no Brasil	2008	Bajay et al. (2009)
Oportunidades de eficiência energética para a indústria: setor papel e celulose	2010	Berni et al. (2010)
Eficiência Energética: recomendações de ações de CT&I em segmentos da indústria selecionados -- celulose e papel	2013	CGEE (2013)
Perfis Profissionais para o Futuro da Indústria Paranaense: Horizonte 2030: Papel e Celulose	2014	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Departamento Regional do Paraná (SENAI-PR) (2014)

Fonte: O Autor (2022)

Na sequência o protocolo apresenta a necessidade de se realizar uma avaliação preliminar. Tomou-se por base as informações mais atualizadas, Moura et al. (2018, p. 44 a 59) realizam uma avaliação dos indicadores de consumo energético do subsegmento celulose, apresentando uma abordagem sobre a situação atual (2017) da produção, com suas etapas de processo, identifica as fontes de energia, os usos significativos de energia e indicadores energéticos.

A avaliação preliminar apresentada no protocolo leva em conta aspectos qualitativos e quantitativos que devem ser tratados de forma distinta.

Qualitativamente a busca é avaliar a maturidade da indústria com relação ao SGE e se ele aborda aspectos ambientais e sociais. Para isto, tomando-se com base Introna et al. (2014), especialmente a Tabela 7 (p. 68), os questionários que apresentada em seu trabalho (p. **Erro! Indicador não definido.**), e a Tabela 10 (p. 136), seriam interessantes serem elaborados 4 tipos de questionários para a realização de entrevistas estruturadas envolvendo alta direção, gerência, funcionários e terceiros. Entretanto este aspecto fica comprometido neste tipo de simulação, salientando ainda que sua operacionalização é desejável, mas dependerá da cultura organizacional para sua efetiva implementação.

Em virtude da metodologia adotada os questionários deveriam ser validados com os dados apresentados nos documentos apresentados no Quadro 35 (p. 145) entretanto não foi possível encontrar elementos em nenhum dos estudos, pois no

máximo os dados apresentados estavam vinculados a alta direção, o que compromete a avaliação em termos de cultura organizacional.

Quantitativamente os elementos presentes referem-se aos insumos energéticos, além daqueles vinculados aos aspectos ambiental e social identificados com os SGA, responsabilidade social e critérios de aquisições. Com base nos dados do Quadro 35 (p. 145) consolidaram-se na Tabela 17 as seguintes informações:

Tabela 17 - Avaliação preliminar quantitativa do subsegmento celulose

Elemento	Item Avaliado	Contrato	Consumo	Substituível
Insumos Energéticos	• Energia Elétrica	Geração própria	698,42 kWh/t	Tecnologias mais eficientes
	• Energia Térmica (vapor)	Geração Própria	15,623 GJ/t	Tecnologias mais eficientes
	Lixívia (licor Negro)	Sazonalidade	t (histórico)	-
	Lenha			
	Gás Natural	X	t (histórico)	Lixívia ou Lenha
	Óleo Combustível		t (histórico)	Lixívia ou Lenha
SGA	• Mitigações	*	*	*
		*	*	*
Responsabilidade Social	• Ações	*	*	*
Aquisições	• Produtos	*	*	*
	• Serviços	*	*	*

Nota: * sem registros nos documentos disponíveis – pressupostos é que possuem em nível intermediário

Fone: O Autor (2022) com dados de Moura et al. (2018)

4.2.3 Planejamento

A alta direção, de posse da avaliação preliminar, pode fixar (ou revisar) a política energética, que é a declaração formal sobre a “suas intenções, diretrizes e compromissos gerais relacionados com seu desempenho energético” (ABNT, 2018, p.3). Realizou-se uma pesquisa com as 10 maiores empresas do setor (base ranking 1500 do Estadão³⁸), não sendo possível localizar na documentação disponível na internet suas políticas energéticas, mas no máximo visão, missão e valores da empresa, além de indicadores e relatórios de sustentabilidade ou ambiental, social e governança (ESG).

Com base nas diretrizes da ABNT (2018, p.10) a política energética que uma empresa do subsegmento de celulose pode propor pode ser traduzida como: a produção de celulose de forma eficiente e racional, com foco na autossuficiência energética, comprometida a utilizar recursos humanos, técnicos e financeiros para

³⁸ https://publicacoes.estadao.com.br/empresasmais2018/ranking-1500/?nome=&setor_nome=papel-e-celulose&uf_sede=

implementar projetos, aquisições, fundada na melhoria contínua do uso da energia, impactando positivamente na sociedade e no meio ambiente a longo prazo.

A política energética deverá estar alinhada a missão, visão e valores, podendo-se respaldar em necessidades regulamentares, como ocorre na parte de celulose, exigências de certificações, entre outros.

Quadro 36 - Elementos para uma política energética simulada: celulose

Elementos	Requisitos	Sugestão para a Alta Direção
Política Energética	Apropriada à Organização	Produtor de biomassa e energia
Objetivos e metas energéticas	Estruturar, analisar criticamente e estabelecer	Busca a neutralidade das emissões de gases e efluentes, tornar processos mais eficientes energética e ambientalmente, valorizando os colaboradores e corroborando com o crescimento do entorno
Informações e comunicação	Assegurar, documentar, disponibilizar, fornecer recursos para a gestão energética.	Comunicando seus resultados interna e externamente, através de relatórios de sustentabilidade ou ESG
Satisfação de Requisitos	Legais e regulamentares (eficiência energética, uso e consumo de energia, sistema de gestão de energia) Análise crítica periódica e atualização (se necessário)	Obedecendo todas as diretrizes governamentais e do setor
Apoiar aquisições	Produtos e serviços energeticamente eficientes	Realizando aquisições de forma responsável e sustentável
Apoiar atividades	Projetos melhoria do desempenho energético	Apoiando seus colaboradores para busca da eficiência

Fonte: O Autor (2022)

A Equipe do SGE portanto deverá proporcionar a inserção de todos os setores envolvidos, usualmente envolvendo, por exemplo, diretor industrial (Suzano Papel e Celulose), gerente de recuperação e utilidades (Lwarcel Celulose), gerente de melhoria de processo e excelência de manufaturas (International Paper), além de todos os departamentos (de acordo com o organograma de cada instituição), conforme Martin (2013, p.32-33). É esta equipe do SGE que fixa a política energética, devendo ter disponibilidade de tempo e recursos (financeiros e humanos) para o SGE e, posteriormente, para a implementação dos projetos. Além disto importante envolver os responsáveis pela área ambiental (geralmente vinculados aos Sistema de Gestão Ambiental) e de responsabilidade social. A Tabela 18 consolida estas informações com relação a equipe do SGE, indicando ainda as horas alocadas por semana.

Tabela 18 - Equipe do SGE da simulação: celulose

Sistema de Gestão de Energia			
Coordenador:	Nome		
Departamento	Gerente de recuperação e utilidades	Horas Alocadas	4 h/semana
Membro:	Nome		
Departamento	Diretor Industrial	Horas Alocadas	4 h/semana
Membro:	Nome		
Departamento	Gerente de melhoria de processo e excelência de manufatura	Horas Alocadas	4 h/semana
Membro:	Nome		
Departamento	Coordenador do Sistema de Gestão Ambiental	Horas Alocadas	4 h/semana
Membro:	Nome		
Departamento	Coordenador da Responsabilidade Social	Horas Alocadas	4 h/semana
Membro:	Nome		
Departamento	Departamento XYZ	Horas Alocadas	4 h/semana

Fonte: O Autor (2022)

Eventualmente para implantar ou melhorar o SGE a empresa pode selecionar especialistas utilizando cartas-convite, licitação ou contratação direta, devendo seguir princípios para determinar os requisitos de atributos pessoais, conhecimentos e habilidades, gerais e específicos, além formação, experiência e treinamento na área de gestão de energia, sugerindo-se a adoção da norma ABNT NBR 16883 da ABNT (2020, p.4-10), especificamente:

b) indústria – energia-intensiva: plantas de fabricação que exijam investimentos elevados e consomem grandes quantidades de matérias-primas e energia.

EXEMPLO produtos químicos, metais, refino de petróleo, construção naval, papel e celulose, máquinas industriais, cimento e cerâmica, setor energético etc.

Exemplo de usos de energia: equipamentos com grande consumo e/ou potencial de eficiência energética, sistemas térmicos (caldeiras, fornos, estufas etc. a eletricidade, gás natural, carvão ou outra fonte), sistemas motrizes (bombas, ventiladores, compressores, refrigeração, manuseio de materiais), sistemas químicos, processos, usinas (turbinas, geradores, sistemas, circuitos etc.), subestações e linhas (transformadores, indutores, capacitores, circuitos etc.)

Constituída a equipe e de posse da avaliação preliminar proposta, que sinaliza a realidade da planta com relação a questão energética, inicia-se propriamente o planejamento energético, devendo-se identificar riscos e oportunidades em relação às questões energéticas, considerando os aspectos ambientais e sociais (direcionado pela política energética e com participação da alta direção).

A identificação dos processos do subsegmento celulose, vinculando-os ao tipo de energia e insumo energético é importante para a compreensão da realidade. Moura et al. (2018, p.47) identifica 8 processos considerando dois tipos de energia em um primeiro recorte (energia elétrica e vapor, a qual considera-se energia térmica), enquanto em trabalho anterior Moura et al. (2011, p.40-41) identifica 10 (diferindo na concentração de licor e recuperação de agentes químicos em contraposição com os processos de lavagem, evaporadores, preparação de químicos e outros), CETESB (2008, p.16-29) identifica 4 etapas (ou macro etapas), entretanto adota-se o trabalho mais recente, o qual aborda todas as etapas noticiadas nos demais trabalhos.

Tabela 19 - Distribuição do consumo energético por etapa de produção de celulose

Etapas do Processo	Eletricidade (kWh/t)	%	Vapor (GJ/t)	%
Produção de cavaco/polpação	45,95	6,6	2,32	14,9
Depuração (Designização)	76,58	11,0	0,97	6,2
Branqueamento	122,53	17,5	1,73	11,1
Secagem da pasta de celulose	146,02	20,9	2,88	18,4
Calcinação	23,48	3,4	0,37	2,4
Concentração de licor	100,07	14,3	0,37	2,4
Recuperação de reagentes químicos	126,61	18,1	4,28	27,4
Tratamento de água e efluentes	57,18	8,2	2,68	17,1
Total	698,42	100	15,623	100

Fonte: adaptado de Moura et al. (2018, p.47)

Outra cisão possível e importante é identifica onde cada insumo energético está sendo utilizado, pontuando-se uma divisão funcional, a qual identifica um segundo recorte na utilização da energia, explicitando como o vapor ou eletricidade são utilizadas.

A divisão funcional permite identificar o insumo energético utilizado, assim como o coeficiente de destinação e o rendimento, relacionando-os as etapas, o que permite, também já identificar possíveis áreas e insumos que podem ser substituídos, conforme registra a Tabela 20.

Moura et al. (2018, p.46/47) identificam o coeficiente de destinação da energia, o qual utiliza-se como base para elencar a divisão funcional da utilização da energia e, também, para os usos significativos de energia (se atrelados ao tipo de energia utilizada). Para consolidar dados referentes a divisão funcional, insumo energético, destinação, rendimento e etapas do processo é apresentada a Tabela 20.

Tabela 20 - Divisão funcional do subsegmento celulose

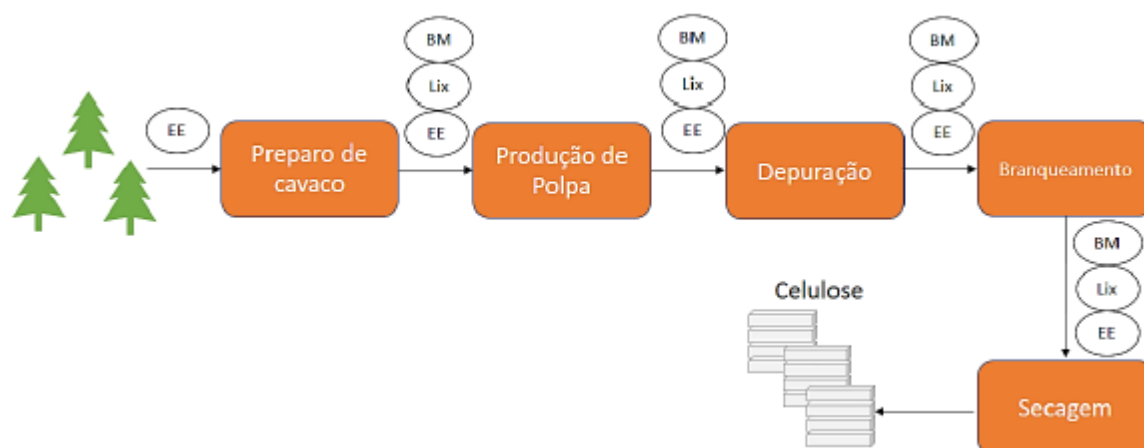
Divisão Funcional	Insumo	Destinação	Rendimento	Étapas do Processo
Gestão Energética	-	-	-	Todas
Recursos Energéticos Distribuídos	-	-	-	-
Sistemas Motrizes	Energia Elétrica	99,86%	91,7%	Todas
Energia Térmica				
Calor de Processo	Gás Natural	100%	90%	Exceto Produção de Cavaco/Polpação
	Lenha	100%	83,38%	
	Lixívia	100%	86,54%	
Aquecimento Direto	Óleo Combustível	100%	55,50%	Calcinação
Iluminação	Energia Elétrica	0,14%	52,23%	Todas
Reciclagem de Resíduos	-	-	-	Tratamento de água e afluentes

Nota: os dados para elaboração da presente tabela derivam de Moura et al. (2018, p.46 a 49)

Fonte: O Autor (2022)

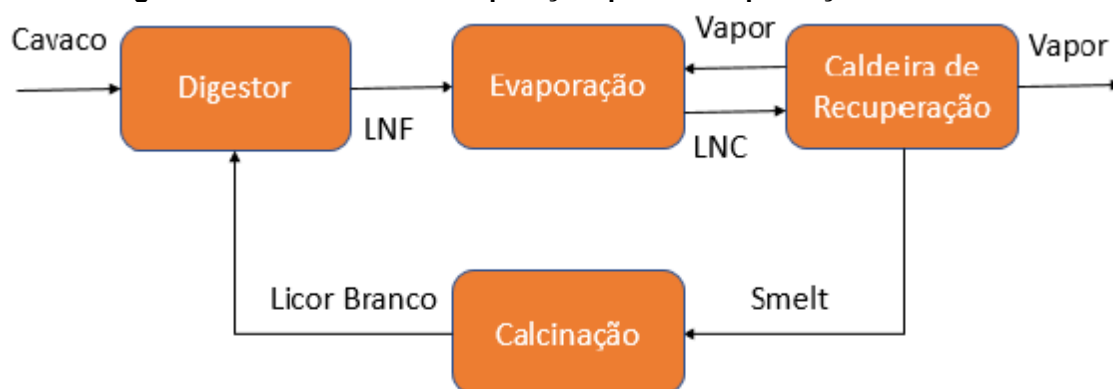
Um recurso importante é a delimitação das fronteiras do processo e os insumos utilizados, como identifica Moura et al. (2018, p.44/45) detalhando processos e os insumos energéticos utilizados na Figura 45 e Figura 46, apresentando a Biomassa (BM), Lixívia (Licor Negro - Lix) e Energia Elétrica (EE) em cada processo ou subprocesso da produção da celulose. Neste ponto é importante delinear a produção da celulose em si, o processo calcinação/concentração/recuperação e, por último, o tratamento de água e efluentes.

Figura 45 - Processos de produção da celulose



Fonte: Moura et al. (2018, p.44)

Figura 46 - Processos de recuperação química na produção de celulose



Fonte: Moura et al. (2018, p.45)

Realizando a análise das fronteiras, medição, produto, serviços e fornecedores é possível também estabelecer todos os fluxos e processos elementares para a realização da ACV, identificando os elementos que permitem esta contribuição. Um elemento interessante é a utilização de um diagrama *fence* para esta exposição.

Custo, Risco e Sinergia são apresentados junto com a análise SWOT das ações.

Tabela 21 - Avaliação SWOT do subsegmento celulose

Forças	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidade de Insumos Energéticos 	<ul style="list-style-type: none"> Exportação de Energia Certificações
Fraquezas	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> Melhorar rendimento de equipamentos Substituição de equipamentos ineficientes ou mudança de tecnologia 	<ul style="list-style-type: none"> Regulação do Setor Elétrico Demora na adoção de novas tecnologias Custos da ineficiência

Fone: O Autor (2022)

O processo de celulose possui alguns riscos inerentes, entretanto tem muitas sinergias. Com relação aos riscos a literatura indica: caldeiras, vazamentos de calor, motores ultrapassados ou sobre dimensionados, falta de controle de combustão, iluminação com tecnologia ultrapassada, processos com elementos químicos perigosos.

Oportunidades vinculadas a automação de caldeiras e processos, mudança de tecnologia, utilização de resíduos do processo, recuperação de químicos e fibras, podendo ser alocadas no plano de ação (Tabela 24).

Os objetivos e metas do setor são importantes para uma real identificação da adequação da proposta, para isto foi realizado um benchmarking com 10 empresas

expressivas do setor de papel e celulose conforme apresentados Tabela 22, existindo duas com Sistemas de Gestão de Energia e uma com a certificação.

Tabela 22 - Benchmarking de contribuições com objetivos e propostas das empresas

Empresa	Técnico	Econômico	Ambiental	Social	Contribuição
Eldorado do Brasil ³⁹	Não é explícito	Não é explícito	Explícito	Não é explícito	Compromisso 5 - Contribuir para o atendimento da INDC brasileira nos itens de florestas plantadas e geração de energia proveniente de matriz energética de fontes renováveis Indicador Econômico; Produção de madeira para energia (pinus e eucalipto); Diretrizes para gestão e mudanças climáticas – mitigação e adaptação; Promover e incentivar a eficiência energética Política Climática e Energética; Política de Sustentabilidade – Compromissos: 6. Utilizar fontes energéticas renováveis e limitar ou reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs), odores e materiais particulados gerados, em como incrementar a fixação de carbono por meio do cultivo e manejo sustentável das florestas; 8. Garantir eficiência, disponibilidade e adequada utilização da energia e demais insumos nos processos produtivos; Política de Sustentabilidade; Política Climática e Energética Metas de Longo Prazo e indicadores bem definidos, assim como programas; Aumentar em 50% a exportação de energia renovável; Projeto Thor e aumento da geração específica das caldeiras Menos Resíduo, Mais Energia, reutilização de água projeto para substituição do gás natural nas caldeiras está em etapa de finalização, sendo substituído por fontes renováveis de energia portfólio de projetos de expansão da Irani para ampliar competitividade, capacidade de produção e suficiência energética, o que nos habilita para o próximo ciclo de crescimento.; Autosuficiência energética até 2025; Plataforma Gaia; Unidade própria e de energia (CGH e PCH + cogeração e termelétrica); MDL Na missão da empresa está presente a energia; Cultivar florestas, beneficiar madeiras, produzir papel, embalagem e energia, gerando riqueza com equilíbrio ambiental e desenvolvimento social; Conforme relatório as ações de eficiência energética estão ligadas intimamente com a proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento econômico. Contemplado no PEE da CEFESC chamda 001/2019 para substituição de motores; Unidade de negócios Energia - PCH Autoprodução de energia Relatório integrado; Certificação ISO 50001
Klabin ⁴⁰	Não é explícito	Não é explícito	Explícito	Signatário ID Local	
Cenibra ⁴¹	Explícito	Não é explícito	Explícito	Não é explícito	
Suzano / Fibria ⁴²	Existente	Não é explícito	Não é explícito	Não é explícito	
Mili ⁴³	Não é explícito	Não é explícito	Não é explícito	Não é explícito	
Santher ⁴⁴	Não é explícito	Não é explícito	Não é explícito	Não é explícito	
Irani ⁴⁵	Explícito	Não é explícito	Explícito	Não é explícito	
Adami Madeiras ⁴⁶	Explícito	Não é explícito	Não é explícito	Não é explícito	
Veracel ⁴⁷	Não é explícito	Não é explícito	Não é explícito	Não é explícito	
CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE ⁴⁸	Explícito	Não é explícito	Não é explícito	Não é explícito	

Fonte: O Autor (2022)

³⁹ <https://eldoradobrasil.com.br/Sustentabilidade/Sustentabilidade-Eldorado/Politica-e-Compromisso>

⁴⁰ <https://klabin.com.br/sustentabilidade/estrategia/compromissos;>
<https://klabin.com.br/documents/400373575/0/RESUMO-PUBLICO-PARANA.pdf/0d93f4cb-a4cf-5522-158d-7117206b7900?t=1632860846875> e <https://klabin.com.br/documents/400373575/0/CO-ANX-MEA-0001-diretrizes-para-gestao-de-mudancas-climaticas+%281%29.pdf/4bd57902-e386-00dd-a363-53d29259237d?t=1630105851869>

⁴¹ <https://www.cenibra.com.br/wp-content/uploads/2020/10/Politica-de-Sustentabilidade-Port.pdf>

⁴² <https://centraldeindicadores.suzano.com.br/metas-de-longo-prazo/> e
<https://centraldeindicadores.suzano.com.br/tags/gestao-de-energia/?ind=gestao-sobre-energia>

⁴³ <https://www2.mili.com.br/amili/#sustentavel>

⁴⁴ <https://www.santher.com.br/sustentabilidade/>

⁴⁵ https://www.irani.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Oficial_Relato_Integrado_Irani_2020_ESG_PT_red.pdf e
<https://irani.com.br/gaia/>

⁴⁶ <https://adami.com.br/sustentabilidade/relatorio-de-sustentabilidade/>

⁴⁷ <https://www.veracel.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Relatorio-Sustentabilidade-2020-Portugues-1.pdf>

⁴⁸ https://cmpcbrasil.com.br/uploads/pdf/Relatorio_integrado_2020.pdf e <https://cmpcbrasil.com.br/project/iso-500012018-sistema-de-gestao-da-energia/>

A revisão energética identificou os usos significativos de energia por tipo de energia conforme apresentado por Moura et al. (2018, p.46) na Tabela 23.

Tabela 23 – Usos significativos de energia do subsegmento celulose

Energia Elétrica	Energia Térmica
<ul style="list-style-type: none"> • Branqueamento (acionamento) • Digestor • ETA/ETAC/ETE • Produção de cavaco • Compressão • Acionamento de Máquinas 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaporação • Secagem de celulose • Cozimento de celulose • Branqueamento

Fone: O Autor (2022)

Com relação a questão ambiental alguns elementos chamam a atenção: água, elementos químicos (dependendo do processo).

Moura et al. (2018, p.58) utiliza um indicador para o levantamento do custo de investimento (R\$/t produzida), avaliando a economia por tep/t produzida, o que auxilia a compreender a realidade econômica do investimento, há necessidade de se inserir os aspectos ambientais e sociais, optando-se pela utilização de indicadores com relação aos aspectos ambientais e sociais presentes na aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida no contexto brasileiro, conforme apontado pela Rede de Pesquisa de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (RAICV, 2019, p. 20-23), incluindo indicadores para os projetos implantados com relação a: Acidificação terrestre, Eutrofização em água doce, Modelos de contabilização de recursos, Depleção de recursos abióticos, Escassez hídrica, Depleção de recursos bióticos e Serviços ecossistêmicos decorrentes do uso da terra.

A fixação dos indicadores tomou como parâmetro um benchmarking realizado entre as grandes empresas do setor para, se possível, atender todos os itens energéticos e propostos pela avaliação de ciclo de vida, permitindo uma fácil aplicação da metodologia. Investigou-se a documentação de Eldorado do Brasil, Klabin, Cenibra, Suzano / Fibria, Mili, Santher, Irani, Adami Madeiras, Veracel e CMPC Celulose Riograndense.

Os indicadores presentes no benchmarking realizado indicaram presença majoritária de indicadores ligados ao Relatório Global Iniciativo (GRI), além de certificações vinculadas à parte florestal (vinculadas ao PSC e PEFC/Ceflor, além das comuns ISO 9001 e ISO 14001, com algumas direções ligadas à área de alimentos, com apenas duas empresas com certificação ISO 50001 (Klabin e CMPC Celulose Riograndense).

Os indicadores GRI são os mais relevantes, pois permitem a identificação de aspectos energéticos (GRI302), além de aspectos relacionados à avaliação do ciclo de vida nas séries 300 da norma: Materiais (GRI301), Água e efluentes (GRI303), Biodiversidade (GRI304), Emissões (GRI305), resíduos (GI306), conformidade ambiental (GRI307) e Avaliação Ambiental de fornecedores (GRI308). Indicadores aplicáveis a essas análises, permitindo o monitoramento socioambiental e a seleção de fornecedores adequados para os projetos vinculados ao sistema de gestão de energia.

O setor de celulose, conforme registra Moura et al. (2018, p.50), possui tecnologias eficientes existindo oportunidades de melhorias em caldeiras, força motriz e iluminação, o que nos auxilia a construir uma lista de plano de ação, resumidas na Tabela 24.

Tabela 24 - Plano de ação

Energia	Equipamentos	Plano de Ação	Payback	Economia
Térmica	Caldeira	Controle de combustão (injeção de ar)	6 meses a 1,7 anos (média)	2,91%
		Redução das quantidades de gases de combustão		2% a 5% de economia
		Melhora no isolamento térmico na caldeira		inferior a 1%
		Manutenção da caldeira		10%
		Retorno do condensado na caldeira	15 meses	3%
		Recuperação de vapor		
		Sistema automático de Purga	6 meses	
		Sistema de Recuperação de Calor	1 a 1,5 anos	
		Sistema de recuperação de vapor Flash	1,8 anos	
		Recuperação de calor nos gases de combustão		
Economizador convencional			2 a 4%	
Economizador de Condensação			5 a 8%	
Elétrica	Motores	Troca por motores de alto rendimento exemplo: motor 40 cv	10 Meses	1 a 3%
		Softstart		Vida útil
		Redimensionamento		
	Iluminação	Troca por LED		63%

Fone: O Autor (2022)

Para realizar a avaliação da solução, é necessário realizar a avaliação do ciclo de vida de cada uma das soluções apresentadas. Acenou com as soluções que envolvem projetos sem entregas físicas, mas ajustes de sistemas como manutenção que não exigem a aquisição de peças, dependerão exclusivamente de quem prestará o serviço, que poderá ser direcionado pelos indicadores fornecidos no GRI307.

Para os demais projetos, há a necessidade de avaliar quem estará prestando o serviço e quais serão os benefícios da adoção de uma ou outra tecnologia, especialmente quando uma gama de opções estão disponíveis, como com a recuperação a vapor e com a dinâmica ligada aos motores (que podem ser redimensionados ou serem incluídos novos sistemas de startup e controle, como softstarts).

No caso das tecnologias a serem adotadas com a recuperação de vapor o aspecto da avaliação do ciclo de vida indica que as tecnologias terão vantagens do sistema de purga automática, coincidindo com a avaliação econômica, porém depende de todos os fornecedores, indicando que a avaliação dos fornecedores é um elemento fundamental, o que pode trazer aos tomadores de decisão um novo elemento de exigência nos contratos para os fornecedores que não contemplam algum índice importante para o cumprimento das metas energéticas (que são a medição e detalhamento dos objetivos energéticos). Os motores também indicam um vínculo direto com os fornecedores, pois tudo pode ser mudado com os fornecedores de matéria-prima, localização de fábricas e distribuidores.

O aspecto econômico é muito evidente com a identificação do retorno de cada solução, especialmente se contado na avaliação econômica os custos de operação e manutenção, bem como os custos de peças e a existência de mão-de-obra nas proximidades (o que reduz os impactos ambientais e sociais ligados à manutenção).

4.3 Discussão

Neste capítulo realiza-se a discussão dos resultados alcançados com a construção do método e seus avanços ou restrições. O ponto preliminar é que o método proposto não é um SGE puro tampouco modelo teórico proposto. Traz algumas contribuições adicionais em virtude dos estudos e da efetividade que algumas alterações poderão ocasionar.

A estrutura preliminar do SGE traz uma construção não prevista em outras partes do documento ao segmentar e identificar, como o momento inicial a constituição dos aspectos, dimensões e divisões funcionais. Essas três características têm como finalidade delinear aquilo que efetivamente importará para a avaliação de um SGE específico, especialmente por trazer orientações de como encontrar estes elementos.

A fixação de dimensões tem como finalidade estimular quem aplica este método de planejamento energético a compreender a conexão entre os vários aspectos, possível também será a constituição de indicadores e avaliações ligadas às dimensões.

Figura 47 - Aspectos e dimensões do SGE



Fonte: O Autor (2022)

Na simulação foram utilizadas os mesmos aspectos e dimensões. A divisão funcional direciona os planos de ação, identificando eventuais políticas ou elementos prioritários pelos programas de eficiência energética, indicando também os equipamentos ou soluções energéticas prioritárias para a elaboração de planos de ação, já que a avaliação econômica e a relação custo-benefício provavelmente serão melhores.

A avaliação preliminar proposta nas duas vertentes, quantitativa e qualitativa, busca construir uma ideia de como implantar o SGE em uma indústria energo-intensiva. Ressalte-se que essas técnicas poderão ser utilizadas para realizar as medições e avaliações, recomendando neste caso uma divisão, pois a avaliação quantitativa encaixa-se na revisão energética, enquanto a qualitativa proposta é uma avaliação do SGE e de sua percepção, servindo também aos demais aspectos.

O modelo de maturidade, apresentado como ferramenta de avaliação preliminar qualitativa, é uma ferramenta útil, permitindo aferir a percepção dos membros da organização (geralmente) relativo ao SGE contemplando aspectos ou dimensões a serem avaliadas. A limitação da técnica dessa técnica demanda da complexidade existente na elaboração com a técnica adequada de um questionário, pressupondo que sua construção será realizada por demanda e que os membros da organização participem ativamente da avaliação. A Tabela 10 (p. 136) apresenta a identificação do tipo de avaliação que cada nível de membro da organização

participará, indicando também as categorias que irá responder se for utilizado o modelo de Introna et al. (2014).

A avaliação quantitativa preliminar só possui uma limitação, ausência de medidores ou equipamentos. Isso poderá demandar a contratação de equipamentos para a sua realização e eventualmente uma campanha de medições, o que se pode confundir com a revisão. Entretanto se realizada de forma preliminar, poderá antecipar a constatação de ausência de medições necessárias para constituir bons indicadores de desempenho e linhas de base em equipamentos ou processos com uso significativo de energia.

A simulação apresenta dados consistentes para compreender a realidade energética e alguns aspectos pretendidos. No quesito qualitativo a simulação fica comprometida vez que os documentos selecionados do setor não apresentam a visão de toda a organização, somente da alta direção.

O planejamento é a etapa mais extensa, desde a política energética até uma categorização de *payback*. O método apresentado inicia com a política energética e as técnicas para a construção de uma política que contempla aspectos vinculados ao SGE e ACV. Com relação ao SGE, apresenta a pesquisa descritiva deste conceito. Quanto à ACV, indica a necessidade de se inserir o ciclo de vida das soluções energéticas direta ou indiretamente, considerando seu aspecto. Contribui também ao relembrar das métricas de avaliação de impacto (*midpoint* e *endpoint*), além da DAP, logística reversa e SGA.

Referente à simulação, o elemento política energética foi pesquisado entre 10 empresas mais significativas e a busca não foi exitosa, apresentando-se no Quadro 36 uma sugestão para seu estabelecimento. Neste quesito é só importante relembrar que para cada setor existirá uma direção distinta e sempre associada à alta direção.

A formação da equipe de SGE com recursos adequados é uma preocupação do método, consolidando o entendimento da pesquisa descritiva. A simulação nesse ponto indica somente postos que foram levantados nos documentos examinados, consolidando a indicação também de horário, conforme registra a Tabela 18 (p. 148).

Avaliando os cargos, pode-se constatar uma concentração em cargos gerenciais ou de alta direção, com ausência de pessoas ligadas diretamente a operação da indústria. Outro elemento pesquisado durante a simulação foi a possibilidade de solução externa, com a contratação de especialistas, previstas na ABNT NBR 16883 da ABNT (2020).

O mapeamento de processos é o próximo passo e a Tabela 13 (p. 139) apresenta os elementos referentes as fronteiras, medição, produtos, serviços, fornecedores, custo, risco e sinergias. Esses elementos foram construídos com base na pesquisa descritiva e conceitos de SGE e ACV, na compreensão dos insumos e fluxos, processos, etapas de produção, suas entradas e saídas.

Importante mapear onde são realizadas as medições e em sua ausência o registro possibilitará, se os dados forem necessários para indicadores, linhas de base ou para uma melhoria do processo, poderão ser elencados no plano de ação e participar da seleção de projetos de soluções energéticas.

A simulação apresenta o mapeamento na Figura 45 (p. 150) e Figura 46 (p. 151) na forma de fluxogramas, Moura et al. (2018), indicando os processos e os tipos de insumos energéticos. A representação e informações não apontam para dados ambientais, somente o licor negro (lixívia) aparece, entretanto em plantas deste tipo outros efluentes (líquidos e gases) existem, como aponta CETESB (2008, .p. 29-38). A limitação da representação decorre da busca documental, pois não há uma planta desenhada nem processos totalmente definidos com os tipos de equipamentos, isso em uma avaliação real geraria outro tipo de dados.

A auditoria e medição na metodologia contempla a localização de usos significativos e a constituição de indicadores de desempenho, elementos necessários para SGE com as contribuições da ACV. As técnicas e profundidades de medição são indicadas por Deru et al. (2011) entretanto as métricas apontadas no PIMVP, instrumento utilizado pelo PROPEE, mostram-se mais relevantes para a campanha de medição, elemento selecionado na pesquisa exploratório do PROPEE.

A medição na simulação é apresentada com uma distribuição do consumo energético por etapa de produção de celulose, Tabela 19 (p. 149), e outra representando a divisão funcional, Tabela 20 (. 150). Essa última muito útil para mapear possíveis projetos com benefícios, já que é baseada no PROPEE.

A simulação apesar de apresentar dados consistentes é bastante simples, fornecendo uma ideia de como os resultados podem ser apresentados, mas não como conduzir praticamente uma campanha de medição.

O mapeamento de ações utiliza uma análise SWOT, possibilitando encontrar um primeiro nível de atenções ligadas a fraquezas e ameaças. Na simulação foram avaliados os documentos em leitura exploratório, registrando-se os dados na Tabela 21 (p. 151).

A delimitação de usos significativos de energia decorre da revisão, que indicará os equipamentos e processos com maiores consumo energético. No entanto, na área ambiental ou social, ele poderá também ter uma valoração dependente dos indicadores selecionados.

Os usos significativos no subsegmento de celulose estão expostos na Tabela 23(p. 153) e indicam uma separação por tipo de energia, não possuindo dados quanto a aspectos ambientais ou sociais.

Os indicadores de desempenho são um dos mais importantes elementos da pesquisa, pois eles respaldam a identificação de outros conceitos, como os usos significativos de energia. Para sua constituição, o método apresentou informações básicas, as quais podem ser complementadas em com o guia para elaboração de indicadores do SENAI-PR (2010).

Realizada uma pesquisa documental de relatórios de sustentabilidade e ESG nos sites das 10 maiores empresas do setor, constatou-se que informações específicas sobre o SGE ocorreram duas vezes, entretanto oito empresas utilizam indicadores do GRI, consolidando este como um conceito interessante, especialmente pelas grandes empresas utilizarem esta métrica, o que facilita exigir de fornecedores.

Objetivos e metas energéticas, linhas de base, nenhuma destas informações a pesquisa documental auxiliou, devendo-se calcar nas decisões da alta direção e da equipe do SGE.

O plano de ação, elemento importante para mapear quais serão os possíveis projetos de solução energética, engloba a utilização das informações decorrentes da análise SWOT, identificação o uso significativo de energia e a própria medição para respaldar as oportunidades, tratando-se de uma técnica aplicável.

A simulação do plano de ação apresenta uma séria de possibilidades. Elas estão identificadas na Tabela 24 (p. 154), consistindo em projetos de soluções energética sem contemplar aspectos ambientais, exceto pela eficiência que trariam a indústria, com as economias decorrentes de sua implantação. Este foi o último elemento levantado na simulação.

Para a seleção de projetos de soluções energéticas a metodologia aponta para várias técnicas: MCDM, AHP, apresentação do portfólio de projetos viáveis, rentáveis e com economia de energia. Os demais passos já estão vinculados a operacionalização do planejamento, sua checagem e ações.

5 CONCLUSÕES

O planejamento energético em um SGE na indústria energo-intensiva é um vetor importante para que projetos de soluções energéticas tenham processo bem delineado. A tese apresentou essas possibilidades com a inserção de aspectos ambientais e sociais ao utilizar a ACV como uma ferramenta para direcionar esses aspectos, constituir indicadores e compor os critérios para sua utilização na seleção desses projetos.

A construção de um método de planejamento energético foi possível com o atingimento dos objetivos específicos 1 a 5, que permitiram:

- Esquematizar elementos fundamentais e processos do SGE e ACV, realizados por meio de uma pesquisa descritiva e ordenados enquanto objetos-modelo (objetivos específicos 1 e 3), apontando:
 - No SGE mostrou-se o processo para a realização do PDCA, com a fixação das 19 etapas necessárias para sua realização e indicando os elementos fundamentais para a delimitação de conceitos importantes como a política energética, os objetivos e metas energéticas, indicadores de desempenho e usos significativos;
 - Na ACV ficaram firmadas a importância dos princípios que norteiam esse tipo de avaliação e as etapas fundamentais, atentando-se para a importância do objetivo e escopo, além da realização do ICV e AICV.
- Selecionar técnicas e metodologias de SGE e ACV, fruto de uma pesquisa exploratória que buscou identificar essas técnicas, constituindo, também, objetos-modelo para a utilização do modelo-teórico (objetivos específicos 2 e 4), elencando-se:
 - No SGE técnicas importantes como a AHP, o MCDM, a representação da viabilidade e rentabilidade, a categorização do *payback*, além de delimitações preliminares que permitiram conhecer frameworks, examinar a maturidade dos SGE e técnicas de revisão bibliográfica com categorizações;
 - Na ACV o foco estabeleceu-se em bases, softwares, enquadramento dos métodos de avaliação de impacto (elemento fundamental para fixação de aspectos e delimitação de indicadores)

- Constituição de um modelo teórico calcado em todas as contribuições realizadas pelo SGE e ACV, assim como algumas inserções particulares decorrentes das denominadas fontes úteis, que caracterizam uma realidade nacional, possibilitando o direcionamento do SGE com o planejamento estatal e as políticas públicas de eficiência energética. Esta modelagem possibilitou estabelecer um primeiro modelo (objetivo específico 5).

Na exposição das limitações do modelo teórico colocou-se a distinção das duas técnicas, o SGE com sua realidade de melhoria contínua, o ciclo PDCA, indicam a necessidade de mensuração e retroalimentação; já a ACV, trabalha com projeções sem incorporar medições.

Um fator positivo é que a seleção de um projeto de solução energética trabalha com projeções, normalmente de custos e desempenho energético. Porém a complexidade e o custo de uma ACV podem tornar proibitiva sua utilização, podendo envolver treinamento ou contratação de terceiros. Sugere-se a utilização como elemento de apoio e, excepcionalmente, em grandes projetos como uma técnica mandatória, permitindo uma seleção mais criteriosa com respaldo técnico em projetos que tem recursos suficientes para sua adequada utilização.

Em vista das limitações do modelo teórico, a dinâmica para construir o modelo focou-se em ordenar as etapas, variáveis, indicadores e técnicas para realizar o planejamento energético (objetivo específico 6), em um primeiro momento, elaborando-se uma metodologia constituída de 8 passos e, na sequência, indicando elementos e ferramentas fundamentais para sua constituição.

A seleção de critérios com o auxílio da ACV, da inserção de documentação desse setor, permitiu contemplar a realidade brasileira ao valorar as contribuições da RAICV (2019). Além disso, os relatórios de sustentabilidade e ESG incrementam o alcance dos conceitos da ACV ao explicitar a utilização desses conceitos para selecionar indicadores, mensuráveis e que possibilitam a delimitação de linhas de base.

Com todo esse arcabouço, foi possível propor um método de planejamento energético de um SGE em uma indústria energo-intensiva. Isso para possibilitar a seleção de projetos de soluções energéticas incluindo aspectos ambientais e sociais.

Ao delinear em uma estrutura preliminar de SGE a necessidade de se fixar quais aspectos, dimensões e divisão funcional insere-se possibilidade de realizar uma

avaliação além da técnico-econômica. Agregando desde a concepção do SGE os aspectos ambientais e sociais, ou quaisquer outros que se pretenda em um futuro, a estruturação e até as avaliações serão direcionadas para a gestão de energia com os parâmetros fixados neste momento preliminar. Essa delimitação também afeta de uma forma positiva a avaliação preliminar, assim como as revisões e auditorias realizadas na fase de planejamento.

A avaliação preliminar, pertinente a indústrias que ainda não possuem SGE, permite não só o conhecimento da realidade da empresa com relação a energia, mas também a maturidade em que se encontra para incluir técnicas e métricas relacionadas à gestão de energia.

Além destas etapas iniciais, o método prevê a aplicação do PDCA em quatro etapas, incluindo elementos a serem considerados desde a fixação da política energética, diretrizes para o mapeamento de processos, indicações para a auditoria e medição energéticas, até a seleção de projetos. Conforme apontado no método, o uso de técnicas de MCDM, AHP e exposição de portfólio de soluções com representação de viabilidade e rentabilidade são indicados.

O método proposto, apesar de sintético, identifica-se com a pesquisa descritiva e exploratória realizada, instrumentalizando tomadores de decisão com algumas técnicas adicionais que permitem a inserção da ACV na realidade industrial, consideração que será cada vez mais presente. (objetivo específico 7).

A simulação focou-se no planejamento energético demonstrando a existência de alguns elementos vinculados a ACV que estão presentes no setor de papel e celulose, presentes nos relatórios de sustentabilidade, ESG e por vezes nos sites das de uma das dez empresas líderes do setor.

A maciça adesão a indicadores do GRI (oito em dez empresas) entre os quais existem os relativos a cada aspecto previsto neste trabalho – aspectos energéticos (GRI302), Materiais (GRI301), Água e efluentes (GRI303), Biodiversidade (GRI304), Emissões (GRI305), resíduos (GRI306), conformidade ambiental (GRI307) e Avaliação Ambiental de fornecedores (GRI308) – demonstra a existência de muitos indicadores que poderão ser manejados para a seleção de projetos de soluções energéticas considerando outros aspectos.

A divisão proposta pela GRI também abre possibilidades interessantes na aplicação dos conceitos de ciclo de vida ao considerar no GRI308 a avaliação

ambiental de fornecedores, elemento fundamental para conhecer o ciclo de vida de qualquer produto ou serviço.

Saliente-se que os indicadores de relatórios de sustentabilidade ou ESG podem servir como base ou inspiração para delinear os planos de ação do SGE, escolhendo não só pelo *payback* e eficiência energética, mas também em virtude do desempenho ambiental ou social. Por exemplo, uma caldeira poderá ter uma avaliação plena para a seleção de tecnologias como instalação de um controle de combustão ou de sua manutenção, seleção de um economizador convencional ou de condensação considerando os fornecedores, materiais, água, emissões, entre outros. (objetivo específico 8)

Atingidos os objetivos, muitas outras demandas surgiram, como a simulação da continuidade do ciclo PDCA, para não se restringir a etapa de planejamento energético, mas ampliar para o fazer, checar e agir.

A simulação das técnicas para a seleção de projetos de soluções energéticas com o MCDM e AHP para o subsegmento de celulose são um objetivo imediato. Essa possibilidade de estudo futuro poderá utilizar o recorte gerado pela RAICV em combinação com os indicadores do GRI vinculados ao SGE e ACV para elaborar o estudo do plano de ação previsto nesta documentação, incluindo um novo estudo da EPE et al. (2022).

A utilização da metodologia de uma forma prática, com o desenvolvimento em uma indústria energo-intensiva também é um trabalho almejado, visto trazer oportunidades de dados reais para caracterizar melhor aspectos de ciclo de vida na seleção de projetos de soluções energéticas.

Explorar outras técnicas levantadas no trabalho também são interessantes, como os modelos de maturidade, além de temas correlatos, dos quais o que se mostrou mais pertinente é a economia circular, carente de uma normativa como o SGE e ACV, mas com potencial de avaliar a vocação energética de um determinado lugar (entendido de forma sintética como a aptidão energética de um determinado lugar ou indústria – no caso da tese – possibilitando escolher aquilo que teria a melhor disponibilidade).

Por fim, estudos envolvendo outras normas também são muito pertinentes, como algumas que foram apresentadas que identificavam o SGA ou mesmo a gestão de ativos que se mostra muito promissora em alguns setores (energia); e o estudo de ferramentas *lean* mostraram-se promissores no que se refere a eficiência.

REFERÊNCIAS

- AAMODT, A.; PLAZA, E. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. **AI communications**, v. 7, n. 1, p. 39–59, 1994. Disponível em: <<http://iospress.metapress.com/index/316258107242JP65.pdf>>. .
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 792, DE 28 NOVEMBRO DE 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017792.pdf>>. Acesso em: 11/1/2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Módulo 1 – Introdução. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE**. 2º ed, 2018a. Brasília: ANEEL.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Módulo 4 – Tipologias de Projeto. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE**. 2º ed, p.49, 2018b. Brasília: ANEEL.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Módulo 8 – Medição e Verificação de Resultados. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE**. 2º ed, 2018c. Brasília: ANEEL.
- ALCORN, A. **Centre for Building Performance Research EMBODIED ENERGY AND CO 2 COEFFICIENTS FOR NZ BUILDING MATERIALS Report Series Centre for Building Performance Research Report**. 2003.
- ANTHONISSEN, J.; VAN DEN BERGH, W.; BRAET, J. Review and environmental impact assessment of green technologies for base courses in bituminous pavements. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 60, p. 139–147, 2016. Elsevier Inc. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2016.04.005>>. .
- ASHWORTH, A. J.; TAYLOR, A. M.; REED, D. L.; et al. Environmental impact assessment of regional switchgrass feedstock production comparing nitrogen input scenarios and legume-intercropping systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, n. C, p. 227–234, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.002>>. .
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO/IEC 31010 - Gestão de riscos - Técnicas para o processo de avaliação de riscos**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14040: 2009 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. versão cor ed. Rio de Janeiro, 2014a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14044:2009 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT ISO/TR 14049:2014 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida — Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário.** Rio de Janeiro, 2014c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 50004: Sistemas de gestão de energia - Guia para implementação, manutenção e melhoria de um sistema.** Rio de Janeiro, 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 50006: Sistemas de gestão de energia — Medição do desempenho energético utilizando linhas de base energética (LBE) e indicadores de desempenho energético (IDE) — Princípios gerais e orientações.** Rio de Janeiro, 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT ISO/TR 14047:2016 - Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 a situações de avaliação de impacto.** Rio de Janeiro, 2016c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 50001: Sistemas de gestão de energia - Requisitos com orientações para uso.** 2a ed. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16883 Sistema de gestão da energia — Diretrizes para seleção de especialistas em implementação da ABNT NBR ISO 50001.** Rio de Janeiro, 2020.

AVADÍ, A.; FRÉON, P. A set of sustainability performance indicators for seafood: Direct human consumption products from Peruvian anchoveta fisheries and freshwater aquaculture. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 518–532, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.006>>. .

BAIDYA, D.; DE BRITO, M. A. R.; SASMITO, A. P.; SCOBLE, M.; GHOREISHI-MADISEH, S. A. Recovering waste heat from diesel generator exhaust; an opportunity for combined heat and power generation in remote Canadian mines. **Journal of Cleaner Production**, v. 225, p. 785–805, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.340>>. .

BAJAY, S. V.; GORLA, F. D.; BORDONI, O. F. J. G. Os segmentos industriais energo-intensivos de maiores potenciais técnicos de conservação de energia no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 15, p. 89–107, 2009.

BARE, J. C.; NORRIS, G. A; PENNINGTON, D. W. The Tool for the Reduction and Assessment Impacts. **Journal of Industrial Ecology**, v. 6, n. 3, p. 49–78, 2003.

BENETTO, E.; ROUSSEAU, P.; BLONDIN, J. Life cycle assessment of coal by-products based electric power production scenarios. **Fuel**, v. 83, n. 7–8, p. 957–970, 2004.

BERNI, M. D.; BAJAY, S. V.; GORLA, F. D. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: setor papel e celulose.** Brasília: CNI, 2010.

BJÖRKLUND, A. Life cycle assessment as an analytical tool in strategic environmental assessment. Lessons learned from a case study on municipal energy planning in Sweden. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 32, n. 1, p. 82–87, 2012. Elsevier Inc. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2011.04.001>>. .

BÖTTCHER, C.; MÜLLER, M. Insights on the impact of energy management systems on carbon and corporate performance. An empirical analysis with data from German automotive suppliers. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 1449–1457, 2016.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9478.htm>. Acesso em: 27/2/2019.

BRASIL. Lei nº 9991, de 24 de julho de 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9991.htm>. Acesso em: 4/5/2016.

BRASIL. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 1/2/2020.

BRASIL. Decreto nº 7404, de 23 de dezembro de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 1/2/2020.

BRASIL. Lei nº 13280, de 3 de maio de 2016. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015?2018/2016/Lei/L13280.htm>. Acesso em: 4/5/2016.

BRASIL. Decreto nº 9177, de 23 de dezembro de 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9177.htm>. Acesso em: 1/2/2020.

BRINKMANN, T.; GINER SANTONJA, G.; SCHORCHT, F.; ROUDIER, S.; DELGADO SANCHO, L. **Best Available Techniques Reference Document for the Production of Chlor-alkali**. 2014.

BUNGE, M. **Teoria e Realidade**. 3a.reimpre ed. São Paulo: Perspectiva, 2019.

BUTT, A. A.; MIRZADEH, I.; TOLLER, S.; BIRGISSON, B. Life cycle assessment framework for asphalt pavements: Methods to calculate and allocate energy of binder and additives. **International Journal of Pavement Engineering**, v. 15, n. 4, p. 290–302, 2014.

CARBONTRUST. **Energy management. A comprehensive guide to controlling energy use**. 2011.

CEMEX. **Building a better future**. San Pedro Garza García (Mexico), 2010.

CGEE. Eficiência Energética: recomendações de ações de CT&I em segmentos da indústria selecionados -- celulose e papel. **Série documentos técnicos**, v. 20, p. 13, 2013. Brasília: CGEE.

CHAO, C. W.; HEIJUNGS, R.; MA, H. W. Development and application of dynamic hybrid multi-region inventory analysis for macro-level environmental policy analysis: A case study on climate policy in Taiwan. **Environmental Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 2512–2519, 2013.

CHERUBINI, E.; RIBEIRO, P. T. **Diálogos Setoriais Brasil e União Europeia : desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil**. Brasília: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict), 2015.

CHHIPI-SHRESTHA, G.; KAUR, M.; HEWAGE, K.; SADIQ, R. Optimizing residential density based on water–energy–carbon nexus using UTilités Additives (UTA) method. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 20, n. 4, p. 855–870, 2018. Springer Berlin Heidelberg. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10098-018-1506-6>>. .

CHINESE, D.; SANTIN, M.; SARO, O. Water-energy and GHG nexus assessment of alternative heat recovery options in industry: A case study on electric steelmaking in Europe. **Energy**, v. 141, p. 2670–2687, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.043>>. .

COELHO FILHO, O.; SACCARC JUNIOR, N. L.; LUEDEMANN, G. O uso da análise de ciclo de vida (ACV): condicionantes e estratégias de implementação da ACV no Brasil. **boletim regional, urbano e ambiental**, , n. 12, p. 29–35, 2015. Rio de Janeiro.

COELHO FILHO, O.; SACCARO JUNIOR, N. L.; LUEDEMANN, G. **A avaliação de ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil**. Rio de Janeiro, 2016.

COMISSÃO EUROPEIA (CE). **Europa 2020: Estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo**. Bruxelas, 2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Papel e Celulose**. São Paulo: CETESB/BRACELPA/ABTCP, 2008.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA (CUE); PARLAMENTO EUROPEU (PE). Diretiva 2012/27/UE do parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012 - relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/932/CE. **Jornal Oficial da União Europeia**, v. 315, n. 1, p. 1–56, 14. nov. 2012. Bruxelas.

COVENTRY, Z. A.; TIZE, R.; KARUNANITHI, A. T. Comparative life cycle assessment of solid waste management strategies. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 18, n. 5, p. 1515–1524, 2016. Springer Berlin Heidelberg.

CURRAN, M. A. **Life cycle assessment: principles and practice**. Cincinnati (Ohio), 2006.

DANISH, M. S. S.; SENJYU, T.; IBRAHIMI, A. M.; AHMADI, M.; HOWLADER, A. M. A managed framework for energy-efficient building. **Journal of Building Engineering**, v. 21, n. August 2018, p. 120–128, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.job.2018.10.013>>. .

DERU, M.; KELSEY, J.; PEARSON, D.; AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Procedures for commercial building energy a.** 2º ed. Atlanta, 2011.

DOLUWEERA, G. H.; JORDAAN, S. M.; MOORE, M. C.; KEITH, D. W.; BERGERSON, J. A. Evaluating the role of cogeneration for carbon management in Alberta. **Energy Policy**, v. 39, n. 12, p. 7963–7974, 2011. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.051>>. .

DORN, C.; BEHREND, R.; GIANNOPOULOS, D.; et al. KPI and LCA evaluation of integrated microwave technology for high temperature processes. **Procedia CIRP**, v. 29, p. 492–497, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.033>>. .

DRUMM, C.; BUSCH, J.; DIETRICH, W.; EICKMANS, J.; JUPKE, A. STRUCTese® - Energy efficiency management for the process industry. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 67, n. 2013, p. 99–110, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2012.09.009>>. .

EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION/ ABESCO. **Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água.** 2012.

EKVALL, T.; FINNVEDEN, G. Allocation in ISO 14041 - a critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, n. 3, p. 197–208, 2001.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz Energética Nacional 2019 - Ano Base 2018.** Brasília, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Roadmap de Ações de Eficiência Energética Propostas de Medidas no Setor Industrial Brasileiro.** Brasília, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020 - Relatório Síntese.** Rio de Janeiro, 2021a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020.** Rio de Janeiro, 2021b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA); INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **A indústria de papel e celulose no Brasil e no Mundo: panorama geral.** Brasília, 2022.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. DE O. Contribuições à gestão estratégica de organizações quando analisados na visão de seu desempenho. **Revista Eletrônica de Gestão Organizacional**, p. 327–358, 2011.

EUROPEAN COMMISSION -- JOINT RESEARCH CENTRE -- INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook -- General guide for Life Cycle Assessment -- Detailed guidance.** 2010.

EUROPEAN COMMISSION - JOINT RESEARCH CENTRE - INSTITUTE FOR

ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY (EC-JCR-IES). **ILCD Handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context**. 2011.

FILHO, O. C.; SACCARO JUNIOR, N. L.; LUEDEMANN, G. A avaliação do ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil. **Textos para Discussão**, 2016.

FINNERTY, N.; STERLING, R.; COAKLEY, D.; et al. Development of a Global Energy Management System for non-energy intensive multi-site industrial organisations: A methodology. **Energy**, v. 136, p. 16–31, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.049>>. .

FINNERTY, N.; STERLING, R.; CONTRERAS, S.; COAKLEY, D.; KEANE, M. M. Defining corporate energy policy and strategy to achieve carbon emissions reduction targets via energy management in non-energy intensive multi-site manufacturing organisations. **Energy**, v. 151, p. 913–929, 2018. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.070>>. .

FOIDART, F.; OLIVER-SOLÁ, J.; GASOL, C. M.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J. How important are current energy mix choices on future sustainability? Case study: Belgium and Spain-projections towards 2020-2030. **Energy Policy**, v. 38, n. 9, p. 5028–5037, 2010.

FORZA, C. Survey research in operations management: A process-based perspective. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 152–194, 2002.

FOSSA, A.; SGARBI, F. DE A. Guia para Aplicação da Norma ABNT ISO 50001. , 2017. Disponível em: <<http://procobre.org/media-center/pt-br/component/jdownloads/send/2-publicacoes/242-guia-para-aplicacao-da-norma-abnt-nbr-iso-50001-gestao-da-energia.html>>. .

FUJII, M.; FUJITA, T.; OHNISHI, S.; et al. Regional and temporal simulation of a smart recycling system for municipal organic solid wastes. **Journal of Cleaner Production**, v. 78, p. 208–215, 2014. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.066>>. .

GARCÍA-GUSANO, D.; GARRAÍN, D.; HERRERA, I.; CABAL, H.; LECHÓN, Y. Life Cycle Assessment of applying CO₂ post-combustion capture to the Spanish cement production. **Journal of Cleaner Production**, v. 104, n. 2015, p. 328–338, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.056>>. .

GARCIA-HERRERO, I.; MARGALLO, M.; ONANDÍA, R.; ALDACO, R.; IRABIEN, A. Connecting wastes to resources for clean technologies in the chlor-alkali industry: a life cycle approach. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 20, n. 2, p. 229–242, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4^o ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIORDANO, L.; ROIZARD, D.; FAVRE, E. Life cycle assessment of post-combustion CO₂ capture: A comparison between membrane separation and chemical absorption

processes. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 68, n. May 2017, p. 146–163, 2018. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2017.11.008>>. .

GOEDKOOPE, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; et al. ReCiPe 2008. **Potentials**, p. 1–44, 2009. Disponível em: <http://www.pre-sustainability.com/download/misc/ReCiPe_main_report_final_27-02-2009_web.pdf>.

GOETZFRIED, F.; STRATMANN, B.; QUACK, D. Life cycle assessment of sodium chloride production and transport. Proceedings of the International Conference of Biodiversity, Sustainability & Solar Salt - Sevilla, Spain. **Anais...**, 2012. Sevilla (Spain).

GU, Y.; XU, J.; KELLER, A. A.; et al. Calculation of water footprint of the iron and steel industry: A case study in Eastern China. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p. 274–281, 2015.

GUINÉE, J. Announcing a New LCA Guide Editorial : Announcing a New LCA Guide Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards. **International Journal**, v. 6, n. 1992, p. 86899, 2001. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02978784>>. .

GUINÉE, J. B.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; et al. Life cycle assessment: past, present and future. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 90–96, jan. 2011.

GURSEL, A. P.; OSTERTAG, C. Comparative life-cycle impact assessment of concrete manufacturing in Singapore. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 2, p. 237–255, 2017. The International Journal of Life Cycle Assessment. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11367-016-1149-y>>. .

HABERT, G. A method for allocation according to the economic behaviour in the EU-ETS for by-products used in cement industry. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 1, p. 113–126, 2013.

HAMMOND, G. P.; JONES, C. I. Embodied energy and carbon in construction materials. **Proceedings of Institution of Civil Engineers: Energy**, v. 161, n. 2, p. 87–98, 2008.

HORA, A. B. DA; MELO, L. P. D. Papel e celulose. **Panoramas Setoriais: Mudanças Climáticas**. p.47–54, 2016. Brasília: BNDES. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/7201>>. .

HUIJBREGTS, M. A. J.; STEINMANN, Z. J. N.; ELSHOUT, P. M. F.; et al. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 2, p. 138–147, 2017. The International Journal of Life Cycle Assessment. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>>. .

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). O que é avaliação de ciclo de vida. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/acv/o->

que-e-o-acv/>. Acesso em: 9/5/2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC); EDENHOFER, O.; PICHS-MADRUGA, R.; et al. **Renewable energy sources and climate change mitigation: summary for policy makers and technical summary**. 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions: In support of the G8 Plan of Action**. Paris: OECD/IEA, 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Energy & CO2 Status Report - the latest trends in energy and emissions in 2018**. 2019.

INTRONA, V.; CESAROTTI, V.; BENEDETTI, M.; BIAGIOTTI, S.; ROTUNNO, R. Energy Management Maturity Model: An organizational tool to foster the continuous reduction of energy consumption in companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 83, p. 108–117, 2014. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.001>>. .

IVNER, J.; BJÖRKLUND, A. E.; DREBORG, K. H.; et al. New tools in local energy planning: Experimenting with scenarios, public participation and environmental assessment. **Local Environment**, v. 15, n. 2, p. 105–120, 2010.

JANNUZZI, G. DE M.; SWISHER, J.; REDLINGER, R. Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: oferta, demanda e suas interfaces. **IEI Brasil**, p. 254, 2018.

JOHANSEN, S. Statistical analysis of cointegration vectors. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 12, p. 231–254, 1988.

JOLLIET, O.; MARGNI, M.; CARLES, R.; et al. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology Olivier. **The International Journal of Life Cycle Assessment**2, v. 8, n. 6, p. 324–330, 2003.

JONAS, H. **O princípio responsabilidade: ensaio de uma ética par aa civilização tecnológica**. Rio de Janeiro, 2006.

JOSHI, S. Product environmental life-cycle assessment using input-output techniques. **Journal of Industrial Ecology**, v. 3, n. 2–3, p. 95–120, 1999.

JOURDAINE, M.; LOUBET, P.; TREBUCQ, S.; SONNEMANN, G. A detailed quantitative comparison of the life cycle assessment of bottled wines using an original harmonization procedure. **Journal of Cleaner Production**, , n. corrected proof, p. 119472, 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652619343422>>. .

JUNG, J.; POSTELS, S.; BARDOW, A. Cleaner chlorine production using oxygen depolarized cathodes? A life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 80, p. 46–56, 2014.

KYPREOS, S.; BLES, M.; COSMI, C.; et al. Times-EU: A Pan-European model integrating LCA and external costs. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 3, n. 2, p. 180–194, 2008.

LACERDA, R. T. DE O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Contribuições à gestão estratégica de organizações quando analisadas na visão de seu desempenho. **Revista Eletrônica de Gestão Organizacional**, v. 2, n. 9, p. 327–358, 2011. Fortaleza (PE).

LAMNATOU, C.; CHEMISANA, D. Photovoltaic-green roofs: A life cycle assessment approach with emphasis on warm months of Mediterranean climate. **Journal of Cleaner Production**, v. 72, p. 57–75, 2014. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.006>>. .

LAMNATOU, C.; NOTTON, G.; CHEMISANA, D.; CRISTOFARI, C. Life cycle analysis of a building-integrated solar thermal collector, based on embodied energy and embodied carbon methodologies. **Energy and Buildings**, v. 84, p. 378–387, 2014. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.011>>. .

LASKURAIN, I.; IBARLOZA, A.; LARREA, A.; ALLUR, E. Contribution to energy management of the main standards for environmental management systems: The case of ISO 14001 and EMAS. **Energies**, v. 10, n. 11, 2017.

LAVE, L. B.; COBAS-FLORES, E.; HENDRICKSON, C. T.; MCMICHAEL, F. C. Using Input-Output Analysis to Estimate Economy-wide Discharges. **Environmental Science & Technology**, v. 29, n. 9, p. 420A-426A, 1995.

LEVY, G.; LEVY, G. Mathematical Reference. **Energy Power Risk**, v. 4, p. 291–295, 2018.

LI, T.; ROSKILLY, A. P.; WANG, Y. Life cycle sustainability assessment of grid-connected photovoltaic power generation: A case study of Northeast England. **Applied Energy**, v. 227, p. 465–479, 2018. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.021>>. .

LIN, B.; MOUBARAK, M. Estimation of energy saving potential in China's paper industry. **Energy**, v. 65, p. 182–189, 2014. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.014>>. .

LIN, B.; XIE, X. Energy conservation potential in China's petroleum refining industry: Evidence and policy implications. **Energy Conversion and Management**, v. 91, p. 377–386, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.11.058>>. .

LIU, Z.; GENG, Y.; WANG, H.; et al. Energy-based comparative analysis of energy intensity in different industrial systems. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 23, p. 18687–18698, 2015.

MANCINI, F. N.; AOKI, A. R. Case-Based Reasoning for the Design of Start-Stop Logic of Hydroelectric Power Stations. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 2018.

MARTIN, C. Eficiência energética. **O Papel**, p. 32–38, set. 2013. São Paulo.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; NETO, B.; et al. Lca tool for sustainability evaluations

in the pharmaceutical industry. **Chemical Engineering Transactions**, v. 26, n. 2006, p. 261–266, 2012.

MCKANE, A.; THERKELSEN, P.; SCODEL, A.; et al. Predicting the quantifiable impacts of ISO 50001 on climate change mitigation. **Energy Policy**, v. 107, n. May, p. 278–288, 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME); EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Brasília, 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME); EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 (versão para consulta pública)**. Brasília, 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: MMA, 2012.

MOON, H.; MIN, D. Assessing energy efficiency and the related policy implications for energy-intensive firms in Korea: DEA approach. **Energy**, v. 133, p. 23–34, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.122>>. .

MORENO-LEIVA, S.; DÍAZ-FERRÁN, G.; HAAS, J.; et al. Towards solar power supply for copper production in Chile: Assessment of global warming potential using a life-cycle approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 242–249, 2017.

MOURA, A. M. DE; AURÉLIO, M.; GARCIA, R.; et al. **Eficiência energética no indústria de celulose e papel: mecanismos de incentivo à eficiência energética para economia de baixo carbono**. São Paulo: ABTCP; CNI; PROCEL; ELETROBRAS; MME/Brasil, 2011.

MOURA, J. M. DE; SOUZA, T. M. DE; LOURENÇO, G. Z.; VILLEGAS, T. A. **Segmento Papel e Celulose**. Brasília: EPE, 2018.

NGAI, E. W. T.; CHAU, D. C. K.; POON, J. K. L.; TO, C. K. M. Energy and utility management maturity model for sustainable manufacturing process. **International Journal of Production Economics**, v. 146, n. 2, p. 453–464, 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Glossário de termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7: Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos. **PNUD no mundo**, p. 34, 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>>. .

OZOLIŅA, L.; ROŠA, M. A review of energy efficiency policy and measures for industries in Latvia. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 23, n. 5, p. 517–526, 2012.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; PANDEY, J. S. Carbon footprint: Current methods of estimation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 178, n. 1–4, p. 135–160, 2011.

PARAMONOVA, S.; THOLLANDER, P.; OTTOSSON, M. Quantifying the extended

energy efficiency gap-evidence from Swedish electricity-intensive industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 472–483, 2015. Elsevier.

PECK, P.; PARKER, T. The “Sustainable Energy Concept” - Making sense of norms and co-evolution within a large research facility’s energy strategy. **Journal of Cleaner Production**, v. 123, n. 2016, p. 137–154, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.121>>. .

PHYLIPSEN, G. J. M.; BLOK, K.; WORRELL, E. International comparisons of energy efficiency - Methodologies for the manufacturing industry. **Energy Policy**, v. 25, n. 7–9, p. 715–725, 1997.

PINTO JUNIOR, H. Q.; ALMEIDA, E. F. DE; BOMTEMPO, J. V.; IOOTY, M.; BICALHO, R. G. Energia e economia. **Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. 2ª ed., p.1–38, 2016. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier Editora.

DU PLESSIS, W. Energy efficiency and the law: A multidisciplinary approach. **South African Journal of Science**, v. 111, n. 1–2, p. 25–32, 2015.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. , 2016. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>>. Acesso em: 16/8/2017.

RAJAEIFAR, M. A.; SADEGHZADEH HEMAYATI, S.; TABATABAEI, M.; AGHBASHLO, M.; MAHMOUDI, S. B. A review on beet sugar industry with a focus on implementation of waste-to-energy strategy for power supply. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 103, n. January, p. 423–442, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.056>>. .

RAMASAMY, S. V.; TITCHENER-HOOKER, N. J.; LETTIERI, P. Life cycle assessment as a tool to support decision making in the biopharmaceutical industry: Considerations and challenges. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, n. April, p. 297–305, 2015. Institution of Chemical Engineers. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2014.03.009>>. .

RAMOS, L. A.; DURANTE, L. C.; ARQUITETURA, F. DE. Geração de Eletricidade Abordando o Ciclo de Vida : Uma Revisão Sistemática sob a Ótica da Sustentabilidade Ambiental Electrical Power through Life Cycle : A Systematic Review under the Optics of Environmental Sustainability. , v. 1, p. 14–28, 2017.

REBITZER, G.; EKVAL, T.; FRISCHKNECHT, R.; et al. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, v. 30, n. 5, p. 701–720, 2004.

REDE DE PESQUISA DE AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA (RAICV). **Recomendação de modelos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida para o contexto brasileiro**. Brasília: RAICV, 2019.

ROHDIN, P.; THOLLANDER, P. Barriers to and driving forces for energy efficiency in

the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden. **Energy**, v. 31, n. 12, p. 1836–1844, 2006.

ROJAS, D. B.; PRÍAS, O. Herramientas Lean para apoyar la implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001 Lean Tools to Support the Implementation of Energy Management Systems Based on ISO 50001 RESUMEN. **Energética**, v. 44, p. 49–60, 2014. Disponível em: <www.revistas.unal.edu.co/energetica>. .

ROS-DOSDÁ, T.; FULLANA-I-PALMER, P.; MEZQUITA, A.; MASONI, P.; MONFORT, E. How can the European ceramic tile industry meet the EU's low-carbon targets? A life cycle perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 554–564, 2018.

ROSENBAUM, R. K.; BACHMANN, T. M.; GOLD, L. S.; et al. USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 13, n. 7, p. 532–546, 2008.

ROYO, P.; FERREIRA, V. J.; LÓPEZ-SABIRÓN, A. M.; GARCÍA-ARMINGOL, T.; FERREIRA, G. Retrofitting strategies for improving the energy and environmental efficiency in industrial furnaces: A case study in the aluminium sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. July 2017, p. 1813–1822, 2018.

RUTHES, S.; SILVA, C. L. DA. Research Use of Prospective Studies on Policy Analysis: A Bibliometric Study. **European Journal of Scientific Research**, v. 148, n. 1, p. 161–178, 2017. Disponível em: <http://www.europeanjournalofscientificresearch.com/issues/PDF/EJSR_148_1_10.pdf>. .

SA, A.; THOLLANDER, P.; CAGNO, E. Assessing the driving factors for energy management program adoption. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, n. January 2016, p. 538–547, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.061>>. .

SA, A.; THOLLANDER, P.; RAFIEE, M. Industrial energy management systems and energy-related decision-making. **Energies**, v. 11, n. 10, p. 1–12, 2018.

SANER, D.; JURASKE, R.; KÜBERT, M.; et al. Is it only CO₂ that matters? A life cycle perspective on shallow geothermal systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 7, p. 1798–1813, 2010.

SANTIN, M.; CHINESE, D.; SARO, O.; ANGELIS, A. DE; ZUGLIANO, A. Carbon and Water Footprint of Energy Saving. **Energies**, v. 12, n. 3627, p. 1–22, 2019.

SCHULZE, M.; NEHLER, H.; OTTOSSON, M.; THOLLANDER, P. Energy management in industry - A systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 3692–3708, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.060>>. .

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – DEPARTAMENTO REGIONAL DO PARANÁ (SENAI-PR). **Rotas estratégicas para o futuro da**

indústria paranaense : roadmapping de energia - 2015. Curitiba: SENAI, 2007.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – DEPARTAMENTO REGIONAL DO PARANÁ (SENAI-PR). **Roadmapping de Papel e Celulose – horizonte de 2018.** Curitiba: Senai/PR, 2008.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – DEPARTAMENTO REGIONAL DO PARANÁ (SENAI-PR). **Construção e análise de indicadores.** Curitiba: Serviço Social da Indústria. Departamento Regional do Estado do Paraná. Observatório Regional Base de Indicadores de Sustentabilidade, 2010.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – DEPARTAMENTO REGIONAL DO PARANÁ (SENAI-PR). Horizonte 2030: Papel e Celulose. In: M. de Souza; S. Ruthes; R. Valença (Orgs.); **Perfis Profissionais para o Futuro da Indústria Paranaense**, 2014. Curitiba: Senai/PR.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – DEPARTAMENTO REGIONAL DO PARANÁ (SENAI-PR). **Rotas Estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense 2031.** Curitiba: SISTEMA FIEP - Observatórios Sistema Fiep, 2017a.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – DEPARTAMENTO REGIONAL DO PARANÁ (SENAI-PR). **Rotas Estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense 2031: Roadmap.** Curitiba: SISTEMA FIEP - Observatórios Sistema Fiep, 2017b.

SHAH, R.; GOLDSTEIN, S. M. Use of structural equation modeling in operations management research: Looking back and forward. **Journal of Operations Management**, v. 24, n. 2, p. 148–169, 2006.

SILVA, V. R. G. R. DA. **Uma contribuição ao estudo da gestão de energia em indústrias energo-intensivas: engenharia organizacional e interoperabilidade**, 2018. Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

SILVA, V. R. G. R. DA; LOURES, E. DE F. R.; DE LIMA, E. P.; DA COSTA, S. E. G. Energy management in industry: An enterprise engineering approach. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, n. Specialissue, 2018.

SONG, X.; ZHANG, C.; YUAN, W.; YANG, D. Life-cycle energy use and GHG emissions of waste television treatment system in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 470–478, 2018. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.004>>. .

STENQVIST, C. Trends in energy performance of the Swedish pulp and paper industry: 1984–2011. **Energy Efficiency**, v. 8, n. 1, p. 1–17, 2015.

STENQVIST, C.; NILSSON, L. J. Energy efficiency in energy-intensive industries-an evaluation of the Swedish voluntary agreement PFE. **Energy Efficiency**, v. 5, n. 2, p. 225–241, 2012.

TAN, R. B. H.; KHOO, H. H. LCA Case Studies: Zinc Casting and Recycling. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 10, n. 3, p. 211–218, 2005.

TANAKA, K. Review of policies and measures for energy efficiency in industry sector. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 6532–6550, 2011. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.058>>. .

THE OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY (OEC). Brasil (BRA): Exportação, Importação e Parceiro Comercial. Disponível em: <<https://oec.world/pt/profile/country/bra/>>. Acesso em: 16/12/2019.

THOPIL, G. A.; POURIS, A. International positioning of South African electricity prices and commodity differentiated pricing. **South African Journal of Science**, v. 109, n. 7–8, p. 1–4, 2013.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207–222, 2003. Disponível em: <<https://onlinelibrarywiley-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/doi/epdf/10.1111/1467-8551.00375>>. .

TREYER, K.; BAUER, C. The environmental footprint of UAE's electricity sector: Combining life cycle assessment and scenario modeling. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 1234–1247, 2016. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.016>>. .

TRIANNI, A.; CAGNO, E.; FARNÉ, S. Barriers, drivers and decision-making process for industrial energy efficiency: A broad study among manufacturing small and medium-sized enterprises. **Applied Energy**, v. 162, p. 1537–1551, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.078>>. .

TSCHIGGERL, K.; RAUTER, M.; DOSCHEK, K.; BIEDERMANN, H. Livarski proizvodi in njihova dodana vrednost pri ovrednotenju njihovega življenjskega cikla Foundry Products and Their Added Value in the Life Cycle Assessments. **Livarski vestnik**, v. 63, n. 1, p. 60–81, 2016.

TUKKER, A. Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 20, n. 4, p. 435–456, 2000.

TURNER, W. C.; DOTY, S. **Energy Management Handbook**. 6a ed. Lilburn, GA: The Fairmont Press, 2007.

VOLTZ, T.; GRISCHEK, T. Energy management in the water sector – Comparative case study of Germany and the United States. **Water-Energy Nexus**, v. 1, n. 1, p. 2–16, 2018. KeAi Communications Co., Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wen.2017.12.001>>. .

WAAS, T.; HUGÉ, J.; BLOCK, T.; et al. Sustainability assessment and indicators: Tools in a decision-making strategy for sustainable development. **Sustainability (Switzerland)**, v. 6, n. 9, p. 5512–5534, 2014.

WANG, J. J.; JING, Y. Y.; ZHANG, C. F.; ZHAO, J. H. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 9, p. 2263–2278, 2009.

WANG, S.; LU, C.; GAO, Y.; WANG, K.; ZHANG, R. Life cycle assessment of reduction of environmental impacts via industrial symbiosis in an energy-intensive industrial park in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, p. 118358, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118358>>. .

WEIDEMA, B.; HISCHIER, R.; ALTHAUS, H.; BAUER, C. **Code of Practice - Data v2.1 (2009)**. St. Gallen, 2009.

WERNET, G.; BAUER, C.; STEUBING, B.; et al. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 9, p. 1218–1230, 2016. The International Journal of Life Cycle Assessment. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>>. .

WHALEY, M. B. Allergan's view of the future for energy management. **Strategic Planning for Energy and the Environment**, v. 33, n. 3, p. 41–47, 2014.

WU, J.; PU, G.; GUO, Y.; LV, J.; SHANG, J. Retrospective and prospective assessment of exergy, life cycle carbon emissions, and water footprint for coking network evolution in China. **Applied Energy**, v. 218, n. March, p. 479–493, 2018.

YU, H.; PEARLMUTTER, D.; SCHWARTZ, M. Life cycle assessment of an energy-economy nexus: The case of Israel and South Korea. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 69, n. July 2017, p. 61–69, 2018. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.12.001>>. .

ZHEN, W.; QIN, Q.; QIAN, X.; WEI, Y. M. Inequality across China's Staple Crops in Energy Consumption and Related GHG Emissions. **Ecological Economics**, v. 153, n. July, p. 17–30, 2018. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.06.022>>. .

APÊNDICE A – VISÃO GERAL DO PROTOCOLO

O protocolo traz a proposta de um modelo híbrido do ciclo PDCA de um SGE, identificando as diretrizes para realização de cada uma das etapas e as ferramentas mapeadas e identificadas como adequadas para cumprir aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais, avaliando os impactos ambientais e sociais do ciclo de vida das soluções energéticas e as vocações energéticas locais.

1 VISÃO GERAL DO PROTOCOLO

1.1 PDCA: Visão geral

- *Plan* (Planejar):
 - Estabelecer a política energética;
 - Constituir equipe de gestão da energia;
 - Mapear ações para enfrentar os riscos e oportunidades;
 - Realizar a revisão energética;
 - Identificar os usos significativos de energia (USE);
 - Fixar indicadores de desempenho energético (IDE);
 - Construir a(s) linha(s) de base energética(s) (LBE);
 - Fixar os objetivos e metas energéticas e
 - Constituir planos de ação para melhoria do desempenho energético.
- *Do* (Fazer):
 - Implementar os planos de ação;
 - Estabelecer os controles de operação e manutenção;
 - Realizar a comunicação;
 - Assegurar competências e
 - Considerar o desempenho energético no projeto e aquisição.
- *Check* (Checar):
 - Monitorar e medir o desempenho energético;
 - Analisar, avaliar e auditar o desempenho energético, planos de ação e o próprio SGE e
 - Realizar a análise(s) crítica(s) pela direção do desempenho energético e do próprio SGE.
- *Act* (Agir):

- Fixar as ações para tratar não conformidades e
- Identificar como realizar as melhorias do desempenho energético e do SGE para o próximo ciclo.

1.1.1 Preparação para o Execução do Protocolo

Verificação dos pontos relevantes levantados pela EPE e agências reguladoras (ANEEL, ANP, ANA e outras que possam influir os processos industriais de cada indústria energo-intensiva) e Programa de Eficiência Energética para identificar, no ciclo inicial de um SGE, ou revisar, quando o protocolo já foi implementado uma primeira vez, os pontos que deverão ser analisados com cuidado para adequar ou implementar processos e soluções energéticas ante exigências normativas ou planejamentos energéticos formulados pelo Estado, aproveitando sinergias com as diretrizes governamentais que possam trazer maior efetividade ao Planejamento Energético.

1.1.2 Plan (Planejar)

1.1.2.1 Estabelecer a política energética

Revisão ou estabelecer a Política Energética da Indústria Energo-Intensiva

A política deve passar uma mensagem clara como os exemplos apresentados por Fossa e Sgarbi (2017):

Política energética da WEG (...) Assegurar o desenvolvimento, a produção e a comercialização de produtos e serviços com maior eficiência energética, e a melhoria contínua dos nossos processos de negócio, atendendo os requisitos legais e permitindo a redução do consumo de energia e dos impactos sobre a matriz energética. (p. 62-63)

(...)

A GENERAL MOTORS DO BRASIL se compromete a preservar o meio ambiente e os recursos naturais, por meio do estabelecimento de objetivos e metas que possibilitem a melhoria contínua do seu desempenho ambiental e energético, através da disponibilidade de recursos e informações e apoio à aquisição de produtos e serviços energeticamente eficientes, visando a redução dos resíduos, o cumprimento das leis e normas, a prevenção da poluição e a boa comunicação com a comunidade. (p. 71)

1.1.2.2 Fixar ou Estabelecer uma equipe para o SGE

Membros do SGE

Coordenador:			
Departamento		Horas Alocadas	
Membro:			
Departamento		Horas Alocadas	
Membro:			
Departamento		Horas Alocadas	

Observações:

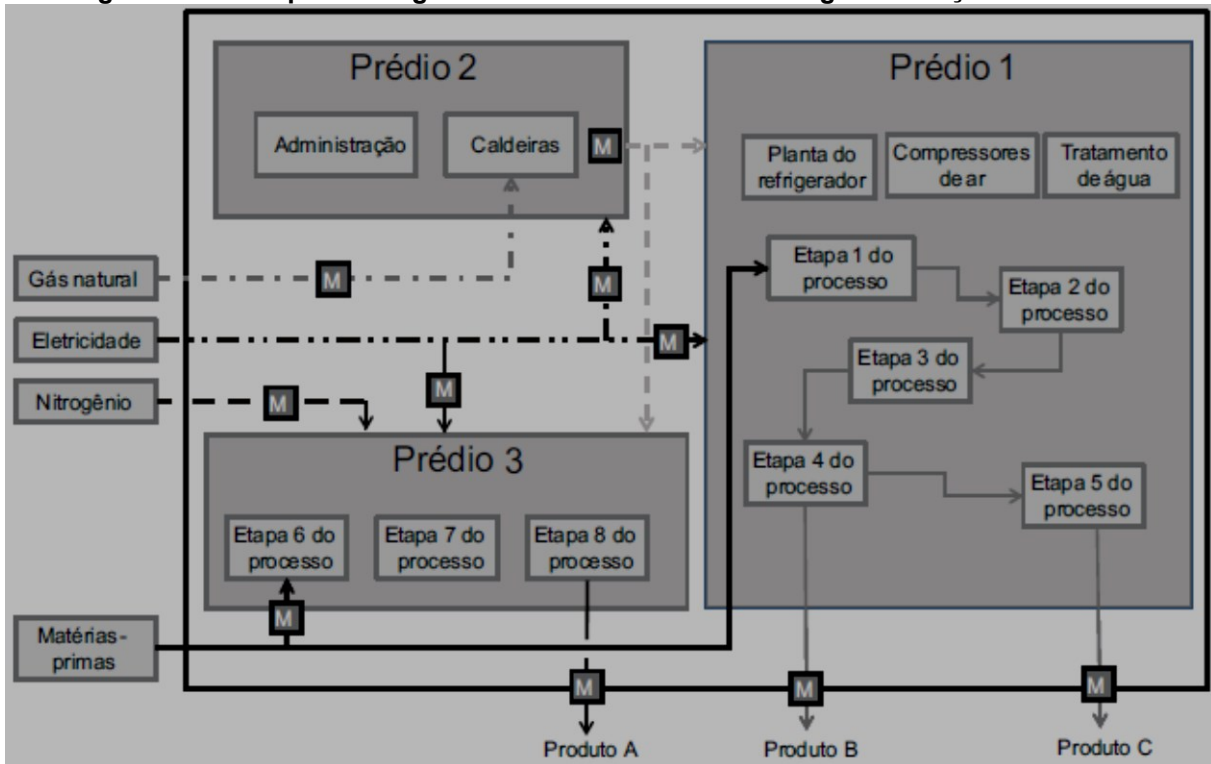
1.1.2.3 Planejamento Energético

Visão preliminar da planta.

Energia Primária			
Equipamento(s)			
Departamento(s)		Forma de utilização	
Fronteira		Fornecimento	
Sinergias atuais		Sinergias possíveis	

Energia Secundária			
Equipamento(s)			
Departamento(s)		Forma de utilização	
Fronteira		Fornecimento	
Sinergias atuais		Sinergias possíveis	

Figura 48 - Exemplo de diagrama *fence* com fluxos de energia e medição e fronteiras



Legenda: M - medição

Fonte: ABNT (2016, p. 8)

Análise SWOT

Forças	
Fraquezas	
Oportunidades	
Ameaças	

1.1.2.4 Mapear ações para enfrentar os riscos e oportunidades

Riscos

Energia Primária	
Equipamento(s)	
Departamento(s)	Forma de utilização
Sinergias atuais	Sinergias possíveis

Energia Secundária	
Equipamento(s)	
Departamento(s)	Forma de utilização
Sinergias atuais	Sinergias possíveis

Oportunidades

Energia Primária			
Equipamento(s)			
Departamento(s)		Forma de utilização	
Sinergias atuais		Sinergias possíveis	

Energia Secundária			
Equipamento(s)			
Departamento(s)		Forma de utilização	
Sinergias atuais		Sinergias possíveis	

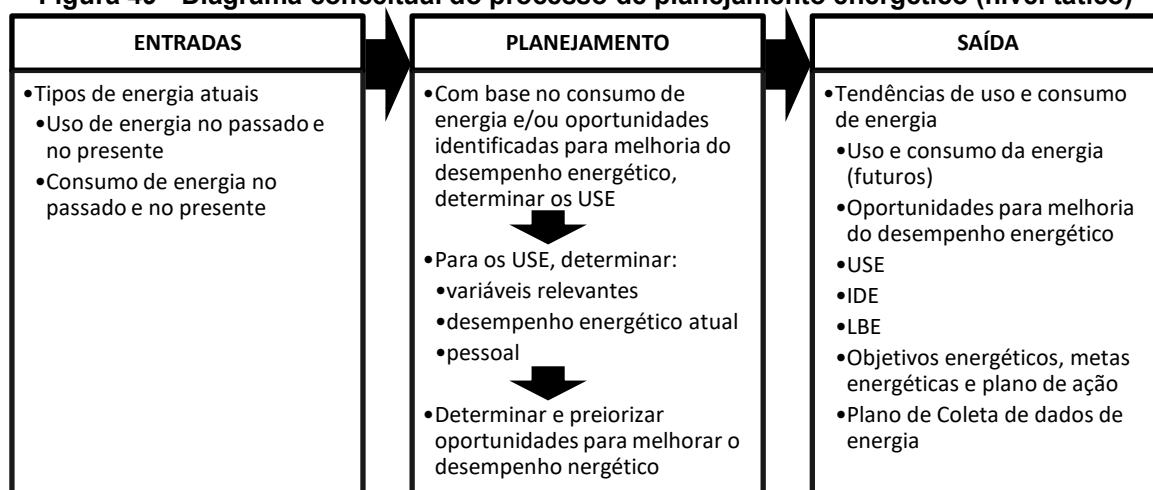
1.1.2.5 Objetivos/Metas Energéticas

Objetivo/Meta 1	
Objetivo/Meta 2	
Objetivo/Meta 3	

1.1.2.6 Revisão Energética

Estratégia para revisão energética

Figura 49 - Diagrama conceitual do processo de planejamento energético (nível tático)



Fonte: Adaptado de ABNT (2018) (p24)

1.1.2.7 Usos Significativos de Energia (USE)

USE 1

Energia			
Equipamento(s)			
Departamento(s)		Forma de utilização	
Fator de Carga		Sinergias possíveis	
Quantificação		Eficiência	
Programação		Planejamento	

USE 2

Energia			
Equipamento(s)			
Departamento(s)		Forma de utilização	
Fator de Carga		Sinergias possíveis	
Quantificação		Eficiência	
Programação		Planejamento	

1.1.2.8 Indicadores de Desempenho Energético (IDE)

IDE 1

Índice	
Objetivo/Meta	
Variáveis	
Equação	

IDE 2

Índice	
Objetivo/Meta	
Variáveis	
Equação	

Quadro 37 - Os três níveis de fronteira do IDE na ABNT NBR ISO 50006

Nível da fronteira do IDE	Descrição e exemplos
Instalação/ equipamento/ processo individual	A fronteira do IDE pode ser definida ao redor do perímetro físico de uma instalação/equipamento/processo que a organização deseja controlar e melhorar. Exemplo: Um equipamento produtor de vapor.
Sistema	A fronteira do IDE pode ser definida ao redor do perímetro físico de um grupo de instalações/processos/equipamentos que interagem entre si que a organização deseja controlar e melhorar. Exemplo: O equipamento produtor de vapor e utilizador de vapor, como um secador.
Organizacional	A fronteira do IDE pode ser definida ao redor do perímetro físico de um grupo de instalações/processos/equipamentos levando em conta também a responsabilidade no gerenciamento de energia de indivíduos, times, grupos ou unidades de negócio designados pela organização. Exemplo: O vapor comprado para uma fábrica(s) ou departamento da organização.

Fonte: ABNT (2016, p. 7)

1.1.2.9 Linhas de Base Energéticas (LBE)

LBE 1

Índice	
LBE	
Estratégia de Medição	

LBE 2

Índice	
LBE	
Estratégia de Medição	

1.1.2.10 Planos de Ação para Melhoria do Desempenho Energético

- *What*

O que será feito.

- *Who*

Quem fará.

SGE

Tabela 25 - Equipe SGE

DADOS	CONTATOS
NOME	
E-MAIL	
CELULAR (WHATS)	
NOME	
E-MAIL	
CELULAR (WHATS)	

DEPARTAMENTO

Tabela 26 - Equipe Indústria

DADOS	CONTATOS
NOME	
E-MAIL	
CELULAR (WHATS)	
NOME	
E-MAIL	
CELULAR (WHATS)	

EXTERNOS

Tabela 27 - Equipe Externa

DADOS	CONTATOS
NOME	
E-MAIL	
CELULAR (WHATS)	
STATUS	

- *When*

Quando será feito. Cronograma.

- *Where*

Onde será feito.

- *Why*

Porque será feito.

- *How*

Como será feito. Gráfico de Gantt.

- *How Much*

Quanto custará.

1.1.3 Do (Fazer)

1.1.3.1 Estratégia para Seleção e Implantação dos Planos de Ação

Estratégia

PA1

Energia	
Equipamento(s)	
Departamento	
Alteração/Aquisição	

PA2

Energia	
Equipamento(s)	
Departamento	
Alteração/Aquisição	

1.1.3.2 Controles de Operação e Manutenção

USE 1

Energia	
Equipamento(s)	
Departamento	
Operação	
Diretrizes	
Variáveis	
Manutenção	
Diretrizes	
Variáveis	

USE 2

Energia	
Equipamento(s)	
Departamento	
Operação	
Diretrizes	
Variáveis	
Manutenção	
Diretrizes	
Variáveis	

1.1.3.3 Comunicação

USE 1

Diretoria	
SGE	
Departamento	
Fornecedores	
Comunidade	

USE 2

Diretoria	
SGE	
Departamento	
Fornecedores	
Comunidade	

1.1.3.4 Competências

USE 1

Treinamentos	
SGE	
Departamentos	
Fornecedores	

USE 2

Treinamentos	
SGE	
Departamentos	
Fornecedores	

1.1.3.5 Planejamento das Aquisições

Cronograma. Gráfico de Gantt.

1.1.4 Check (Checar)

1.1.4.1 Estratégias de Monitoramento

LBE 1

Energia	
USE	
IDE	
Estratégia	

LBE 2

Energia	
USE	
IDE	
Estratégia	

1.1.4.2 Analisar, avaliar e Auditar o Desempenho Energético, Planos de Ação e o próprio SGE

1.1.5 Act (Agir)

1.1.5.1 Fixar as ações para tratar não conformidades

USE 1

Estratégia	
------------	--

USE 2

Estratégia	
------------	--

1.1.5.2 Melhorias do Desempenho Energético e SGE para o próximo ciclo

USE 1

Melhorias	
-----------	--

USE 2

Melhorias	
-----------	--

SGE

Melhorias	
-----------	--

APÊNDICE B – REFINAMENTO DO PROTOCOLO

2 REFINAMENTO DO PROTOCOLO

2.1 Refinamento do PDCA: inclusão de aspectos e dimensões

Com vistas a incluir elementos importantes ao modelo teórico várias contribuições são provenientes dos documentos e referenciais teóricos analisados, especialmente no tocante ao estado da arte, apresenta-se a seguir as contribuições pontuais de cada um dos autores para a construção do modelo híbrido que dará origem a metodologia.

Schulze et al. (2016, p. 3703-3704) contribui com um *framework* para Gestão Energética Integrativa, apresentando para SGE em Indústria Energo-Intensiva cinco dimensões: 1) Estratégia/Planejamento, 2) Implementação/Operacionalização, 3) Controle, 4) Organização e 5) Cultura. As dimensões apresentadas contribuem para a identificação de variáveis adequadas para cada dimensão, apresentando-se como novidade as duas últimas dimensões, que explicitam o caráter econômico e social.

Com as contribuições de Schulze et al. (2016, 3696) expande-se o PDCA que originalmente poderia abordar os aspectos técnico e econômico, localizado no cerne do modelo proposto, comunicando-os com a dimensão organizacional, a qual é apontada em Silva et al. (2018) como fundamental para a implementação de uma SGE com efetividade. A dimensão cultural é alocada em uma esfera externa a econômica, já que pode ter contornos tanto internos, quanto externos, vinculando-se inclusive ao aspecto social, já que recursos humanos e ganhos não energéticos podem advir desta construção.

Schulze et al. (2016, p. 3692-3693, 3698-3703) ainda apresenta a importância da questão ambiental com base nas restrições decorrentes de leis voltadas ao meio ambiente, assim como a influência do aspecto ambiental e de sustentabilidade existente em vários estudos que respaldam a construção de seu *framework*. A sustentabilidade é uma dimensão, que se revela conectada ao aspecto ambiental, entretanto, como as demais dimensões consegue alcançar os aspectos mais interno, inerentes ao PDCA necessário ao planejamento energético, comunica o aspecto ambiental aos demais, compreendendo a sustentabilidade desde seu viés econômico até o socioambiental.

Outra contribuição que reforça a questão ambiental e sua abrangência é Drumm et al. (2013, p. 101) que apresenta o SGE da *Bayer* inserido em uma revisão climática baseada em uma ACV, reforçando a alocação do aspecto ambiental na parte externa, acima de todas as dimensões, já que há forte tendência de valorar o aspecto ambiental e as restrições que traz, como aponta Introna et al. (2014) na construção de CarbonTrust (2011, p. 12-14) envolvendo dados energéticos e ambientais/legais.

Refinado o PDCA do Planejamento Energético com aspectos pretendidos pela tese e dimensões identificadas nos diversos trabalhos, é possível aprofundar o modelo teórico utilizando ferramentas de outras áreas ou temáticas, como ressalta Rojas; Prías (2014). Neste ponto identificou-se na documentação do Programa de Eficiência Energética e no histórico do Planejamento Energético Estatal, evidenciado anualmente no PDE, além de eventuais direcionamentos de políticas públicas, uma divisão funcional, contribuindo com elementos chave para a elaboração do Planejamento Energético das Indústria Energo-Intensiva para o curto e o médio prazo. A divisão funcional facilita a alocação de recursos do SGE, direcionando os esforços de avaliação, mapeamentos de oportunidades e riscos, fixação de indicadores e linhas de base para cada ciclo; saliente-se que a divisão deve ser revista a cada ciclo, adequando-se a mudanças sociais e de políticas públicas.

2.1.1 Avaliação Preliminar

Um ponto que não é apresentado na documentação ou bibliografia é a avaliação preliminar, não existe avaliações em qualquer dos eixos antes do estabelecimento de políticas ou escopo. Entretanto, especialmente em virtude da proposta da tese trabalhar com a comunicação dos eixos do SGE com a ACV, imperativo realizar uma avaliação preliminar que demonstre a maturidade de modelos implantados na EIE e apresente aspectos da cultura organizacional para que se estruture adequadamente a política e o sistema de gestão, conforme já alerta Silva (2018, p. 141-144).

O estabelecimento de um modelo para realizar esta avaliação poderá apresentar direcionamento qualitativo e quantitativo, permitindo uma visão prévia da gestão de energia e as influências de fatores econômicos, ambientais e sociais dentro da indústria energo-intensiva, especialmente por sistemas de gestão, seja eles ambiental (SGA) um SGE entre outros, se comunicarem e terem a possibilidade de

dividir ferramentas, métricas, como fica saliente para SGA em trabalhos como o de Drumm et al. (2013), Böttcher; Müller (2016) e Laskurain et al. (2017). Outro instrumento que aponta para a análise preliminar é a proposta de auditoria energética da *American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers* (ASHRAE), presente em Deru et al. (2011), que possui uma análise preliminar do uso de energia (PEA, do termo inglês *preliminary Energy-use analysis*) e uma visita técnica preliminar.

A avaliação preliminar deve ter ferramentas úteis para avaliar qualitativa e quantitativamente o SGE e fatores relacionados aos aspectos técnico, econômico, social e ambiental e as dimensões organizacional, cultural e de sustentabilidade.

2.1.2 Avaliação Qualitativa

Para realizar a avaliação preliminar (e mesmo realizar uma avaliação contínua com base na maturidade e em vista do ciclo de melhoria contínua de um PDCA) com um enfoque qualitativo a técnica apresentada por Introna et al. (2014, p. 111) com cinco dimensões, permite uma classificação do SGE em cinco níveis distintos (transitando do inicial ao ótimo/ideal).

A visão qualitativa permite identificar o nível de maturidade de SGE presente ou reconhecer iniciativas já realizadas pela Indústria Energo-Intensiva sem esta constituição, utilizando para isto uma técnica de entrevista estruturada, por exemplo. Introna et al. (2014, p. 111 a 113) apresenta uma gradação qualitativa para cada um o que seria a situação ideal ou ótima para cinco dimensões: 1) consciência, conhecimento e habilidades, 2) abordagem metodológica para gestão de energia, 3) sistema de gerenciamento e informação de desempenho energético, 4) estrutura organizacional e 5) estratégia e alinhamento.

Na revisão apresentada por Introna et al. (2014) duas outras referências de avaliações qualitativas são interessantes para o presente trabalho, uma apresentada pela CarbonTrust (2011) e outra por Ngai et al. (2013).

A CarbonTrust (2011, p. 12-14) apresenta duas ferramentas interessantes com vistas a esta operacionalização: *Energy Management Matrix* e *Energy Management Assessment* (EMA). A matriz de gestão de energia tem como objetivo

realizar avaliação prévia das forças e fraquezas⁴⁹ relativas à gestão de energia, contando com cinco níveis de implementação (identificando fraquezas ou forças específicas) em seis dimensões: 1) Políticas, 2) Organização, 3) Treinamento, 4) Desempenho, 5) Comunicação e 6) Investimento. A ferramenta de avaliação da gestão energética a cinco áreas específicas: 1) Comprometimento da Gestão, 2) Regulação (*Compliance*), 3) Compras e Investimentos, 4) Sistemas de Informação de Energia e 5) Cultura e Comunicação; distribuídos em 12 indicadores relativos a: i) política energética, ii) estratégia energética, iii) estrutura organizacional, iv) conformidade regulatória (*compliance*), v) política de compras, vi) procedimentos de investimentos, vii) monitoramento e análise do uso de energia, viii) metas e objetivos energéticos, ix) identificação de oportunidades, x) engajamento e treinamento da equipe, xi) procedimentos operacionais e xii) comunicações.

O modelo *Energy and Utility Management Maturity Model* (UEMMM) de Ngai et al. (2013, p. 463), o qual trabalha com o conceito de integração de modelos de capacidade e maturidade, fixando a maturidade em cinco níveis: 1) inicial, 2) implementação da gestão, 3) normatização, 4) gestão de desempenho e 5) melhoria contínua. Além disto estabelece etapas de processos, estabelecendo estágios de maturidade processual.

Com relação às questões ambientais, especificamente a ACV, Coelho Filho et al. (2016, p. 18-19) a metodologia pressão-estado-resposta que utilizado um “questionaria aberto (pressão), uma matriz SWOT (estado) e uma matriz S (resposta)”, para isto foi utilizado um questionário (ANEXO, p. 51-52) para guiar entrevistas, as quais foram tabuladas de acordo com a metodologia prevista, com o seguinte direcionamento: 1) Pressões: Internas / Externas, 2) Estado: Forças e Fraquezas / Oportunidade e Ameaças, 3) Resposta: Realizar (forças+oportunidade), Confrontar (Forças+Ameaças), Estimular (Fraquezas+Oportunidades) e Proteger (Fraquezas+Ameaças).

Outra contribuição de Coelho Filho et al. (2016, p. 29-33) ao analisar o cenário de futuro relativo a resposta Realização é a estratégia da ACV modular (ACV-m) e estratificada (ACV-e), respectivamente trabalhando com aspectos voluntários ou compulsórios, que pode servir de base para estabelecer o nível de implementação da ACV em cada ambiente, transitando da ausência de qualquer tipo de rotulagem, até

⁴⁹ A proposta da Carbon Trust inspira-se na Matriz SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*) que identifica fortalezas e fragilidades (interna) e oportunidades e ameaças (externo).

processos com Declaração Ambiental de Produtos (DAP) para o a qual a ACV é passo necessário.

Esta avaliação qualitativa preliminar também poderá, se estruturada e adequadamente registrada, servir como um indicador, possibilitando uma reavaliação cíclica do estado do SGE e de suas comunicações com cada um dos aspectos proposto (técnico, econômico, ambiental e social), avaliando previamente com base na maturidade das ações o que está estabelecido e facilitando localizar oportunidades.

2.1.3 Avaliação Quantitativa

Usualmente uma avaliação preliminar não trabalha com muitos dados quantitativos, entretanto é necessário recorrer a estratégias de análise energética, conforme Stenqvist (2015, p. 3-5) é possível desagregar a energia em três fatores: 1) atividade, 2) mudanças estruturais e 3) intensidade energética. A contribuição pontual é a segmentação da energia com relação aos seus consumos, identificando especificamente: o uso final de combustível, o de eletricidade e o uso de energia primária. Em seu trabalho esta análise identifica (p. 6) cinco consumos energéticos: 1) total de combustível, 2) final de combustível, 3) eletricidade, 4) rede de eletricidade e 5) energia primária.

A análise setorial apresentada por Stenqvist (2015, p. 4) com base em Phylipsen et al. (1997) traz um indicador de Eficiência Energética calcado em energia, utilizando giga-joule ou quilowatt-hora (em suas grandezas usuais para estes processos GJ ou kWh) utilizada por massa (t) de produto uma visão desagregada em processos relativos a cada produto (no caso específico apresentado para a indústria de Papel e Celulose Sueca) possibilitando sua aplicação no SGE de forma pontual para cada setor e produto, com medições mais precisas e não somente com um indicador geral para a atividade. Outro ponto é a questão das unidades, fornecendo um direcionamento para aplicação de unidades de comparação e transformações, conforme é realizado na Matriz Energética Nacional (MEN) EPE (2019d), a qual apresenta em uma de suas planilhas o consolidado do BEN com a unidade mil toneladas equivalentes de petróleo (tep) de todas as fontes energéticas primárias e secundárias, incluindo produção, importação e consumo.

Esta contribuição é importante para a identificação dos USE, além de auxiliar a mensuração da LBE e a identificação de um indicador preliminar, podendo-se constituir como o IDE básico para todo e qualquer setor.

A análise quantitativa não é completa sem a utilização das técnicas de medição, pois somada a desagregação dos processos em cada setor é necessário estabelecer dinâmicas para identificar ganhos e perdas energéticas.

2.1.4 Política Energética

Na revisão documental a ABNT (2018) na NBR ISO 50001 aponta a fixação da política energética como uma das ações preliminares para direcionamento do SGE e de sua peculiaridade. Importante neste ponto, atentar-se para a política energética nacional, fixada na lei 9.478 do Brasil (1997) e suas alterações.

Finnerty et al. (2017, p. 19) ao apresentar o framework (*Decision Support Framework - DSF*) do SGE global (*Global Energy Management System - GEMS*) indica a necessidade de uma política energética corporativa para empresas que atuam além de fronteiras estatais, identificando um preocupação importantes, as políticas poderão ser diferentes de acordo com peculiaridades locais, já que dependendo do tipo de produto ou serviço utilizados em cada solução energética poderão existir políticas nacionais, estaduais e até, mesmo, municipais influenciando a seleção de soluções.

2.1.5 Equipe SGE

O estabelecimento de uma equipe de SGE deve ser cuidadosamente propostas, já o fator cultural e organizacional é fator preponderante para a efetividade do planejamento energético, conforme pontua Silva (2018, p145-149). Igualmente a ABNT registra a importância o envolvimento de gerentes ou responsáveis dos setores para que se propicie o adequado conhecimento dos processos e de suas necessidades energéticas, outrossim, esta métrica permite o envolvimento de integrantes dos setores e possibilita a real compreensão do aspecto energético, ambiental e social, interno e externo ao processo e a própria fábrica, alavancando aspectos de otimização de processos ao se promover uma real integração neste

aspecto. Este aspecto da equipe ganha importância em virtude do grau de maturidade de implantação de SGE na planta industrial ou conglomerado.

2.1.6 Mapear Processos e Ações

Necessidade fundamental é a identificação dos tipos de energia primária e secundária utilizadas nos processos e como eles estão constituídos, inclusive distribuídos na planta com o respectivo layout. Neste ponto a construção apresentada por Liu et al. (2015) contribui ao deslocar a análise de desempenho energético de calor ou carvão para a um indicador vinculado a energia primária, aplicando o conceito de energia.

Mapear processos é uma das etapas cruciais para se estabelecer correção entre as necessidades energéticas e os aspectos econômicos, sociais e ambientais, explicitando conexões e sinergias. A ABNT (2016a, p. 8) aponta os diagramas *fences* como uma ferramenta para este tipo de delimitação, podendo-se substituir por mapas ou mesmo representações da planta industrial a conexão com os demais aspectos. Dois pontos chamam a atenção com relação aos aspectos propostos: tudo o que está fora da planta é complexo de representar, o que redundará na necessidade de se alocar no espacialmente ou como uma entrada ou saída da processo; ao se avaliar o ciclo de vida do produto ou serviço, mesmo que se contrapondo ao conceito de ciclo de vida do ativo da planta, este terá uma projeção no tempo, o que aumenta a complexidade da representação.

Junto à etapa de se mapear ações estão vinculadas as oportunidades ou riscos com relação ao SGE, configurando-se em uma visão preliminar que os membros da equipe do SGE poderão realizar preliminarmente, antes da auditoria ou revisão energética. Esta visão geral poderá levantar expectativas parciais em relação a oportunidades e riscos vez que não possuem necessariamente a visão do todo, aliada a informações externas a planta industrial ou ao conglomerado, possibilitando integrar conhecimentos internos e externos da equipe do SGE ou, ainda, utilizando o conhecimento dos diversos funcionários (muitas vezes utilizados pelas empresas e os quais poderão ser realizado até com técnicas de gamificação ou métricas de remunerações variáveis⁵⁰).

⁵⁰ Importante registrar a necessidade de regras claras e momentos oportunos em cada ciclo de PDCA do SGE para que

Oportunidades e riscos, envolvendo só a equipe de SGE ou ampliando para os funcionários da planta ou conglomerado, deverão ser levantados com um método adequado, uma das ferramentas usuais é a análise SWOT, conforme já pontuado, entretanto a gestão de risco tem-se consolidado como uma temática importante nas indústria energo-intensiva, já que seus ativos devem ser valorados e avaliados com relação aos riscos, entretanto por ser uma avaliação prévia a auditoria ou medição não será apresentada técnica para valorar ou avaliar os riscos de ativos importantes vinculados a projetos ou soluções energéticas.

Importante neste momento agregar as contribuições do ACV à medida que os riscos e oportunidades incluem custos não só econômicos, quanto técnicos, sociais e ambientais, permitindo a identificação preliminar de sinergias dos processos com o capital humano internos e externo, além dos riscos e oportunidades da comunidade (seja empresarial, seja de moradores do entorno) e com relação a questões ambientais envolvendo a geração de resíduos de quaisquer naturezas.

2.1.7 Auditorias e Medições

O framework proposto por Finnerty et al. (2017, p. 19-24) apresenta ferramentas importantes para desenvolver e implementar um SGE global, denominado *Global Energy Management System* (GEMS). Baseado em um quadro de apoio a decisão sistemático (*Decision Support Framework* - DSF) apresenta como diferenciais em seu fundamento um fórum de comunicação e a constituição de uma base de conhecimento em nível local e global, inclusive indicando uma Política Energética Corporativa. Ainda, em seus pilares, apresenta dois aspectos importantes para a tese: Caracterização do Local e Estratégia Energética. Ainda indica a necessidade de uma avaliação quantitativa (relativo à energia) e caracterização qualitativa (relativo à maturidade de Gestão de Energia, como o EMMM).

Peck; Parker (2016) contribuem com o conceito de coevolução para o projeto do *European Spallation Source* (ESS), centro de pesquisa instalado em Lund, na Suécia, projetado com uma mescla de conceitos de sustentabilidade, normas e estratégias energéticas em um framework analítico de decisões.

se aproprie adequadamente dos conhecimentos coletivos, sua propriedade intelectual e estímulo de melhorias para todos os funcionários, sem que percam o foco em suas respectivas atividades.

O framework construído possui no um plano com um eixo vertical contemplando entradas de projeto, identificando a preponderância de aspectos relacionais à fáticos; e o horizontal tem propósito do projeto, identificando aspectos instrumentais à altruísticos do projeto. Chama a atenção o mapeamento temporal e a necessária participação de todos os envolvidos nos projetos para a construção desta coevolução.

A proposta da Bayer de um SGE voltado à eficiência energética com foco na redução de GEE, especificamente em CO₂, apresentado em Drumm et al. (2013), a STRUCTese®, tem como pilar a ISO 50001 e DIN EM 16001, e apresenta o monitoramento do consumo de energia (comumente encontrado no mercado em 2012) e como diferenciais: medição direta, rastreamento, *benchmarking* e definição de metas de eficiência energética em todo o ciclo energético.

A revisão energética não será o único tipo de revisão proposta, possibilitando um levantamento de usos significativos dos recursos, linhas de base e indicadores para mensurar cada um dos usos. Neste ponto o modelo poderá apropriar-se da “Revisão Climática” (*Bayer Climate Check*), baseada em uma ACV, apresentada por Drumm et al. (2013, p. 106-110), o qual faz agrega à revisão energética o aspecto ambiental, aproximando da métrica proposta pela ISO 50001 o aspecto ambiental. Desenvolvendo este conceito nas três dimensões, pode-se propor variáveis para mensurar a revisão e direcionar os futuros desenvolvimentos do planejamento:

- Uso Significativo de Energia (USE), Linha de Base Energética (LBE) e Indicadores de Desempenho Energético (LBE);
- Uso Significativo de Recursos Sociais (USRS), Linha de Base Recursos Sociais (LBRS) e Indicadores de Desempenho de Recursos Sociais (LBRS);
- Uso Significativo de Recursos Ambientais (USRA), Linha de Base Recursos Ambientais (LBRA) e Indicadores de Desempenho de Recursos Ambientais (LBRA).

Um elemento importante com relação as variáveis é identificar possíveis sinergias energéticas e de recursos sociais e ambientais relativo aos usos significativos, linhas de base e indicadores de desempenho. Neste ponto é interessante propor uma análise do Mapeamento dos Processos Internos e Externos, já que fornecedores e consumidores (seja indústria, seja consumidor final) poderá contribuir para uma melhoria de processos.

Drumm et al. (2013) tem como diferencial a alocação da revisão da eficiência energética, denominada *Energy Efficiency Check* (EE Check), vinculada a um sistema de gestão de eficiência, o *Energy Efficiency Management*, componente da revisão climática denominada *Bayer Climate Check*, baseada em uma ACV (p. 101), entretanto a metodologia vinculado à revisão climática não é apresentada estando só disponível em livro.

Especificamente com relação a revisão e otimização da eficiência energética apresentados por Drumm et al. (2013) também são categorizados, dentro da indústria química, elementos focais, em ordem de relevância, para melhorias (p. 102-103):

- Melhorias operacionais;
 - Otimização de parâmetros operativos;
 - Otimização do controle do processo;
- Recuperação e Melhoria de Energias Térmicas;
 - Check da integração de calor;
 - Check da recuperação de calor perdido (desperdiçado);
- Melhorias no design do processo;
 - Otimização;
 - Check de novas tecnologias;
- Matéria-Prima;
 - Otimização do consumo;
- Construções e Instalações;
 - Aquecimento;
 - Iluminação;
 - Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado;
- Energia e outros serviços;
 - Avaliação da eficiência de geração e distribuição.

Um elemento importante na revisão é a identificação nos USE, USRS e USRA de perdas existentes, sejam elas internas, externas ou de sinergia. Neste sentido o trabalho de Drumm et al. (2013, p. 106-110) apresenta cascatas de perdas, identificando-as em estáticas e dinâmicas, possibilitando a segregação daquelas que efetivamente poderão ser atacadas.

O potencial de conservação de energia apresentado por Lin; Xie (2015, p. 379-381) pode ser uma métrica para utilizar na revisão energética e também para

auxiliar no estabelecimento de planos de ação, conforme apresentado por Lin; Moubarak (2014, p. 185).

A ferramenta Impacts Estimator Tool (IET) apresentada por McKane et al. (2017, p. 281-283) igualmente poderá ser utilizada para a realização da revisão.

A medição de ganhos e perdas energéticas é fundamental na revisão, já que permitirá identificar melhor as oportunidades e sinergia. Neste ponto as técnicas de medições *botton-up* e *top-down* apresentadas por Stenqvist; Nilsson (2012, p. 231-238) com base no EMEEES estabelecem três IDE importantes: poupança energética gerada, economia energéticas indiretas ao potencial de sobreposição e economias entre políticas ou medidas de economia.

Drumm et al. (2013, p. 103-105) apresenta uma avaliação consistente de cargas, inclusive apresenta o conceito de cascata de perdas energéticas (*Energy loss cascade*). Esta fragmentação é útil ao identificar perdas estáticas e dinâmicas do processo, com a utilização de armazenamento interno e externo de energia

Um último refinamento para esta estrutura preliminar é apontada em Silva et al. (2018) apresentando projeto e modelagem de SGE em Indústria Energo-Intensiva com uma abordagem de engenharia organizacional (corporativa) com base em *Business Process Management* (BPM)⁵¹, juntamente com PDCA adotado pela norma ISO 50001, denotando a importância dos fatores internos à planta, incluindo sinergias e interoperabilidade, para a adequada utilização de um SGE.

Ressalte-se que a diversidade de interesses em um planta pode realmente comprometer a utilização de um SGE e do processo de melhoria contínua em vista das técnicas de reengenharia que fragmentam as plantas, compartimentando-as de forma a valorar o desempenho de setores, o que gera descompassos se não houve um comprometimento das equipes para o melhor resultado setorial e a revisão de indicadores de cada uma das técnicas utilizadas na unidade fabril ou indústria energo-intensiva.

2.1.8 Metas Energéticas, Sociais e Ambientais

Um elemento ainda presente na seara do planejamento é o estabelecimento das metas, as quais poderão ser ampliadas ao existir uma comunicação entre as

⁵¹ Propõe uma visão sistêmica do processo baseado em fluxogramas, evitando uma interpretação departamental com relação a gestão.

metas energéticas e metas vinculadas aos recursos sociais (interno e externos) e ambientais. Os Objetivos Energéticos vinculados aos demais eixos são ferramentas importantes, já que as restrições de qualquer modelo vinculadas a legislação, mas também às visões da Indústria Energo-Intensiva com relação a questões sociais e ambientais serão de extrema relevância.

2.1.9 Planos de ação: Projetos

Estabelecidas as metas e objetivos é importante elaborar planos de ação com os projetos, os quais deverão ser categorizadas de forma a poderem contribuir de formas mais eficientes com relação ao atingimento das metas (inclusive aspectos).

2.1.10 Planejamento

Outro elemento apresentado por Schulze et al. (2016, p. 3703-3704) é a apresentação da visão estratégia e operação, já que o planejamento está usualmente alocado à primeira, entretanto a visão da operação torna-se imprescindível para a adequada construção do planejamento, já que avalia-se a operação anterior. Ainda, importante salientar o aspecto do benchmarking, o qual permite identificar internamente e externamente planejamentos e implementações de sucesso, deixando claro o aspecto da melhoria contínua de um SGE, incluindo ou não os aspectos pretendidos nesta tese.

2.1.11 Categorização e Seleção

A metodologia apresentada por Schulze et al. (2016, p. 3693-3696), um *framework* inspirado em Tranfield et al. (2003, p. 214-209) de revisão sistemática, é o método indicado para que se realize o levantamento de soluções para cada uma das áreas, possibilitando a construção de uma base de dados de soluções à medida que os projetos são analisados, permitindo, com a metodologia a restrição temporal depois a construção de uma base inicial. A metodologia apresentada assemelha-se a utilizada em Lacerda et al. (2011, p. 333-343), citada por Ruthes; Silva (2017, p. 163-164) e Silva (2018, p. 45-57), mantendo as diretrizes preliminares do trabalho.

Uma questão importante é a utilização de uma técnica para este tipo de armazenamento, a qual poderá ser utilizada também como um elemento de decisão. Em virtude de existir na literatura tais instrumentos, opta-se por utilizar o Raciocínio Baseado em Casos como uma ferramenta para armazenar este tipo de informação, conforme Mancini; Aoki (2018). Apesar da técnica empregada ter sido utilizada em outra área do conhecimento mostra-se adequada para este tipo de utilização, métrica que trará produtividade e facilitará a construção de uma ferramenta perene, ou seja, empregando a tecnologia em prol facilidade de implementação do modelo teórico proposto, com base nas técnicas de Aamodt; Plaza (1994).

Paramonova et al. (2015, p. 477-478) inova ao incluir na caracterização dos projetos elementos que possibilitam a contabilização de recursos humanos e produtivos/equipamentos interno.

Drumm et al. (2013, p. 102) apresenta categorias que auxiliam na avaliação de viabilidade e rentabilidade, sendo apresentada até uma representação gráfica.

Finnerty et al. (2017, p. 19-24) utiliza uma método quantitativo e qualitativo para o processo de decisão, utilizando um quadro de apoio a decisão sistemático (*Decision Support Framework* - DSF) com avaliação quantitativa através de indicadores de desempenho e *benchmarking* e qualitativa com a utilização de um modelo de maturidade de Gestão de Energia. Ainda utiliza um método de tomada de decisão multicritério (*Multi-Criteria Decision-Making Method* - MCDM), com AHP, Lógica *Fuzzy* e técnica para ordenar a solução ideal por similaridade (TOPSIS).

Sa et al. (2018, p. 2-3) para categorizar utiliza a revisão da literatura, questionário estruturado e entrevista com o uso de escala Likert⁵² ampliada analisando aspectos ambientais, de Eficiência Energética e relativo a processos de tomada de decisão. A análise ainda apresenta um método multicritério vinculado a ACV da sustentabilidade (tradução livre de *Life cycle sustainability assessment*), fuzzy logarítmico de dois estágios para determinar os pesos dos critérios de avaliação da sustentabilidade e análise relacional, permitindo determinar a ordem de sustentabilidade de sistemas alternativos de energia.

⁵² Escala ampliada de 1 para 7. Para o primeiro eixo 1 = Discordo totalmente, 4 = Não concordo nem discordo e 7 = Concordo totalmente. Na segunda seção 1 = irrelevante, 4 = um pouco relevante e 7 = altamente relevante. Na terceira seção 1 = nem um pouco, 4 = moderadamente e 7 = grande extensão (p.3),

2.1.12 Payback de Projetos em um SGE

O payback de um projeto vinculado a um SGE juntamente com a análise de sensibilidade propiciada pela construção adequadas do USE e LBE deve ser um parâmetro importante para a seleção de projetos. Neste sentido Paramonova et al. (2015, p. 482) trabalha com a quantificação categorizada do *payback*, técnica útil para apontar vantagens para a seleção de novas tecnologias, ou seu ajuste, adoção de sistemas de controle, treinamentos e campanhas vinculadas ao comportamento, entre outros.

2.1.13 Implantação

2.1.13.1 Controles: Operação e Manutenção

A operação e manutenção podem ser determinantes em projetos que não envolvem aquisições, entretanto é importante estabelecer estratégias para programar cada um do projetos selecionados da em vista de sua implantação, utilizando de forma sustentável os recursos disponíveis (técnicos, econômicos, sociais e ambientais).

2.1.13.2 Comunicação

A comunicação de qualquer sistema de gestão com PDCA deve ser eficiente e direcionada para cada um dos públicos (internos ou externos) da indústria energointensiva.

2.1.13.3 Treinamento

Caso exista projetos relativos ao desenvolvimento de competências ou eventualmente haja a necessidade de capacitar membros da organização ou do SGE, importante adequar que o treinamento agregue valor ao processo vinculado à gestão.

2.1.13.4 Aquisições

As aquisições desseguir o planejamento com o detalhamento de sua implantação, informando atividades por documentos como cronogramas e gráficos de Gantt.

2.1.13.5 Checagem

Com a implementação são implementadas as estratégias de monitoramento e medição previstos no planejamento energético.

A análise, avaliação e auditoria do desempenho energético e do plano de ação do SGE permitem a análise crítica e avaliação dos dados do SGE, conforme ressalta Böttcher; Müller (2016, p. 1453) que utiliza a SEM, um estatístico que busca relações entre múltiplas variáveis, incluindo questões ambientais e econômicas, fazendo uma PLS em vista dos grandes desvios da normal das variáveis e da amostra pequena.

Lin; Xie (2015, p. 379-382) utiliza a técnica de cointegração proposta por Johansen (1988) e na sequencia realiza a validação do modelo pelo método OLS.

Moon; Min (2017, p. 26-29) utiliza o DEA para avaliar a Eficiência Energética de empresas, realizando-o em dois estágios, utilizando dados importantes como eficiência e redução de GEE, utiliza testes não paramétricos para testar hipóteses, e utilizados: ANOVA unidirecional, Kruskal-Wallis (Teste H), Wilcoxon-Mann-Whitney (Teste U) e Kolmogorov – Smirnov (Teste K-S).

2.1.13.6 Ações após as análises

Identificadas não conformidades elas devem ser tratadas, possivelmente com base nos princípios de gestão de riscos, estabelecendo-se um protocolo para diminuir os riscos operacionais.

A indicação de melhorias é outro ponto chave, já que permite a correção de rumos da Alta Direção, SGE e organização como um todo.

Finalizando com um Planejamento Energético para o Próximo Ciclo e o Mapeamento de Sinergias Internas e externas