

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO E SISTEMAS (PPGEPS)
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ANGELA MORANDINI PRADELLA

**CONTRIBUIÇÃO PARA FORMALIZAÇÃO DE UM MODELO DE
AVALIAÇÃO DE MATURIDADE E DIRETRIZES PARA GESTÃO
DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS SOB
REQUISITOS DA INDÚSTRIA 4.0**

CURITIBA

2020

ANGELA MORANDINI PRADELLA

**CONTRIBUIÇÃO PARA FORMALIZAÇÃO DE UM MODELO DE
AVALIAÇÃO DE MATURIDADE E DIRETRIZES PARA GESTÃO
DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS SOB
REQUISITOS DA INDÚSTRIA 4.0**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS), da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC- PR), como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures.

Coorientador: Prof. Dr. Sergio E. Gouvea da Costa.

CURITIBA
2020

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central
Edilene de Oliveira dos Santos CRB-9/1636

P896c Pradella, Angela Morandini
2020 Contribuição para formalização de um modelo de avaliação de maturidade e diretrizes para gestão de energia na indústria de alimentos sob requisitos da indústria 4.0 / Angela Morandini Pradella ; orientador, Eduardo de Freitas Rocha Loures ; coorientador, Sérgio E. Gouvea da Costa. -- 2020
313 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2020.
Bibliografia: f. 263-280

1. Engenharia da produção. 2. Alimentos - Indústria. 3. Energia – Consumo. 4. Inovações tecnológicas. 5. Software – Avaliação. I. Loures, Eduardo de Freitas Rocha. II. Costa, Sérgio Eduardo Gouvea da. III. Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. IV. Título

CDD. 20. ed. – 658.78



TERMO DE APROVAÇÃO

Angela Morandini Pradella

CONTRIBUIÇÃO PARA FORMALIZAÇÃO DE UM MODELO DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE E DIRETRIZES PARA GESTÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS SOB REQUISITOS DA INDÚSTRIA 4.0.

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Curso de Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Presidente da Banca
Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures
(Orientador)

Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos
(Membro Interno)

Prof. Dr. Ubiratã Tortato
(Membro Externo / PPAD/PUCP/PR)

Prof. Dr. Sandro Cesar Bortoluzzi
(Membro Externo /PPGEPS/UTFPR)

Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki
(Membro Externo /UFPR)

Curitiba, 03 de setembro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente que permitiu alcançar mais um objetivo de minha vida, com dedicação e sabedoria nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais que sempre me apoiaram, que nunca deixaram de acreditar em mim, quando nem eu mesma pensava que seria possível seguir. Sempre souberam que isso era um sonho e que eu não mediria esforços para chegar ao final. Sou muita grata pelos ensinamentos que aprendi com eles ao longo de minha vida, que entenderam que mesmo a distância estaríamos sempre perto.

Ao meu orientador Prof. Eduardo Loures que não mediu esforços para me acompanhar nessa caminhada, nos momentos mais difíceis e desafiadores esteve comigo sem deixar de acreditar que conseguiríamos. Com reuniões constantes, sempre presente em seus áudios, com explicações e observações que hoje construíram esta tese. Sempre incansável em todos os momentos, a quem realmente tenho muita gratidão e agradeço muito por estar em meu caminho e levarei para o resto de minha vida.

Ao João Guilherme, uma grata surpresa no projeto PIBIC, que me surpreendeu com seu conhecimento, que me auxiliou a construir diversas etapas dessa tese e que esteve ao meu lado em todos os momentos em que muitas vezes os desafios foram maiores do que imaginávamos. Sua presença contribuiu ainda mais para a construção desse trabalho, sou muito grata pela parceria neste período.

Aos professores Sergio Gouvea e Edson Pinheiro pelo conhecimento.

Aos demais professores do PPGEPS a quem tive oportunidade de ser aluna e aprender mais elementos que enriqueceram essa tese.

A secretária do programa, Denise, que sempre esteve pronta para auxiliar nas demandas ao longo do doutorado, com muito carinho e dedicação.

Aos meus colegas do PPGEPS Wilson Roiz, Giovani, Louisi, Fernanda, Rafael D., Rafael K., pelo apoio e auxílio neste período do doutorado.

As empresas na qual o modelo foi aplicado pelas pessoas Tatiana na empresa 1 e Emanuelle na empresa 2, a quem agradeço pelo empenho em acolher o projeto e estarem dispostas a colocarem as suas equipes de especialistas para participar dessa avaliação. Aos retornos positivos que aplicação do modelo trouxeram para as empresas.

Aos demais familiares e amigos de Chapecó. A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para realização dessa tese.

Agradeço a todos os desafios, obstáculos e aprendizados pessoais e profissionais que o doutorado me “impôs” nesse período, entendo que hoje muitos deles foram necessários para essa etapa de minha formação profissional.

A quem eu fiz mal,

peço perdão.

A quem eu ajudei,

queria ter feito mais.

A quem me ajudou,

agradeço de coração.

(Chico Xavier)

RESUMO

A gestão de energia é um novo cenário na rotina das empresas em termos de escassez de recursos, obrigações legais, governamentais e necessidades dos clientes. Algumas barreiras podem ser um desafio para a governança e dessa forma, a economia mundial é fortemente influenciada pelas indústrias de alimentos e sua gestão energética. Neste contexto, essa tese está focada na gestão de energia na indústria de alimentos e propõe um modelo de maturidade por meio de uma revisão sistemática da literatura apoiada pela Indústria 4.0 (I4.0). O modelo é denominado EM3FI (Energy Management Maturity Model for Food Industry), elaborado com base em uma estrutura de avaliação matricial. Essa estrutura organiza e relaciona os atributos qualificadores em dois domínios, barreiras e aspectos, identificados na literatura e referências normativas de gestão de energia (GE). Essa estrutura tem a característica de ser adaptada a partir de frameworks da Interoperabilidade Organizacional, denominada MIGE (Matriz de Influência da Gestão de Energia). A MIGE fornece uma base de conhecimento sobre os elementos influenciadores e uma abordagem de diagnóstico sobre o nível de maturidade da indústria de alimentos. Este contexto caracteriza o EM3FI como base para um quadro de avaliação de diagnóstico multicritério baseado em um método de identificação do nível de maturidade pelo AHP (Analytic Hierarchy Process). Além disso, este estudo aplica o PROMETHEE II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), outro método multicritério, analisando a fase de diagnóstico e explorando um plano de gestão voltado para as barreiras econômicas, estratégicas e tecnológicas da indústria de alimentos. A demanda industrial por projetos digitais explora um cenário decisório na perspectiva I4.0 para a dimensão tecnológica. Assim, a proposta diagnóstica decisional surge com diretrizes para melhoria das fragilidades identificadas. Após a aplicação da estrutura, os resultados identificam o status de duas empresas no estudo de caso, indicando diferentes níveis de maturidade. Para a primeira empresa, o nível de maturidade é 3, aponta para uma boa gestão de energia com algumas melhorias potenciais. Porém, na segunda empresa analisada, os resultados categorizados no nível de maturidade 1 indicam a necessidade do desenvolvimento de um programa de gestão de energia. Assim, a avaliação decisória apoia a definição de um plano de gestão priorizando as tecnologias I4.0 adequadas às demandas identificadas, levando a um alto nível de maturidade presente na abordagem combinada AHP - PROMETHEE II.

Palavras-chave: Gestão de Energia; Modelo de Maturidade; Indústria de Alimentos; Avaliação Diagnóstica; Avaliação Decisional.

ABSTRACT

The energy management is a new scenario in companies' routine in terms of scarcity of resources, legal and governmental obligations, and clients' requirements. Some barriers can be a challenge to governance, and in this way, the worldwide economy is strongly influenced by the food industries and their energy management. In this context, this dissertation research is focused on energy management in the food industry and proposes a maturity model through a systematic literature review supporting by Industry 4.0 (I4.0). The model is named EM3FI (Energy Management Maturity Model for Food Industry), and it is designed based on a matrix evaluation structure. This structure organizes and relates the qualifying attributes in two domains, barriers, and aspects, identified in the literature and normative references of energy management (GE). This structure has the characteristic of being adapted from Organizational Interoperability frameworks, called MIGE (Energy Management Influence Matrix). The MIGE provides a knowledge basis about the influencing elements and a diagnosis approach about the food industry's maturity level. This context characterizes the EM3FI as the basis to a multi-criteria diagnosis evaluation framework based on a method to identify the maturity level by AHP (Analytic Hierarchy Process). Moreover, this study applies the PROMETHEE II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), another multi-criteria method, analyzing the diagnosis phase and exploring a managing-plan facing the economy, strategic, and technological barriers to the food industry. The industrial demand for digital projects explores a decisional scenario in the I4.0 perspective to the technological dimension. Thus, the diagnosis-decisional proposal comes up with guidelines for improvement in the weaknesses identified. After the framework application, the findings identify two companies' status in the case study indicating different maturity levels. For the first one, the maturity level 3 points good energy management with some potential improvements. However, in the second analyzed company, the results categorized in maturity level 1 suggest a necessary energy management program. The decisional evaluation supports the definition of a management plan prioritizing I4.0 technologies suitable to identified demands leading to a high-level maturity present in the combined AHP - PROMETHEE II approach.

Keywords: Energy Management; Maturity Model; Food Industry; Diagnostic Evaluation; Decisional Evaluation.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Método de investigação</i>	27
<i>Figura 2 – Estratégia de pesquisa</i>	29
<i>Figura 3 – Atividade A0 do IDEF0</i>	30
<i>Figura 4 – Atividade A1 do IDEF0</i>	31
<i>Figura 5 – Atividade A2 do IDEF0</i>	32
<i>Figura 6 – Atividade A3 do IDEF0</i>	33
<i>Figura 7 – Atividade A4 do IDEF0</i>	34
<i>Figura 8 – Atividade A5 do IDEF0</i>	35
<i>Figura 9 – Atividade A6 do IDEF0</i>	36
<i>Figura 10 – Atividade A7 do IDEF0</i>	37
<i>Figura 11 – Nomenclatura das matrizes para pesquisa</i>	38
<i>Figura 12 – Evolução das normas da gestão de energia</i>	46
<i>Figura 13 – Tipos de artigos que abordam modelos de maturidade</i>	55
<i>Figura 14 – Design e princípios sobre os modelos de maturidade, baseados em Poppelbuß e Roglinger, 2011</i>	56
<i>Figura 15 – Níveis de maturidade do modelos IDS</i>	57
<i>Figura 16 – Modelo de maturidade proposto para tomada de decisão baseada no conhecimento, em cinco níveis e estágios</i>	58
<i>Figura 17 – Fases do desenvolvimento de um modelo de maturidade, com base em De Bruin, (2005)</i>	58
<i>Figura 18 – Fluxograma para o desenvolvimento de um modelo de maturidade, com base em Becker, et al., (2009)</i>	61
<i>Figura 19 – Níveis de maturidade, com base em Finnerty, et al., (2017)</i>	63
<i>Figura 20 – Definição dos níveis de maturidade de Finnerty, et al., (2017)</i>	63
<i>Figura 21 – Modelo de maturidade proposto por Antunes, et al., (2014)</i>	64
<i>Figura 22 – Níveis de maturidade e dimensões de Introna, et al., (2014)</i>	64
<i>Figura 23 – Modelo de processo baseado nas fases do ciclo PDCA, com apoio da ISO 50001, de Jovanovic, et al., (2016)</i>	65
<i>Figura 24 – Modelo de maturidade em cinco níveis e os estágios para tomada de decisão de Nagai, et al., (2013)</i>	66
<i>Figura 25 – Processo para tomada de decisão</i>	70
<i>Figura 26 – Processo da análise multicritério</i>	71
<i>Figura 27 – Escala adotada no AHP</i>	73
<i>Figura 28 – Estrutura do AHP</i>	75
<i>Figura 29 – Modelo simplificado da matriz QFD</i>	82
<i>Figura 30 – Fluxograma de investigação inicial do método ProKnow-C</i>	85
<i>Figura 31 – Resumo do processo de filtragem dos artigos</i>	88
<i>Figura 32 – Fluxograma da formação dos bancos de dados A, B e C pelo método ProKnow-C</i>	90
<i>Figura 33 – Publicações por periódicos do portfólio bibliográfico</i>	93
<i>Figura 34 – Evolução das publicações dos periódicos do portfólio bibliográfico por período</i>	93
<i>Figura 35 – Relação dos autores do portfólio bibliográfico</i>	94
<i>Figura 36 – Palavras-chave dos artigos do portfólio bibliográfico</i>	94

<i>Figura 37 – Relevância dos periódicos nas referências dos artigos do portfólio</i>	95
<i>Figura 38 – Autores com maior presença nas referências do portfólio bibliográfico</i>	95
<i>Figura 39 – Artigos e autores do portfólio de maior destaque</i>	97
<i>Figura 40 – Rede de co-citação dos autores do portfólio bibliográfico</i>	99
<i>Figura 41 – Rede social das palavras-chave do portfólio bibliográfico</i>	99
<i>Figura 42 – Formação do banco de dados do Proknow-C mais os artigos correlatos</i>	113
<i>Figura 43 – Correlação entre os domínios GE, IA e MM</i>	114
<i>Figura 44 – Fluxograma do desenvolvimento do capítulo cinco</i>	117
<i>Figura 45 – Enterprise Interoperability Framework</i>	119
<i>Figura 46 – Estrutura formada para o modelo EM3FI</i>	120
<i>Figura 47 – Desenvolvimento da estrutura de avaliação do EM3FI</i>	121
<i>Figura 48 – Codificação das barreiras para as buscas no software Atlas.TI</i>	122
<i>Figura 49 – Base de dados gerados na análise de conteúdo com autor e recorte do artigo sobre barreira</i>	122
<i>Figura 50 – Códigos gerados para identificação dos codes (lado esquerdo), destaque das palavras encontradas no artigo (lado direito)</i>	130
<i>Figura 51 – Recorte do agrupamento das palavras no levantamento dos atributos</i>	130
<i>Figura 52 – Categorias geradas na análise de frequência no banco de dados</i>	132
<i>Figura 53 – Rede de correlação dos atributos para gestão de energia na indústria de alimentos</i>	134
<i>Figura 54 – Rede de palavras formada pelas barreiras e aspectos da gestão de energia e indústria de alimentos</i>	136
<i>Figura 55 – Fluxograma de desenvolvimento da matriz MIGE</i>	140
<i>Figura 56 – Estrutura da matriz MIGE</i>	141
<i>Figura 57 – Recorte da matriz MIGE</i>	142
<i>Figura 58 – Recorte da matriz MIGE com o posicionamento dos atributos</i>	143
<i>Figura 59 – Resultado do enquadramento dos atributos</i>	144
<i>Figura 60 – Matriz final do enquadramentos dos atributos do modelo</i>	147
<i>Figura 61 – Integração das estruturas que compõem o modelo EM3FI</i>	148
<i>Figura 62 – Fluxograma do desenvolvimento dos níveis de maturidade</i>	149
<i>Figura 63 – Design do modelo de maturidade EM3FI</i>	153
<i>Figura 64 – Exemplo de ficha de avaliação do atributo informação para os quatro níveis de maturidade</i>	156
<i>Figura 65 – Exemplo de unidades a serem avaliadas na pesquisa</i>	160
<i>Figura 66 – Macro processos de aplicação do modelo EM3FI</i>	161
<i>Figura 67 – Aplicação do EM3FI – fase do planejamento</i>	162
<i>Figura 68 – Aplicação do EM3FI – fase de execução</i>	163
<i>Figura 69 – Aplicação do EM3FI – fase da análise</i>	165
<i>Figura 70 – Camadas de avaliação inseridas no método AHP</i>	166
<i>Figura 71 – Estrutura elaborada para aplicação no software Super Decisions para o método AHP do modelo EM3FI</i>	169
<i>Figura 72 – Estrutura da análise aos pares do AHP</i>	170
<i>Figura 73 – Exemplo para comparação utilizada na aplicação do modelo</i>	171
<i>Figura 74 – Avaliação do modelo EM3FI, com os quatro aspectos a serem avaliados (a). Aspectos da avaliação em relação ao objetivo do EM3FI (b). Sub-net entre o quadrante EE e os níveis de maturidade a serem avaliados pelos respondentes (c)</i>	172
<i>Figura 75 – Tela inicial do site para efetuar o login e realizar a avaliação</i>	174
<i>Figura 76 – Tela com o menu inicial para acesso dos especialistas para responder a avaliação</i>	174

<i>Figura 77 – Recorte da tela da introdução do site do modelo EM3FI</i>	175
<i>Figura 78 – Representação das três etapas de composição do EM3FI</i>	175
<i>Figura 79 – Matriz de avaliação do EM3FI</i>	176
<i>Figura 80 – Modelo de maturidade</i>	176
<i>Figura 81 – Exemplo das fichas de avaliação dos atributos</i>	177
<i>Figura 82 – Explicação do funcionamento do método AHP.</i>	177
<i>Figura 83 – Divisão das camadas de avaliação do EM3FI</i>	178
<i>Figura 84 – Tela da divisão dos questionários aos especialistas, exemplo da camada tática – no modelo EM3FI – barreira econômica</i>	179
<i>Figura 85 – Exemplo de questionário aplicado aos especialistas</i>	180
<i>Figura 86 – Área de contato do site – especialista poderá deixar o feedback da aplicação do modelo</i>	181
<i>Figura 87 – Denominação das barreiras do modelo inseridas nas avaliações do AHP e PROMETHEE II</i>	183
<i>Figura 88 – Matriz de análise das alternativas e atributos para o PROMETHEE II</i>	189
<i>Figura 89 – Tela do software Visual Promethee com um fragmento da matriz do modelo EM3FI aplicado na fase decisional</i>	193
<i>Figura 90 – Etapas para aplicação no PROMETHEE II</i>	195
<i>Figura 91 – Fluxograma do desenvolvimento do capítulo 7</i>	198
<i>Figura 92 – Estratificação para avaliação dos resultados do modelo EM3FI</i>	201
<i>Figura 93 – Resultados da camada gerencial na aplicação do modelo</i>	205
<i>Figura 94 – Resultados da camada tática na aplicação do modelo</i>	207
<i>Figura 95 – Resultados da camada estratégica na aplicação do modelo</i>	209
<i>Figura 96 – Resultados da camada operacional na aplicação do modelo</i>	211
<i>Figura 97 – Resultado geral do nível de maturidade da empresa 1 no software Super Decisions do AHP</i>	212
<i>Figura 98 – Resultado para cenário econômico sobre a melhor alternativa</i>	213
<i>Figura 99 – PROMETHEE ranking, cenário econômico</i>	214
<i>Figura 100 – Valor do Phi para cenário econômico , melhor alternativa SGE</i>	215
<i>Figura 101 – Resultado para o cenário organizacional sobre a melhor alternativa pelo Phi</i>	215
<i>Figura 102 – PROMETHEE ranking, cenário organizacional</i>	216
<i>Figura 103 – Valor do Phi para todos os atributos do cenário organizacional, em relação a melhor alternativa apontada SGE</i>	217
<i>Figura 104 – Resultado para o cenário tecnológico sobre a melhor alternativa</i>	218
<i>Figura 105 – PROMETHEE ranking, cenário tecnológico</i>	219
<i>Figura 106 – Valor do Phi para todos os atributos do cenário tecnológico, em relação a melhor alternativa apontada machine learning</i>	220
<i>Figura 107 – Estratificação para avaliação dos resultados do modelo EM3FI</i>	226
<i>Figura 108 – Resultados da camada gerencial na aplicação do modelo</i>	230
<i>Figura 109 – Resultados da camada tática na aplicação do modelo</i>	233
<i>Figura 110 – Resultados da camada estratégica na aplicação do modelo</i>	235
<i>Figura 111 – Resultados da camada operacional na aplicação do modelo</i>	237
<i>Figura 112 – Resultado geral do nível de maturidade da empresa 2 no software Super Decisions - AHP</i>	238
<i>Figura 113 – Resultado para o cenário econômico sobre a melhor alternativa</i>	239
<i>Figura 114 – PROMETHEE ranking, cenário econômico</i>	240
<i>Figura 115 – Valor do Phi para todos os atributos do cenário econômico, em relação a melhor alternativa o SGE</i>	241

<i>Figura 116 – Resultado para o cenário organizacional sobre a melhor alternativa pelo Phi</i>	<u>242</u>
<i>Figura 117 – PROMETHEE ranking, cenário organizacional</i>	<u>243</u>
<i>Figura 118 – Valor do Phi para todos os atributos do cenário organizacional, melhor alternativa apontada Gestor de Energia</i>	<u>244</u>
<i>Figura 119 – Resultado para o cenário tecnológico sobre a melhor alternativa pelo Phi</i>	<u>245</u>
<i>Figura 120 – PROMETHEE ranking, cenário tecnológico</i>	<u>246</u>
<i>Figura 121 – Valor do Phi para todos os atributos do cenário tecnológico, em relação a melhor alternativa, Machine Learning</i>	<u>247</u>

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1 – Classificação das categorias na indústria de alimentos</i>	50
<i>Quadro 2 – Requisitos para elaboração de um modelo de maturidade</i>	59
<i>Quadro 3 – Níveis de maturidade para gestão de energia</i>	67
<i>Quadro 4 – Palavras-chave da pesquisa</i>	86
<i>Quadro 5 – Bases de dados selecionadas e strings de busca</i>	87
<i>Quadro 6 – Resultados das buscas com as palavras chave</i>	87
<i>Quadro 7 – Artigos selecionados para o portfólio bibliográfico</i>	90
<i>Quadro 8 – Definição dos atributos</i>	137
<i>Quadro 9 – Aspectos e requisitos da ISO 50001</i>	149
<i>Quadro 10 – Camadas a serem avaliadas no EM3FI</i>	161
<i>Quadro 11 - Critérios de desempenho</i>	183
<i>Quadro 12 - Descrição das tecnologias selecionadas, adotadas na avaliação decisional do modelo</i>	186
<i>Quadro 13 – Artigos publicados da tese</i>	260
<i>Quadro 14 – Plano de publicações</i>	261

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Funções de preferência do PROMETHEE II.</i>	78
<i>Tabela 2 – Frequência das macro e micro barreiras para matriz de avaliação dos atributos</i>	124
<i>Tabela 3 – Ocorrência das macro barreiras encontradas na análise dos artigos</i>	126
<i>Tabela 4 – Frequência de palavras para os aspectos na formação da matriz de avaliação</i>	127
<i>Tabela 5 – Tabela com as notas atribuídas aos atributos</i>	146
<i>Tabela 6 – Avaliação do modelo de maturidade através dos DP's e do fluxograma de Becker, et al., (2009)</i>	155
<i>Tabela 7 - Pré-avaliação das tecnologias através dos critérios de desempenho</i>	185
<i>Tabela 8 - Resultado da avaliação para o gráfico de Pareto para as camadas Tática, Estratégica e Operacional</i>	190
<i>Tabela 9 - Resultados globais do método AHP, na aplicação do EM3FI na Empresa 1</i>	200
<i>Tabela 10 - Comparação entre os três cenários avaliados na Empresa 1</i>	221
<i>Tabela 11 - Resultados globais do método AHP, na aplicação do EM3FI na Empresa 2</i>	225
<i>Tabela 12 - Comparação entre os três cenários avaliados na Empresa 2</i>	248

LISTA DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1 – Gráfico de Pareto</i>	88
<i>Gráfico 2 – Frequência das macro barreiras na indústria de alimentos</i>	125
<i>Gráfico 3 – Frequência das macro barreiras na gestão de energia</i>	125
<i>Gráfico 4 - Resultados para o cenário Econômico - camada tática</i>	191
<i>Gráfico 5 - Resultados da cenário Organizacional - camada estratégica</i>	192
<i>Gráfico 6 - Resultados do cenário Tecnológico - camada operacional</i>	192
<i>Gráfico 7 - Resultados nas camadas de avaliação</i>	202
<i>Gráfico 8 - Resultados nos quadrantes de avaliação</i>	203
<i>Gráfico 9 - Resultados por atributos avaliados</i>	204
<i>Gráfico 10 - Comparação entre os três cenários e o ranqueamento das tecnologias para a empresa 1</i>	222
<i>Gráfico 11 - Resultados nas camadas de avaliação</i>	227
<i>Gráfico 12 - Resultados nos quadrantes de avaliação</i>	228
<i>Gráfico 13 – Resultados por atributos avaliados</i>	229
<i>Gráfico 14- Comparação entre os três cenários e o ranqueamento das tecnologias para empresa 2</i>	249

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

- EMS – *Energy Management System*
- MCDM – *Multicriteria Decision Making*^[1]_[SEP]
- AHP – *Analytical Hierarchic Process*
- QFD – *Quality Function Deployment*
- MCDA – *Multicriteria Decision Analysis Methods*
- MMAD – *Método Multicritério de Apoio à Decisão*
- EM3FI – *Energy Management Maturity Model for Food Industry*
- RSL – *Revisão Sistemática da Literatura*
- EE – *Eficiência Energética*
- EI - *Energy Intensity*
- SEC - *Specific Energy Consumption*
- CMMI - *Capability Maturity Model Integration*
- KPI – *Key Performance Indicator*
- AHP - *Analytic Hierarchy Process*
- PROMETHEE - *Preference Ranking Organization Method for Evaluation*
- MIGE – *Matriz de Influência da Gestão de Energia*
- EM – *Energy Management*
- FI – *Food Industry*
- QFD – *Quality Function Deployment*
- SGE – *Sistema de Gestão de Energia*
- FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis*
- e-KPI's – *Energy – Key Performance Indicators*
- IoT – *Internet Of Things*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1 CONTEXTO	22
1.2 JUSTIFICATIVA	23
1.3 RELEVÂNCIA E ORIGINALIDADE.....	24
1.4 PERGUNTA DE PESQUISA.....	26
1.5 OBJETIVOS.....	26
1.5.1 <i>Objetivo Geral</i>	26
1.5.2 <i>Objetivos Específicos</i>	26
2. ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	27
2.1 FASE DE EXPLORAÇÃO	30
2.2 FASE DE DESENVOLVIMENTO	32
2.3 FASE DA PROPOSIÇÃO DO MODELO.....	33
2.4 FASE DIAGNÓSTICA	34
2.5 FASE DECISIONAL	36
2.6 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES	38
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	40
3.1 O RECURSO ENERGIA.....	40
3.1.1 <i>Gestão de Energia</i>	41
3.1.2 <i>Eficiência Energética</i>	43
3.1.3 <i>Indicadores de Eficiência Energética</i>	44
3.1.4 <i>Normas de Gestão de Energia</i>	46
3.1.5 <i>Síntese e Considerações</i>	48
3.2 INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	48
3.2.1 <i>Desenvolvimento Histórico</i>	49
3.2.2 <i>Tipos de Indústrias de Alimentos</i>	49
3.2.3 <i>Gestão de Energia na Indústria de Alimentos</i>	51
3.2.4 <i>Síntese e Considerações</i>	53
3.3 MODELOS DE MATURIDADE	54
3.3.1 <i>Modelos de Maturidade de Múltiplas Áreas</i>	54
3.3.2 <i>Modelos de Maturidade em Gestão de Energia</i>	61
3.3.3 <i>Níveis de Maturidade na Gestão de Energia</i>	66
3.3.4 <i>Síntese e Considerações</i>	68
3.4 MÉTODOS MULTICRITÉRIO.....	69
3.4.1 <i>Adoção dos Métodos Multicritério</i>	69
3.4.2 <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	72
3.4.3 <i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE II)</i>	77
3.4.4 <i>Quality Function Deployment (QFD)</i>	81
3.5 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES	83
4. ANÁLISE DA LITERATURA	84
4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	84
4.2 MÉTODO PROKNOW-C.....	84

4.2.1	<i>Investigação Inicial</i>	85
4.2.2	<i>Seleção e Leitura de Três Artigos Relevantes ao Tema</i>	85
4.2.3	<i>Definição das Palavras-Chave e Critérios de Busca</i>	86
4.2.4	<i>Definição das Bases de Dados</i>	86
4.2.5	<i>Formação do Banco de Artigos Bruto</i>	87
4.2.6	<i>Teste de Aderência</i>	87
4.2.7	<i>Filtragem dos Artigos</i>	87
4.2.8	<i>Reconhecimento Científico dos Artigos</i>	88
4.2.9	<i>Portfólio Bibliográfico dos Artigos</i>	90
4.3	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO	92
4.3.1	<i>Análise das Publicações do Portfólio Final de 32 Artigos</i>	92
4.3.2	<i>Análise da Rede Social</i>	97
4.3.3	<i>Análise da Rede Social dos Autores</i>	98
4.3.4	<i>Análise da Rede Social das Palavras Chave</i>	99
4.4	EXPLORAÇÃO DO CONTEÚDO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO	100
4.4.1	<i>Análise dos artigos do Portfólio Bibliográfico</i>	100
4.4.2	<i>Critério de Inclusão</i>	111
4.4.3	<i>Composição final dos artigos correlatos</i>	112
4.5	CORRELAÇÃO ENTRE OS DOMÍNIOS PESQUISADOS	113
4.6	SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES	115
5.	PROPOSIÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE	117
5.1	DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO	118
5.1.1	<i>Concepção da Estrutura inspirada nos Frameworks de Interoperabilidade</i>	118
5.1.2	<i>Organização dos Elementos Estruturais do EM3FI</i>	120
5.1.3	<i>Levantamento de Barreiras</i>	121
5.1.4	<i>Levantamento dos Aspectos</i>	126
5.1.5	<i>Levantamento dos Atributos</i>	129
5.1.6	<i>Seleção dos Atributos</i>	137
5.2	MATRIZ DE INFLUÊNCIA DA GESTÃO DE ENERGIA (MIGE)	139
5.2.1	<i>Construção da MIGE</i>	139
5.2.2	<i>Resultados das Análises da MIGE</i>	141
5.3	ESTRUTURAS QUE COMPÕEM O MODELO E DESIGN DOS NÍVEIS DE MATURIDADE	148
5.3.1	<i>Etapas de Design dos Níveis de Maturidade</i>	149
5.3.2	<i>Caracterização dos Níveis de Maturidade</i>	149
5.3.3	<i>Avaliação dos Requisitos do Modelo de Maturidade</i>	153
5.3.4	<i>Fichas de Avaliação</i>	156
5.4	SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES	157
6.	ABORDAGEM DE APLICAÇÃO DO MODELO	159
6.1	PROCEDIMENTO DE APLICAÇÃO DO MODELO EM3FI NA INDÚSTRIA	159
6.2	DESIGN DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA - AHP	166
6.2.1	<i>Instruções Gerais</i>	170
6.2.2	<i>Avaliação pelo Subnets</i>	171
6.3	INSTRUMENTO DE APLICAÇÃO DO MODELO (SITE) - AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA	173
6.4	DESIGN DA AVALIAÇÃO DECISIONAL – PROMETHEE II	182
6.4.1	<i>Cenários PROMETHEE II</i>	182

6.4.2	<i>Cr�terios de sele�o das tecnologias da etapa Decisional para o PROMETHEE II</i>	183
6.4.3	<i>Formaliza�o da Estrutura de Avalia�o no PROMETHEE II</i>	193
6.4.4	<i>Implementa�o dos dados de aplica�o da Matriz Decisional</i>	195
6.5	S�NTESE E CONSIDERA�OES	196
7.	CASOS DE APLICA�O	197
7.1	CASO DE APLICA�O – EMPRESA 1	199
7.1.1	<i>Caracteriza�o da Empresa de Alimentos 1</i>	199
7.1.2	<i>Avalia�o Diagn�stica (AHP) - Caso de Aplica�o 1</i>	199
7.1.3	<i>Avalia�o Decisional (PROMETHEE II) Caso de Aplica�o 1</i>	212
7.1.4	<i>Conclus�o do Caso 1</i>	223
7.2	CASO DE APLICA�O – EMPRESA 2.....	224
7.2.1	<i>Caracteriza�o da Empresa de Alimentos 2</i>	224
7.2.2	<i>Avalia�o Diagn�stica (AHP) - Caso de Aplica�o 2</i>	224
7.2.3	<i>Avalia�o Decisional (PROMETHEE II) - Caso de Aplica�o 2</i>	238
7.2.4	<i>Conclus�o do Caso 2</i>	249
7.3	S�NTESE E CONSIDERA�OES	251
8.	CONCLUSOES	252
8.1	VERIFICA�O DOS OBJETIVOS DA PESQUISA.....	253
8.2	LIMITA�OES DO TRABALHO.....	256
8.3	TRABALHOS FUTUROS	258
8.4	COMENT�RIOS FINAIS	259
9.	ARTIGOS PUBLICADOS E PROPOSI�O DE ARTIGOS PARA PUBLICA�O	260
9.1	PROPOSI�O DE ARTIGOS PARA PUBLICA�O	261
	REFERENCIAS	262
	AP�NDICE I – ARTIGOS CORRELATOS SOBRE MODELOS DE MATURIDADE EM GEST�O DE ENERGIA; MODELOS DE MATURIDADE EM M�LTIPLAS �REAS; E ARTIGOS SOBRE GEST�O DE ENERGIA NA IND�STRIA DE MANUFATURA EM GERAL	280
	AP�NDICE II – FREQU�NCIA DAS PALAVRAS ENCONTRADAS NA FORMA�O DOS ASPECTOS NA MATRIZ DE AVALIA�O MIGE	284
	AP�NDICE III – FREQU�NCIA DAS PALAVRAS ANALISADAS QUE DEFINIRAM OS ATRIBUTOS DE AVALIA�O	286
	AP�NDICE IV – FICHAS DE AVALIA�O DOS ATRIBUTOS DO MODELO EM3FI	291

PARTE I:
INTRODUÇÃO E PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA

1. INTRODUÇÃO

A energia é um elemento de entrada em praticamente todos os processos de produção. Com o aumento do preço, a escassez dos recursos energéticos, a segurança e o desenvolvimento sustentável tornaram-se uma preocupação para os governos em medir e melhorar a eficiência energética. Assim, vários países formularam estratégias políticas, econômicas e técnicas em todos os setores da economia, com o objetivo de reduzir a demanda de energia. A energia relaciona-se à capacidade de um sistema de produzir atividade externa ou realizar trabalho e é considerada nas suas diversas formas, tais como: eletricidade, combustíveis, vapor, calor, ar comprimido e outras formas análogas que podem ser compradas, armazenadas, processadas, utilizadas em equipamentos ou em um processo, ou recuperadas (PATTERSON, 1996). Portanto, a gestão da energia é uma ferramenta robusta para melhorar a eficiência energética nas indústrias. Sua principal atividade é a redução dos custos para o suprimento de energia em geral, sem comprometer os processos de manufatura (SA, 2015).

Diante das constatações, existe uma preocupação acentuada em fazer a gestão de energia em indústrias como de cimento, de ferro e aço, petroquímica, de papel e celulose, química, de alumínio e vidro, denominadas *indústrias de uso intensivo de energia*. Também a preocupação com o recurso que tem aumentado em indústrias como as de alimentos, de calçados, produção de linha branca, automobilística, etc.

Na década de 90, a literatura relata a expressão “*energy efficiency gap*” para discorrer sobre projetos e investimentos de eficiência energética que, mesmo econômica e tecnicamente viáveis, não são implementados nas indústrias (JAFFE e STAVINS, (1994); DECANIO, (1998); GROOT, (2001). Corroborando ainda com esta afirmação Patterson (1996), pela necessidade de estabelecer indicadores operacionais para medir a eficiência energética, uma vez que as metodologias de mensuração ainda não são unificadas. Ainda na mesma afirmativa, apesar das promessas de retornos promissores de redução dos custos e aumento da sustentabilidade, muitas oportunidades de investimento em “*energy efficiency measures*” (EEM), ou medidas de eficiência energética, não são aproveitadas (ERBACH, 2015). Essa diferença chama-se “*energy efficiency gap*”. Embora tenha ocorrido um aumento contínuo de implementações de medidas de eficiência energéticas no setor industrial nas últimas

décadas, pesquisas indicam que ainda há bastante progresso a ser feito (Gielen, 2007; IEA, 2012).

O interesse pela melhoria da eficiência energética (EE) na indústria de alimentos ocorre na década de 90, pela elevação do custo do recurso e a escassez que ocorre em virtude do aumento da demanda. A indústria de alimentos é um setor abrangente, que produz grande gama de produtos que podem ser categorizados, segundo Miah, et al., (2014) em: laticínios, cereais, confeitos, peixes, ovos, sopas, bebidas, suplementos alimentares, frutas e vegetais. Para cada tipo de produto, existem várias tecnologias especializadas no processamento de alimentos. Em uma única fábrica pode haver várias linhas de produção para uma categoria de produto ou, em alguns casos, várias categorias de produtos.

Diante deste cenário, percebe-se que a gestão energética nas indústrias intensivas e não intensivas é uma questão fundamental. Para auxiliar nesse avanço dispomos de normas como a ISO 50001;2011 da gestão de energia, que sustentam um planejamento com base no ciclo PDCA (Plan, Do Check, Act). Para isso, o espaço de avaliação da gestão de energia pode ser melhor explorado quando amparado em métodos que permitam uma visibilidade diagnóstica organizacional mais ampla, que melhora a capacidade avaliativa segmentada, com base em etapas, das propostas que se apoiam no ciclo PDCA. Para esse espaço de avaliação as alternativas preconizadas, juntamente com o diagnóstico feito, são amparadas nas ferramentas da indústria 4.0 (I4.0). As organizações industriais encontram nos conceitos e habilitadores tecnológicos da I4.0 uma forma para estarem aprimorando os programas e modelos de gestão, potencializando processos e sistemas organizacionais amparado em um plano de melhoria. Esses requisitos da indústria 4.0, no amparo às melhorias, permitem avanço do nível de maturidade em seus domínios de atuação, na presente pesquisa, nos processos e gestão de energia.

Mesmo com o suporte de normas e documentos de instituições, numerosas barreiras para a implementação de um sistema de gestão da energia e a consequente otimização da eficiência energética são relatadas na literatura. Trianni e Cagno (2012) listam a escassez de informação a respeito de oportunidades e de como priorizar projetos de EE como duas das principais. Surge então a necessidade de se identificar as oportunidades de investimento em gestão de energia e de como priorizá-las dentro de uma organização. Essas necessidades abrem espaço para a aplicação de duas abordagens de suporte avaliativo condizente com a complexidade existente - os

modelos de maturidade e os modelos de decisão multicritério.

Considerados como importantes métodos de melhoria de processo do atual século, os modelos de maturidade visam conceituar e medir a maturidade de uma organização ou processo em relação a algum objetivo específico (SCHUMACHER, *et al.*, 2016). Assim, fornecem um direcionamento de onde focar para permitir a evolução ao próximo nível de maturidade (ANTUNES, *et al.*, 2014). Os modelos de maturidade são uma excelente ferramenta de planejamento, execução, controle e ação. Esses modelos são adotados para avaliar e medir diferentes aspectos de processos ou organizações, pois podem proporcionar um caminho para uma empresa mais organizada e aplicação nos negócios de forma mais sistemática. Também fornecem uma maneira de controle de seus processos e *benchmarking*, acompanhamento e avaliação do progresso alinhado com os objetivos e, por fim, compreensão das forças, fraquezas e oportunidades (PROENÇA & BORBINHA, 2016). A utilização dos modelos de maturidade na presente pesquisa permite orientar planos de ação de melhoria da gestão de energia, através de um suporte mais adequado à uma identificação diagnóstica de elementos de impacto ao desempenho energético.

Em relação aos métodos multicritério de apoio à decisão (MMAD), do inglês *multicriteria decision-making* (MCDM), esses são recomendados para auxiliar a tomada de decisão em casos que envolvem diversos critérios, conflitantes entre eles. Esses critérios podem ter pesos diferentes. Existem diversas abordagens de MMAD, cada qual com sua vantagem e propósito (Fu, *et al.*, 2018). Todavia, todos possuem a similaridade de serem métodos para resolução de problemas complexos (MI and LIAO, 2019).

Esta pesquisa está segmentada em três grandes áreas - gestão de energia, indústria de alimentos e modelos de maturidade, de forma a unir esses conhecimentos na diminuição das lacunas identificadas pela literatura na gestão de energia. Desta forma, a modelagem do conhecimento envolvido na gestão de energia (GE) no domínio específico (indústria de alimentos), sob a percepção de maturidade, deve fornecer capacidade de inferência sobre o potencial da organização na GE, fundamentada na visão evolutiva dos atributos que a qualificam, com apoio das tecnologias da indústria 4.0. Neste sentido, estende-se a visão de segmentação temporal da avaliação de atendimento de requisitos específicos a cada etapa de ciclo PDCA, para uma avaliação do potencial global.

1.1 CONTEXTO

O setor industrial tem a energia como necessidade primordial para os seus processos de manufatura (ABDELAZIZ, *et al.*, 2011). Este dado ganha ainda mais peso quando se analisa a produção sob perspectiva financeira: os custos da energia são os mais altos nesta fase (INTRONA, *et al.*, 2014). Ainda assim, sua eficiência energética industrial é bastante baixa, gerando um crescente interesse no desenvolvimento de sistemas de gestão de energia na manufatura em todo o mundo nos últimos anos (STERN, 2007). Segundo Sola, *et al.*, (2011), algumas razões para justificar tais dificuldades são: i) dificuldade de gerenciamento de energia; ii) custo de investimento sobrestimado e retorno financeiro subestimado; iii) falta de informação sobre projetos e medidas adequados.

Desta forma são identificadas algumas das diversas barreiras que são encontradas na implantação de um sistema de gestão de energia na indústria de alimentos, que se assemelham aos demais tipos de indústrias como: (i) falta de um efetivo gerenciamento interno na empresa (coordenação); (ii) complexa cadeia de decisão; (iii) ausência de um gestor energético; (iv) cultura organizacional que negligencia os aspectos energéticos e ambientais; (v) baixa importância do programa de eficiência energética; (vi) dificuldade de implementar um programa de gestão de energia e como avaliar o estágio de maturidade energética que a empresa se encontra; (vii) desconhecimento de ferramentas de apoio à decisão (MA, *et al.*, 2012; SORREL, 2007; CAGNO, 2013; SAYGIN, *et al.*, 2011).

Para melhorar a questão das barreiras relatadas, ferramentas podem ser adotadas no auxílio da evolução na questão energética, como os modelos de maturidade desenvolvidos, que visam à evolução do nível mais baixo para o mais alto de maturidade, objetivando-se em última instância melhorar a entrega dos objetivos energéticos estratégicos da organização (DEMIR e KOCABAS, 2011). Dessa forma, a avaliação do nível de maturidade ocorre a partir de um conjunto pré-definido de parâmetros, permitindo uma linha de base, *benchmarking* e melhoria contínua (NEUHAUSER, 2004). Antunes, *et al.*, (2014) relata que ainda as práticas associadas variam muito, principalmente porque não há um modelo de gestão de energia bem compreendido. Conforme relatado na literatura, nas tentativas de implantação dos programas muitas falhas ocorrem, pois apresentam lacunas ou inadequações para a tratativa de implementação nos processos de forma geral.

As indústrias de alimentos no Brasil não possuem programas de gestão de energia em sua maioria, pelo desconhecimento das tratativas referentes ao recurso e pela dificuldade na implantação dos programas. Para regulamentar e auxiliar as empresas em alguns aspectos, o objetivo da Norma ISO 50001;2011 “*é permitir que as organizações estabeleçam sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência, uso e consumo de energia*”.

Correlacionando esses três contextos descritos, existe a lacuna na identificação dos impedimentos e barreiras da gestão de energia que podem ser sanados com o apoio avaliativo de modelo de maturidade, em um segmento de indústria como a de alimentos muito pouco explorado ainda. Tal setor industrial recebe maior evidência motivacional, pois seus problemas, além de se assemelharem-se aos demais tipos de indústrias, necessitam ser melhor estudados com avaliações focais que atendam suas especificidades. Como são poucos os estudos relacionados a esse domínio, o modelo desenvolvido permite essa avaliação mais individualizada do segmento.

1.2 JUSTIFICATIVA

Sistemas de monitoramento da eficiência energética são ferramentas de extrema importância, que auxiliam na gestão eficaz da energia, uma vez que servem como instrumentos para a identificação de oportunidades de melhoria e, ainda, registram os impactos de ações voltadas às tratativas do consumo energético (MAY *et al.*, 2013). Entretanto, segundo May *et al.* (2012), até o ano de sua pesquisa, mais de dois terços das empresas não possuíam métodos sistemáticos de análise e melhoria para gestão do seu consumo energético. Além disso, a maior parte das empresas não tem conhecimento sobre a forma como utilizam seus recursos energéticos.

Outro ponto importante é o fato de que mesmo em organizações onde se encontram sistemas de monitoramento e controle eficientes, percebemos que os gestores apresentam dificuldades para compreender os impactos e efeitos de algumas ações de melhoria voltadas à eficiência energética, o que se deve à falta de conhecimento (BUNSE, *et al.*, 2011). May, *et al.* (2015) complementam relatando que, tanto a área acadêmica como a profissional carecem de métodos e ferramentas que auxiliem no melhor atendimento do consumo, e as ineficiências energéticas dos sistemas e da gestão de energia.

Na literatura referente a modelos de maturidade em gestão de energia, podemos citar alguns trabalhos. Antunes, *et al.*, (2014) desenvolvem um modelo de

maturidade em cinco níveis e as atividades que descrevem os níveis do modelo. Mas não fica claro como aplicar e como entender em qual nível de maturidade a empresa se encontra. Em Ngai, *et al.*, (2013) o modelo proposto é desenvolvido com o apoio do método CMMI advindo da tecnologia da informação, com uma estrutura para análise do nível de maturidade e sustentabilidade no avanço dos níveis. Mas falta clareza sobre como implementar e quais as ações necessárias para a evolução. Quanto aos modelos desenvolvidos por Jovanovic, *et al.*, (2016); Introna, *et al.*, (2014) e Finnerty, *et al.*, (2017) os modelos não são efetivamente claros quanto a sua avaliação e seus resultados alcançados.

Devido à complexidade do cenário energético, aliado ao espaço de avaliação específico - o setor industrial de alimentos, são necessários esforços na definição mais densa e focal de atributos que o qualifiquem, identificando necessidades através da avaliação da entidade industrial no atendimento evolutivo de requisitos da gestão energética. O esforço subsequente de organização desta densidade avaliativa multidimensional, considerando processo de categorização, sugere uma abordagem diagnóstica e decisional multicritério no posicionamento da entidade industrial em seu nível de maturidade de atendimento do universo de atributos que possui. Para isso, a visão de maturidade posiciona a empresa em seu status atual e apresenta os desafios a serem vencidos para evolução. Nesse sentido, os métodos multicritério, como AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e PROMETHEE II de apoio à tomada de decisão se revelam muito apropriados para modelagem dos espaços de avaliação envolvidos.

O modelo proposto possui diferencial na abordagem metodológica, que utiliza mecanismos para obtenção e organização do conhecimento envolvido na avaliação da gestão de energia na indústria de alimentos. Ele caracteriza todas as etapas de concepção do modelo de maturidade em uma base referencial e propõe um modelo de avaliação diagnóstica e um modelo de avaliação decisional consumindo a etapa diagnóstica. Além disso, propõe diretrizes sob diferentes cenários como o tecnológico, econômico e organizacional para a entidade industrial.

1.3 RELEVÂNCIA E ORIGINALIDADE

Para Brunke, Johansson e Thollander (2014), a não implementação ou, no mínimo, implementação tardia das tecnologias voltadas à eficiência energética está relacionada à existência de barreiras. No entendimento de Sorrell, *et al.* (2004),

barreiras são inibidores que impedem as organizações de adotar tais medidas, mesmo que econômica e ambientalmente eficientes.

Esta pesquisa, portanto, orienta para o levantamento dessas barreiras no espaço problema de avaliação da gestão de energia na indústria de alimentos, que demanda uma avaliação mais granular das suas particularidades. As *barreiras* e *aspectos* são levantados e organizados segundo uma estrutura de avaliação inspirada em frameworks de Interoperabilidade (Leal, et al., 2019). Tais frameworks preconizam referenciais avaliativos matriciais sobre o desempenho organizacional com base nestas dimensões (barreiras e aspectos). Inspirada nesta estrutura, uma matriz sob o acrônimo de MIGE (*Matriz de Influência para Gestão de Energia*) é concebida, caracterizando quadrantes de avaliação e atributos qualificadores da gestão de energia.

O modelo de maturidade EM3FI (*Energy Management Maturity Model for Food Industry*) foi construído com base na MIGE, fornecendo o posicionamento relacional dos atributos de avaliação e a base referencial para um modelo de avaliação diagnóstica no AHP. A construção do modelo é baseada na organização dos atributos sob duas dimensões - barreiras e aspectos da gestão de energia. Este resultado do AHP alimenta o modelo de avaliação decisional baseado no PROMETHEE II, cuja matriz de avaliação é composta por critérios do AHP, com os pesos diagnosticados e as alternativas estabelecidas à luz de um plano de melhoria com base em habilitadores tecnológicos, da indústria 4.0.

Os modelos encontrados na literatura são baseados no ciclo PDCA e na ISO 50001 e o ponto principal são as etapas evolutivas de implantação. O método proposto nesta pesquisa avalia a capacidade ou potencial da entidade industrial para gestão de energia sob uma perspectiva global - sem posicionamento em etapas, mas sim sobre o posicionamento evolutivo de um atributo avaliativo, que qualifica esta capacidade ou maturidade da gestão de energia. A abordagem apresenta múltiplos métodos inéditos para esse tipo de pesquisa na literatura como: o desenvolvimento do modelo, que preconiza uma visão concomitante entre aspectos e barreiras, formando a matriz de avaliação; a modelagem do espaço avaliativo resultante da utilização da matriz relacional inspirada no método *Quality Function Deployment* (QFD) que orienta o design da estrutura AHP, são algumas das contribuições ao escopo científico e industrial. O suporte da base integrada diagnóstica e decisional é realizado através de abordagem híbrida AHP – PROMETHEE II, existente na literatura, mas com racional

diferenciado para atendimento do espaço avaliativo da GE e com as tecnologias da indústria 4.0.

Além dos diferenciais descritos em relação aos modelos encontrados na literatura, mais diferenças e vantagens são destacadas: (i) uma estratégia para maximizar o impacto das medidas de eficiência energética; (ii) o caminho fornecido para melhoria que estende a capacidade das abordagens baseadas no ciclo PDCA através de um modelo de avaliação decisional que consome uma etapa diagnóstica global, e (iii) uma alternativa para apoiar a organização no planejamento para a certificação da ISO 50001.

1.4 PERGUNTA DE PESQUISA

De que forma um modelo de avaliação de maturidade permite disponibilizar diretrizes para gestão de energia na indústria de alimentos à luz de uma base diagnóstica e mecanismos decisoriais, voltados aos requisitos da indústria 4.0?

1.5 OBJETIVOS

São apresentados os seguintes objetivos para a pesquisa:

1.5.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma abordagem de avaliação diagnóstica para gestão de energia na indústria de alimentos baseada em um modelo de maturidade, de forma a suportar uma base decisional para apoio a um plano de adoção de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

1.5.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, torna-se necessário atender os seguintes objetivos específicos:

OE1- Identificar as barreiras, aspectos e atributos que compõem o cenário da gestão de energia e a indústria de alimentos.

OE2- Avaliar os modelos de maturidade existentes (mecanismos e tratativas) para gestão de energia e desenvolver uma matriz relacional de avaliação no suporte a concepção de um novo modelo.

OE3- Desenvolver e propor um modelo de maturidade para gestão de energia na indústria de alimentos.

OE4- Desenvolver um modelo de avaliação diagnóstica com base no modelo de maturidade desenvolvido.

OE5- Analisar os resultados da etapa diagnóstica para uma avaliação decisional a ser concebida sob diferentes perspectivas (tecnológicas, econômicas e organizacionais), no apoio a um plano de priorização para empresa na adoção de tecnologias da I4.0.

2. ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A fim de alcançar os objetivos propostos, a estratégia de pesquisa permite a caracterização de fases e etapas de suporte para elaboração de um modelo de maturidade para gestão de energia na indústria de alimentos denominado de EM3FI.

A Figura 1 contempla uma fase de identificação do domínio de conhecimento envolvido (exploração); uma fase de desenvolvimento das etapas necessárias para proposição do modelo (desenvolvimento); outra fase de concepção do modelo proposto (proposição do modelo); uma fase diagnóstica com a adoção do modelo para implementação, avaliação e diagnóstico; e uma última fase, a etapa decisional com proposição de diretrizes sob diferentes cenários.

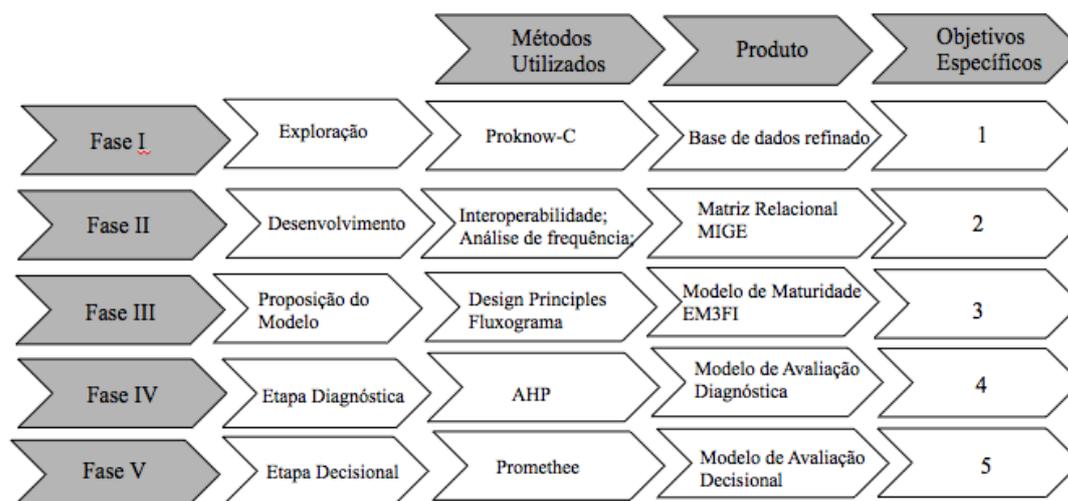


Figura 1 – Método de investigação

A fase I (exploração) contempla uma revisão sistemática da literatura e a análise do conteúdo com o objetivo de identificar o campo de pesquisa, através de referenciais normativos, trabalhos relacionados com o tema de pesquisa, lacunas e tendências, montando uma base de dados sobre o tema. Na fase II de desenvolvimento, ocorre a evolução para matriz relacional necessária para o modelo proposto, com a análise de frequência dos documentos, resultando na MIGE, que relaciona os quadrantes de avaliação com os atributos preliminares.

Na fase III, o modelo de maturidade é proposto à luz da literatura. Na fase IV, o modelo é consumido como base referencial para a etapa diagnóstica realizada através do suporte de métodos multicritério. Na fase V, a etapa decisional é realizada com o suporte de outros métodos multicritério e para avaliação de diferentes cenários da gestão de energia na indústria de alimentos, propondo diretrizes e planos para a organização.

A característica e complexidade processual na coordenação dos referenciais, métodos e ferramentas utilizados ao longo do ciclo sugerem uma representação mais afinada de tal abordagem de pesquisa através do modelo ilustrado na Figura 2. Cada uma das fases citadas apresentadas na Figura 1 (método de investigação para pesquisa) é composta por etapas, que são representadas através das atividades na representação IDEF0. O encadeamento das atividades permite uma visão ampliada do fluxo de transformação dos artefatos envolvidos na elaboração do modelo de maturidade em gestão de energia para indústria de alimentos, indicando em cada atividade, os mecanismos (recursos informativos, humanos e tecnológicos) e controles (métodos, procedimentos, orientações normativas, melhores práticas, restrições). A este nível de abstração a notação IDEF0 torna-se bastante apropriada, sendo a coordenação relativa a cada atividade no nível de abstração indicado e mecanismos e controles associados, descritos na próxima seção. A Figura 2 representa o IDEF0, juntamente com as fases que estão descritas na Figura 1.

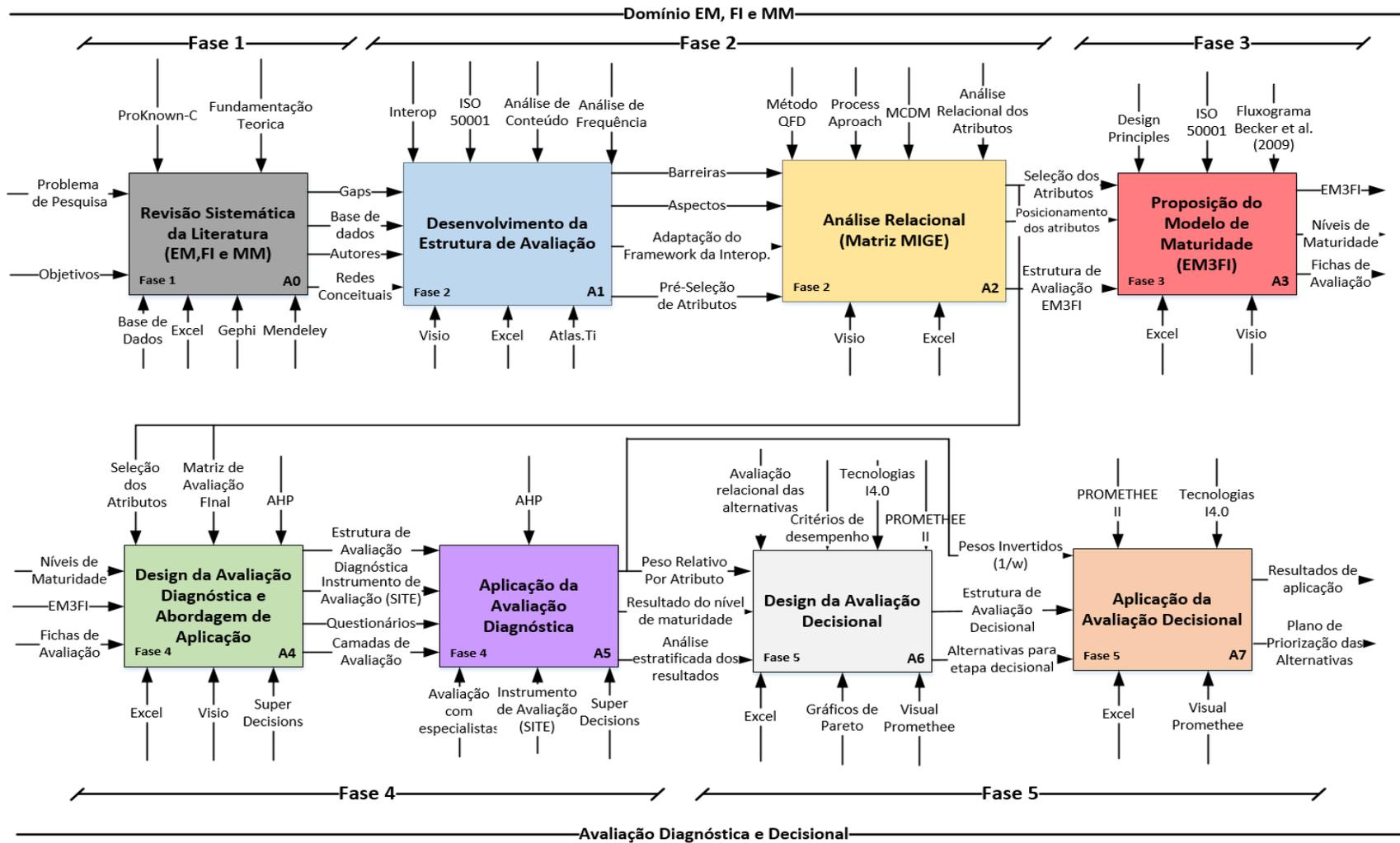


Figura 2 – Estratégia de pesquisa

2.1 FASE DE EXPLORAÇÃO

A Figura 3 apresenta a primeira etapa da revisão da literatura. Ela representa o início do fluxo das atividades na interpretação dos objetivos e problemáticas envolvidas no apoio à obtenção da primeira massa de referenciais sobre os domínios de conhecimentos envolvidos (EM, FI e MM).

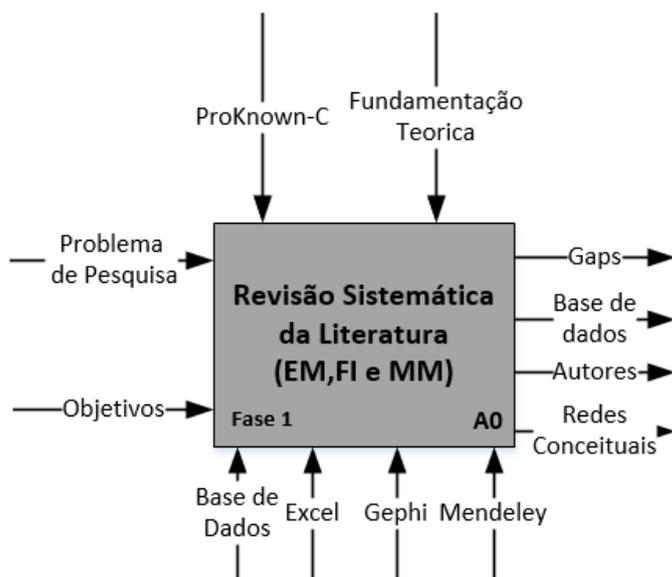


Figura 3 – Atividade A0 do IDEF0

A atividade A0 consiste na revisão da literatura sobre gestão de energia (EM), indústria de alimentos (FI) e modelos de maturidade (MM). Os elementos de entrada deste fluxo são os objetivos e a questão de pesquisa. Tais elementos serão orientados por uma revisão sistemática da literatura, utilizando os mecanismos: Excel, Mendeley e Gephi, para gerar uma base de dados como elemento de saída. Nesta etapa foram analisados 233 artigos, o que gerou uma base de dados de 32 artigos após a aplicação dos filtros de leitura pelo método Proknow-C.

A Figura 4 apresenta a segunda etapa (atividade A1) da revisão da literatura, quando ocorreu a formação da base de dados, com o método Proknow-C. Esse identificou os gaps da pesquisa, formou a base de dados, os autores relacionados aos domínios e as redes conceituais. Os métodos que deram o suporte para o desenvolvimento da estrutura de avaliação foram: suporte dos frameworks da Interoperabilidade, a Norma ISO 50001, a análise do conteúdo e a análise de frequência. Para isso, as ferramentas Visio, Excel e ATLAS.TI deram o apoio para as atividades desta etapa. Como resultado obtivemos as barreiras, os aspectos a adaptação da Interoperabilidade e a pré-seleção dos atributos da matriz.

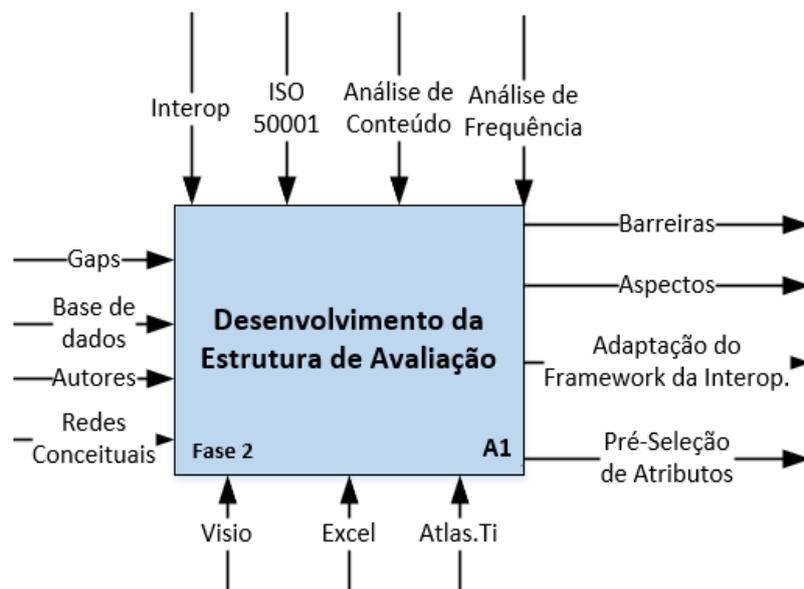


Figura 4 – Atividade A1 do IDEF0

2.2 FASE DE DESENVOLVIMENTO

Na fase dois do desenvolvimento, com os resultados da etapa anterior (IDEFO atividade A1), os métodos para continuidade da pesquisa foram: método QFD (*Quality Function Deployment*), *Process Approach*, os métodos multicritério (MCDM) e análise relacional dos atributos. As ferramentas utilizadas para isso foram o Visio e o Excel. Os resultados para a atividade A2 foram: seleção final dos atributos para o modelo, posicionamento destes atributos na matriz de avaliação e a estrutura de avaliação do modelo EM3FI, a Figura 5 apresenta a atividade A2 do IDEF0.

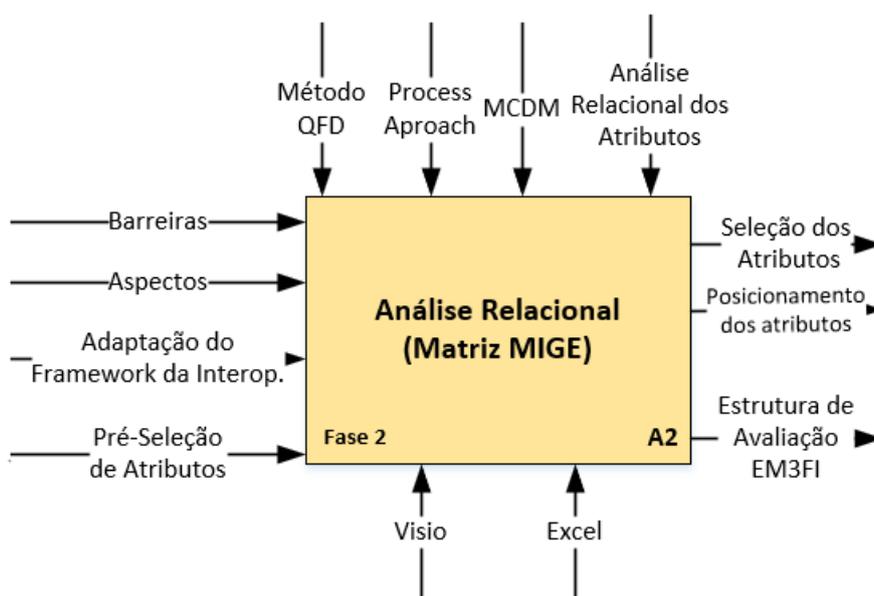


Figura 5 – Atividade A2 do IDEF0

2.3 FASE DA PROPOSIÇÃO DO MODELO

A fase três representa a etapa A3 de proposição do modelo EM3FI (*Energy Management Maturity Model for Food Industry*). Os resultados da atividade anterior A2 proporcionaram a proposição do modelo de maturidade, com o apoio dos métodos *Design Principles*, ISO 50001 e o Fluxograma de Becker, *et al.*, (2009), e as ferramentas Excel e Visio. Desta forma, os resultados foram a estrutura completa do modelo EM3FI, a formalização dos níveis de maturidade e as fichas de avaliação dos atributos do modelo, a Figura 6 apresenta a atividade A3 do IDEF0.

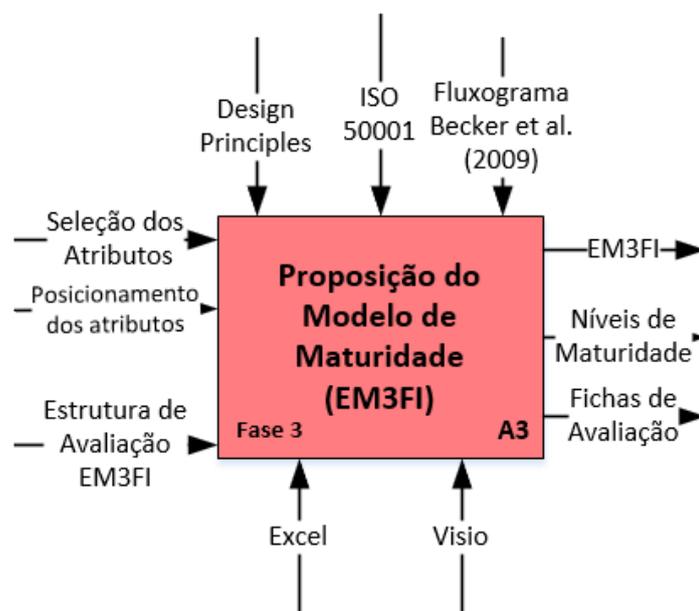


Figura 6 – Atividade A3 do IDEF0

2.4 FASE DIAGNÓSTICA

A fase quatro representa o design do modelo de avaliação diagnóstica e abordagem de aplicação, da atividade A4 do IDEF0. O modelo proposto EM3FI atua como base referencial ao método AHP que utiliza, na caracterização de seus níveis e critérios, as barreiras, aspectos e atributos de forma a posicionar a entidade industrial em seu nível de maturidade através da percepção diagnóstica nos diferentes atributos e dimensões (barreiras e aspectos), assim Figura 7 apresenta a etapa do design da avaliação diagnóstica e abordagem de aplicação.

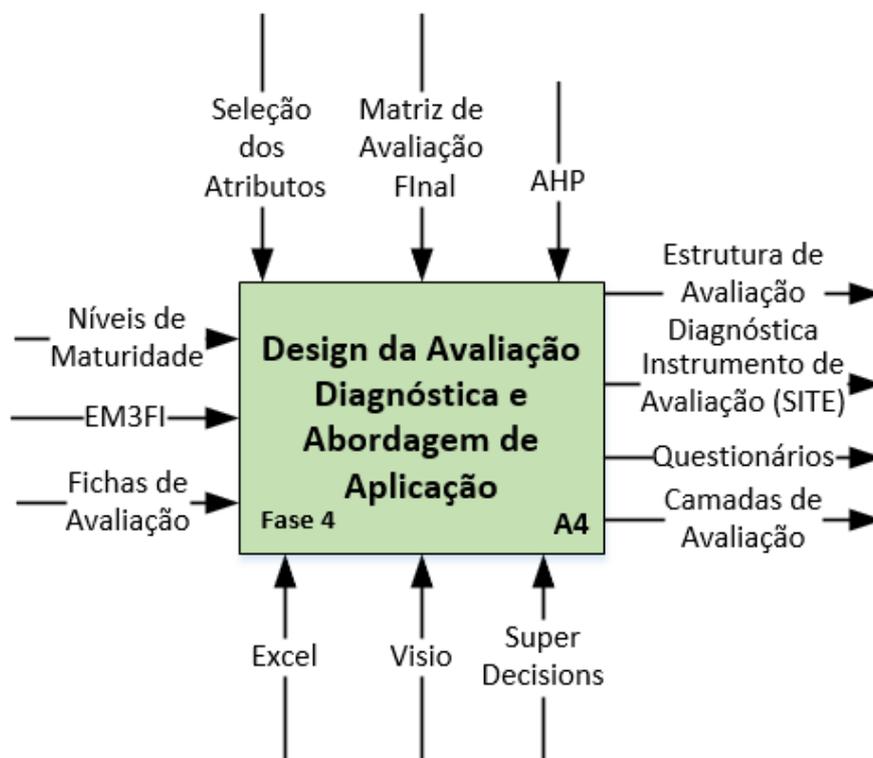


Figura 7 – Atividade A4 do IDEF0

A fase quatro contempla a atividade A5 do IDEF0, chamada Aplicação da Avaliação Diagnóstica. Esta utiliza os resultados da atividade A4: a estrutura de avaliação diagnóstica, instrumento de avaliação (SITE – ferramenta gratuita desenvolvida na web, para aplicação do modelo), os questionários e as camadas de avaliação. Para desenvolver a atividade A5 foi utilizado o método AHP (*Analytic Hierarchic Process*). As ferramentas utilizadas foram: o instrumento de avaliação (SITE), o software Super Decisions e a avaliação com os especialistas das empresas do modelo aplicado. Os resultados obtidos foram os pesos relacionados aos atributos, os resultados dos níveis de maturidade e a análise estratificada dos resultados, a Figura 8 apresenta a aplicação da avaliação diagnóstica.

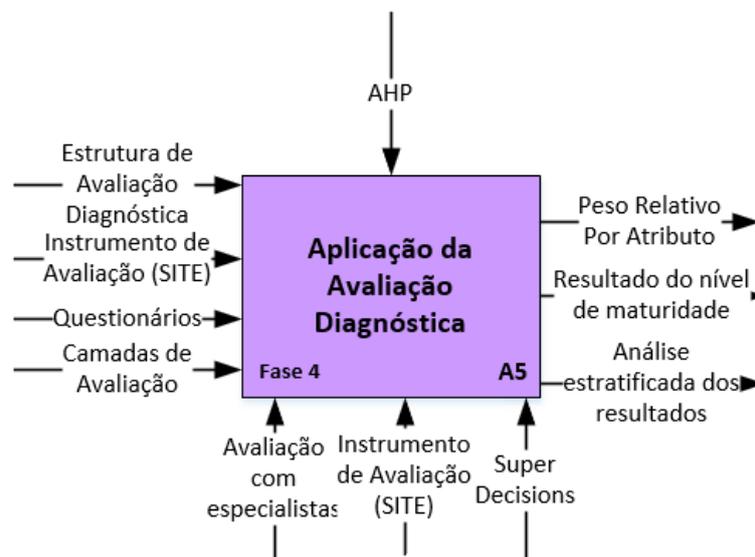


Figura 8 – Atividade A5 do IDEF0

2.5 FASE DECISIONAL

Na fase do design da avaliação decisional - atividade A6 do IDEF0 - os resultados da etapa anterior foram utilizados para a avaliação decisional, juntamente com os critérios de desempenho e a avaliação relacional das alternativas - as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 (I4.0) através do método PROMETHEE II. Como suporte foram utilizadas as ferramentas Excel, Gráfico de Pareto e o software *Visual Promethee*. Uma estrutura de avaliação decisional foi, portanto, fundamentada na matriz de avaliação PROMETHEE II formada pelos: *critérios* (atributos da base diagnóstica AHP), *pesos invertidos* (oriundos do resultado AHP e que traduzem a realidade da entidade industrial), e *alternativas para fase decisional* (cenários propositivos – diretrizes para melhoria do nível de maturidade com base em requisitos da I4.0). O design da matriz de avaliação PROMETHEE II fornece uma base da análise de influência e o impacto de alternativas candidatas ao atendimento dos critérios, os quais caracterizam a gestão energética, a Figura 9 apresenta a atividade A6 do IDEF0.

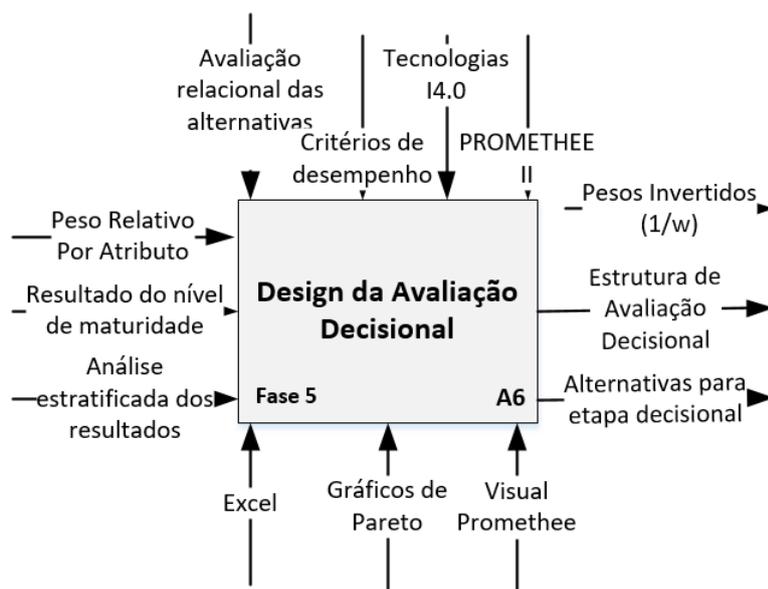


Figura 9 – Atividade A6 do IDEF0

A aplicação da avaliação decisional da atividade A7 do IDEF0 compõe a fase final da abordagem proposta na tese. O modelo de avaliação decisional visa avaliar possíveis cenários de melhoria à luz da base diagnóstica oferecida pela estrutura AHP. Tais cenários econômico, organizacional e tecnológico são estabelecidos por meio das dimensões do modelo de maturidade e requisitos da I4.0. Um dos cenários, a dimensão tecnológica, possui as tecnologias da Indústria 4.0 como fonte de alternativas no âmbito de projetos de transformação digital, que impactem na melhoria do nível de maturidade diagnosticado e o método PROMETHEE II como apoio na identificação da melhor alternativa. Os resultados desta aplicação e o plano de priorização entre as alternativas da fase decisional finalizam os resultados, desta forma, a Figura 10 apresenta a atividade A7 do IDEF0.

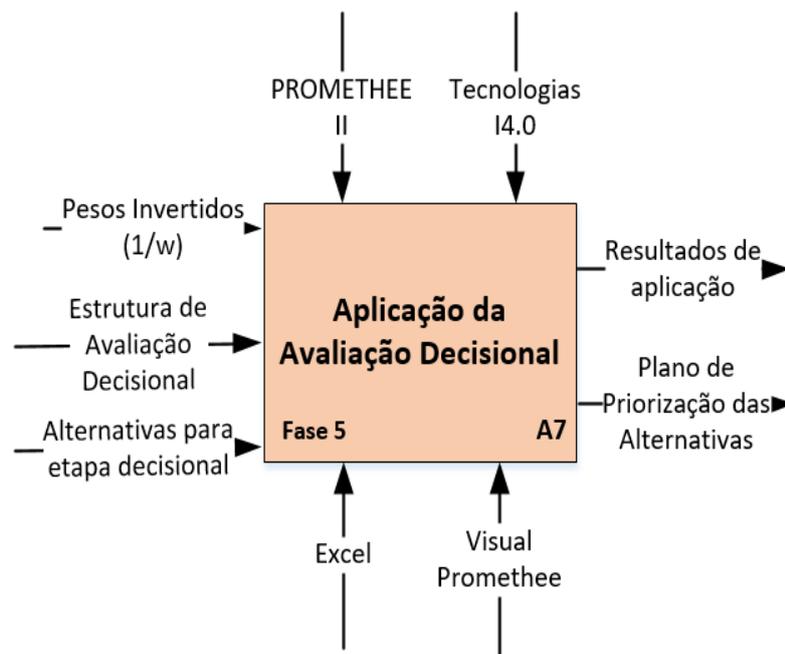


Figura 10 – Atividade A7 do IDEF0

2.6 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES

O capítulo 1 apresentou os objetivos, as motivações e justificativas para o desenvolvimento da pesquisa. No capítulo 2, são apresentadas as etapas para realização da pesquisa e o enquadramento das fases. Com base neste encaminhamento das fases e nas necessidades encontradas para formalização da matriz necessária para comportar as barreiras, aspectos e atributos, foi necessário o desenvolvimento de três diferentes tipos de matrizes, de forma complementar uma em relação a outra, destacadas pela Figura 11. Estas definições são contempladas com estas nomenclaturas ao longo de toda a pesquisa.

Inspirada nas características estruturais dos frameworks da Interoperabilidade, que preconizam uma visão avaliativa da capacidade organizacional em aspectos e barreiras, tais dimensões foram adotadas (matriz um, na Figura 11). Essas dimensões orientaram a identificação de atributos qualificadores da GE com o apoio da literatura. A matriz de influência da gestão de energia (MIGE) (matriz dois, Figura 11) foi desenvolvida para relacionar - posicionar os quadrantes de avaliação (aspectos e barreiras) com os atributos levantados. A matriz três, estrutura de avaliação do *Energy Management Maturity Model for Food Industry* (EM3FI), representa uma das três etapas para o desenvolvimento do modelo de maturidade proposto na pesquisa.

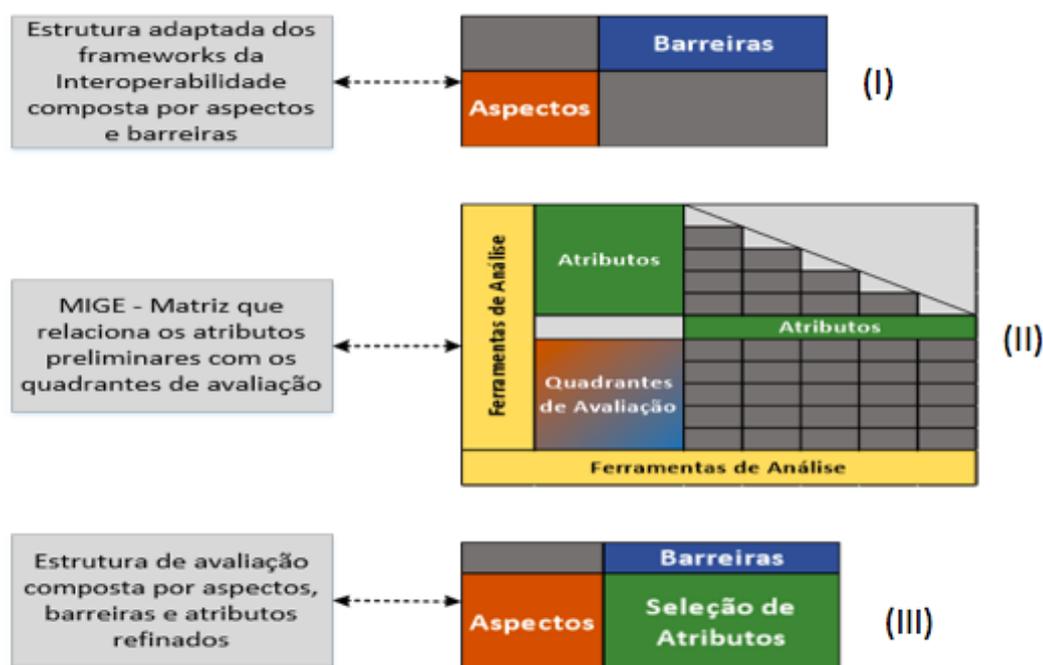


Figura 11 – Nomenclatura das matrizes para pesquisa

Neste trabalho, *atributo* foi considerado como aquilo que é próprio de algo, como características, classes e variáveis que permitem uma organização observar, avaliar e alcançar níveis de maturidade na forma evolutiva na gestão de energia no contexto da indústria de alimentos.

**PARTE II:
REFERENCIAL TEÓRICO**

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado o referencial teórico dos temas abordados na pesquisa, como recurso energia, indústria de alimentos, modelos de maturidade e métodos multicritério.

3.1 O RECURSO ENERGIA

Esta seção apresenta as definições e características de energia, gestão de energia e eficiência energética. A palavra energia pode ser empregada em diversos contextos, e na pesquisa está relacionada com a capacidade que um sistema tem de produzir uma atividade externa ou produzir trabalho, no processo de produção.

De acordo com Introna, *et al.*, (2014), a energia é um recurso crítico para qualquer tipo de organização. De fato, além de seus custos econômicos, a energia envolve gastos adicionais, principalmente ambientais e sociais, relacionados a seus resíduos e devido ao esgotamento de recursos e à contribuição para as mudanças climáticas.

O setor de energia é central para o sistema produtivo, voltando a atenção dos governos para o gerenciamento das matrizes de energia de seus países. Um dos primeiros exemplos de intervenção no sistema energético foi o desmantelamento do monopólio da Standard Oil, pela lei Sherman, ocorrido por volta de 1910. Desde essa época os governos operam como reguladores do sistema energético, intensificando suas ações na década de 70. A partir desse decênio, a maioria dos países intensificou as ações da política energética, com o objetivo de garantir a estabilidade do sistema. Nas últimas décadas, a política energética não está preocupada apenas com o planejamento energético no sentido de equalizar a demanda e a oferta de energia, mas também com a redução do consumo de energia por unidade de produção; em outras palavras, eficiência energética.

Os problemas ambientais se intensificaram na década de 90. Desta forma, tornou-se necessária a cooperação de muitos países com o tema. A centralidade do setor de energia ocorre por dois fatores principais: econômico e ambiental. Econômico porque a falta de energia poderia levar o sistema econômico/produtivo a entrar em colapso, com efeitos sentidos nas crises do petróleo da década de 70, e ambiental, porque a queima de combustíveis fósseis provoca danos ao meio ambiente.

É importante salientar que a energia é um insumo diferente dos demais porque forma uma rede completa (com mais ligações), ou pelo menos mais completa que a

grande maioria das outras relações insumo (matéria prima), produto (transformação), como determinados tipos de materiais (aço, cimento, algodão, alimentos, entre outros) (MILLER; BLAIR, 2009).

As pesquisas na literatura identificam que o setor industrial, principalmente o manufatureiro, é importante no contexto mundial porque utiliza, em média, um terço da energia primária produzida e também gera um impacto indireto nos demais setores. Portanto, a eficiência energética na indústria não é mais vista apenas como uma preocupação macroscópica no nível das políticas governamentais. A literatura recente aponta que a principal responsabilidade das empresas está na implementação da gestão de energia em seus processos (BUNSE, *et al.*, 2011; SHULZE, *et al.*, 2016).

3.1.1 Gestão de Energia

De acordo com Backlund, *et al.* (2012), não existe uma definição precisa do que venha a ser gestão de energia. Para Amundsen (2000), ela não difere de outros sistemas de gerenciamento e pode ser integrada facilmente com os demais. Os autores Christoffersen, *et al.*, (2006) e Ates e Durakbasa (2012) associam a gestão de energia a certos procedimentos para a poupança de energia (treinamentos, controles, metas, planos, estimativas, comunicações, avaliações, entre outras) que as empresas podem adotar. Para Kannan e Boie (2003), bem como para Lee, *et al.*, (2011) o gerenciamento de energia é por natureza multidisciplinar com envolvimento das áreas de engenharias e de administração. Seu objetivo é maximizar a eficiência energética em prol de melhorias contínuas no desempenho competitivo. Segundo Gordic, *et al.*, (2010), a gestão de energia é um sistema de melhoria contínua, com a utilização de procedimentos planejados, revisados periodicamente. Conforme Bunse, *et al.*, (2011), ela está relacionada às atividades de controle, monitoramento e melhoria da eficiência energética.

Mohd (2011) define o uso sistemático da gestão e tecnologia para melhorar o desempenho energético de uma organização. Independentemente da definição, o tópico tornou-se de grande importância para organizações em todo o mundo. Muitas delas estão implantando atualmente soluções de gerenciamento de energia para melhorar o uso, para cumprir a legislação, padrões e requisitos e para melhorar a reputação da organização entre clientes (ANTUNES, *et al.*, 2011).

Para Antunes, *et al.*, (2011), a gestão de energia e as práticas associadas

variam muito, principalmente porque não há um modelo de gerenciamento de energia bem compreendido. Existem diversos guias para auxiliar as empresas na implementação de atividades de gestão de energia, mas os estudos de caso mostram que as implementações reais de programas de gestão de energia não cobrem a amplitude de atividades energéticas definidas nesses guias.

A nível prático, a gestão da energia segundo Finnerty, *et al.*, (2017) é o controle das atividades relacionadas com a energia, enquanto um Sistema de Gestão da Energia (SGE) delinea os passos estratégicos necessários para implementar um processo sistemático para melhorar continuamente o desempenho energético. Mais importante do que a definição do termo, é a implementação da gestão de energia, como uma das formas de redução do consumo e as emissões de CO₂ na manufatura.

No âmbito da gestão de energia, a integração da eficiência energética na gestão da produção é uma alavanca importante para melhorar os sistemas de produção, uma vez que pode ser a base para implementar com sucesso medidas de melhoria da eficiência energética. O termo “gerenciamento” pode ser definido como as funções de planejar, organizar e controlar o processo de transformação e sua utilidade em fornecer um bem ou serviço aos clientes (Blackstone, 2008).

O’Callaghan e Probert (1977) definem gestão de energia: como aplicação aos recursos, bem como ao fornecimento, conversão e utilização de energia. Essencialmente, envolve monitorar, medir, registrar, analisar, examinar criticamente, controlar e redirecionar os fluxos de energia e materiais através dos sistemas, para que menos energia seja despendida para atingir os objetivos. O desempenho de eficiência energética deve ser considerado simultaneamente com outras áreas de desempenho importantes de empresas industriais, como custo, flexibilidade, tempo de entrega e qualidade (BUNSE, *et al.*, 2011).

Estudos encontrados na literatura relacionados à gestão de energia e a utilização, como Schulze, *et al.*, (2016), da gestão de energia na indústria, enfatizam um dos meios mais promissores de reduzir o consumo e os custos de energia relacionados é a implementação de uma gestão de energia. Abdelaziz *et al.*, (2011) apresentam uma visão geral das estratégias de economia de energia na indústria, incluindo a gestão de energia como uma das mais importantes. No artigo sobre eficiência energética na indústria siderúrgica, Porzio, *et al.*, (2013) observou que a gestão de energia foi acelerada por demandas ambientais, custos de energia e aspiração por maiores lucros. Caffal (1995) relatou o uso da gestão de energia levando

até 40% do consumo total. Ates e Durakbasa (2012) observaram que “a transição de uma abordagem de utilidade energética tradicional para o gerenciamento padronizado de energia, tem se acelerado nos países com alta intensidade energética”.

A gestão de energia enfrenta desafios na fabricação devido à complexidade que surge da variedade de usos de energia em milhares de processos, cada um com características únicas de consumo de energia; além disso, deve-se considerar requisitos de produção diferentes com base no produto, na qualidade e em outros fatores comerciais (Berglund, *et al.*, 2011). A integração da gestão de energia com a gestão de produção é uma das questões importantes para o aprimoramento dos sistemas de produção verde (Bunse, *et al.*, 2011).

3.1.2 Eficiência Energética

Para Wojdalski, *et al.*, (2015), a eficiência energética é definida como a razão entre a saída de um determinado dispositivo, sistema ou instalação de produção operando sob condições padrão, até a quantidade de energia consumida por aquele dispositivo, sistema ou instalação de produção para fornecer a saída. A eficiência energética pode ser aumentada diminuindo a quantidade de energia consumida durante o processamento, distribuição ou uso devido a mudanças na tecnologia de produção (WOJDALSKI, *et al.*, 2015). Segundo Patterson (1996), a eficiência energética é a produção da mesma quantidade de trabalho útil (produção ou serviço) pelo uso de energia comparativamente menor. A referência é feita através da adoção de medidas que tendem a reduzir o uso de energia. Além disso, a relação entre a quantidade máxima de serviços de energia que podem ser obtidos e a quantidade de energia final consumida é de eficiência energética (PATTERSON, 1996).

Pesquisadores apresentaram diferentes interpretações sobre eficiência energética. A eficiência pode ser considerada um trabalho útil, enquanto a falta de eficiência é desperdício em termos de outras formas de energia que não sejam as desejadas durante o processo pretendido (GIACONE E MANCO, 2012). Nos estudos acerca dos determinantes da eficiência energética, trabalha-se com as mais variadas hipóteses para estabelecer um relacionamento entre o menor uso de energia e outros diversos fatores. Para Uri (1980), a eficiência energética é afetada pela inovação tecnológica, acesso ao capital, variação na capacidade de utilização e aumento no preço da energia.

Algumas barreiras são descritas na melhoria da eficiência energética por

Trianni *et al.* (2013) na indústria, como a percepção da falta de recursos a serem dedicados à melhoria da eficiência energética e a existência de outras prioridades, como a importância de garantir a continuidade dos negócios. Processos industriais modernos são cada vez mais complexos com padrões de uso de energia altamente dinâmicos. Para Sucic, *et al.*, (2016), a produção é o elemento chave em qualquer indústria manufatureira e representa um lado da demanda para os sistemas de energia da fábrica. Para atuar nesta dinâmica de padrões de energia e para permitir um sistema eficiente de gestão de energia em processos de fabricação, dados com diversas informações de sistemas ambientais (por exemplo: interações entre operadores humanos e máquinas ou processos) devem ser coletados (SUCIC, *et al.*, 2016).

Para Boyd (2014), a definição da eficiência energética requer a escolha de um ponto de referência para comparar o uso de energia. A diferença entre o nível observado e o nível potencial de desempenho tem sido chamada de “lacuna de eficiência”, discutindo uma gama de conceitos para definir o potencial, incluindo econômico, técnico, social e hipotético. Outra barreira, identificada como falha no que leva a uma lacuna de eficiência, é a falta de informação (BOYD, 2014).

3.1.3 Indicadores de Eficiência Energética

As informações relacionadas à energia permitem avaliar o potencial de otimização e a melhoria de medidas de eficiência energética. Por isso, torna-se importante fornecer conhecimento que destaque o estado geral da fábrica e seu desempenho em relação ao consumo de energia. A esse respeito, os indicadores de desempenho servem como uma medida para decidir se um sistema está funcionando como foi projetado e ajuda a definir o progresso em uma direção pré-estabelecida (MAY, *et al.*, 2013).

Para Ang (2006), a medição do consumo de energia de um processo permite avaliar os potenciais de otimização e suporta a visualização de benefícios verificáveis a partir de medidas de melhoria. O desenvolvimento e aplicação de indicadores de eficiência energética dependem do propósito para o qual serão aplicados. Geralmente, os indicadores são proporções que descrevem a relação entre uma atividade e a energia necessária. No setor industrial, atividades como o processo de produção de um produto podem ser descritas em termos econômicos ou físicos, resultando em indicadores econômicos ou físicos (ANG, 2006). Os indicadores econômicos são úteis em um nível agregado, para comparar diferentes setores; no entanto, para obter

informações sobre determinados processos de fabricação, os indicadores físicos são mais adequados (PHYLIPSEN, *et al.*, 1997). A intensidade energética (EI) e o consumo específico de energia (SEC) são os indicadores normalmente adotados.

Para May, *et al.*, (2015), os indicadores de performance desempenham um papel significativo na avaliação da eficiência e eficácia dos sistemas de manufatura para uma área de desempenho alvo como: custo, sustentabilidade e eficiência energética. Na última década, os esforços na academia e na indústria mudaram para a eficiência energética na manufatura. Nesse contexto, os estudos discutem medidas de eficiência energética, normas, regulamentos de rotulagem, métricas e medição de desempenho em nível nacional e de políticas (XU, *et al.*, 2014). Em um nível mais desagregado, estudos focados na modelagem do consumo de energia (DIETMAIR, *et al.*, 2011) e um conjunto variado de abordagens foram desenvolvidos para melhorar os desempenhos de eficiência energética na produção de máquinas ferramentas para fábricas.

Para Vikhorev, *et al.*, (2013), devido à variedade de processos industriais e sua complexidade, o desenvolvimento de indicadores adequados também depende da finalidade para a qual eles serão aplicados; por exemplo, indicadores projetados para um setor industrial específico. Um sistema de indicadores deve ser completo em relação a todos os objetivos organizacionais importantes e relevantes e, obviamente, todos os aspectos do desempenho incluídos devem ser quantificáveis para serem mensuráveis. Finalmente, o sistema de indicadores deve ser flexível para adaptá-lo às mudanças nas condições ambientais ou outros campos de aplicação.

Bunse, *et al.*, (2011) identificaram requisitos necessários na construção de indicadores de eficiência energética:

- Métricas de fabricação de eficiência energética para identificar ineficiências dentro do uso de energia de uma planta (por exemplo, perfis de consumo de energia);
- Padrões de medição para eficiência energética e emissão de carbono;
- Padronização de métricas de desempenho ambiental, incluindo indicadores chave de desempenho (KPIs) de eficiência energética;
- KPIs para facilitar o rastreamento de mudanças e melhorias na eficiência energética;
- Medição da eficiência energética diretamente em valores monetários para se comunicar diretamente, onde as correções podem ser feitas;
- Desenvolvimento de processos para mapear o uso de energia para melhor

entendimento de entrada, saída e pontos de medição para cada processo de fabricação.

3.1.4 Normas de Gestão de Energia

As normas de gestão de energia foram inicialmente formuladas por institutos e organizações, tais como IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) e ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) nos Estados Unidos da América (EUA). Posteriormente foram evoluindo para normas locais (países), como a ANSI (*American National Standards Institute*). Em seguida, ocorreram publicações de normas por blocos econômicos, como o europeu CEN (*European Committee for Standardization*) e finalmente por órgãos internacionais, como a ISO (*International Organization for Standardization*).

Os padrões de gestão de energia foram implementados pela primeira vez nos EUA no ano 2000 e, desde então, foram implementados em um grande número de países. A Figura 12 resume o breve histórico dos padrões de gerenciamento de energia culminando com a primeira norma internacional ISO 50001, em 2011.

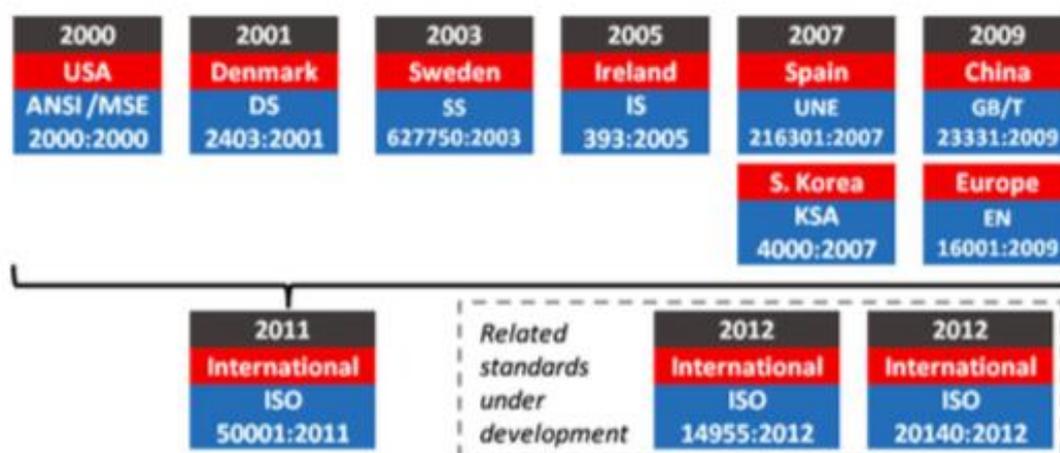


Figura 12 – Evolução das normas da gestão de energia

Fonte: O' Driscoll, *et al.*, 2013.

Essas normas foram organizadas pela *International Organization for Standardization* (ISO), organização sediada em Genebra, Suíça, sendo representada no Brasil pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Esta organização publicou diversas normas com o objetivo de auxiliar o desenvolvimento no âmbito econômico, ambiental e social. As soluções abrangem a maioria dos setores existentes como agricultura, construção civil, engenharia, manufatura, transporte, medicamentos, energia, informação, comunicação, qualidade e serviços

As normas que regulamentam a gestão de energia estão descritas na série

50000 (Sistema de Gestão de Energia), que surgiu a partir de 2008. Os padrões do sistema de gerenciamento e os modelos de maturidade são baseados na abordagem do processo. De acordo com a ISO (2008), a orientação sobre o conceito de abordagem de processo para sistemas de gestão significa que “uma grande vantagem da abordagem de processo está na gestão e controle das interações entre esses processos”. Em discussão sobre reengenharia de processos de negócios, Talwar (1993) define o processo como uma série de atividades predefinidas, que são implementadas para alcançar um resultado predefinido.

A série de normas ISO 50000 complementa um conjunto de normas já lançadas de ampla aplicação internacional, tais como a ISO 9001:2015 e a ISO 14001:2015. Estas normas possuem vários pontos em comum e têm como base o ciclo de melhoria contínua PDCA – *Plan* (Planejar), *Do* (Executar), *Check* (Verificar), *Act* (Agir) – além de apresentarem um framework de mesmo formato, facilitando suas aplicações em qualquer organização independentemente de tipo, porte e nacionalidade.

Esta norma ISO 50001 – *Energy Management Systems* – está disponível desde 15/06/2011. No Brasil, a norma correspondente é a ABNT NBR ISO 50001:2011, publicada na mesma data da norma internacional. A norma especifica os requisitos para estabelecer um Sistema de Gestão de Energia (SGE), fornecendo as diretrizes para otimizar o uso de energia nos processos e equipamentos. Por conseguinte, reduzir emissões de gases de efeito estufa, impactos ambientais e custos energéticos em uma organização.

A ISO 50001 é um modelo para atividades relacionadas à energia, como Hermes (2012) observa na discussão sobre a implementação da gestão de energia em diferentes países. A ISO 50001 fornece uma base para melhorar o gerenciamento de energia em setores que têm processos definidos e estruturados. A norma ISO 50001 destina-se à certificação. Os auditores, que avaliam o grau de cumprimento dos requisitos, decidem sobre a aceitação ou rejeição da certificação. O mesmo certificado é dado a cada organização que preenche os requisitos, independentemente da medida em que são atendidos. Portanto, as organizações certificadas pela ISO 50001 diferem em maturidade. Modelos de maturidade podem ser usados para fazer a diferença entre os setores. Em uma proposta de modelo de maturidade em gestão de energia, Antunes *et al.*, (2014) concluem que um modelo de gestão de energia pode estar vinculado aos requisitos da ISO 50001.

3.1.5 Síntese e Considerações

O item 3.1 apresentou as definições relacionadas ao recurso energia e à gestão energética. As normas regulamentadoras do recurso auxiliam no alcance da eficiência, podendo ser um ponto de partida para as organizações iniciarem os esforços na organização da gestão energética. Mais do que isso, é necessário organizar os procedimentos e atividades sobre como medir e o que medir quando mencionamos energia. Desta forma, neste item foram elencadas as características da gestão de energia corroborada com as normas vigentes da área, que possuem validade para todos os tipos de empresa, inclusive para as indústrias de alimentos. No próximo item será apresentada de forma breve a que corresponde a indústria de alimentos no Brasil, através de um breve histórico e a gestão de energia neste segmento.

3.2 INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A importância dos alimentos advém de sua função junto à alimentação e nutrição conduzindo a algumas definições de alimentos: “constituem a matéria-prima para a renovação orgânica”; “são substâncias necessárias à manutenção dos processos do organismo e à reparação de partes, que se faz constantemente”; “são todas as substâncias que, incorporadas ou não ao organismo, exercem nele função de nutrição” (SILVA, 2000).

Com a evolução, o homem teve que se concentrar em inúmeros fatores capazes de afetar a qualidade dos alimentos. Foi necessário aumentar a eficiência da produção, tornando-a capaz de assegurar a disponibilidade de seus alimentos, aprender meios eficientes para a sua conservação de tal maneira que pudesse dispor dos mesmos, em épocas de escassez ou quebra de cultivo; aprender métodos e processamentos específicos, capazes de obter a variedade e atratividade dos produtos (ORDONEZ, 2005).

De acordo com Evangelista (2005), o valor da indústria de alimentos consiste em, através de processos físicos, químicos e biológicos, transformar matérias-primas alimentares em produtos adequados ao consumo humano e de longa vida de prateleira. A industrialização, sob o critério de dar o melhor possível de qualidade aos produtos alimentícios, proporciona a estes outras condições antes ausentes que são de nítidas vantagens para a melhoria do produto.

3.2.1 *Desenvolvimento Histórico*

De acordo com Ordonez (2005), os gregos utilizavam ampla variedade de alimentos (suínos e aves, peixes e grande variedade de produtos vegetais) consumidos pelas populações do leste e do sul, das quais trouxeram muito hábitos alimentares. Novos produtos foram acrescentados, como azeite de oliva, que era utilizado como alimento, como cosmético e como agente conservante.

O período romano caracterizou-se pelo comércio de grande escala, tanto a curtas como a longas distâncias. Uma das razões da expansão do Império Romano foi a necessidade de obter mais alimentos para Roma. Assim, o trigo produzido no Egito ou na Espanha abasteciam o império, enquanto os romanos melhoravam as suas técnicas de cultivos como rotação de culturas, etc. (ORDONEZ, 2005).

A partir do século XV, a dieta do homem europeu sofreu importante mudança com a descoberta da América. O tomate, o milho e a batata causaram uma revolução no velho mundo. Também as viagens à Índia, mais frequentes, representaram um aumento do comércio e o aumento massivo de suas especiarias (ORDONEZ, 2005).

No século XIX, desenvolveram-se outros processos de interesse como: produção de margarina, cultivo da cevada para fabricação de cervejas e a centrífuga de separação do leite e nata. O progresso dos métodos de conservação aumentou no século XX com melhoria de técnicas antigas (defumação, desidratação, uso de conservantes, etc.), a criação de outras técnicas (radiações, ultrafiltração, etc.) que culminaram com tecnologias recentes (atmosfera modificadas ou extração de substâncias como a cafeína). Além disso, passos gigantescos foram dados na composição química dos alimentos para controlar os agentes causadores de alterações (biológicas, químicas e físicas) (ORDONEZ, 2005).

3.2.2 *Tipos de Indústrias de Alimentos*

De todas as indústrias, a de alimentos é a mais importante, pela multiplicidade de seus produtos e pela ligação direta desses com o indivíduo e a coletividade. Grande parte dos produtos da indústria de alimentos tem caráter universal, pela utilização de matérias-primas facilmente encontradas; outras com características regionais, por ser o material de fabricação, originário de certas áreas. Nossa indústria de alimentos se distribui em vários setores de atividades, a maioria delas dirigidas por técnicas nacionais e empregando maquinaria e “*know-how*” brasileiros (EVANGELISTA,

2005).

A Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (ABIA, 2005) concentra a produção de alimentos industrializados nos seguintes setores, como: bebidas, carnes, condimentos, etc. O Quadro 1 mostra os tipos de empresa, produtos produzidos e as características de cada indústria.

Quadro 1 – Classificação das categorias na indústria de alimentos

Tipo de indústria	Produtos	Características
Açúcar	Matéria-prima base para produção de outros produtos, com aplicações diversas.	Grandes produtoras da matéria-prima como insumo de outras indústrias, com cadeia produtiva curta, beneficiamento e armazenamento.
Bebidas	-Alcoólicas; -Refrigerantes; -Sucos: concentrados e pós para sucos; -Vinagres	Grandes empresas são as principais produtoras com uma cadeia longa de produção: beneficiamento, elaboração, conservação até o armazenamento.
Café	-Pó; -Solúvel.	Grandes e pequenas indústrias são os produtores, com cadeia curta de produção.
Chá		Empresas de grande e médio porte são as principais produtoras com cadeia curta de produção: beneficiamento e armazenamento.
Carnes, embutidos	-Frango; -Gado; -Suínos.	Grandes indústrias, com uma cadeia longa e complexa de produção: com a elaboração, conservação e armazenamento.
Cereais	Grãos	Multinacionais dominam o mercado e possuem uma cadeia de produção curta com beneficiamento e armazenamento.
Chocolates	-Cacau; -Balas	Grandes grupos são os principais produtores, com uma longa cadeia de produção desde o beneficiamento, elaboração, conservação e armazenamento.
Condimentos	-Realçadores de sabor; -Aromatizantes; -Emulsionantes.	São produtoras de insumos para outras indústrias para composição de novos produtos. Grandes empresas são as principais produtoras com cadeia complexa de produção.
Desidratados e liofilizados	-Laticínios; -Frutas.	Empresas de médio e grande porte são produtoras desses produtos, processo com alto custo de produção, com cadeia longa.

Dietético	-Produtos produzidos com algum tipo de restrição	Empresas de médio e grande porte, com processo que envolve restrições na produção, com elevado custo.
Frutas e legumes	-In natura; -Congelados;	Cadeia simplificada e com processo bastante simples, sem destaque para grandes empresas produtoras.
Laticínios e Derivados	-In natura; -Industrializados.	Grandes empresas respondem pela produção, produto com vida curta de prateleira e com cadeia complexa de produção.
Massas, biscoitos		Grandes empresas são detentoras da maior parte da produção. Cadeia complexa de produção desde beneficiamento, elaboração, conservação e armazenamento.
Óleos	-Gorduras; -Azeites; -Margarinas; -Maioneses	Multinacionais são detentoras da maior participação no mercado. Cadeia complexa de produção e processos específicos.
Pescados e derivados	-Enlatados; -In natura; -Embutidos.	Grandes empresas compõem o mercado dos produtos de pescado processados. Cadeia complexa altamente dependente de conservação e armazenamento.
Sopas e caldos		Empresas que produzem outros produtos englobam em seu portfólio: sopas e caldos; líderes de mercado são as multinacionais, com cadeia complexa de produção.
Sorvetes		Empresas multinacionais são as detentoras do mercado seguidas por médias e pequenas, com cadeia curta de produção, mas altamente dependente da cadeia de frio (etapa de conservação).
Suporte para cadeia de alimentos	- Embalagens; - Matérias prima; -Diversos	Empresas que fornecem o suporte para produção nas indústrias de alimentos.

Fonte: ABIA, (2015).

3.2.3 Gestão de Energia na Indústria de Alimentos

Durante muito tempo, como a energia representou menos de 10% do custo total de um alimento manufaturado, esse componente raramente foi levado em conta nos critérios de escolha de um processo térmico. Hoje, em um contexto de desenvolvimento sustentável e redução da política de consumo de energia, a otimização do consumo de energia ocupa um lugar crucial em mais e mais indústrias

de alimentos (DAMOUR, *et al.*, 2012).

O consumo de energia em plantas de processamento de alimentos é determinado por vários fatores: incluindo as propriedades termo-físicas das matérias-primas, tecnologia de produção, equipamentos técnicos, grau de automação, volume de produção e estrutura, requisitos do produto, capacidade de utilização e organização do processo de produção (WOJDALSKI, *et al.*, 2015). Dado o alto consumo de energia, as indústrias de processamento de alimentos enfrentam a necessidade de adotar medidas e ações para promover o bom uso da energia (NUNES, *et al.*, 2016).

Em geral, grandes economias de energia podem ser alcançadas na indústria de alimentos com a implementação de sistemas eficientes de gerenciamento e monitoramento do consumo de energia e com uma boa manutenção dos sistemas e tecnologias existentes (NUNES, *et al.*, 2016). A economia de energia também pode ser obtida se os sistemas atuais forem melhorados, por exemplo, usando motores elétricos de alta eficiência, implantando motores de velocidade variável ou desenvolvendo novos alimentos com tecnologias de preservação, com potencial baixo para o impacto ambiental, juntamente com a redução do desperdício de alimentos (NUNES, *et al.*, 2011).

Para Miah, *et al.*, (2015), existem várias maneiras pelas quais as fábricas de alimentos têm procurado reduzir o consumo de energia, que seguem amplamente a hierarquia energética, mas são implementadas por diferentes estratégias (Pepsico, 2012; Kraft, 2011; Cargill, 2012). A diferença na estratégia de implementação é porque diferentes opções para aumentar a eficiência energética têm níveis variados de complexidade, facilidade de implementação e custos financeiros. No entanto, a hierarquia de energia delinea um guia para reduzir o uso de energia e avançar para a energia renovável e, portanto, de baixo carbono. Idealmente, a primeira abordagem deveria ser um redesenho do produto para ser mais eficiente no processo de fabricação através da avaliação do ciclo de vida (ISO 2006) e projeto para sustentabilidade, pois o produto e seu processamento associado determinam o consumo de energia (MIAH, *et al.*, 2015).

Para avaliar a eficiência energética, segundo Wojdalski, *et al.*, (2012), os indicadores de consumo de energia da unidade, bem como os indicadores de eficiência energética, são usados mais comumente. A eficiência é definida como resultado da atividade de produção (industrial) e é expressa como um quociente do resultado obtido com o esforço despendido. A melhoria na eficiência energética pode

envolver uma redução na demanda por transportadores de energia durante sua transformação, transmissão e uso final. Essas mudanças podem ocorrer devido a mudanças na tecnologia que são capazes de fornecer um nível constante ou mais alto de produção. Tais melhorias podem resultar em conservação de energia, reduzindo o consumo de recursos naturais, reduzindo as emissões e limitando a quantidade de resíduos gerados em cada estágio de produção e processamento de carne (RAMIREZ, *et al.*, 2006).

As fontes disponíveis na literatura mostram que o consumo de energia de produção é expresso usando diferentes unidades, e as razões para a variação no consumo de energia em plantas de processamento de carne de vários tamanhos não foram totalmente explicadas (RAMIREZ, *et al.*, 2006).

Para medição do uso de energia, um dos indicadores mais adotados é o SEC (*Specific Energy Consumption*), um indicador de energia comumente relatado na literatura para avaliar a eficiência energética de instalações industriais ou setores econômicos. Este indicador foi recentemente utilizado na análise de energia nas indústrias de transformação de carne, nas indústrias hortícolas e nas indústrias de queijos, bem como no desenvolvimento de ferramentas computacionais para a produção de energia (NUNES, *et al.*, 2016).

Em Xu, *et al.*, (2009), uma das barreiras mais encontradas e importantes são as informações relevantes para preencher a lacuna do conhecimento existente para melhorar a compreensão do desempenho energético de ponta no setor de produção de em geral. Os resultados podem se tornar a base para o desenvolvimento de ferramentas e estratégias de *benchmarking*, com o objetivo de melhorar a eficiência e, ao mesmo tempo, reduzir os custos de operação nesse importante setor industrial.

3.2.4 Síntese e Considerações

O item 3.2 demonstrou a gama de tipos de indústrias de alimentos existentes, revelando a grande heterogeneidade e a complexidade que é exigida nos esforços em desenvolver um modelo para energia que consiga contemplar todas estas especificidades nos processos de produção. A norma ISO 50001 auxilia no processo de adequação de um modelo de gestão de energia, mas levando em consideração este segmento com centenas de produtos e tipos de processos, capacidades avaliativas podem ser fragilizadas. O item seguinte descreve os modelos de maturidade para

gestão de energia que atuam como apoio no desenvolvimento de um modelo específico para indústria de alimentos, como é o caso desta pesquisa.

3.3 MODELOS DE MATURIDADE

De acordo com de Bruin, *et al.*, (2005), as organizações continuamente enfrentam pressões para obter e reter vantagem competitiva, identificar maneiras de cortar custos, melhorar a qualidade, reduzir o tempo de comercialização. Portanto, modelos de maturidade foram desenvolvidos para ajudar as organizações nesse empreendimento. Esses modelos são usados como uma base avaliativa e comparativa para melhoria (FISHER, 2004) e aumento da capacidade de uma área específica dentro de uma organização (HACKOS, 1997). Modelos de maturidade foram projetados para avaliar a competência, capacidade e nível de sofisticação de um domínio selecionado com base em um conjunto mais ou menos abrangente de critérios (DE BRUIN, *et al.*, 2005).

3.3.1 Modelos de Maturidade de Múltiplas Áreas

Com base na suposição de padrões previsíveis de evolução e mudança organizacional, os modelos de maturidade tipicamente representam teorias sobre como as capacidades de uma organização evoluem passo a passo, ao longo de um caminho antecipado, desejado ou lógico (GOTTSCHALK, 2009). Conseqüentemente, eles também são denominados modelos de estágios de crescimento, modelos de palco ou teorias de estágio (PRANANTO, *et al.*, 2003). Os primeiros exemplos de modelos de maturidade referem-se a uma hierarquia de necessidades humanas, crescimento econômico e a progressão da TI nas organizações.

Para Wendler (2012), os modelos de maturidade servem para descrever o desenvolvimento de uma entidade ao longo do tempo. Para o autor, embora essas definições forneçam uma compreensão básica da lógica sobre o funcionamento dos modelos de maturidade, eles não esclarecem o significado da maturidade nem os elementos de tal modelo. Além disso, variam em termos de aplicação (processos x organizações x humanos) e propósito (melhoria x descrição). Com esta lacuna identificada será necessário analisar os modelos a partir de três perspectivas: (i) uma compreensão de termos básicos como "maturidade" e "capacidade"; (ii) propósito, aplicação e benefícios e (iii) estrutura e componentes (WEDLER, 2012).

O campo de pesquisa sobre modelos de maturidade foi ampliado em 2002, de forma consistente a partir do modelo *Capability Maturity Model Integration* (CMMI). Os modelos começaram a se diferenciar em sua estrutura; no entanto, devem conter dois componentes comuns. Primeiro: definir o conjunto de níveis ou estágios, descrevendo o objetivo da análise examinada de forma simplificada. Segundo: refere-se aos objetos medidos e as suas capacidades avaliadas. Para auxiliar no objetivo da escolha do modelo de maturidade, Wendler (2012) conduziu uma revisão sistemática em sua pesquisa definindo um framework para pesquisar especificamente modelos de maturidade, conforme Figura 13.

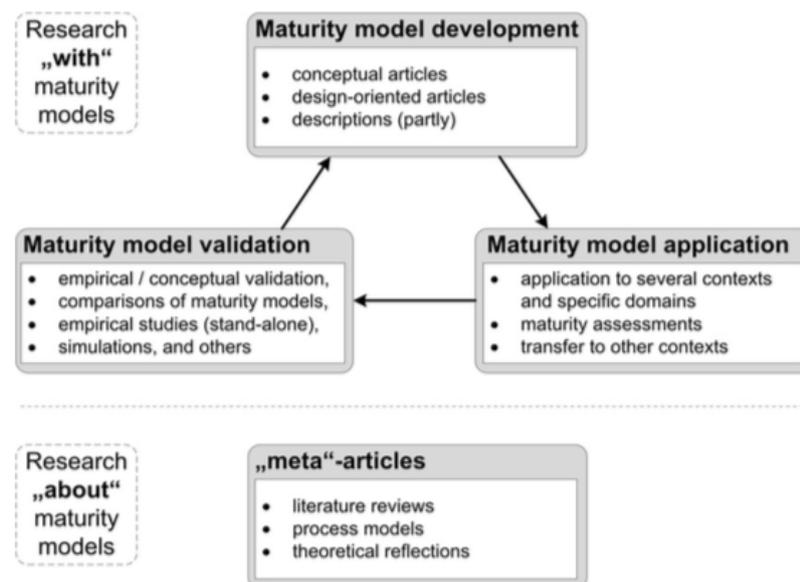


Figura 13 – Tipos de artigos que abordam modelos de maturidade
Fonte: Wendler, 2012.

De acordo com Roglinger, *et al.*, (2012), o objetivo básico dos modelos é delinear os estágios de evolução. Isso inclui as características de cada estágio e a relação lógica entre eles. Quanto à aplicação prática, propósitos típicos de uso são descritivos, prescritivos e comparativos (DE BRUIN, *et al.*, 2005). Um modelo de maturidade *descritivo* avalia as organizações no estado em que se encontram. O propósito é *prescritivo* se identificar os níveis de maturidade desejáveis no futuro e fornecer orientações sobre como implementar de acordo com as medidas de melhoria. Um modelo é *comparativo* quando for possível comparar o *benchmarking* interno ou externo (DE BRUIN, *et al.*, 2005).

Poppelbuß e Roglinger (2011) relatam uma estrutura de princípios gerais de design, ou seja, princípios de forma e função para modelos de maturidade. A estrutura

pretende servir como uma "lista de verificação" pragmática fundamentada, para pesquisadores e profissionais envolvidos no projeto, tanto para o aprimoramento ou aplicação de modelos de maturidade. Amplia os *insights* sobre qualidades e componentes, concentrando-se na aplicabilidade e utilidade dos modelos de maturidade. A estrutura proposta por Poppelbuß e Roglinger (2011) define os princípios gerais de projeto para modelos de maturidade e compreende três grupos de princípios de projeto, conforme Figura 14.

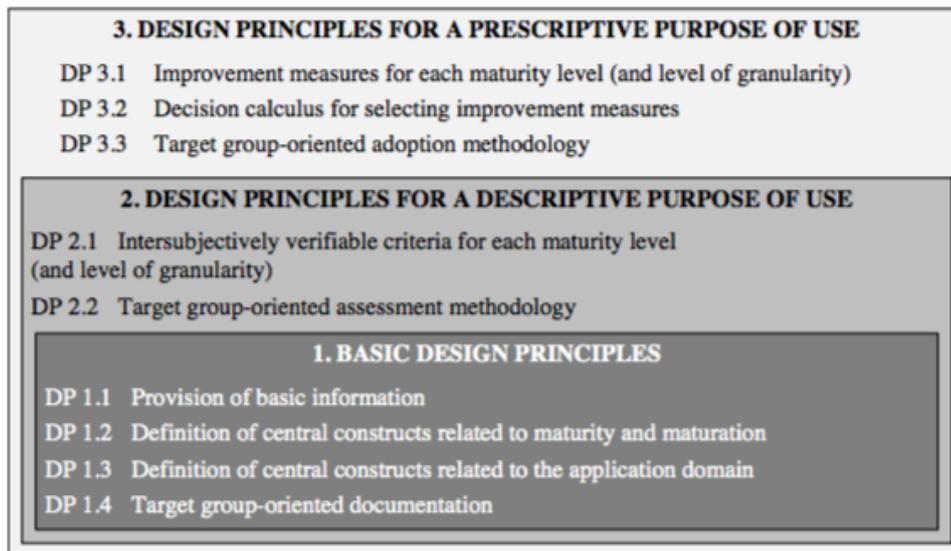


Figura 14 – Design e princípios sobre os modelos de maturidade, baseados em Poppelbuß e Roglinger, 2011
Fonte: Poppelbuß e Roglinger, 2011.

Os princípios básicos de design estão definidos pelos princípios DP 1.1 ao DP1.4; o design para os princípios descritivos de uso estão definidos na etapa DP 2.1 ao DP 2.2 e os princípios de design para fins prescritivos da proposta estão nas etapas DP 3.1 ao DP 3.3.

Lin, *et al.*, (2009) relataram um modelo de maturidade baseado em três componentes: o CMMI, o Six Sigma e IDS. O CMMI foi adotado como orientação de promoção do nível de maturidade. Por meio do CMMI, uma organização faz um caminho de melhoria evolutiva de processos imaturos para processos maduros e disciplinados, com qualidade e eficácia aprimoradas. A metodologia Six Sigma é usada como uma ferramenta de melhoria de processos. Empregando uma série de técnicas estatísticas ou analíticas, o Six Sigma pode ter sucesso na otimização do desempenho de um único processo. O IDS é mapeado para processar a biblioteca de ativos, que inclui atributos, procedimentos e métodos para cada processo, voltado para

a indústria automobilística. Este modelo foi desenvolvido em cinco níveis de maturidade com as áreas chaves em cada etapa definidas para avaliação, conforme mostra a Figura 15.

Level	Focus	Key process area (KPA)
5. Optimizing	Continuous process improvement	Organizational innovation Process management Casual analysis and solution
4. Quantitatively managed	Quantitative management	Organizational process performance Quantitative project management Requirement development
3. Defined	Process standardization	Technical integration Risk management Verification Validation Organization process focus Organization process definition Organization training Integrated project management Integrated teaming
2. Managed	Basic project management	Decision analysis and solution Organizational environment Requirement management Project planning Project monitoring and control Measurement and analysis Process and product quality assurance Configuration management
1. Initial		

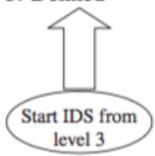


Figura 15 – Níveis de maturidade do modelos IDS

Fonte: Lie, *et al.*, 2009.

Os autores Kaner e Karni (2004) propõem um modelo de maturidade para a tomada de decisão baseada no conhecimento. Esse modelo, criado por meio de um levantamento bibliográfico sobre os requisitos para a tomada de decisão, se baseia em: competências, tipos de processos necessários, como operá-los e integrá-los em cada um dos cinco níveis de maturidade, quais as métricas necessárias, como medir, como representá-las e como gerenciar os resultados.

Para Kaner e Karni (2004), um modelo de maturidade de capacidade, o *Decision Making Capability Maturity Model* (DM-CMM), considera os níveis e estágios pelos quais uma organização evolui conforme: definir, implementar, medir, controlar e aprimorar seus processos de tomada de decisão. Segundo os autores os níveis marcam um caminho de melhoria evolutiva na tomada de decisão, dependente de fontes de conhecimento tácitas. As etapas servem como um guia, para selecionar as estratégias de melhoria no conhecimento. Levando a um nível desejado de competência ou maturidade, migrando de registros não organizados para modelos formalizados e base de conhecimento organizacional que foram avaliadas pela equipe de tomada de decisão ou pela organização. Assim o modelo proposto DM-CMM

facilita a determinação dos principais elementos das capacidades atuais e potenciais de tomada de decisão e a identificação dos problemas de gerenciamento do conhecimento mais críticos para a melhoria e a qualidade da decisão. Permite, desta forma, que a organização escolha conscientemente um certo nível alvo de maturidade e depois trabalhe em direção a esse nível (KANER e KARNI, 2004). A Figura 16 ilustra os cinco níveis de maturidade e os estágios equivalentes em cada um deles.

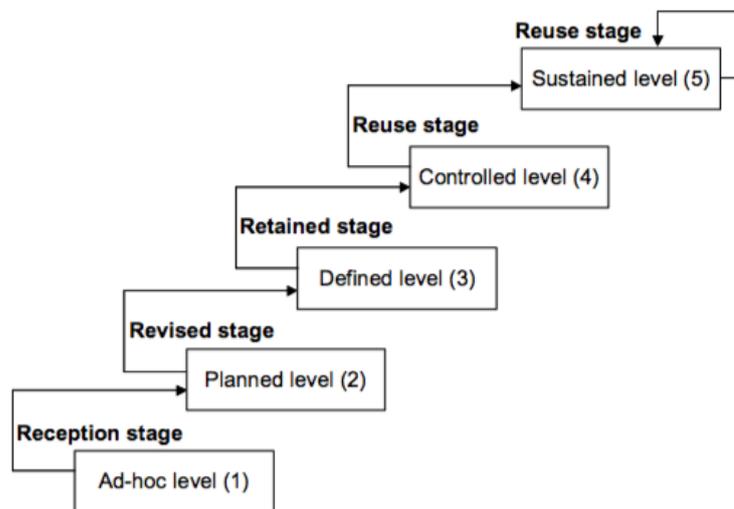


Figura 16 – Modelo de maturidade proposto para tomada de decisão baseada no conhecimento, em cinco níveis e estágios
Fonte: Kaner e Karni, 2004.

Um modelo de maturidade pode ser descritivo, prescritivo e comparativo. Conforme De Bruin, *et al.*, (2005), essa estrutura deve guiar o desenvolvimento com uma primeira fase descritiva e depois permitir a evolução através da fase prescritiva e comparativa dentro de um domínio. O modelo está composto por seis fases, conforme a Figura 17.

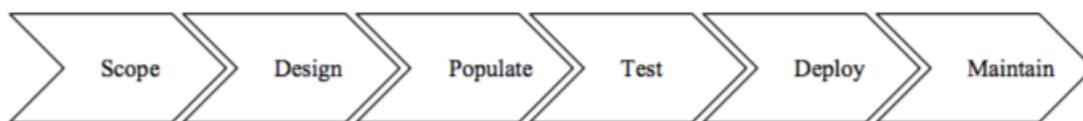


Figura 17 – Fases do desenvolvimento de um modelo de maturidade, com base em De Bruin, (2005)
Fonte: De Bruin, *et al.*, (2005).

A fase *Scope* é a primeira fase no desenvolvimento de um modelo de maturidade, e serve para determinar o escopo do modelo desejado. A fase do *Design*, determina um projeto para o modelo que forma a base para o desenvolvimento e aplicações posteriores. Nesta etapa também o número de estágios deve ser definido,

podendo variar de modelo para modelo. O importante são os estágios finais serem distintos e bem definidos e que haja uma progressão lógica por etapas. Na fase *Populate*, é necessário identificar o que e como medir. A identificação de componentes de domínio é fundamental, permitindo uma compreensão mais ampla da maturidade, sem a qual a identificação de estratégias específicas de melhoria é difícil. Na fase *Test*, o modelo será testado quanto à relevância e rigor. Esses devem ser testados para a construção do modelo, para os instrumentos de validade, a confiabilidade e a generalização. Na fase *Deploy*, após a *Populate* e *Tests*, o modelo deve ser disponibilizado para uso e para verificar a extensão da generalização. Na fase *Maintain*, a evolução do modelo ocorrerá à medida que o conhecimento do domínio e a compreensão do modelo se ampliarem e se aprofundarem. Um modelo que fornece ações prescritivas para melhorar a maturidade deve ter os recursos disponíveis para rastrear as intervenções de forma longitudinal.

3.3.1.1 Requisitos de um modelo de maturidade de múltiplas áreas

Os modelos de maturidade podem ser entendidos como artefatos que servem para resolver os problemas, determinar as capacidades e derivar medidas para melhoria das mesmas. Portanto, pode-se supor que o desenvolvimento de modelos de maturidade se enquadra na área de aplicação para as diretrizes (BECKER, *et al.*, 2009).

Becker, *et al.*, (2009) propõem um modelo de maturidade para gerenciamento da tecnologia da informação (TI) com os requisitos necessários na construção de um modelo, de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 – Requisitos para elaboração de um modelo de maturidade

#	Requisito	Descrição
R1	Comparação com a maturidade existente	A descrição do processo da ciência do design requer um procedimento iterativo para o desenvolvimento de uma solução do problema.
R2	Processo iterativo	Os modelos de maturidade devem ser desenvolvidos iterativamente (passo a passo).
R3	Avaliação	Todos os princípios para o desenvolvimento de um modelo de maturidade, bem como a utilidade, qualidade e eficácia do artefato, devem ser avaliados de forma iterativa (para o problema de delimitar a avaliação e critérios).
R4	Procedimento metodológico multi	O desenvolvimento de modelos de maturidade emprega uma variedade de métodos de pesquisa, cujo uso precisa ser bem fundamentado e finamente sintonizado. As dificuldades de operacionalizar o rigor da pesquisa podem ser superados através da ontologia.
R5	Identificação da relevância	A relevância da solução do problema, proposta pelo modelo

	do problema	de maturidade projetado para pesquisadores e/ou profissionais, deve ser demonstrada.
R6	Definição do problema	O domínio de aplicação prospectivo do modelo de maturidade, bem como as condições para sua aplicação e os benefícios pretendidos, devem ser determinados antes do projeto.
R7	Apresentação objetiva dos resultados	A apresentação do modelo de maturidade deve ser direcionada quanto às condições de sua aplicação e às necessidades de seus usuários.

Fonte: Adaptado de Becker, *et al.*, (2009).

Os requisitos listados no quadro acima estão dispostos no modelo de procedimento da Figura 18, que relata as oito fases de desenvolvimento de um modelo de maturidade. Os elementos deste modelo foram informados pelos requisitos identificados no quadro anterior.

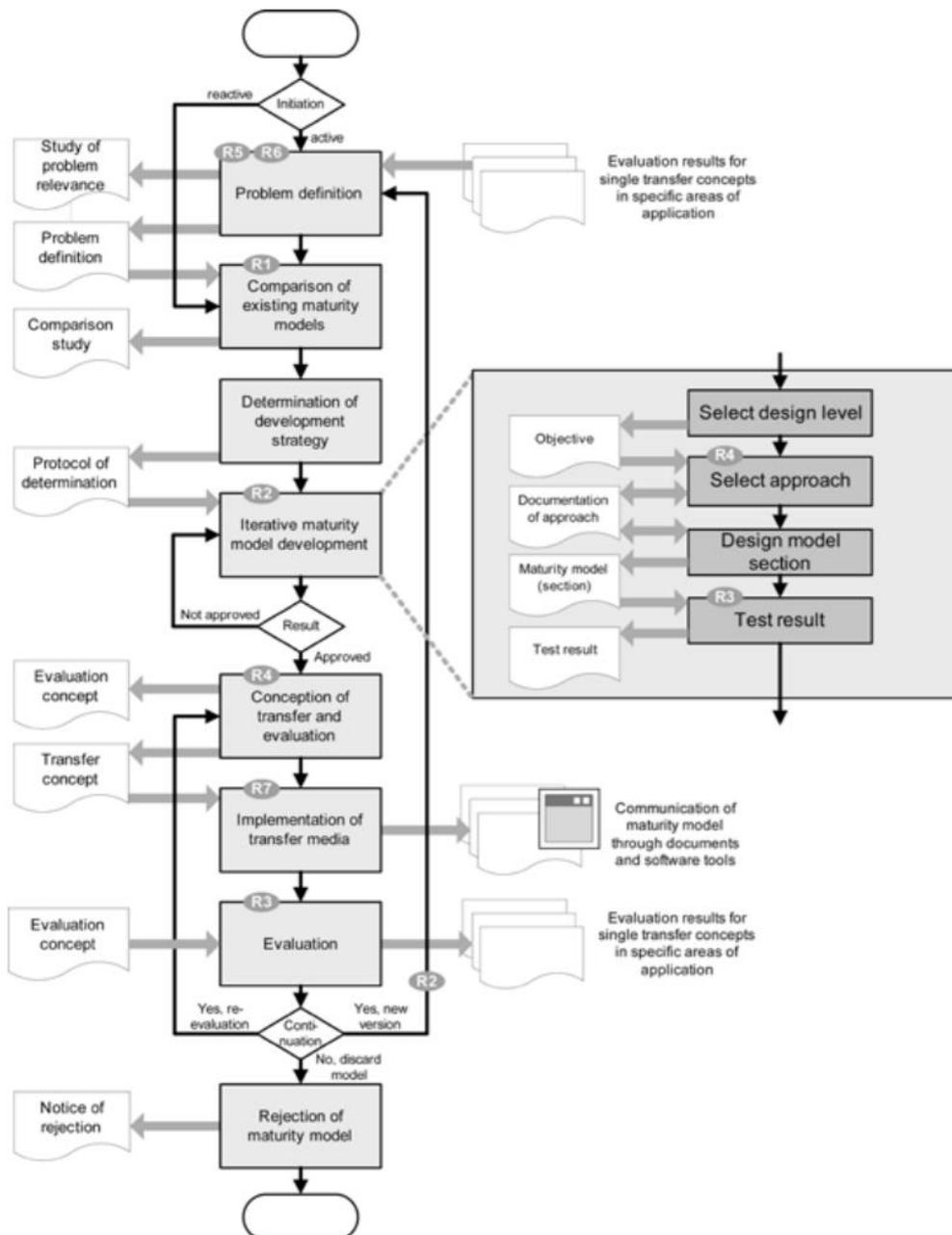


Figura 18 – Fluxograma para o desenvolvimento de um modelo de maturidade, com base em Becker, *et al.*, (2009)
 Fonte: Becker, *et al.*, (2009).

3.3.2 Modelos de Maturidade em Gestão de Energia

De acordo com Neuhauser (2004), o modelo de maturidade permite a avaliação do nível de maturidade da organização com relação a um conjunto pré-definido de parâmetros, permitindo uma linha de base, *benchmarking* e melhoria contínua. A adoção de um modelo de maturidade de gerenciamento de energia fornece um caminho de progressão do nível mais baixo para o mais alto de maturidade (DEMIR e KOCABAS, 2010). O'Sullivan (2011) destaca as vantagens da

implementação de um modelo de maturidade em gestão de energia como estratégia para maximizar o impacto das medidas de eficiência energética.

A maioria dos modelos de maturidade de gerenciamento de energia se concentra em áreas-chaves semelhantes para avaliar uma organização. *Carbon Trust Energy Matrix* (Carbon Trust, 2015) são avaliações rápidas de alto nível que não fornecem uma orientação real de acordo com o caminho da melhoria. Em contrapartida, os modelos *Carbon Trust Energy Management Assessment* (Carbon Trust, 2015) e o O'Sullivan (2011) são abrangentes e alinhados com a ISO 50001, resultando em um conjunto mais detalhado de recomendações, exigindo mais tempo e recursos para executar. Na literatura científica, todos os modelos analisados veem a necessidade de fornecer um caminho de melhoria contínua seguindo a abordagem PDCA e ISO 50001.

Os modelos de maturidade em gestão de energia podem ser diferenciados de acordo com vários critérios (Introna, *et al.*, 2014):

- Em relação à estrutura do modelo: contínua ou em estágios;
- Metodologia de análise: forma como a maturidade é determinada;
- Referência: em relação a padrões internacionais (ISO 5001);
- Modo de avaliação: procedimentos técnicos para condução da avaliação operacional (incluindo auto avaliação);
- Resultados da avaliação: os elementos-chave para entender as forças e fraquezas da organização;
- Guia para melhoria: conter instruções específicas para o aprimoramento da organização.

Finnerty, *et al.*, (2017) propõem um modelo de maturidade de gerenciamento de energia (EM3) voltado para uma organização industrial de vários locais. A abordagem visa caracterizar e avaliar o desempenho de cada local. Através de um survey as principais áreas foram identificadas, com fatores-chave para as perguntas específicas a serem feitas na pesquisa. O método adota o ciclo PDCA e o levantamento dos pontos fracos e fortes dos locais, através da matriz SWOT (forças, fraquezas, ameaças e oportunidades), a Figura 19 demonstra os cinco níveis avaliados no modelo de maturidade.

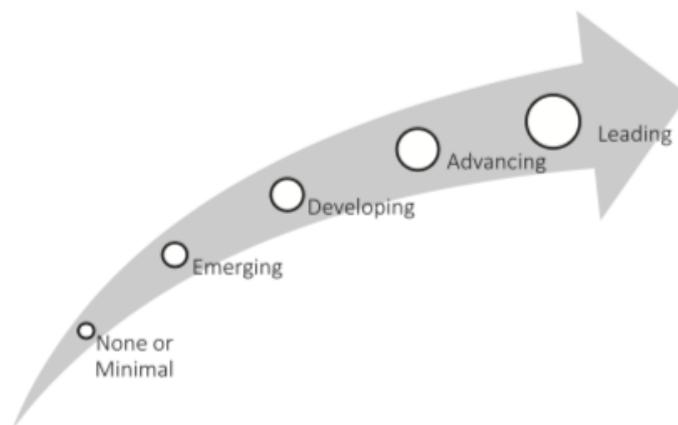


Figura 19 – Níveis de maturidade, com base em Finnerty, *et al.*, (2017)
 Fonte: Finnerty, *et al.*, (2017).

A Figura 20 descreve os níveis de maturidade e a pontuação relativa a cada uma das etapas desenvolvidas no modelo de maturidade de Finnerty, *et al.*, (2017).

Score	Definition
1	This is the first step in the energy journey and in general it corresponds with the situation where there is no energy policy within the organisation.
2	Organisations at this level would have started the energy journey by defining an energy policy and are aware of energy performance.
3	Here the organisation is half way through the energy journey, it would have enacted an energy policy and started taking measures towards improving energy efficiency.
4	At this level, the organisation consistently takes measures for improving energy efficiency, not only within the same organisation, but also reaching local/national authorities and communities.
5	This is the final step in the energy journey as currently conceived and corresponds with an organisation that becomes a beacon for energy efficiency good practices.

Figura 20 – Definição dos níveis de maturidade de Finnerty, *et al.*, (2017)
 Fonte: Finnerty, *et al.*, (2017).

Antunes, *et al.*, (2014) propõem um modelo de maturidade para gestão de energia, destinado a todos os tipos de organizações em cinco níveis. As características gerais de um modelo de maturidade para energia proporcionam: (i) estruturar e melhorar a compreensão das práticas de gestão de energia, (ii) fornecer um roteiro para a melhoria contínua, (iii) fornecer uma compreensão dos passos necessários para uma gestão de energia bem sucedida. (iv) permitir o benchmarking das práticas energéticas atuais contra outras organizações e (v) orientar os esforços de investimento.

O modelo proposto por Antunes, *et al.*, (2014) está na Figura 21, com abordagem no ciclo PDCA apresentando cinco níveis de maturidade de forma evolutiva, conforme representado no lado esquerdo da figura, e uma visão da composição dos cinco níveis no lado direito da figura.

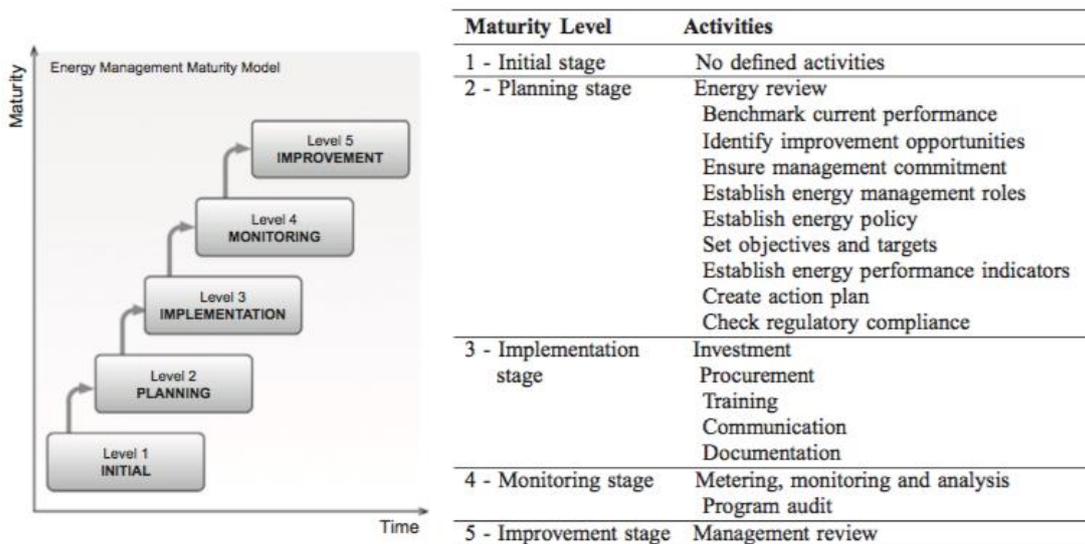


Figura 21 – Modelo de maturidade proposto por Antunes, *et al.*, (2014)
 Fonte: Antunes, *et al.*, (2014).

Outro modelo de Introna, *et al.*, (2014) descreve um modelo de maturidade desenvolvido em etapas de melhoria contínua. O método fornece um questionário e a metodologia que o processo necessita para ser implementado. De acordo com a Figura 22, o modelo de maturidade ocorre em cinco níveis e as dimensões referentes a cada um dos níveis.

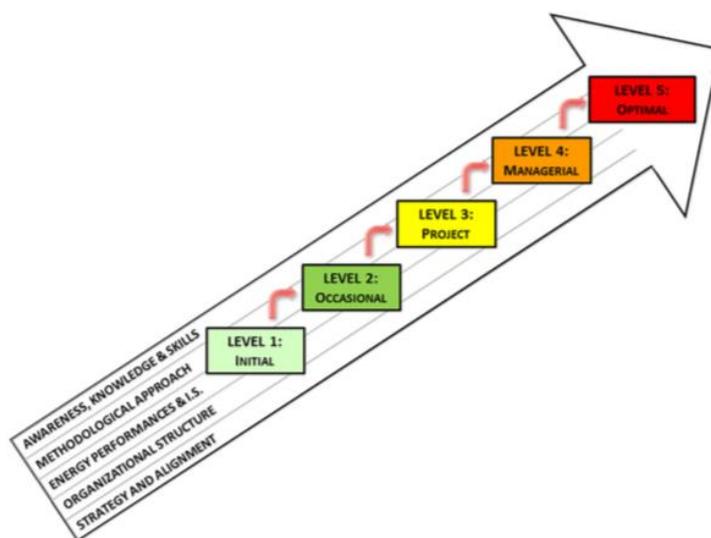


Figura 22 – Níveis de maturidade e dimensões de Introna, *et al.*, (2014)
 Fonte: Introna, *et al.*, (2014).

O modelo proposto por Jovanovic, *et al.*, (2016) está apoiado na ISO 50001, um modelo para atividades relacionadas à energia. A ISO 50001 fornece uma base para melhorar o gerenciamento de energia em indústrias que possuem processos

definidos e estruturados. A norma ISO 50001 destina-se à certificação, o certificado é dado a cada organização que preenche os requisitos, independentemente da medida em que são atendidos. Portanto, as organizações certificadas pela ISO 50001 diferem em maturidade em relação as demais.

O modelo de maturidade para gestão de energia apresentado por Jovanovic, *et al.*, (2011) relaciona-se com a ISO 50001, como a base do conhecimento, vinculado ao modelo CMMI como suporte e as fases do PDCA. Ele é composto pelos cinco níveis: 1-Inicial; 2-Gerenciado; 3-Definido; 4-Gerenciado Quantitativamente e 5-Otimizado, a Figura 23 apresenta o modelo.

PLAN	DO	CHECK	ACT
EnMS establishment	Energy plans implementation	Monitoring, measurement and analysis of energy indicators	Energy management review
Demonstration top management commitment for energy management	Involving employees in energy management	Energy legal and other requirements evaluation	
Energy manager appointment	Internal and external communication	Internal audit of energy management system	
Energy policy defining	Energy documentation and records management	Energy related corrective and preventive actions implementation	
Energy planning	Control of operation affecting energy performance		
Energy legal and other requirements identification	Energy efficient design and renovation of facilities, equipment, systems and processes		
Energy review	Energy efficient procurement		
Energy baseline establishment			
Defining energy performance indicators			
Defining energy objectives and targets and action plans			

Figura 23 – Modelo de processo baseado nas fases do ciclo PDCA, com apoio da ISO 50001, de Jovanovic, *et al.*, (2016)

Fonte: Jovanovic, *et al.*, (2016).

Outro modelo de maturidade de gestão de energia na literatura foi descrito por Ngai, *et al.*, (2013). Os autores utilizam o CMMI como uma estrutura de referência para o desenvolvimento do modelo, estendendo ao contexto da gestão ambiental com um conjunto específico de áreas de processo para a gestão de recursos energéticos e de serviços públicos. Os níveis de maturidade apresentam uma ordem para desenvolvimento até o nível mais alto do processo. A Figura 24 apresenta o modelo composto pela representação em estágios de maturidade e uma estrutura de maturação baseada em processos.

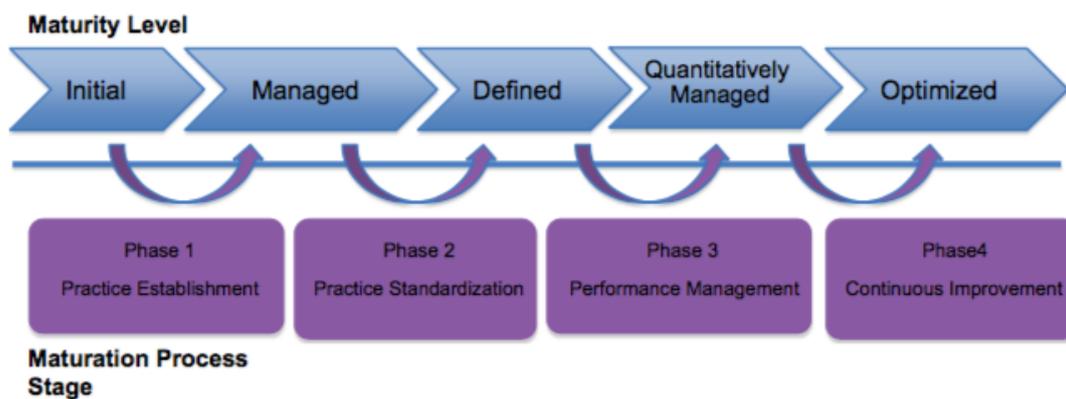


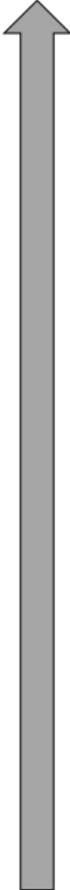
Figura 24 – Modelo de maturidade em cinco níveis e os estágios para tomada de decisão de Nagai, *et al.*, (2013)
 Fonte: Ngai, *et al.*, (2013).

3.3.3 Níveis de Maturidade na Gestão de Energia

Dentro do contexto dos modelos de maturidade apresentados, torna-se importante referenciar os níveis e modelos de maturidade para gestão de energia. Para McCormack, *et al.*, (2008) modelo de maturidade representa uma metodologia com componentes relacionados com a definição, medição, gestão e controle de processos.

O Quadro 3 apresenta os níveis de maturidade com base na literatura de gestão de energia. As características comuns nos modelos de maturidade de gestão de energia são apresentadas em cinco níveis, em ordem crescente, considerando do nível mais básico até o mais complexo.

Quadro 3 – Níveis de maturidade para gestão de energia

 M a t u r i d a d e d o P r o c e s s o	Melhoria 5	O Sistema de Gerenciamento de Energia da organização se fortalece e é otimizado por meio de uma abordagem de melhoria contínua. A direção efetivamente impulsiona o desempenho organizacional, alcançando objetivos definidos com o envolvimento de todos os seus membros.
	Monitoramento 4	Neste nível, a organização toma consistentemente medidas para melhorar a eficiência energética, não apenas dentro da mesma organização, mas chegando também às autoridades e comunidades locais / nacionais.
	Implementação 3	Um nível de maturidade que caracteriza as organizações em que ações intencionais estão sendo tomadas para superar as ineficiências detectadas.
	Planejamento 2	As organizações garantem que os requisitos sejam gerenciados e que os processos sejam planejados, executados, medidos e controlados. A organização mostra seu interesse em relação ao consumo de energia, definindo uma política energética corporativa e tentando conscientizar seus membros.
	Inicial 1	No nível de maturidade 1, os processos organizacionais são geralmente ad hoc e caóticos. Nenhum procedimento ou política é definido ou executado. Caracterizado principalmente pela falta de estrutura e práticas uniformes.

Fonte: Adaptado pela autora, baseado em Antunes, *et al.*, 2014 e Finnerty, *et al.*, 2017.

Os cinco níveis de maturidade mostram a progressão de atividades para gestão de energia eficaz na maturidade do processo. Cada nível contém características associadas com a evolução nos processos, tais como: controle, organização de atividades, eficiência energética (ANTUNES, *et al.*, 2014).

Antunes, *et al.*, (2014) identificaram alguns pontos de destaque para o avanço na eficiência energética, visando minimizar algumas dificuldades na evolução dos níveis de maturidade para energia. Esses são:

- (i) A implementação de um Sistema de Gestão de Energia (SGE) como ferramenta essencial para gerenciamento de energia nas organizações. Esse Sistema fornece informações que apoiam as decisões, monitoramento e medição do consumo de energia, alcançado através da evolução nos níveis de maturidade da empresa;
- (ii) A automatização de várias tarefas, tais como coleta de dados, acompanhamento de

indicadores e gerenciamento dos resultados;

(iii) A medição e a verificação. Essas fornecem a capacidade de comparar o uso de energia antes e depois de as etapas terem sido tomadas para tratar da economia potencial de energia. O uso de energia e a análise de custos permitem que as organizações analisem onde e quando a energia é usada, fornecendo-lhes detalhes do uso e os custos de equipamentos e processos, permitindo que as organizações entendam melhor o desempenho energético;

(iv) O *benchmarking* nas organizações. Esse fornece a capacidade de comparar o consumo de energia de seus processos entre si e as melhores práticas do setor. O grupo de funcionalidade final, modelagem e previsão permite que as organizações criem modelos de consumo de energia de acordo com diferentes fatores, permitindo-lhes prever como o consumo de energia evoluirá.

3.3.4 Síntese e Considerações

O item 3.3 apresentou os modelos de maturidade em diferentes áreas e modelos na área de gestão de energia, além de referências como Poppelbuß e Roglinger, (2011) e Becker, *et al.*, (2009), que definem as fases para a construção de um modelo de maturidade. Estas referências destacadas atuam como base referencial para o desenvolvimento da proposição da pesquisa. Os modelos de maturidade relatados nesta revisão são adotados para entendimento dos critérios que compõem os modelos existentes - baseados em PDCA e na ISO 50001, voltados a etapas evolutivas de implantação.

Os modelos de maturidade são ferramentas de planejamento, execução, controle e ação. Esses podem ser compreendidos como uma técnica que tem sido adotada para avaliar e medir diferentes aspectos de processos ou organizações. Além disso, os modelos também proporcionam um caminho para que uma empresa seja mais organizada., pois fornecem uma maneira de controle de seus processos e benchmarking, acompanhamento e avaliação do progresso alinhado com os objetivos e, por fim, compreensão das forças, fraquezas e oportunidades existentes.

O método proposto pela pesquisa avalia a capacidade ou potencial da entidade industrial para gestão de energia sob uma perspectiva global, sem posicionamento em etapas, mas sim sobre o posicionamento evolutivo de um atributo que qualifica esta capacidade ou maturidade de GE. Este posicionamento difere dos demais modelos

existentes na literatura, pois fornece um caminho de melhoria através também de um diagnóstico da empresa, avaliando os pontos onde os esforços devem ser concentrados. Ele fornece também suporte para decisão, com plano de diretrizes e plano de priorização.

3.4 MÉTODOS MULTICRITÉRIO

Este capítulo dedica-se à apresentação das definições, estrutura e modelos relacionados às ferramentas utilizadas na avaliação multicritério (MMAD) no auxílio à tomada de decisão quanto à importância de um critério (atributos) dentro de seu contexto (domínio) existencial. O escopo e foco de desenvolvimento deste capítulo norteiam as dimensões de avaliação do modelo de maturidade para gestão de energia na indústria de alimentos.

O objetivo remete, portanto, a um cenário de avaliação cuja complexidade é desenvolver um modelo de maturidade para gestão de energia para a indústria de alimentos. Neste cenário, entende-se como decisão o processo de enquadramento dos atributos envolvidos em níveis de competência que definem (ou decidem), no conjunto de observação da entidade (empresa) à luz do modelo de maturidade, seu nível potencial ou de maturidade à gestão de energia.

3.4.1 Adoção dos Métodos Multicritério

O MMAD é utilizado desde os anos 60 para auxiliar a tomada de decisão nos mais diferentes setores, como educação, construção e transporte. As atividades de classificação, seleção e avaliação podem ser muito bem desempenhadas com a utilização desse tipo de método (ALIAS, *et al.*, 2008).

Um modelo de apoio à decisão multicritério consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações na tomada de decisões sob a influência da multiplicidade de critérios em cenários complexos. O processo de decisão em um ambiente complexo normalmente envolve informações imprecisas e/ou incompletas, múltiplos critérios de escolha e vários agentes de decisão (GOMES e MOREIRA, 1998). A aplicação de qualquer método de análise multicritério pressupõe a necessidade de especificação preliminar dos objetivos pretendidos pelo decisor quando compara alternativas (BANA E COSTA, 1992 e GOMES, *et al.*, 2005).

Para Vilas Boas (2006), as abordagens multicritérios são formas de modelar os

processos de decisão que englobam: uma decisão a ser tomada, os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados, os possíveis cursos de ação e os próprios resultados. Estes modelos refletem, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos decisores, a Figura 25 representa o processo de tomada de decisão.

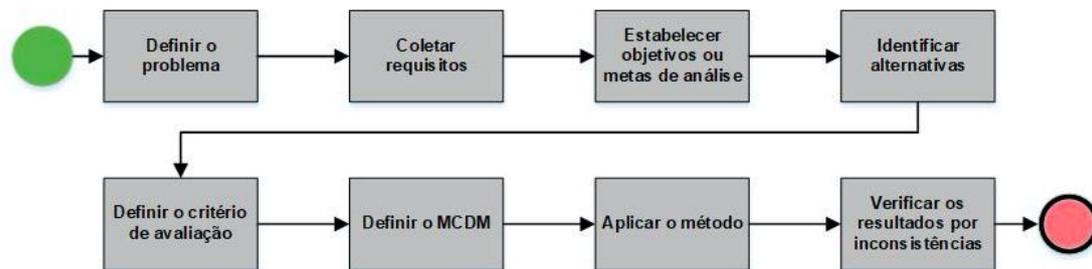


Figura 25 – Processo para tomada de decisão

Fonte: Adaptado de Cestari, *et al.*, (2015).

Para realizar uma decisão multicritério é necessário observar, conforme descrito por Soares (2003), as seguintes etapas:

- (i) *Formulação do problema*: corresponde à definição do que se quer decidir.
- (ii) *Determinação das ações ou alternativas potenciais*: os atores envolvidos na tomada de decisão devem constituir um conjunto de ações que atendam ao problema colocado.
- (iii) *Definição dos critérios de avaliação*: elaboração de um conjunto de critérios que permitam avaliar os efeitos causados pela ação ao meio ambiente.
- (iv) *Avaliação das alternativas*: geralmente é formalizada pela construção de uma matriz de avaliações ou tabela de desempenhos, na qual as linhas correspondem às ações ou alternativas a avaliar e as colunas representam os respectivos critérios de avaliação previamente estabelecidos.
- (v) *Determinação de pesos dos critérios e limites de discriminação*: os pesos traduzem numericamente a importância relativa de cada critério; a ponderação de critérios pode ser realizada com o uso de várias técnicas, como hierarquização de critérios, notação, distribuição de pesos, taxa de substituição, regressão múltipla, dentre outros.
- (vi) *Agregação dos critérios*: após o preenchimento da matriz de avaliação, os critérios são agregados, segundo um modelo matemático definido, através do software a ser utilizado. Associando as avaliações dos diferentes critérios para cada ação ou alternativas, as ações serão em seguida comparadas entre si por meio de um

juízo relativo de seus valores.

A Figura 26 apresenta as etapas do processo de análise multicritério de apoio à decisão. Nela são descritas todas as atividades desenvolvidas pelo facilitador e pelos decisores.

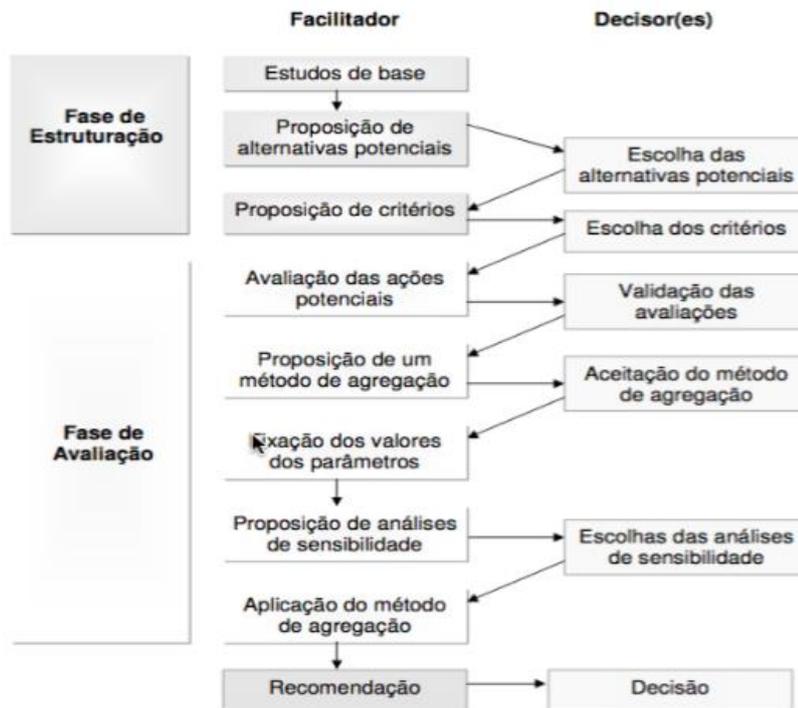


Figura 26 – Processo da análise multicritério

Fonte: Vilas Boas, (2006).

Existem diversos métodos na literatura para execução do processo avaliativo. Em aderência ao espaço problema, que caracteriza a avaliação da gestão energética na indústria de alimentos, alguns métodos foram selecionados para suporte aos componentes de avaliação relacional, diagnóstica e decisional requeridos.

A necessidade de organização do conhecimento avaliativo em estrutura hierárquica, sob uma ótica de percepção do atendimento organizacional aos atributos que qualificam a entidade industrial, conduz ao método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Sua capacidade de determinação de vetores de ponderação relativa entre os atributos de avaliação e o posicionamento destes atributos em níveis evolutivos tornam o AHP muito apropriado à formulação de um modelo diagnóstico à luz de modelo de maturidade (EM3FI). Ressalta-se, nesse sentido, o uso de mecanismo relacional no apoio à concepção da estrutura AHP, inspirada no método QFD (*Quality Function Deployment*).

A ponderação diagnóstica obtida dos atributos, que revela as fragilidades da

entidade industrial na gestão de energia, sugere seu consumo em subsequente estrutura decisional para definição de diretrizes e planos de ação de melhoria do nível de maturidade inferido. Esta estrutura deve conter o conjunto de atributos avaliativos, seus pesos (oriundos do diagnóstico) e alternativas, que constituem uma matriz de avaliação sob estrutura PROMETHEE II (*Preference Ranking Organization Method for Evaluation*). Esse método fornece um mecanismo de ordenamento de preferência de alternativas com dominância sobre as demais no atendimento dos critérios, resultando em uma discriminabilidade mais acentuada sobre espaço propositivo ótimo para melhoria da condição diagnóstica da organização avaliada.

Vale considerar uma complexidade específica que reside, preliminarmente, à aplicação do PROMETHEE II, na concepção de sua matriz de avaliação que sugere uma forte adequação entre os critérios e alternativas. A percepção de relações de impacto entre os atributos e alternativas conduz a um design mais robusto de matrizes de avaliação sob diferentes cenários (econômico, organizacional e tecnológico).

3.4.2 Analytic Hierarchy Process (AHP)

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty. Caracterizado como um dos principais métodos do tipo MMAD, basicamente permite estruturar o contexto a ser aplicado em forma de hierarquia através da inserção do objetivo, critérios, subcritérios e alternativas. A comparação é realizada em pares através de uma escala fixa que leva o nome de seu autor (SAATY, 2008).

O AHP é um método desenvolvido para auxiliar a tomada de decisão quando múltiplas variáveis são consideradas e, principalmente, quando alguma consideração subjetiva ou intuitiva tem que ser incorporada. Para tomar uma decisão de maneira organizada, deve ser decomposta em algumas etapas (SAATY, 2008): (i) definir o problema e determinar o tipo de conhecimento buscado; (ii) estruturar a hierarquia de decisão a partir do topo (objetivo da decisão), determinando os objetivos sob uma perspectiva mais ampla do nível intermediário (critérios) para o nível mais baixo que, geralmente, é o conjunto de alternativas; (iii) construir um conjunto de matrizes de comparação par a par; (iv) usar as prioridades obtidas da comparação para pesar as prioridades do nível imediatamente inferior; isto é feito para cada elemento, depois, para cada elemento no nível abaixo adicionam-se seus valores ponderados e calcula-se a prioridade global.

Este método tem por definição uma função que busca agregar os valores de cada alternativa sujeita em cada critério. Isso representa que a importância relativa de cada critério advém do conceito de “taxa de substituição” (*trade-off*). A teoria da utilidade multi atributo possibilita definir uma medida de mérito (valor) global para cada alternativa, indicadora de sua posição relativa numa ordenação final e facilita o estabelecimento de hierarquias (GOMES e MOREIRA, 1998). Seu processo básico de aplicação consiste em priorizar a importância relativa dos elementos de tomada de decisão em relação a um objetivo através de avaliações parciais.

O método AHP utiliza uma escala e metodologia para seu desenvolvimento. A principal função da escala é indicar quantas vezes um atributo é mais importante que o outro (ou mais significativo do ponto de vista da empresa). A escala inicia-se em um, onde os critérios são igualmente importantes, terminando em nove com importância extrema, a Figura 27 representa a escala utilizada para comparações dentro do método AHP.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1 2	Importante igual Fraca ou leve	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada	Experiência e julgamento levemente em prol de uma atividade em relação a outra
4 5	Mais moderada Grande importância	Experiência e julgamento consideravelmente em prol de uma atividade em relação a outra
6 7	Forte importância Muito forte	Uma atividade é muito fortemente valorizada em relação a outra; Posição de dominância na prática
8 9	Extremamente forte Importância extrema	Maior nível de diferença possível entre as atividades
Reciprocidade Abaixo	Se uma atividade i tem um número nulo que lhe é atribuído comparado a uma atividade j, então j tem um valor de reciprocidade	Hipótese de razoabilidade
1,1 - 1,9	Se as atividades são muito similares	Apesar de ser difícil atribuir o melhor valor devido a homogeneidade de grau de importância das atividades, esta escala é necessária para manter a consistência do modelo AHP.

Figura 27 – Escala adotada no AHP

Fonte: Saaty, (1990).

Saaty (2008) utilizou também um intervalo fracionário, preocupando-se com a consistência da comparação. Estes números fracionários devem ser utilizados quando os critérios são muito semelhantes entre si. Portanto, ao invés de escolher o número 1, a pessoa pode optar pela nota 1.6, por exemplo.

Após a definição da escala existem passos a serem seguidos para o método de comparação e implementação do modelo. Os passos são explicados abaixo (SAATY, 2008):

- (i) Definir o objetivo e determinar o tipo de conhecimento envolvido.
- (ii) Estruturar a hierarquia de decisão iniciando pelos níveis mais altos, os quais são os objetivos da decisão; posteriormente segue-se aos níveis intermediários, e por último os níveis mais baixos (os dois últimos níveis são os critérios e solução).
- (iii) Construir um conjunto de matrizes de comparação de pares. Cada atributo do nível mais alto é utilizado para comparar elementos imediatamente ao nível inferior a ele.
- (iv) Comparar cada elemento do mesmo nível relacionado ao critério principal. São necessárias $n * (n-1) / 2$ comparações (matrizes), onde 'n' é o número de elementos considerados.
- (v) Utilizar as prioridades encontradas pelas comparações dos critérios de níveis superiores para medir as prioridades dos níveis imediatamente inferiores (para cada critério). Ao final, atribuir notas aos critérios dos níveis mais baixos e ponderar sua prioridade para obtenção da nota final. Este processo de ponderação deve ser feito com todos os elementos.

A Figura 28 representa os passos um e dois do desenvolvimento da metodologia AHP. A estrutura indicada contém no nível superior a definição do objetivo e nos demais níveis os critérios e subcritérios.

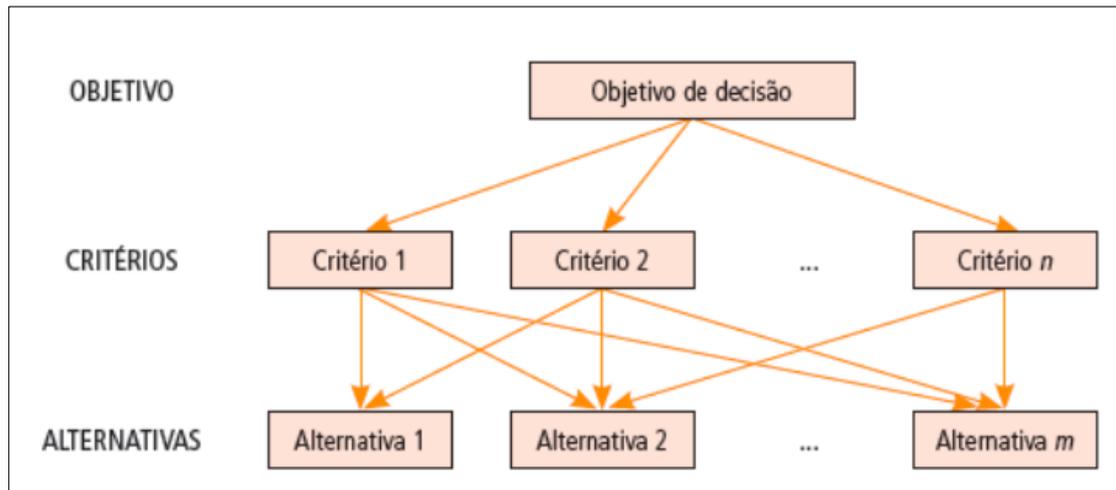


Figura 28 – Estrutura do AHP
Fonte: Saaty, (2008)

Os passos três, quatro e cinco envolvem comparações e julgamentos, os quais são divididos em três categorias (RODRIGUES, 2010 *apud* ANNES, 2011):

- (i) Construção Matrizes Comparativas.
- (ii) Normalização e Cálculos de Pesos.
- (iii) Estimativa de Consistência.

(i) Construção da Matriz Comparativa

Para se construir a matriz de comparação, leva-se em conta a condição de ela ser sempre quadrada. Dessa forma, a representação de $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ é feita no formato de matriz quadrada.

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{2n} \\ A_{n1} & A_{n2} & A_{nn} \end{bmatrix}$$

Na equação 1 percebe-se que o triângulo inferior da matriz é o inverso do triângulo superior.

Equação 1:

$$comp = \frac{n(n-1)}{2},$$

Onde n é o número de colunas ou linhas da matriz

(ii) Normalização e Cálculos de Pesos

Para se realizar a normalização da matriz é necessário fazer a divisão de cada

elemento que a compõe pela soma dos mesmos de cada coluna, de acordo com a equação 2.

Equação 2:

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \text{ onde } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Os cálculos do auto vetor ou da matriz ponderada relativa são usados para fornecer os pesos de cada elemento, na equação 3.

Equação 3:

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{n}, \text{ onde } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Considerando que o auto vetor representa os valores relativos de cada elemento a_{ij} contra todos eles, a soma de todos os auto vetores precisa ser igual a 1, equação 4.

Equação 4:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

O próximo passo, é fazer o cálculo de consistência da informação coletada através de especialistas entrevistados. De acordo com Saaty (1990), para se considerar uma matriz consistente, a razão de consistência (CR) precisa ser menor do que 10%. Para se calcular a taxa de consistência, primeiramente, é necessário calcular o valor da soma dos pesos (W) através da multiplicação da matriz comparativa (A) e seu respectivo auto vetor W_i . equação 5.

Equação 5:

$$W = A * W_i$$

Após a conclusão desta operação, é necessário calcular o auto vetor da matriz obtida λ_{max} . O λ_{max} é a aritmética resultante da divisão entre a soma dos valores relativos (W) e o auto vetor W_i , na equação 6.

Equação 6:

$$\lambda_{max} = \frac{W/W_i}{n}$$

(iii) Estimativa de Consistência, na equação 7.

Equação 7:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

Por fim, o último estágio é o cálculo da razão de consistência (*CR*), baseando-se no padrão criado por Saaty chamado *Random Index (RI)*. A equação 8 apresenta a fórmula.

Equação 8:

$$CR = \frac{CI}{RI} * 100\%$$

N	2	3	4	5	6	7	8	9	...
RI	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	...

Fonte: Random Index, RI (Saaty, 1990).

3.4.3 Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE II)

O PROMETHEE II é um processo de tomada de decisão desenvolvido por Brans, *et al.* (1986). É um método de classificação adaptado a problemas em que um número finito de alternativas deve ser ranqueado de acordo com os critérios. A tabela de avaliação do PROMETHEE II permite que as alternativas sejam avaliadas por diferentes critérios. A modelagem do problema de avaliação no PROMETHEE II requer dois tipos de informações: (i) informações sobre a relevância relativa (pesos) dos critérios considerados e; (ii) informações relacionadas a função de preferência utilizada para otimizar a comparação entre critérios e alternativas (DAGDEVIREN, 2008). Existem seis funções de preferência no PROMETHEE II: *Usual*, *U-Shape*, *V-Shape*, *Level*, *V-Shape with Indifference* e *Gaussian*.

Na função do Tipo 01 (*Usual Criterion*) há preferência estrita pela alternativa com melhor desempenho. Dessa forma, para qualquer diferença positiva na avaliação das duas alternativas (*a e b*), esta função assume o valor 1. Nos casos em que não há diferença (*a = b*), a função assumirá o valor 0.

Na função do Tipo 02 (*U-Shape Criterion*), a preferência estrita pela alternativa *a* ocorre somente quando a diferença na avaliação das alternativas excede o limiar de indiferença *q*. Nos outros casos ocorre a indiferença.

Na função do Tipo 03 (*V-Shape Criterion*), o *p* é o limiar de preferência

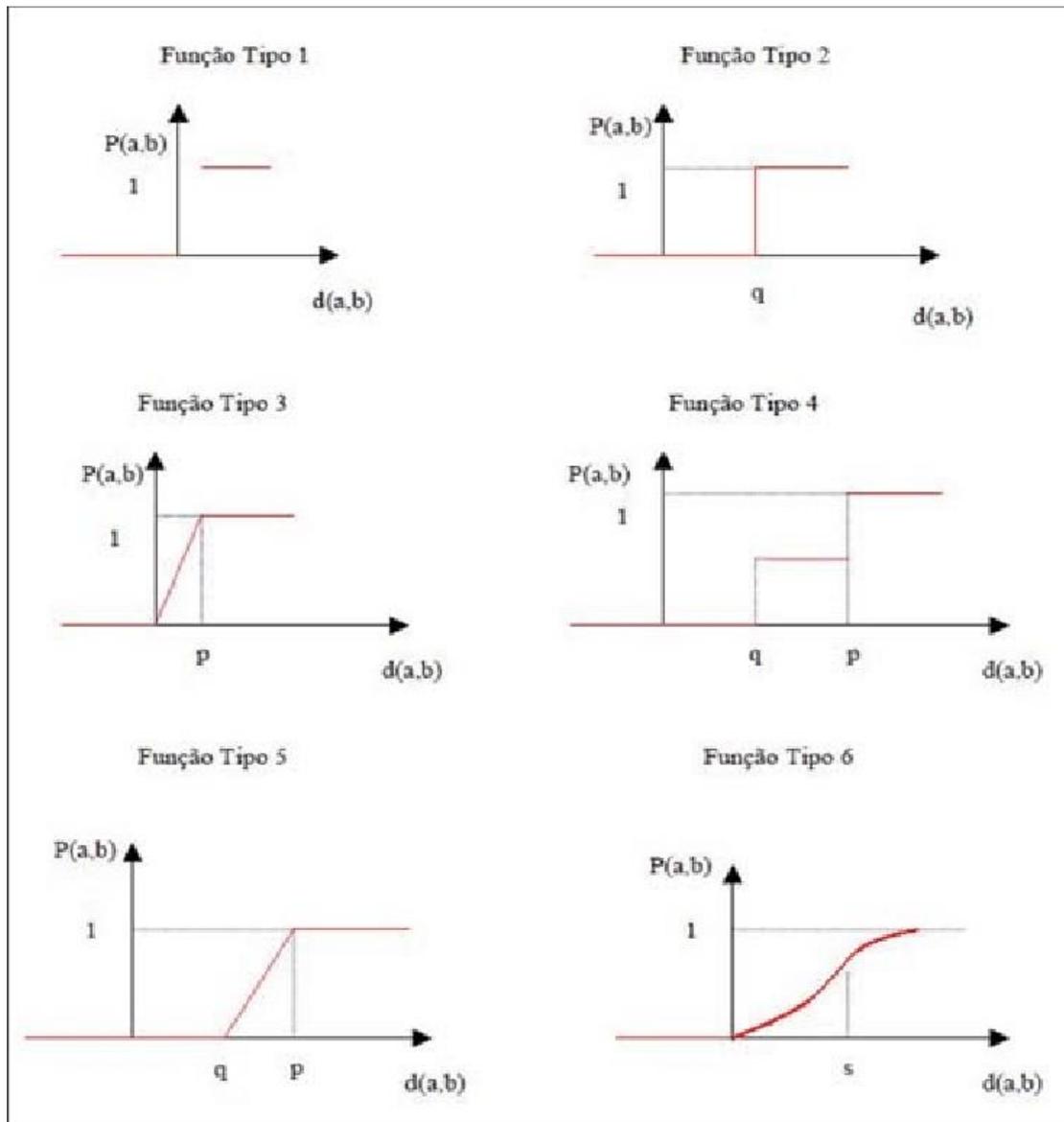
estrita. Quando a diferença entre as alternativas é superior a este limiar, há preferência pela alternativa a . Quando a diferença é menor que p , a preferência aumenta de forma linear em razão da diferença entre as alternativas.

Na função do Tipo 04 *Level Criterion* exige um limiar de indiferença q e uma preferência por p definidos pelo avaliador. Se $d(a, b)$ é menor que q há indiferença da alternativa a em relação a b . Caso $d(a,b)$ esteja entre q e p há uma preferência fraca em favor de alternativa a , e quando $d(a, b)$ é maior que p ocorre a preferência estrita em favor de a .

Similar à função *Level Criterion*, na função do Tipo 05 (*V-Shape with Indifference*) a preferência aumenta linearmente da indiferença q , para preferência estrita, limiar p .

Por fim, na função do Tipo 06 *Gaussian Criterion* é necessário definir o parâmetro s , cujo valor será responsável pela mudança na concavidade da curva de preferência. Ela é aplicada em critérios quando há a necessidade de incrementar (ou reduzir) a preferência em razão de um afastamento do parâmetro s . Assim, a preferência aumenta ou diminui de forma assintótica conforme a $d(a, b)$ é superior ou inferior a s . As funções de preferência são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Funções de preferência do PROMETHEE II.



Fonte: Dagdeviren, (2008).

Dado as alternativas a e $b \in A$, onde A representa o conjunto de alternativas, a função de preferência P é, dada na equação 9.

Equação 9:

$$P: A \times A \rightarrow (0,1)$$

Assim, é possível calcular o índice de preferência da alternativa a em relação à alternativa b , baseado em uma função de preferência P e peso w escolhidos pelo ii decisor para cada critério c_i ($i=1, \dots, k$), na equação 10.

Equação 10:

$$\Pi_{(a,b)} = \sum_{i=1}^k P_i(a,b)w_i$$

Onde $\Pi(a,b)$ representa o grau de preferência de a sobre b para determinado critério, tal que:

- 1) $\Pi(a,b) = 0$, representa indiferença ou não preferência de a sobre b ;
- 2) $\Pi(a,b) \sim 0$, representa preferência fraca de a sobre b ;
- 3) $\Pi(a,b) \sim 1$, representa preferência forte de a sobre b ;
- 4) $\Pi(a,b) = 1$, representa preferência estrita de a sobre b ;

O fluxo positivo de preferência quantifica a maneira como uma alternativa é globalmente preferida a todas as outras. O fluxo negativo de preferência quantifica a maneira como uma alternativa é globalmente preferida por todas as outras. Dessa forma, a representação matemática é orientada como, na equação 11.

Equação 11:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \Pi(a, x)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \Pi(x, a)$$

O PROMETHEE I caracteriza-se por fornecer um pré-ranqueamento parcial entre as alternativas de um problema obtido através do fluxo positivo e negativo. O primeiro indica quando uma alternativa domina a outra e o segundo indica quando a alternativa é dominada. Sendo assim, segue a representação matemática conforme destacado:

$$\begin{cases} aP^+b \text{ se e somente se } \phi^+(a) > \phi^+(b), \\ aI^+b \text{ se e somente se } \phi^+(a) = \phi^+(b) \\ aP^-b \text{ se e somente se } \phi^-(a) > \phi^-(b), \\ aI^-b \text{ se e somente se } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{Preference: } aPb \text{ ou } bPa \\ \text{Indifference: } alb \\ \text{Incomparability: } aRb \end{cases}$$

A pré-ordem parcial (P , I e R) é obtida através da interseção das pré-ordens:

$$\begin{cases} aP_1b \text{ (a sobreclassifica b) se } \begin{cases} aP^+b \text{ e } aP^-b, \\ aP^+b \text{ e } aI^-b, \\ aI^+b \text{ e } aP^-b. \end{cases} \\ aI_1b \text{ (a sobreclassifica b) somente se } I^+b \text{ e } aI^-b \\ aI_1b \text{ (a sobreclassifica b) somente se } I^+b \text{ e } aI^-b \end{cases}$$

O PROMETHEE II é utilizado em problemas de ordenação, onde fornece uma pré-ordem completa das alternativas. O fluxo líquido é obtido por:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

Quanto maior o fluxo líquido, melhor a alternativa, de modo que:

$$\begin{cases} aP_{\Pi}b \text{ (a sobreclassifica b) se e somente se } \phi(a) > \phi(b), \\ aI_{\Pi}b \text{ (a é indiferente a b) se e somente se } \phi(a) = \phi(b). \end{cases}$$

As seguintes propriedades são válidas para o método, equação 12.

Equação 12:

$$\begin{cases} -1 \leq \phi(a) \leq 1, \\ \sum_{x \in A} \phi(a) = 0. \end{cases}$$

Assim, se $\Phi(a) > 0$, a alternativa supera as demais em todos os critérios, e se $\Phi(a) < 0$, a alternativa é superada por todas do conjunto.

O método possui vantagens únicas quando elementos relevantes da tomada de decisão são difíceis de quantificar ou comparar ou quando há pouco conhecimento técnico e de perspectivas da equipe que fará a avaliação. Existem casos em que o PROMETHEE II pode ser aplicado: (i) escolha, referindo-se a uma seleção de alternativa a partir de um determinado conjunto das mesmas, em que há vários critérios para avaliar; (ii) priorização, que determina o mérito relativo dos membros de um conjunto de alternativas, ao contrário da escolha que selecionava apenas uma opção e classificava-a; (iii) alocação de recursos feita em um determinado conjunto de alternativas; (iv) ranking entre um conjunto de alternativas que vai da mais preferida para a menos requisitada e; (v) resolução de conflitos envolvendo a resolução de problemas específicos com objetivos, aparentemente, incompatíveis. Além das aplicações já citadas, o PROMETHEE II pode ser usado para fazer previsões e análises de propostas.

3.4.4 *Quality Function Deployment (QFD)*

A metodologia QFD - *Quality Function Deployment*, ou Desdobramento da Função Qualidade, foi criado no Japão na década de 1980, com o objetivo da busca da qualidade pela satisfação do cliente. Surgiu através da aplicação e desenvolvimento dos modernos conceitos da gerência da qualidade.

Existem três princípios básicos para desenvolver a metodologia QFD conforme apresentado por Cheng (2003): (i) descrição do objetivo que pretende alcançar ou dos problemas que pretende resolver; (ii) lista de itens “o que”: é considerada a descrição clara e precisa das características, requisitos, e atributos do

elemento que se pretende avaliar; (iii) índices de importância: são pesos (ou valores) atribuídos a cada um dos "o que"; os pesos estão entre 1(menos importante) e 5 (mais importante).

A Figura 29 ilustra esquematicamente um modelo simplificado da matriz QFD. Analisando esse modelo, podemos verificar que:

- (i) O QFD é utilizado como uma estratégia a ser adotada para o levantamento dos requisitos definidos para avaliação. Desta forma, os requisitos da avaliação são determinados em ordem de afinidade.
- (ii) Utiliza o grau de importância dos requisitos e a avaliação dos clientes como orientação para a tomada de decisão.
- (iii) Podem ser divididas em elementos de qualidade e características de qualidade. Os elementos são itens não quantificáveis, enquanto as características de qualidade são itens que devem ser medidos no produto para verificar se a qualidade exigida está sendo cumprida.
- (iv) É formada pela interseção de cada requisito dos clientes com cada característica do produto. Sua função é permitir a identificação de como e quanto cada característica do produto influencia no atendimento de cada requisito dos clientes.
- (v) É considerada uma matriz de correlação. Mostra o cruzamento entre as características do produto, sempre dois a dois, permitindo identificar como elas se relacionam. Estas relações podem ser de apoio mútuo (quando o desempenho favorável de uma característica ajuda o desempenho favorável da outra) ou de conflito (quando o desempenho favorável de uma prejudica o desempenho da outra).
- (vi) O avaliador determina se as características do produto são mensuráveis, e indica qual tipo de raciocínio leva à fixação do valor ideal para cada característica.

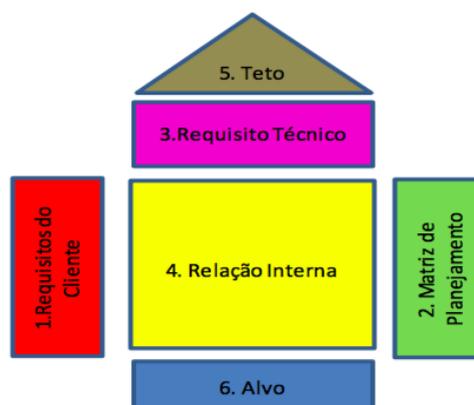


Figura 29 – Modelo simplificado da matriz QFD
Fonte: Adaptado de Werkema, 2012.

3.5 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES

Foram definidos assim os métodos que farão o suporte na proposta do modelo de maturidade e nas etapas diagnósticas com o AHP, e decisional com o PROMETHEE II. A matriz QFD possui a função de refinar os atributos que foram selecionados pela literatura e fornecer um resultado para apoio do posicionamento dos atributos resultantes na matriz de avaliação (barreiras, aspectos e atributos refinados). A esta estrutura relacional, inspirada no QFD desenvolvido na pesquisa, dá-se o nome de MIGE (Matriz de Influência na Gestão de Energia). Na sequência, o modelo de maturidade EM3FI avalia os atributos sob condições evolutivas de maturidade na organização com fichas de avaliação. Cada atributo, sob seu quadrante de posicionamento na estrutura de conhecimento avaliativo formalizado pela MIGE, possui uma ficha que descreve diferentes aspectos do atributo ao nível considerado. A instrumentalização da avaliação diagnóstica da entidade industrial é feita pelo método AHP que infere, com base nas fichas, sobre o nível de maturidade.

A base diagnóstica sobre os diferentes atributos é consumida pelo PROMETHEE II, que define um plano de priorização de ações (alternativas) aderentes às fragilidades da entidade industrial, conduzindo a uma melhoria de seu potencial ou maturidade na gestão energética. Para tal, requisitos da indústria 4.0 serão explorados.

Temos, portanto, suporte dos métodos em duas etapas avaliativas centrais: a etapa diagnóstica, que resulta em conhecer a situação atual da organização na gestão de energia, e a etapa decisional, que fornece as alternativas para melhoria dos critérios avaliados sob condições frágeis, dando oportunidades de melhoria do nível de maturidade atual. Este potencial de análise diagnóstica e definição de diretrizes e plano diretor pode auxiliar no processo de preparação da empresa para auditoria da ISO 50001.

4. ANÁLISE DA LITERATURA

A revisão da literatura é uma das etapas mais importantes de um projeto de pesquisa e deve apresentar as seguintes características: (i) metodologicamente analisar e sintetizar a literatura de qualidade; (ii) fornecer uma base sólida para um tema de pesquisa; (iii) fornecer uma base sólida para a seleção de metodologia de pesquisa; (iv) demonstrar que a pesquisa proposta contribui com algo novo para o corpo geral do conhecimento ou avanços da base de conhecimento do campo de pesquisa (LEVY e ELLIS, 2006).

4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Uma revisão sistemática da literatura (RSL) é um meio de identificar, avaliar e interpretar todos os artigos e pesquisas disponíveis e relevantes para a questão de pesquisa específica, área temática ou fenômeno de interesse. (KITCHENHAM, 2004). Uma revisão da literatura eficaz é aquela que cria uma base sólida para o avanço do conhecimento, facilitando o desenvolvimento da teoria, fechando áreas onde existe uma infinidade de pesquisas e descobrindo áreas onde a pesquisa é necessária (WEBSTER e WATSON, 2002). As revisões sistemáticas utilizam metodologias explícitas e transparentes que são replicáveis e atualizáveis. As RSL envolvem, conforme Sorrel (2007), os seguintes aspectos:

- (i) Especificação clara da(s) pergunta(s) da pesquisa a serem abordadas.
- (ii) Pesquisa sistemática e exaustiva da literatura disponível.
- (iii) Aplicação de critérios explícitos para inclusão ou exclusão de estudos.
- (iv) Avaliação da qualidade dos estudos incluídos, usando critérios transparentes e padronizados.
- (v) Resumo e sintetização dos resultados de maneira objetiva.
- (vi) Divulgação efetiva dos resultados para o público adequado.
- (vii) Atualização dos resultados da revisão em intervalos, quando novas pesquisas se tornam disponíveis.

4.2 MÉTODO PROKNOW-C

O método estruturado de revisão da literatura *Knowledge Development Process – Constructivist* (ProKnow-C) de Ensslin, *et al.*, (2010), criado para a seleção de artigos relevantes na literatura científica, constitui-se de três fases principais: (i) Investigação Inicial, (ii) Reconhecimento Científico dos Artigos e (iii) Análise

Bibliométrica.

4.2.1 Investigação Inicial

A investigação inicial tem por objetivo realizar a filtragem do banco de artigos bruto, sendo operacionalizado em seis etapas: (i) seleção de três artigos de relevância no tema da pesquisa na literatura científica e leitura completa dos mesmos; (ii) definição das palavras-chave (PCs) e critérios de busca na literatura científica; (iii) definição das bases de dados a serem pesquisadas; (iv) formação do banco de artigos bruto; (v) teste de aderência das palavras-chave; (vi) filtragem dos artigos por exclusão dos repetidos e pelo alinhamento ao título. Assim, a Figura 30 representa o resumo das fases.

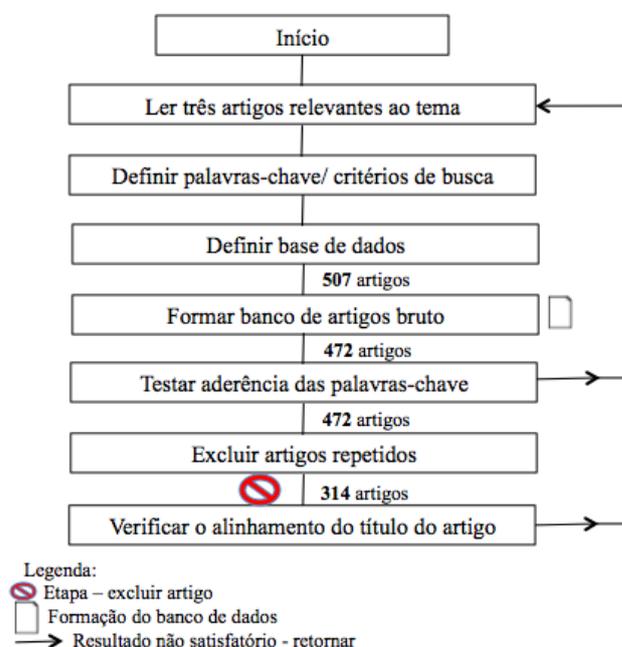


Figura 30 – Fluxograma de investigação inicial do método ProKnow-C

4.2.2 Seleção e Leitura de Três Artigos Relevantes ao Tema

Os seguintes artigos relacionados ao tema e com grande alinhamento entre o título e o objetivo da pesquisa foram escolhidos a partir do número de citações e relevância com o tópico pesquisado:

- FINNERTY, N., STERLING, R., COAKLEY, D., KEANE, M.M. *An energy management maturity model for multi-site industrial organisations with a global presence. Journal of Cleaner Production*, n.167, p.1232-1250, 2017.
- HUYEN-DO, T.T.; SCHNITZER, H.; LE, T.H. *A decision support framework considering sustainability for the selection of thermal food processes, Journal of*

Cleaner Production, n.78, p.112-120, 2014.

•ANTUNES, P.; CARREIRA, P.; DA SILVA, M.M. *Towards an energy management maturity model*, *Energy Policy*, n.73, p.803–814, 2014.

A leitura completa dos três artigos selecionados permite identificar as palavras-chave mais utilizadas e representativas no campo científico relacionadas ao tema da pesquisa. As palavras-chave de busca são organizadas na forma de três "eixos" que correspondem a uma composição na qual eles são unidos por operadores booleanos, E / OU, compondo uma *string* de pesquisa.

4.2.3 Definição das Palavras-Chave e Critérios de Busca

A leitura dos artigos fornece a definição de quatro palavras-chave para o "eixo 1", para o primeiro espaço de avaliação. Para compor o "eixo 2", cinco palavras contemplam o problema a ser pesquisado. No "eixo 3", cinco palavras contemplam o universo de avaliação do espaço problema. As palavras-chave de pesquisa são mostradas no Quadro 4.

Quadro 4 – Palavras-chave da pesquisa

Eixos / Operador Booleano	Palavras-chave
Axis 1 Boolean Operator between axis	“energy management” OR “energy efficiency” AND
Axis 2 Boolean Operator between axis	“assessment” OR “framework” OR “implementation” OR “maturity model” AND
Axis 3	“food industry” OR “food factory”

Uma vez que essas palavras-chave são reconhecidas, os critérios de pesquisa são definidos: (i) pesquisa avançada, de 1996 a 2017; (ii) seleção de textos completos disponíveis em inglês e em periódicos.

4.2.4 Definição das Bases de Dados

A definição do banco de dados é feita pela busca das palavras-chave, utilizando as bases que possuem mais artigos relacionados ao tema da pesquisa. Os resultados das bases que continham o maior número de artigos, para as palavras-chave da pesquisa, também foram apresentadas como bases de relevância na difusão de

artigos científicos relacionados ao tema. As bases de dados selecionadas e as *strings* de buscas estão no Quadro 5.

Quadro 5 – Bases de dados selecionadas e *strings* de busca

Base de	String de buscas
Dados	
Science Direct	<i>Title, abstract or keywords</i> (((“energy management” OR “energy efficiency”) AND (“assessment” OR “framework” OR “implementation” OR “maturity model”) AND (“food industry” OR “food factory”))) <i>Refined by: Language: English; Period: 1996-2017; Document: articles</i>
Scopus	TITLE-ABS-KEY (("energy management" OR "energy efficiency") AND ("assessment" OR "framework" OR "implementation" OR "maturity model") AND ("food industry" OR "food factory"))) AND DOCTYPE (ar) AND PUBYEAR > 1996 AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))
Web of Science	TS=(((“energy management” OR “energy efficiency”) AND (“assessment” OR “framework” OR “implementation” OR “maturity model”) AND (“food industry” OR “food factory”))) AND IDIOMA: (English) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (Article)

4.2.5 Formação do Banco de Artigos Bruto

O acesso ao banco de dados obteve 472 dos 507 artigos originalmente citados. Alguns artigos encontrados nas buscas tinham formato HTML. Alguns textos não estavam com a versão em texto integral ou dependiam de pagamento por seu acesso. Desta forma, o banco de dados bruto tem um total de 472 artigos disponíveis. O Quadro 6 apresenta o número de artigos encontrados em cada base de dados utilizando os três eixos da pesquisa.

Quadro 6 – Resultados das buscas com as palavras chave

Base de Dados	Eixo 1 AND Eixo 2 AND Eixo 3	Total
Scopus		82
Science Direct		232
Web of Science		158
Total		472

4.2.6 Teste de Aderência

Esta etapa baseia-se na verificação da aderência das palavras-chave utilizadas na pesquisa com o conteúdo existente em três artigos escolhidos aleatoriamente do banco bruto. Verificou-se que as palavras-chave utilizadas na busca foram incluídas nos artigos, confirmando a aderência e escolha adequada das palavras-chave.

4.2.7 Filtragem dos Artigos

O processo de filtragem dos artigos, apresentado na Figura 31, foi realizado no software Excel e iniciado com a exclusão de 158 artigos com títulos duplicados,

restando 314. Foram excluídos aqueles que não apresentaram alinhamento com o tema da pesquisa total de 81 artigos excluídos; restando 233 artigos para posterior análise no estágio de reconhecimento científico.

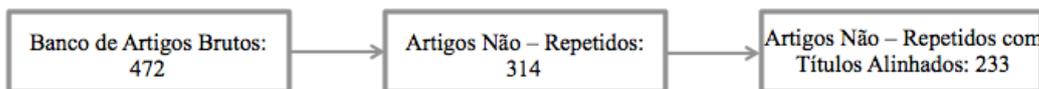


Figura 31 – Resumo do processo de filtragem dos artigos

4.2.8 Reconhecimento Científico dos Artigos

Com a lista de 233 artigos foi organizada uma planilha, onde há uma coluna em ordem decrescente relacionada à quantidade de citações que cada artigo contém. Essas informações foram extraídas do *Google Scholar* (2016). O método *ProKnow-C* estabelece como critério de seleção para o reconhecimento científico um valor de corte para os artigos mais citados, de acordo com o princípio de Pareto, em que geralmente se constata que a maior parte das consequências é derivada da minoria das causas. Assim, os 233 artigos totalizaram 8388 citações, e de acordo com o valor de corte de aproximadamente 90%, eles corresponderam 7150 citações. Portanto, o ponto de separação dos artigos ocorre quando há 20 citações para o artigo, conforme mostrado no Gráfico 1.

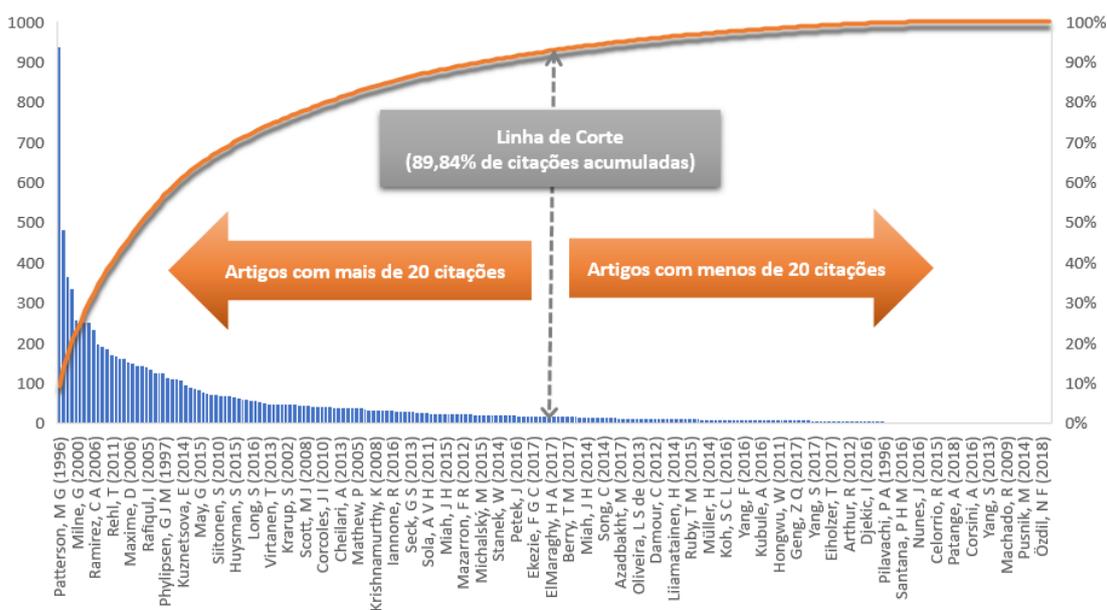


Gráfico 1 – Gráfico de Pareto

Assim, 102 artigos que apresentaram 20 citações ou mais foram selecionados para a leitura de seus resumos. A partir desta análise, apenas 20 artigos apresentaram uma conexão mais próxima ao tema e levantaram uma lista de autores estabelecidos, designados como "Banco A". Adicionalmente, foram selecionados 131 artigos com menos de 20 citações, os quais foram submetidos à reanálise pelo período das publicações e pela relevância dos autores. Entre os 131 artigos com menos de 20 citações, 61 artigos de publicação recente (2014 e posterior) foram considerados adequados para a leitura de seus resumos. Além disso, os autores de 70 artigos de publicação anteriores a 2014 foram correlacionados com os autores estabelecidos presentes no "Banco A". A partir desta última análise, 9 artigos foram separados para a leitura de seus resumos. Assim, a partir da leitura desses resumos de 70 artigos, sete artigos foram selecionados e compuseram o "Banco B". Esses doze artigos, juntamente com os 20 artigos incluídos no "Banco A", formaram o "Banco C", com 32 artigos que, após leitura do texto completo, verificando disponibilidade e alinhamento com o tema da pesquisa, foram mantidos, tornando-se parte do portfólio bibliográfico. Assim, foi possível estabelecer critérios para essa seleção, como:

- Tema de artigos cobrindo indústrias de energia não intensivas;
- Modelos de maturidade para gestão de energia;
- Gestão de energia na indústria de alimentos.

A Figura 32 apresenta como fluxograma o processo de formação dos três bancos de autores, "A", "B" e "C", o que resultou em 32 artigos finais.

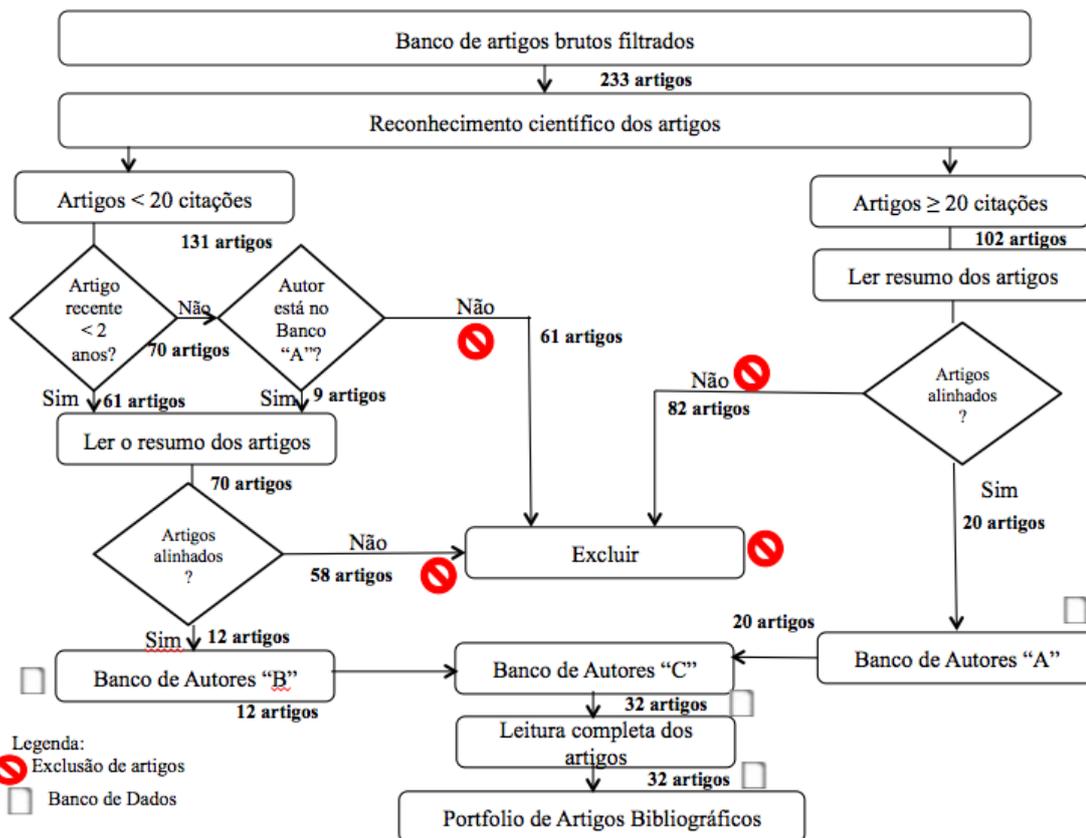


Figura 32 – Fluxograma da formação dos bancos de dados A, B e C pelo método ProKnow-C

4.2.9 Portfólio Bibliográfico dos Artigos

O portfólio bibliográfico em sua composição final com os 32 artigos, apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Artigos selecionados para o portfólio bibliográfico

#	Autor/ Ano	Artigo	Número de Citações	Journal
1	Bunse, K., <i>et al.</i> ,(2011)	<i>Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature.</i>	420	<i>Journal of Cleaner Production</i>
2	Tanaka K. (2008)	<i>Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy.</i>	150	<i>Energy Policy</i>
3	Cagno, E. <i>et al.</i> ,(2013)	<i>A novel approach for barriers to industrial energy efficiency.</i>	134	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
4	Vikhorev, K., <i>et al.</i> ,(2013)	<i>An advanced energy management framework to promote energy awareness.</i>	103	<i>Journal of Cleaner Production</i>
5	Khalili, N., <i>et al.</i> ,(2013)	<i>Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework.</i>	93	<i>Journal of Cleaner Production</i>
6	Karlsson, M.,(2011)	<i>The MIND method: A decision support for optimization of industrial energy</i>	88	<i>Applied Energy</i>

		<i>systems – Principles and case studies</i>		
7	Muller, D., <i>et al.</i> , (2007)	<i>An energy management method for the food industry.</i>	59	<i>Applied Thermal Engineering</i>
8	Schulze, M., <i>et al.</i> , (2016)	<i>Energy management in industry - a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework.</i>	59	<i>Journal of Cleaner Production</i>
9	May, G., <i>et al.</i> , (2015)	<i>Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency.</i>	55	<i>Applied Energy</i>
10	Ngai, E., <i>et al.</i> , (2013)	<i>Energy and utility management maturity model for sustainable manufacturing process.</i>	54	<i>International Journal Production Economics</i>
11	Antunes, P., <i>et al.</i> , (2014)	<i>Towards an energy management maturity model.</i>	46	<i>Energy Policy</i>
12	Introna, V., <i>et al.</i> , (2014)	<i>Energy Management Maturity Model: an organizational tool to foster the continuous reduction of energy consumption in companies.</i>	44	<i>Journal of Cleaner Production</i>
13	Xu, T., <i>et al.</i> , (2009)	<i>Characterization of energy use and performance of global cheese processing</i>	42	<i>Energy</i>
14	Proskuryakova, L. <i>et al.</i> , (2015)	<i>Measuring energy efficiency: Is energy intensity a good evidence base?</i>	17	<i>Applied Energy</i>
15	Huyen-Do, T., <i>et al.</i> , (2014)	<i>A decision support framework considering sustainability for the selection of thermal food processes.</i>	14	<i>Journal of Cleaner Production</i>
16	Nunes, J., <i>et al.</i> , (2014)	<i>Predictive tool of energy performance of cold storage in agrifood industries: The Portuguese case study.</i>	13	<i>Energy Conversion and Management</i>
17	Damour, C., <i>et al.</i> , (2012)	<i>Energy analysis and optimization of a food defrosting system</i>	11	<i>Energy</i>
18	Miah, J., <i>et al.</i> , (2014)	<i>Heat integration in processes with diverse production lines: A comprehensive framework and an application in food industry.</i>	11	<i>Applied Energy</i>
19	Wojdalski, J., <i>et al.</i> , (2012)	<i>Assessment of Energy Consumption in a Meat-Processing Plant—a Case Study</i>	9	<i>Food Bioprocess Technology</i>
20	Seetharaman, A., <i>et al.</i> , (2016)	<i>Enterprise framework for renewable energy.</i>	9	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
21	May, G., <i>et al.</i> , (2017)	<i>Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework.</i>	7	<i>Journal of Cleaner Production</i>
22	Carrasquer, B., <i>et al.</i> , (2017)	<i>A new indicator to estimate the efficiency of water and energy use in agro-industries</i>	7	<i>Journal of Cleaner Production</i>
23	Nunes, J., <i>et al.</i> , (2016)	<i>Key points on the energy sustainable development of the food industry – Case study of the Portuguese sausages industry.</i>	5	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
24	Perroni, M., <i>et al.</i> , (2016)	<i>The relationship between enterprise efficiency in resource use and energy efficiency practices adoption.</i>	4	<i>International Journal Production Economics</i>
25	Djekic, I., <i>et al.</i> , (2016)	<i>Assessment of environmental practices in Serbian meat companies.</i>	3	<i>Journal of Cleaner Production</i>
26	Miah, J., <i>et al.</i> , (2015)	<i>A small-scale transdisciplinary process to maximising the energy efficiency of</i>	3	<i>Sustainable Science</i>

		<i>food factories: insights and recommendations from the development of a novel heat integration framework.</i>		
27	Surkov, I., et al.,(2015)	<i>The development of as integrated management system to ensure the quality stability and food safety</i>	3	<i>Food and Raw Materials</i>
28	Celorrio, R., et al., (2015)	<i>Methodology to decrease the energy demands in wine production using cold pre-fermentation.</i>	2	<i>Computers and Electronics in Agriculture</i>
29	Benedetti, M., et al.,(2017)	<i>From energy targets setting to energy-aware operations control and back: An advanced methodology for energy efficient manufacturing.</i>	2	<i>Journal of Cleaner Production</i>
30	Corsini, A., et al.,(2016)	<i>Multivariate KPI for energy management of cooling systems in food industry.</i>	1	<i>Energy Procedia</i>
31	Wojdalski, J., et al.,(2015)	<i>Energy efficiency of a confectionery plant – Case study.</i>	1	<i>Journal of Food Engineering</i>
32	Jovanovi, B., et al.,(2017)	<i>Energy management system implementation in Serbian manufacturing - Plan-Do-Check-Act cycle approach.</i>	0	<i>Journal of Cleaner Production</i>

4.3 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

A análise bibliométrica no âmbito do *ProKnow-C* é definida como uma atividade de contagem da ocorrência de uma determinada variável nas publicações de uma delimitação de um banco de artigos que diz respeito à criação de conhecimento sobre um assunto em específico.

4.3.1 Análise das Publicações do Portfólio Final de 32 Artigos

Estudos completos são realizados nos 32 artigos do Portfólio Bibliográfico, em que as variáveis consideradas são periódicos, autores, artigos e palavras-chave. A pesquisa é executada nas seguintes etapas:

- Análise de periódicos;
- Análise de autores;
- Relação das palavras-chave;
- Análise das referências dos artigos selecionados;
- Classificação de artigos por relevância acadêmica na amostra.

A) Análise dos periódicos do Portfólio Bibliográfico

A Figura 33 mostra a quantidade de publicações por periódico do portfólio bibliográfico.

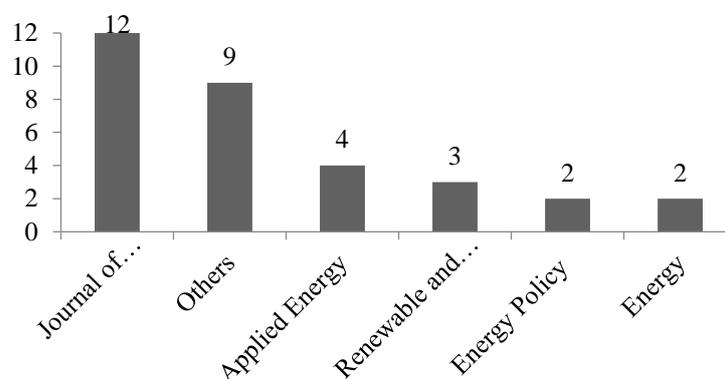


Figura 33 – Publicações por periódicos do portfólio bibliográfico

Verifica-se que o *Journal of Cleaner Production* foi o mais representativo no portfólio bibliográfico com 12 artigos, o periódico *Applied Energy* com 4 publicações e os demais periódicos que possuem 1 ou mais publicações representam 9 publicações.

A Figura 34 mostra a evolução das publicações do portfólio bibliográfico por periódico versus o período.

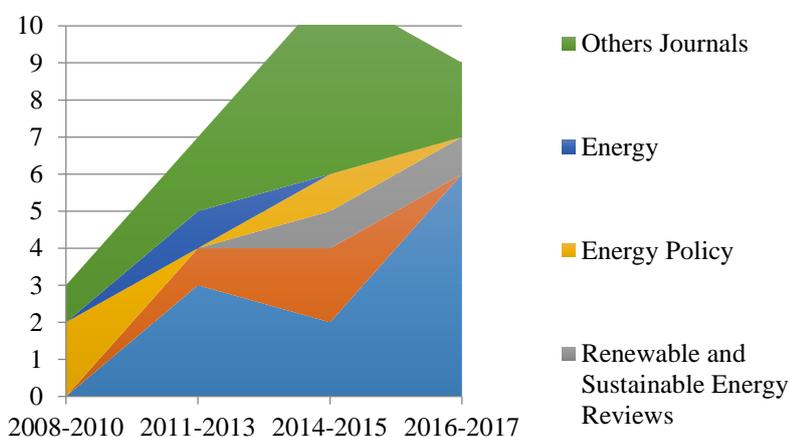


Figura 34 – Evolução das publicações dos periódicos do portfólio bibliográfico por período

Entre os períodos analisados, verifica-se que no período entre os anos 2011-2013 houve o maior número de publicações nos periódicos que compõem o portfólio bibliográfico.

D) Análise das referências dos artigos do portfólio bibliográfico

Nesta análise adotou-se o procedimento descrito por Ensslin, *et al.*, (2010). A avaliação das 747 referências que constam nos 32 artigos do portfólio bibliográfico levou em consideração os seguintes critérios:

i) Relevância dos periódicos nas referências dos artigos, conforme a Figura 37.

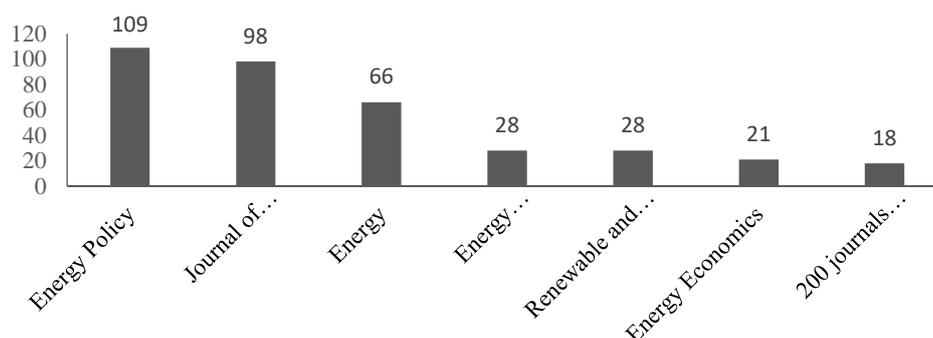


Figura 37 – Relevância dos periódicos nas referências dos artigos do portfólio

O maior destaque é para o periódico *Energy Policy*, com 109 artigos entre as referências dos artigos do portfólio, seguido do periódico *Journal of Cleaner Production*, com 98 artigos, e pelo *Energy*, com 66 artigos.

ii) Autores com maior presença nas referências do portfólio bibliográfico, demonstrado na Figura 38.

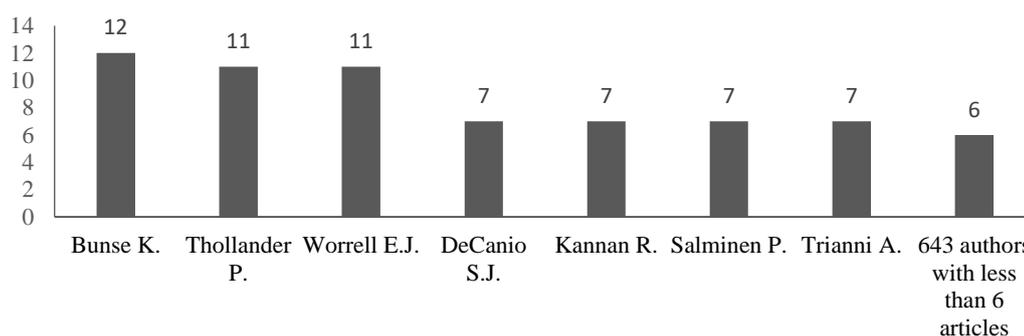


Figura 38 – Autores com maior presença nas referências do portfólio bibliográfico

O autor com maior presença nas referências do portfólio bibliográfico é Bunse, *et al.*, com 12 ocorrências, e Thollander com 11 ocorrências.

E) Classificação dos artigos do portfólio bibliográfico conforme relevância acadêmica na amostra

Para realização da classificação dos artigos conforme relevância acadêmica adotaram-se dois eixos de avaliação. Esta dimensão define dois quadrantes, um relacionado a artigos de destaque e o outro relacionado a artigos relevantes para o tema da pesquisa.

- 1) Número de citações no Google Acadêmico (GOOGLE, 2015) que o artigo obteve desde sua publicação – relacionado à relevância (destaque) de determinado artigo para o tema da pesquisa;
- 2) Número de citações dos autores mais citados na análise das referências dos artigos do portfólio bibliográfico – relacionado à proeminência de determinado autor nas referências do portfólio bibliográfico.

O cruzamento do número de citações no Google acadêmico de determinado artigo do portfólio bibliográfico com o número de citações do autor do mesmo artigo nas referências do portfólio bibliográfico define um ponto geométrico que pode ser estabelecido dentro de quadrantes de referência.

Os quadrantes de referência são: (i) Artigo de destaque; (ii) Autor e artigo de destaque; (iii) Artigos de destaque de autores proeminentes.

A Figura 39 apresenta a classificação dos artigos conforme os critérios acima mencionados. Também estão representados os quadrantes arbitrados pelos pesquisadores para explicitar o artigo de destaque e o artigo de destaque de autor proeminente. Artigos de destaque de autores proeminentes estão relacionados com o número de citações de determinado autor pertencente ao portfólio nas referências do mesmo portfólio em análise.

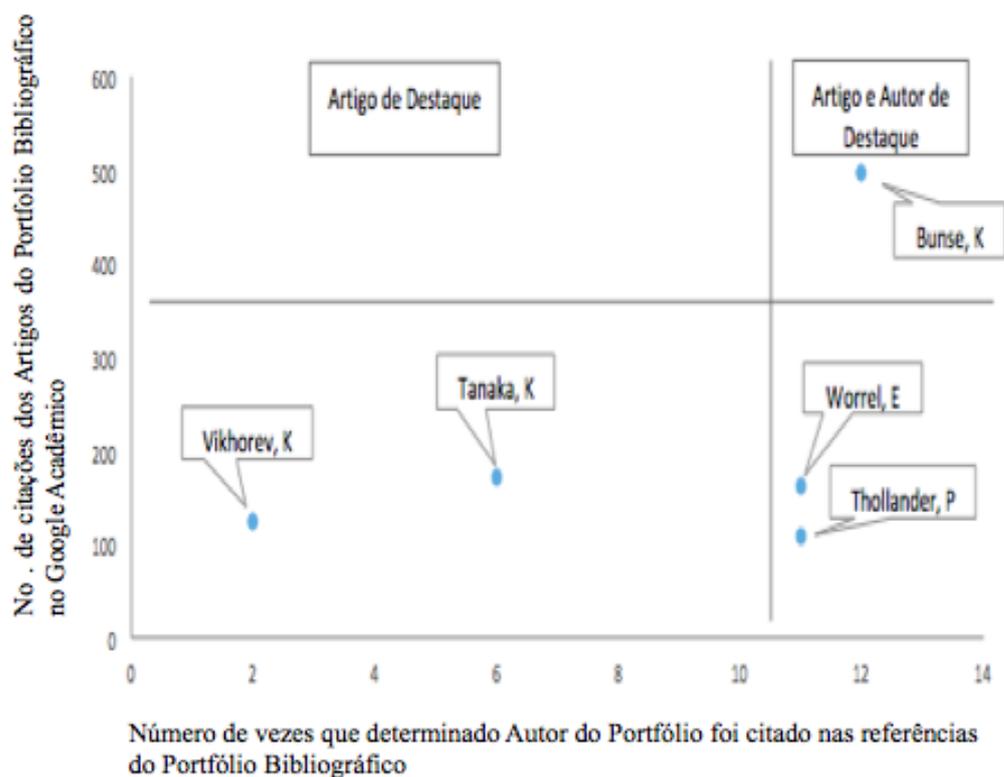


Figura 39 – Artigos e autores do portfólio de maior destaque

Os artigos selecionados no portfólio bibliográfico apresentam relevância para o tema da pesquisa e seus autores enquadram-se com destaque, sendo que somente os autores Bunse, *et al.*, situam-se no quadrante de artigo de destaque de autor proeminente.

4.3.2 Análise da Rede Social

Complementando a análise bibliométrica estabelecida pelo método *ProKnow-C*, realiza-se uma análise da rede social. A análise das redes sociais permitem verificar a existência de um grupo de pesquisadores que se relacionam entre si por possuírem interesses comuns de pesquisa. Tal análise é realizada ao mapear as bases de conhecimento de forma a avaliar o desenvolvimento do conhecimento científico de determinado campo de pesquisa. O presente trabalho de pesquisa busca analisar os autores e as palavras-chave empregadas nos artigos do portfólio bibliográfico. A análise da rede social dos autores expõe o número de conexões com outros autores, quais são os autores mais influentes, etc. Tal análise também pode ser aplicada à rede social para as palavras-chave. A aplicação de testes estatísticos auxilia a determinar quais variáveis exercem maior influência na produtividade científica, no

posicionamento da rede, etc.

Além das representações gráficas das redes sociais, pode-se fazer uma análise mais aprofundada ao obter as medidas de centralidade das mesmas. No âmbito da análise de redes, as medidas de centralidade (grau, intermediação, proximidade, vetor próprio, etc.) são relevantes por fornecerem informações sobre o grau de influência e importância de determinado autor em uma rede social. As medidas de centralidade escolhidas para a análise das redes sociais são:

- Grau (*Degree Centrality*): indica o número de autores aos quais um autor está diretamente ligado, ou seja, quantos autores este autor pode alcançar diretamente; [11]
- Intermediação (*Betweenness Centrality*): indica quais autores mais estabelecem relações dentro da rede e qual a probabilidade de este autor ser a rota mais direta entre dois autores da rede;
- Proximidade (*Closeness Centrality*): indica a capacidade de um autor se ligar a todos os outros autores na rede, ou seja, o quão rápido este autor pode se ligar a todos os autores na rede;
- Autovetor (*Eigenvector*): indica quão bem determinado autor está conectado a outros autores bem conectados, ou seja, qual é o autor mais citado por outros autores bem citados. O mesmo raciocínio pode ser aplicado às palavras-chave, de forma a definir as palavras-chave mais relevantes e influentes para o tema de pesquisa.

4.3.3 Análise da Rede Social dos Autores

A análise da rede social dos autores requer uma avaliação de co-citação, com o objetivo de identificar os autores que mais influenciaram nos artigos do Portfólio Bibliográfico. Esta análise da rede social é realizada com a construção de uma matriz auxiliar, que possui os autores relacionados nas referências dos artigos do portfólio. Essa matriz contém o número de artigos de um autor citado particularmente no portfólio e também a quantidade de citações que os autores receberam por pares em cada artigo, formando as linhas de ligação entre os autores. Utilizou-se o software Gephi para a geração da rede de co-citação, que apresenta as relações diretas de citações entre os autores, e é ilustrada pela Figura 40.

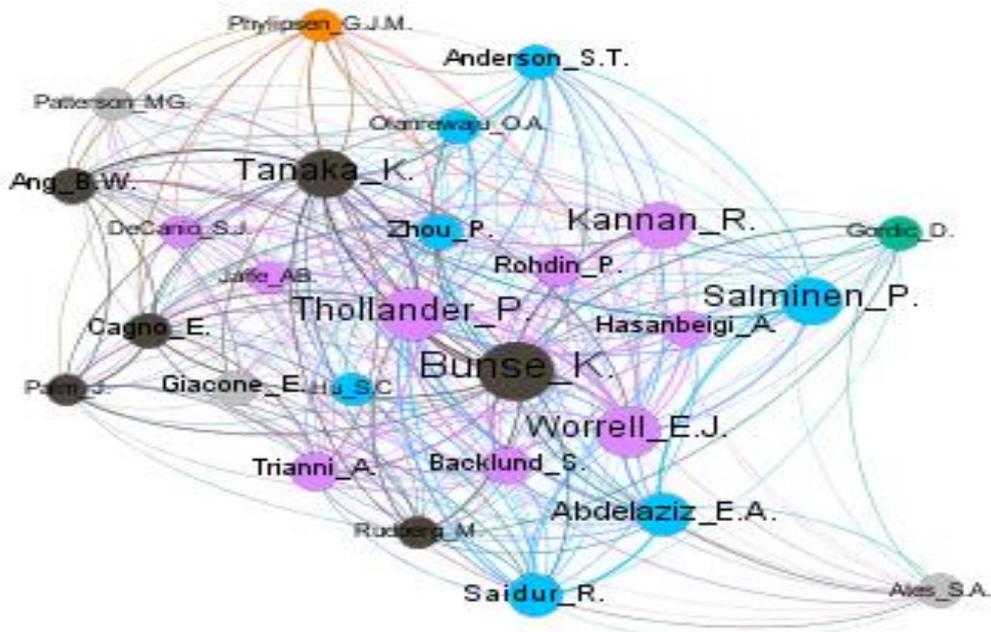


Figura 40 – Rede de co-citação dos autores do portfólio bibliográfico

As linhas de conexão mais destacadas (espessas) entre os autores (nós) indicam que os autores foram citados juntos em maior quantidade por outro autor.

4.3.4 Análise da Rede Social das Palavras Chave

Para determinar a rede social dos autores e das palavras-chave do portfólio bibliográfico foi realizado um procedimento semelhante para ambos. A representação gráfica da rede social das palavras-chave é mostrada na Figura 41.

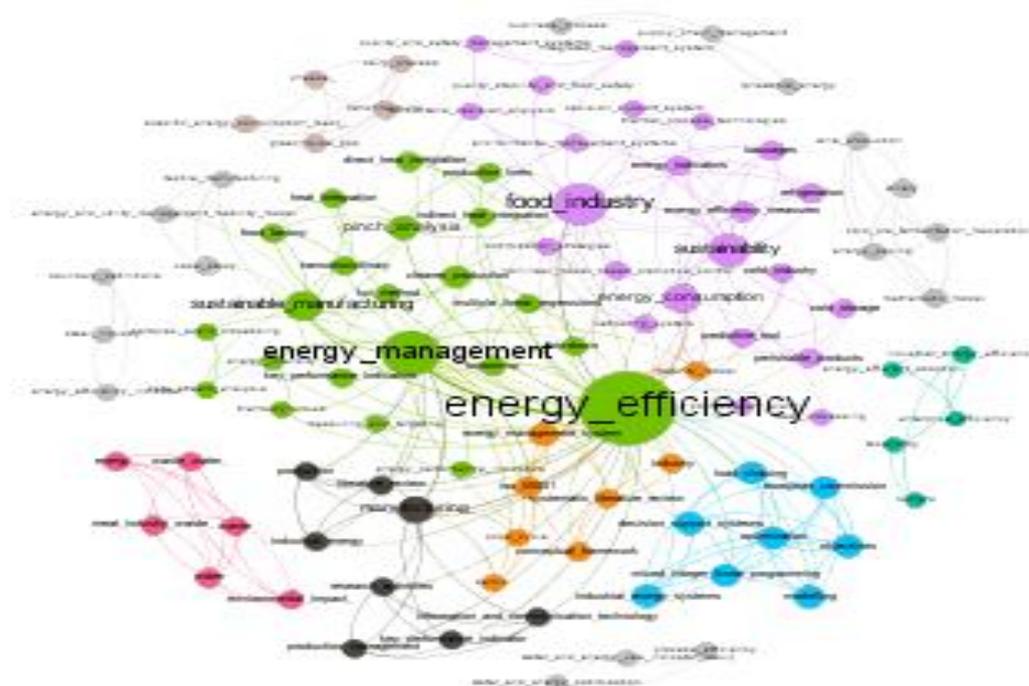


Figura 41 – Rede social das palavras-chave do portfólio bibliográfico

As palavras-chaves *energy efficiency* possuem maior ocorrência, e foram mais vezes citadas junto com *energy management* e *food industry*.

4.4 EXPLORAÇÃO DO CONTEÚDO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

Após estabelecer um portfólio bibliográfico composto de 32 artigos científicos, como resultado de uma revisão sistemática da literatura, procede-se a uma exploração do conteúdo com o intuito de encontrar elementos práticos e teóricos tais que permitam articulação em atender a questões e objetivos da pesquisa. Nesta condição a seguir, os artigos são analisados individualmente procurando-se destacar aspectos relevantes ao interesse da pesquisa.

4.4.1 Análise dos artigos do Portfólio Bibliográfico

- Bunse, K., *et al.*, (2011)

O artigo destaca a necessidade da integração da eficiência energética na gestão da produção em empresas industriais. Os autores analisam a implementação de ferramentas de tecnologia da informação e comunicação e as normas de gestão da energia como importantes habilitadores da eficiência energética na manufatura. O artigo também demonstra a existência de uma lacuna (*gap*) entre as soluções disponíveis para efficientização energética e a real implementação nas empresas industriais. O artigo ainda cita a necessidade da condução de trabalhos de pesquisa colaborativos para avaliar e melhorar o campo da gestão energética.

- Tanaka, K., (2008)

O autor discute que a melhoria da eficiência energética é uma medida básica e significativa para abordar tanto a segurança energética quanto às preocupações com questões ambientais. O artigo explora diferentes caminhos para medir o desempenho da eficiência energética: consumo absoluto de energia, intensidade energética, difusão de tecnologias específicas de economia de energia e eficiência térmica. O estudo destaca que legisladores devem considerar a aplicabilidade da medição de desempenho da eficiência energética baseando-se em critérios como confiabilidade, viabilidade e verificabilidade. Um estudo de caso na indústria de ferro e aço do Japão ilustra o papel crítico da definição apropriada de fronteiras para a avaliação da eficiência energética na indústria. O trabalho salienta a importância de um

entendimento apropriado dos vários métodos existentes para a avaliação da eficiência energética e sua conexão com políticas, objetivos e modelos.

- Cagno, E., *et al.*, (2013)

O trabalho desenvolve uma revisão de literatura que desenvolve uma nova abordagem para tratar as barreiras à adoção de tecnologias industriais energeticamente eficientes. Os autores descrevem uma taxonomia adaptável à pesquisa empírica e capaz de avaliar as diferenças entre barreiras percebidas e reais, seus efeitos nos processos de tomada de decisão e as interações entre as barreiras. O estudo propõe um instrumento útil para as empresas e aos formuladores de políticas. Esse instrumento permite identificar fatores críticos a fim de melhorar a eficiência energética industrial e uma investigação mais aprofundada neste tópico.

- Vikhorev, K., *et al.*, (2013)

Os estudos propõem um framework para monitoramento e gerenciamento de energia nas fábricas com o uso intensivo da energia. A estrutura incorpora os padrões de dados de energia existentes para aumentar a confiabilidade das práticas com relação aos dados obtidos. Utiliza um método para processar os dados em tempo real, para identificar a energia usada em cada ativo da produção e em cada conjunto operacional definido. Também dá suporte à decisão e permite diagnosticar falhas na produção, para aumentar a eficiência energética. O sistema foi testado por meio de um estudo de caso, em um fabricante automotivo europeu, em uma linha de usinagem com treze máquinas multi tarefas, para avaliar o framework desenvolvido e a eficiência energética.

- Khalili, N.R., e Duecker, S. (2013)

Os autores propõem uma metodologia através de um projeto com sete passos para estruturas de sistemas de gestão ambiental sustentáveis que integrem esses passos de planejamento estratégico, de negócios e manufatura. Os autores utilizam o método multicritério ELECTRE III, para apoio às decisões nos critérios de desempenho. E também pela capacidade de identificar as melhores soluções de gerenciamento, para as alternativas em uma ordem de preferência. O projeto foi testado por meio de estudo de caso, em uma fabricante de bebidas energéticas e de barras dietéticas, para demonstrar a implementação.

- Karlsson, M. (2011)

O autor utilizou o método *The Mind* (método para análise de sistemas energéticos industriais) para suporte à decisão em diferentes tipos de análises de sistemas energéticos, apresentando os princípios relativos ao uso do método e as restrições do sistema modelado. Em dois estudos de caso, numa indústria de papel e celulose e em um laticínio, a ferramenta utilizada demonstra as medições que podem ser feitas, com seus pontos fortes e fracos. Este estudo está baseado em temas estabelecidos pela Comissão Europeia como redução do efeito estufa, aumento do uso de energias renováveis e o potencial de redução de consumo energético.

- Muller, D.C.A., *et al.*, (2008)

Os autores desenvolveram uma abordagem *top-down* e *bottom-up* para rastrear as oportunidades de economia de energia na indústria de alimentos. O método *top-down* correlaciona os consumos de energia medidos com os produtos finais e aloca as contas com os principais consumidores; o *bottom-up* é baseado em correlações termodinâmicas dos processos, para definir os requisitos de energia desses consumidores. Esta combinação dos dois métodos permite a identificação de oportunidades de economia de energia.

- Schulze, M., *et al.*, (2016)

Os autores realizaram uma revisão sistemática da literatura sobre gestão de energia na indústria, abrangendo 44 artigos de periódicos científicos selecionados. Identificaram cinco elementos essenciais para a gestão da energia baseada em temas abrangentes identificados no corpo da literatura (estratégia/planejamento, implementação / operação, controle, organização e cultura). Os achados específicos relativos a cada elemento-chave foram sintetizados. No que diz respeito ao foco da pesquisa temática, a análise descritiva revelou um desequilíbrio na literatura no sentido da implementação de diversas medidas de eficiência energética, claramente dominadas por uma perspectiva técnica.

- May, G., *et al.*, (2015)

Os autores apresentam um método para desenvolvimento de indicadores-chave de desempenho relacionados à energia, os e-KPI. O desenvolvimento conta com sete

etapas, que permitem a interpretação de causa e efeito que, segundo os autores, apoiam o processo decisório da operação. Esse método permite a identificação de pontos fracos e as áreas para melhoria da eficiência energética relacionadas à gestão da produção e operações. Esse estudo demonstra a fragilidade na medição da eficiência energética nos processos de produção das diversas áreas da manufatura e a dificuldade com indicadores nos processos.

- Ngai, E., *et al.*, (2013)

Os autores desenvolveram um modelo de maturidade de gestão de energia e utilidades (EUM3), baseado no *capability maturity model integration* (CMMI), um dos modelos mais conhecidos e adotados. O objetivo é atender duas funções. A primeira é uma estrutura de avaliação para analisar o nível de maturidade, com cinco níveis, do gerenciamento de energia e serviços públicos nas organizações. A segunda é fornecer uma estrutura progressiva para orientar o avanço organizacional na gestão de energia em quatro dimensões. O modelo proposto foi testado em uma empresa têxtil chinesa, consumidora intensiva de energia e causadora de poluição. Os resultados encontrados fornecem uma diretriz robusta para análise e avanço dos níveis de maturidade de energia e utilidade para auxiliar no processo de uma fabricação sustentável.

- Antunes, P., *et al.*, (2014)

O estudo relata que, apesar do aumento do interesse pela gestão de energia, persiste uma lacuna entre a literatura sobre gestão de energia e as práticas atuais de implementação, pela falta de modelo para ser seguido. Um modelo de maturidade na gestão de energia é proposto para guiar as organizações nos esforços da implementação da gestão energética nos processos, para atender gradualmente os padrões da ISO 50001. O modelo adota o ciclo PDCA, baseado na ação para melhoria contínua das atividades. Um mapeamento da ontologia do modelo é feito comparando com a da ISO 50001, para validar o modelo.

- Introna, V., *et al.*, (2014)

Os autores destacam que o estabelecimento de um sistema de gestão da energia pode oferecer muitas vantagens a uma organização, tendo em vista a grande valorização atribuída às questões energéticas e ambientais. Eles incorporam as

diretrizes gerais dos modelos de maturidade ao campo da gestão da energia, criando uma ferramenta que permite avaliar o nível de maturidade de uma empresa de maneira fácil e autônoma, de forma a conduzir a organização a uma gestão adequada de suas necessidades energéticas. Esta metodologia complementa as certificações em sistemas de gestão da energia estabelecidas na norma ISO 50001.

• Xu, T., *et al.*, (2009)

Esse trabalho retrata um estudo realizado em um laticínio no beneficiamento do leite para fabricação de queijos. Este tipo de processo tem um intensivo consumo de energia. Através da revisão de literatura, identificaram-se as diferenças no consumo energético de fábricas nesse domínio citado. Assim as oportunidades potenciais de economia de energia para o setor foram encontradas, utilizando o indicador de consumo específico de energia (SEC). Esse indicador determina o consumo de energia em processos de produção de queijos e pode ser usado para comparar o desempenho energético. Com os resultados, uma estrutura de *benchmarking* pode ser adotada por essas indústrias para reduzir o uso de energia e as emissões de gases do efeito estufa.

• Proskuryakova, L., e Kovalev, A., *et al.*, (2015)

Nesse trabalho, os autores apresentam uma análise de indicadores de eficiência energética (IEE) existentes. Relatam a discrepância entre o conceito de engenharia de eficiência energética e de intensidade energética, como é entendido nas estatísticas macroeconômicas (adotadas pelos governos). Isso é relatado com a adoção de indicadores termodinâmicos que são usados para soluções em micro nível. O estudo sugere que a insuficiência de indicadores de intensidade energética possa ser compensada pelos indicadores termodinâmicos, pois descreve a eficiência energética em níveis físicos, tecnológicos, empresariais, subsetorial, setorial e nacional sem relação com parâmetros econômicos ou financeiros.

• Huyen-Do, T.T., *et al.*, (2016)

Nesse trabalho, foi desenvolvido um framework baseado em uma hierarquia do sistema de processos térmicos, para produção de alimentos que necessitam de tratamentos térmicos em sua fabricação. Este framework levou em consideração aspectos de sustentabilidade, utilizando métodos multicritério no apoio a melhor

decisão. Neste caso o *fuzzy analytic hierarchy process (AHP fuzzy)*, usado para gerar prioridades a partir de comparações de pares discretos e contínuos. Com este sistema a indústria de alimentos pode ter um suporte à decisão em um estágio inicial de seleção de tecnologias para os processos térmicos.

- Nunes, J., *et al.*, (2014)

Esses autores desenvolveram uma ferramenta preditiva para medição do consumo de energia, para a indústria de alimentos, no processo de resfriamento, ocorrido na fabricação ou no armazenamento. Seu objetivo é de fornecer alimentos com qualidade e segurança alimentar, com o suporte da cadeia de refrigeração com eficiência energética associada ao processo. Essa ferramenta, desenvolvida em MATLAB, com o nome de *Cool-OP (Cooling Optimization Program)*, melhora o desempenho energético na fabricação e no armazenamento, com a medição do consumo e volume anual de energia nas câmaras frias e na fabricação. Esses resultados foram avaliados e foi verificado uma melhora na eficiência energética dos processos. Os resultados obtidos podem auxiliar na tomada de decisão de medidas práticas para melhoria da eficiência energética das indústrias.

- Damour, C., *et al.*, (2012)

Esse trabalho faz uma análise energética de otimização de um sistema de descongelamento na indústria de alimentos, através de duas estratégias para melhorar a eficiência global do processo. Primeiro com o sistema de energia desligado, que inclui a temperatura e a velocidade do ar do resfriamento. E uma segunda análise foi descrita, com a energia ligada com uma abordagem otimizada do processo, com um controle preditivo baseado em modelos não lineares. A ferramenta adotada foi a simulação para a segunda análise, que pode aumentar significativamente a eficiência geral do processo de descongelar alimentos.

- Miah, J., *et al.*, (2014)

Nesse trabalho foi desenvolvida uma abordagem de recuperação de calor de forma indireta e direta simultaneamente, em processos com linhas de produção complexas e diversificadas, para avaliar todas as oportunidades de recuperação de calor nas linhas de produção. O método foi proposto através de um framework, para indústria de alimentos, e testado através de um estudo de caso, em uma padaria do

Reino Unido, que fabricava diversos produtos com diferentes tecnologias. Essa integração de calor, segundo os autores, é uma medida essencial para melhorar a eficiência energética, e melhorar a recuperação de calor entre os processos, podendo identificar os fluxos significativos a serem considerados na análise de integração do calor.

- Wojdalski, J., *et al.*, (2012)

Os autores avaliaram o consumo de energia em uma planta de processamento de carnes, através de um estudo de caso. O estudo foi feito com indicadores específicos da indústria de carnes, utilizando análise estatística dos dados, obtendo equações de regressão linear que expressavam a variabilidade no consumo de energia com o software *STATISTICA Data Miner*. Os resultados levantaram os fatores chave que são úteis na condução de uma análise do consumo de energia neste setor, com a seleção de tecnologias adequadas para a produção.

- Seetharaman, A., *et al.*, (2016)

Os autores desenvolveram um framework para energias renováveis, com preocupações ambientais, regulamentos, sustentabilidade e inovação tecnológica. Os autores também descrevem as forças internas e externas que influenciam na tomada de decisão e os resultados relacionam os principais atributos do fornecimento de energia e a entrega da energia convencional, incluindo várias fontes de ineficiência. O framework é construído com os fatores que são altamente influenciadores do negócio da energia renovável e com descobertas e recomendações para o gerenciamento de fatores internos e externos da operação, com o modelo voltado para a operação da cadeia de suprimentos.

- May, G., *et al.*, (2017)

Os autores realizaram uma revisão de literatura no campo da gestão energética na manufatura, com destaque para seis linhas principais: (i) drivers e barreiras, (ii) tecnologias de informação e comunicação, (iii) paradigmas estratégicos, (iv) ferramentas e métodos de apoio, (v) paradigmas dos processos de manufatura e (vi) desempenho da manufatura. Após a identificação das seis categorias importantes, uma descrição de cada grupo foi feita para evidenciar quais são as barreiras e os impulsionadores na busca pela eficiência energética na manufatura.

- Carrasquer, B., *et al.*, (2016)

Nesse trabalho, os autores propõem um novo indicador para medir o uso da água e da energia simultaneamente para as agroindústrias. O objetivo do indicador é avaliar o melhor desempenho ambiental global das agroindústrias e comparar a eficiência geral de diferentes setores. Para isso, quatro metodologias foram agregadas ao indicador proposto, que classifica o desempenho da indústria em um índice de um a sete, comparando os parâmetros operacionais encontrados com valores de referência dentro de um setor da agroindústria correspondente. Para validar o indicador, um estudo de caso foi descrito na pesquisa e os resultados permitiram a implantação de uma ferramenta online para cálculo do indicador.

- Nunes, J., *et al.*, (2016)

Os autores levantaram os pontos-chave para um desenvolvimento energético sustentável na indústria de alimentos, através de um estudo de caso feito em uma indústria de salsichas. Para a produção de salsichas, o aquecimento e resfriamento durante a produção são componentes indispensáveis para produzir e conservar o produto. Com isso dito, a energia torna-se um custo importante para a operação; o estudo apresenta uma revisão relacionada ao consumo de energia, medidas de eficiência energética e indicadores de energia na indústria de alimentos. Posteriormente a esse estudo de caso, o trabalho apresenta o processo de produção e o consumo energético no processamento de salsichas em 20 outras indústrias. O indicador adotado foi o *specific energy consumption* (SEC) (consumo específico de energia), que permitiu uma comparação entre as fábricas e correlacionar medidas para melhorar a eficiência energética nos processos.

- Perroni, M., *et al.*, (2016)

Esse trabalho identificou na literatura diversas barreiras à eficiência energética industrial e ao gerenciamento de energia. Uma compreensão dessas barreiras é necessária para fazer as correções necessárias, tanto para questões internas da empresa quanto para as políticas externas. O trabalho responde à questão: qual é a relação entre a eficiência empresarial e a adoção de práticas de eficiência energética? Para isso, um modelo de estimativa de eficiência é proposto. Esses modelos foram idealizados para usar em casos de auditorias de eficiência energética para pequenas e

médias empresas. Como resultados encontrados estão os projetos que não dependem apenas de custo e retorno, mas também dependem do nível atual de eficiência da empresa e se essa empresa já iniciou alguns projetos de eficiência energética. Essa dependência ocorre de duas formas: se a empresa opera com retornos crescentes, provavelmente incorporará mais projetos de gerenciamento de energia e eficiência energética; por outro lado, se os retornos estiverem diminuindo, mais projetos serão colocados de lado. Esse resultado gera evidências de que não são necessariamente as empresas mais eficientes que se preocupam com questões ambientais. De acordo com o estudo, se uma empresa é mais eficiente, mas está operando com retornos decrescentes em escala, ela adotará um número menor de práticas de economia de energia.

- Djekic, I., *et al.*, (2016)

O estudo avaliou as práticas ambientais que incluem o consumo de energia das empresas produtoras de carnes na Sérvia. As práticas ambientais avaliadas foram: gestão do uso da energia, utilização da água, manuseio de resíduos e descarte dos efluentes, que abrangem cinco tópicos: política e objetivos; conhecimento operacional; comunicação; medição e análise de desempenho. Os resultados demonstraram que as práticas ambientais foram encontradas com maiores níveis de implementação em grandes empresas. As dimensões avaliadas foram a ambiental e a econômica. A energia possui maior impacto na dimensão econômica, ou seja, um benefício financeiro direto na economia de energia para as grandes empresas.

- Miah, J., *et al.*, (2015)

O estudo ocorre de forma multidisciplinar com acadêmicos, facilitadores e gerentes da empresa Nestlé, para desenvolver uma técnica para melhorar a eficiência energética em uma fábrica de doces, em pequena escala. Esta técnica é desenvolvida para a integração térmica através de sete requisitos que serviram como guia do processo de avaliação em pequena escala. Os principais resultados foram comunicados na comunidade acadêmica e empresarial, pela dificuldade encontrada na integração destes múltiplos fatores para facilitar a integração dos resultados.

- Surkov, I., *et al.*, (2015)

A dificuldade na implementação de um sistema de gestão integrado na indústria de alimentos foi o objetivo desse estudo. Os autores relatam um número significativo de padrões e especificações disponíveis que permitem o gerenciamento de qualquer empresa, mas a dificuldade está em ter um único ou um conjunto de sistemas que possam representar todo o gerenciamento da fábrica. Essa possibilidade para a indústria de alimentos foi vista a partir de alguns critérios: solvabilidade de problemas, adoção neste setor e o efeito da implementação. Este único sistema deveria englobar os sistemas de gestão ambiental, gestão de segurança e saúde ocupacional, e sistemas de gestão de energia. A proposta foi a escolha dos melhores componentes e potenciais vantagens de cada sistema de gestão separadamente. Esses componentes formaram o sistema integrado de gestão proposto pelos autores para adoção na indústria de alimentos.

- Celorio, R., *et al.*, (2015)

O autores propõem uma metodologia para calcular a economia de energia no processo de fermentação a frio de vinhos, com uma estrutura baseado no ciclo *Plan-Do-Check-Act (PDCA)*, que contém métodos de economia de energia, análise e implantação de instalações para energia renovável. Os relatórios gerados nas etapas do processo permitem melhorar a gestão de energia no processo e incorporar o uso de energias renováveis, diminuindo a demanda necessária da rede elétrica.

- Benedetti, M., *et al.*, (2017)

Os autores propõem uma metodologia para criação de indicadores de desempenho energéticos combinando duas abordagens: em nível de processo e em nível agregado, que possam fornecer informações apropriadas a cada nível e função hierárquica da empresa. A metodologia pretende gerenciar o desempenho energético, desenvolvendo, analisando e mantendo indicadores de desempenho energéticos nas fábricas, levando em consideração os requisitos da ISO 50001. A proposta foi testada através de um estudo de caso em uma empresa italiana que produz bens de consumo, intensiva no consumo de energia avaliando sua utilidade, validade e aplicabilidade geral.

- Corsini, A., *et al.*, (2016)

Os autores propõem a definição de indicadores chave de desempenho (KPI) que sejam apropriados para os resfriadores de amônia, para melhorar o desempenho energético dos sistemas de refrigeração. O novo KPI correlaciona o consumo de energia e as diferentes variáveis do processo. A metodologia adotada foi a análise estatística multivariada, *Kernel Partial Least Square (KPLS)*, para avaliar a máxima correlação entre dados e consumo de energia empregando técnicas de regressão não linear. O KPI é testado em um estudo de caso, em uma empresa de refeições congeladas, fornecendo uma métrica para o desempenho energético dos compressores.

- Wojdalski, J., *et al.*, (2015)

Os autores apontam as características das plantas de confeitaria, que variam muito de acordo com o tipo e a quantidade de matéria-prima processada, pela tecnologia adotada, pela estrutura do equipamento e pelo grau de automação. Esses fatores descritos contribuem para uma imensa variação no consumo energético. Para este estudo uma fábrica foi escolhida de forma aleatória na Polônia, para descrever os fatores técnicos e tecnológicos que podem ser aplicados em uma análise de eficiência energética a fim de facilitar a seleção das melhores técnicas disponíveis. Foram avaliados como indicadores o SEC e indicadores específicos de energia do processo, que receberam nomes aleatórios para realizar a medição. Os resultados alcançados demonstram que o volume de produção determina a eficiência energética de uma planta. O consumo de diversos equipamentos deve ser monitorado regularmente para melhorar as soluções na gestão de energia. O método de equações de regressão suporta a determinação do volume de produção mensal em que os indicadores de consumo específico de energia assumem os menores valores e a planta alcança o nível mais alto de eficiência energética.

- Javanovi, B., *et al.*, (2017)

O artigo fornece uma visão de como a gestão de energia é implementada na manufatura da Sérvia, com o foco na indústria de alimentos e na fabricação de produtos minerais não metálicos, pois são setores industriais prioritários. A técnica utilizada foi um questionário feito de forma online com base nos requisitos da ISO 50001. Havia questões em dezesseis categorias e distribuídas de acordo com o ciclo PDCA, e foi realizado em cinquenta e duas empresas. A implementação total das

medidas ao final do ciclo foi encontrada em apenas 5,8% das empresas participantes, ou seja, uma adesão baixa à melhoria da eficiência energética nos processos.

4.4.2 Critério de Inclusão

Em função do tema proposto da gestão da energia na indústria de alimentos e modelos de maturidade, a exploração do conteúdo com a leitura e interpretação dos artigos do portfólio indicou a necessidade de adicionalmente realizar a inclusão de outros artigos. Conforme Levy e Ellis (2006), isso é importante para trazer informações e prover outros dados que sejam úteis ao desenvolvimento da pesquisa. Os artigos complementares estão relacionados ao tema da pesquisa: gestão da energia e de modelos de maturidade. Os artigos assim considerados estão relacionados atendendo à seguinte disposição: (i) inclusão de artigos complementares sobre modelos de maturidade em gestão de energia; (ii) inclusão de artigos sobre a modelos de maturidade em múltiplas áreas; (iii) inclusão de artigos sobre gestão de energia na indústria de manufatura geral.

4.4.2.1 Inclusão de artigos sobre modelos de maturidade em gestão de energia

São relacionados os seguintes autores/artigos com respeito à complementação de dados sobre a gestão da energia na indústria e modelos de maturidade: Finnerty, *et al.*, (2017); Finnerty, *et al.*, (2017); Antunes, *et al.*, (2014). Esses trabalhos complementam a base de dados da pesquisa em relação a modelos de maturidade na gestão de energia.

4.4.2.2 Inclusão de artigos sobre modelos de maturidade em múltiplas áreas

São relacionados os seguintes autores/artigos sobre modelos de maturidades de múltiplas áreas: Antunes, *et al.*, (2014); Becker, *et al.*, (2009); Domingues, *et al.*, (2016); Roglinger, *et al.*, (2012); Kaner e Karni (2004); de Bruin, *et al.*, (2005); Hackos (1997). Esses trabalhos relacionados aos modelos de maturidade em diversas áreas complementam o conhecimento em relação aos modelos específicos para gestão de energia que são mais escassos.

4.4.2.3 Inclusão de artigos sobre gestão de energia na indústria de manufatura em geral

São relacionados os seguintes autores/artigos sobre gestão de energia na indústria de forma geral:

DeCanio, S., (1998);	Worrell, E. <i>et al.</i> , (2001);	Groot, H. <i>et al.</i> , (2001);	Abdelaziz, E. A., <i>et al.</i> , (2011);	Worrell, E., <i>et al.</i> , (2003);
Worrell, E. <i>et al.</i> , (1997);	Worrell, E. <i>et al.</i> , (2000);	Sorrell, S., (2007);	Paulus, M., (2011);	Thollander, P., (2008);
Worrell, E., <i>et al.</i> , (2009);	Thollander, P., (2010);	Sardianou E., (2008);	Fleiter, T., <i>et al.</i> , (2011);	Zhang, J., (2008);
Phylipsen, G., (1997);	Palm, J., (2010);	Price, L., <i>et al.</i> , (2010);	Trianni, A., <i>et al.</i> , (2013);	Giacone, E., (2012);
Boyd, G., <i>et al.</i> , (2007);	Neelis, M., <i>et al.</i> , (2007);	Cagno, E. <i>et al.</i> , (2013);	Stenqvist, C., (2012);	Hasanbeigi, A., <i>et al.</i> , (2012);
Saygin, D., <i>et al.</i> , (2011);	Saygin, D., <i>et al.</i> , (2012);	Ates, S., (2012)	Fleiter, T., <i>et al.</i> , (2012);	Dobes, V., (2013);
Lin, B., <i>et al.</i> , (2012);	Rudberg, M., <i>et al.</i> (2013);	Aflaki, S., <i>et al.</i> , (2013);	Brunke, J. C., (2014);	Lin, B., (2015);
Lin, B., (2015);	Stenqvist, C., (2015).			

4.4.3 Composição final dos artigos correlatos

Em decorrência da necessidade na inclusão de mais artigos para a pesquisa, houve um desdobramento na base de dados científicos em relação ao próprio tema da gestão da energia na indústria de alimentos e os modelos de maturidade em gestão de energia. Esse desdobramento disponibilizou um conjunto de artigos científicos adicionais que suportam os estudos para a solução do problema e as respostas das questões de pesquisa. Estes artigos adicionais compõem, juntamente com o portfólio selecionado na RSL da gestão da energia na indústria, um conjunto de artigos denominados de artigos correlatos, os quais estão dispostos no apêndice I.

A Figura 42 demonstra a correlação final entre os artigos formados pelo banco de dados C e com a inclusão de artigos correlatos ao final da revisão da literatura.

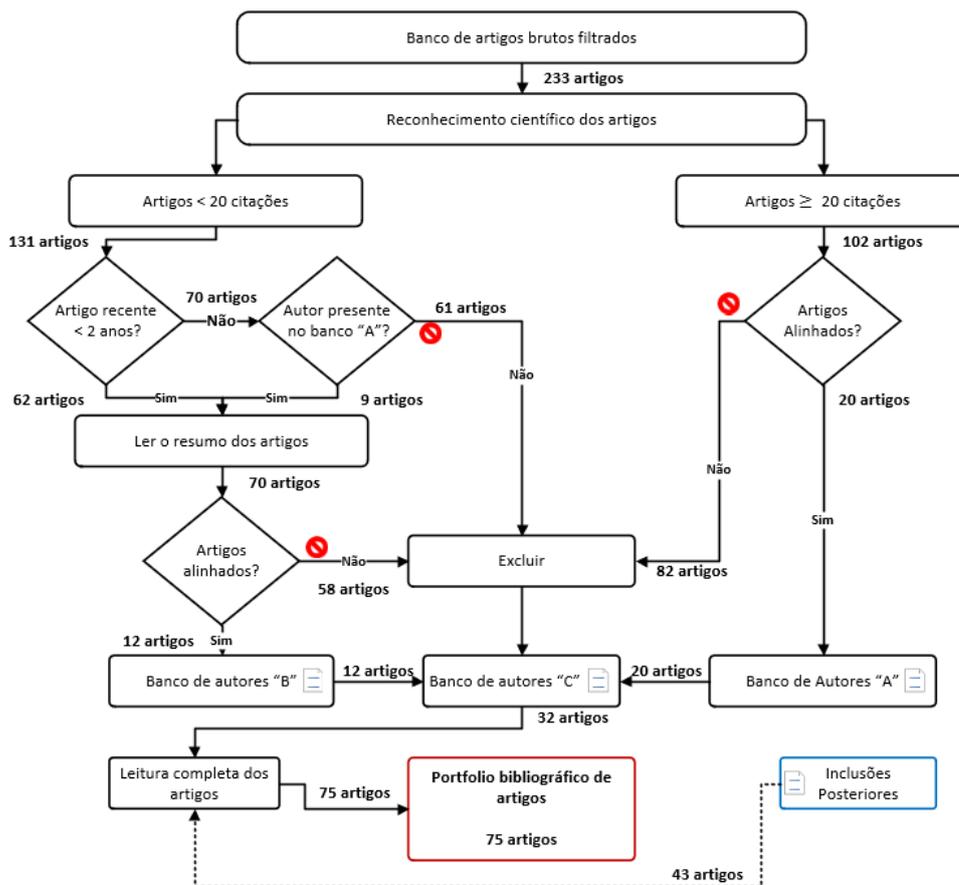


Figura 42 – Formação do banco de dados do Proknow-C mais os artigos correlatos

4.5 CORRELAÇÃO ENTRE OS DOMÍNIOS PESQUISADOS

Após as etapas da revisão sistemática da literatura, a Figura 43 apresenta o encadeamento metodológico para estabelecer a relação entre os domínios pesquisados do EM, MM e FI, analisados pela frequência com que os dados (barreiras, aspectos e atributos) aparecem no banco de dados. Os componentes elencados na figura representam:

- *Energy management*: características da gestão de energia nas indústrias, apresentadas na seção 3.1 do referencial teórico.
- *Food Industry*: características da indústria de alimentos em relação à gestão de energia, apresentados na seção 3.2.
- *Maturity Models*: pesquisa sobre os modelos existentes na gestão de energia e em outras áreas, na seção 3.3.
- Desenvolvimento da matriz de avaliação, estruturada com barreiras, aspectos e atributos, relacionada à atividade A1 do IDEF0.
- Proposição do modelo de maturidade EM3FI e os desdobramentos das etapas, que

correspondem à atividade A3 do IDEF0.

- Consumo do modelo na etapa de avaliação diagnóstica, correspondente à atividade A4 e A5 do IDEF0.
- Avaliação decisional que consome a etapa diagnóstica e desenvolve as diretrizes e planos de priorização para empresa, em dimensões: econômicas, organizacionais e tecnológicas, com o apoio das tecnologias da Indústria 4.0 na consolidação de alternativas para gestão de energia, corresponde à atividade A6 e A7 do IDEF0.

O capítulo 5 relata de forma detalhada as atividades de desenvolvimento da estrutura de avaliação, a proposição do modelo de maturidade, avaliação diagnóstica (capítulo 7) e avaliação decisional (capítulo 7).

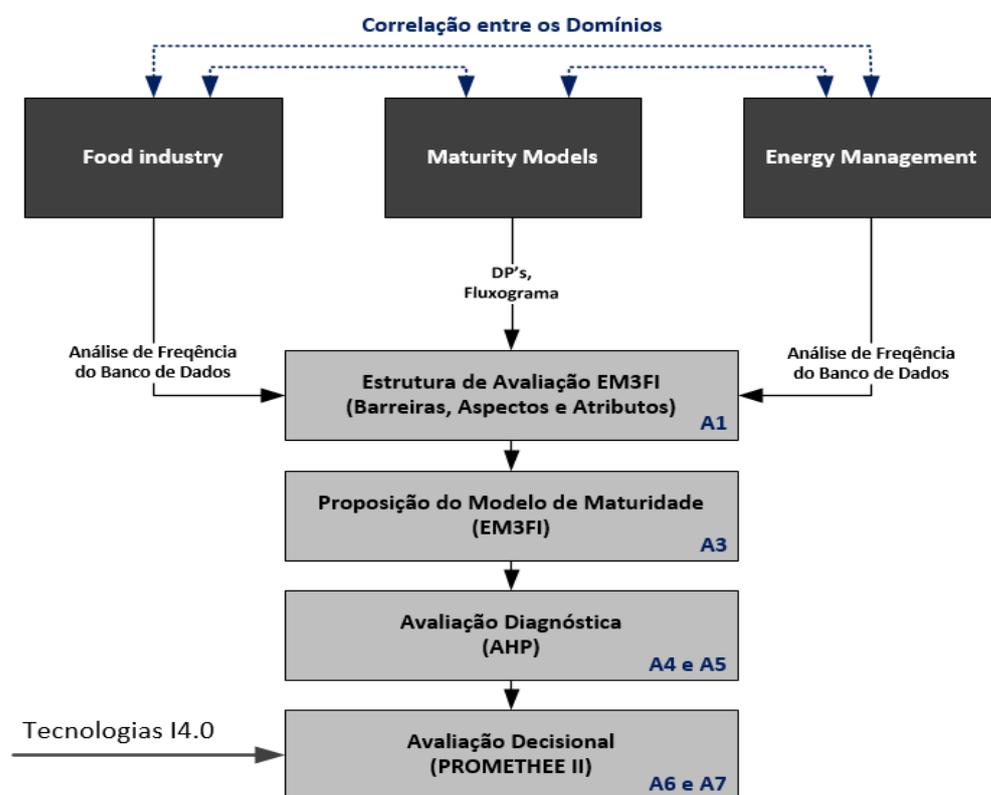


Figura 43 – Correlação entre os domínios GE, IA e MM

4.6 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES

Nesta seção foi possível identificar trabalhos que abordam as dimensões da pesquisa. Na primeira parte foram identificados os trabalhos com correlação primária, inspiradores para a perspectiva da avaliação geral do conteúdo explorado - a questão da gestão energética em um panorama geral, apanhados e estudos de caso da indústria de alimentos e modelos de maturidade com as abordagens adotadas. Foi identificada uma ausência de abordagem metodológica na extração de atributos e diretrizes para uma construção mais aderente às necessidades de avaliação do modelo de maturidade para gestão de energia.

Outros trabalhos apresentaram correlação secundária com o conteúdo da pesquisa. Foram úteis no complemento de informações, conceitos, ferramentas, e componentes que compuseram uma base de inspiração para proposta do EM3FI. Com base no que foi analisado e apresentado, identificou-se, portanto, ausência de abordagem metodológica mais robusta para um modelo de maturidade em gestão de energia voltado para a indústria de alimentos.

Com o banco de dados dos trabalhos com relação primária e os artigos correlatos adicionados ao portfólio de pesquisa, foi possível ampliar o universo de pesquisa dentro da gestão de energia e indústria de alimentos. Esse banco de dados fornece agora um total de 75 documentos a serem avaliados. A partir do próximo capítulo, para o levantamento das barreiras, aspectos e atributos, o banco está formado pelos 32 do portfólio bibliográfico e 43 adicionados como artigos correlatos à pesquisa.

PARTE III:
DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE MATURIDADE PARA
GESTÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS
(EM3FI)

5. PROPOSIÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE

Para o presente capítulo, serão apresentadas todas as etapas necessárias para a construção da proposta do modelo de maturidade. Esta atividade está contemplada pela etapa A3 do IDEF0. Pelo fato de ser um capítulo de múltiplas fases e de construção complexas, a Figura 44 demonstra os passos da forma como serão detalhados no capítulo.

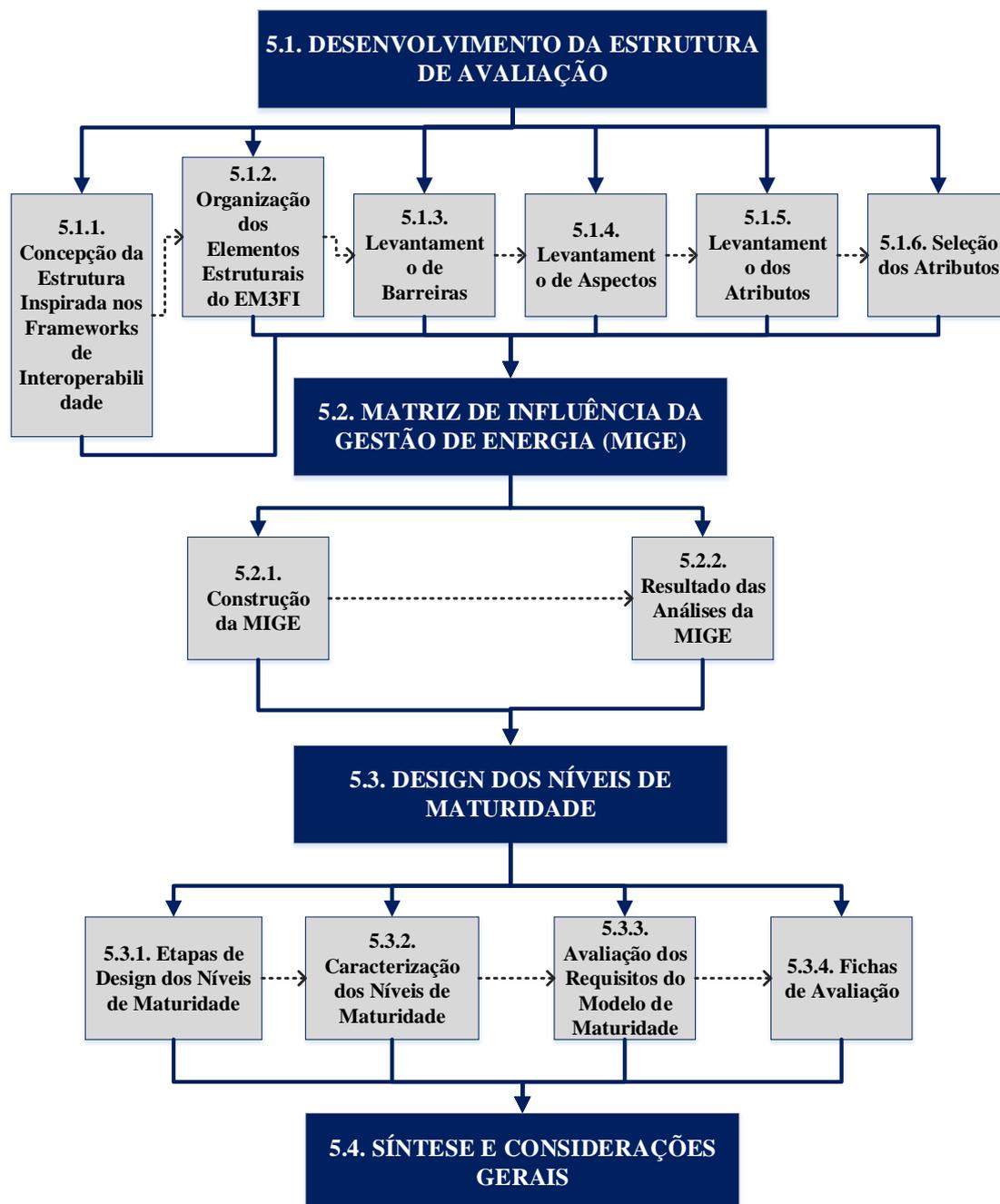


Figura 44 – Fluxograma do desenvolvimento do capítulo cinco

5.1 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO

Neste item da etapa 5.1 são detalhadas todas as fases para o desenvolvimento da estrutura de avaliação necessária para o modelo de maturidade.

5.1.1 Concepção da Estrutura inspirada nos Frameworks de Interoperabilidade

Para entender por que a abordagem da interoperabilidade inspirou a organização estrutural do conhecimento avaliativo nesta pesquisa, são detalhados os objetivos e elementos dos frameworks da interoperabilidade.

Daclin *et al.* (2006) e INTEROP (2006) e o *European Interoperability Framework* EIF (2010) consideram as barreiras em três dimensões: (i) as barreiras de natureza conceitual, caracterizada pela diferença de sintaxe e semântica na troca de informações; (ii) as barreiras tecnológicas, relativas à incompatibilidade das tecnologias da informação (arquitetura e plataformas, infraestrutura, etc.). Estas barreiras dizem respeito às normas de processo de comunicação de dados e informações através da utilização de sistemas de informação (software); e (iii) as barreiras de natureza organizacional, relacionadas com a definição de responsabilidade e autoridade para que a interoperabilidade ocorra sobre boas condições.

Com estas considerações a respeito das barreiras de interoperabilidade pode-se afirmar que: (i) as empresas não são interoperáveis por causa de barreiras; (ii) que as barreiras são incompatibilidades de diversas naturezas em diferentes níveis da empresa; (iii) que as barreiras são comuns a todas as empresas e podem ser identificadas e resolvidas. Assim, é possível com a análise dessas barreiras identificar vários obstáculos para a interoperabilidade e sugerir soluções desses problemas.

A interoperabilidade, além das *barreiras*, apresentam as *perspectivas*, que de acordo com Chen *et al.* (2008) são responsáveis por definir o conteúdo de interoperação que pode ocorrer em vários níveis da empresa: dados, serviços, processos e negócios. A interoperabilidade de *dados* trata os diferentes modelos de dados (hierárquico, relacional, etc.) e das diferentes linguagens de consulta para encontrar e compartilhar informações provenientes de bases heterogêneas. A interoperabilidade dos *serviços* preocupa-se com a identificação, composição e definição de função junto a vários serviços e aplicações, resolvendo as diferenças sintáticas e semânticas, bem como a localização de conexões com as diversas bases de dados heterogêneas.

A interoperabilidade dos *processos* refere-se a fazer vários processos trabalharem juntos, caracterizando a coordenação dos mesmos. Geralmente, em uma empresa, vários processos são executados na coordenação em interações (em série ou em paralelo). A interoperabilidade de *negócio* refere-se ao alinhamento organizacional em sua perspectiva estratégica, que deve considerar os diferentes modos de tomada de decisão, métodos de trabalho, legislação, cultura da empresa e abordagens comerciais, a Figura 45 demonstra a matriz da interoperabilidade.

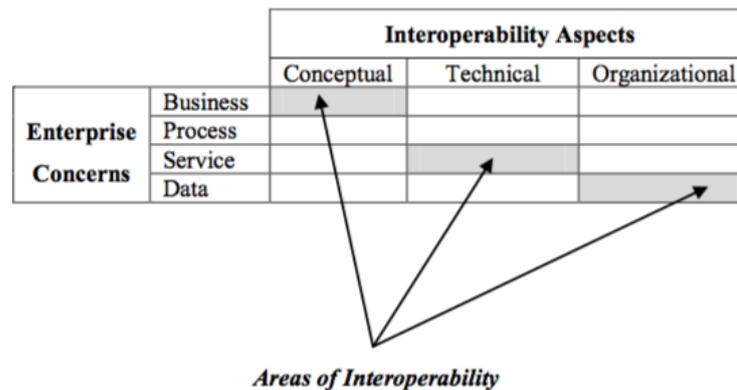


Figura 45 – *Enterprise Interoperability Framework*

Fonte: Guédria, *et al.*, (2009).

As definições apresentadas acima sobre as barreiras, as preocupações ou aspectos, fazem parte da matriz de avaliação de interoperabilidade e motivaram a construção de uma estrutura relacional MIGE para o modelo de maturidade da pesquisa. A matriz se inspirou nas características estruturais dos frameworks de interoperabilidade para dar à pesquisa, diferentemente da avaliação dos modelos de maturidade da gestão de energia, uma característica mais granular nas óticas de avaliação. Tal granularidade é caracterizada pela avaliação evolutiva (maturidade) de atributos posicionados em quadrantes estabelecidos pelas *barreiras & aspectos* da gestão de energia, identificados pela revisão da literatura.

Com base na construção de uma matriz inspirada nos frameworks da interoperabilidade, a Figura 46 ilustra a estrutura formada do EM3FI e como estão dispostas as barreiras, os aspectos e os atributos a serem preenchidos nos seus quadrantes.



Figura 46 – Estrutura formada para o modelo EM3FI

Os próximos itens relatam como foram conduzidas as etapas de formação da matriz de avaliação EM3FI.

5.1.2 Organização dos Elementos Estruturais do EM3FI

A estrutura mostrada na Figura 47 demonstra as etapas de desenvolvimento: da matriz de avaliação do modelo; da construção dos níveis de maturidade, e da formalização do modelo EM3FI. Na fase 1, é desenvolvida a matriz de avaliação composta pela estrutura de *barreiras* e *aspectos* que formaram os quadrantes de avaliação, que possui os atributos qualificadores da gestão de energia no modelo. Na fase 2, são definidos os níveis de maturidade do modelo e as ações que identificam cada um desses níveis. Na fase 3, é finalizada a formalização do modelo EM3FI com todas as estruturas completas: a matriz de avaliação e a definição dos níveis de maturidade, que suporta a estrutura completa do modelo.

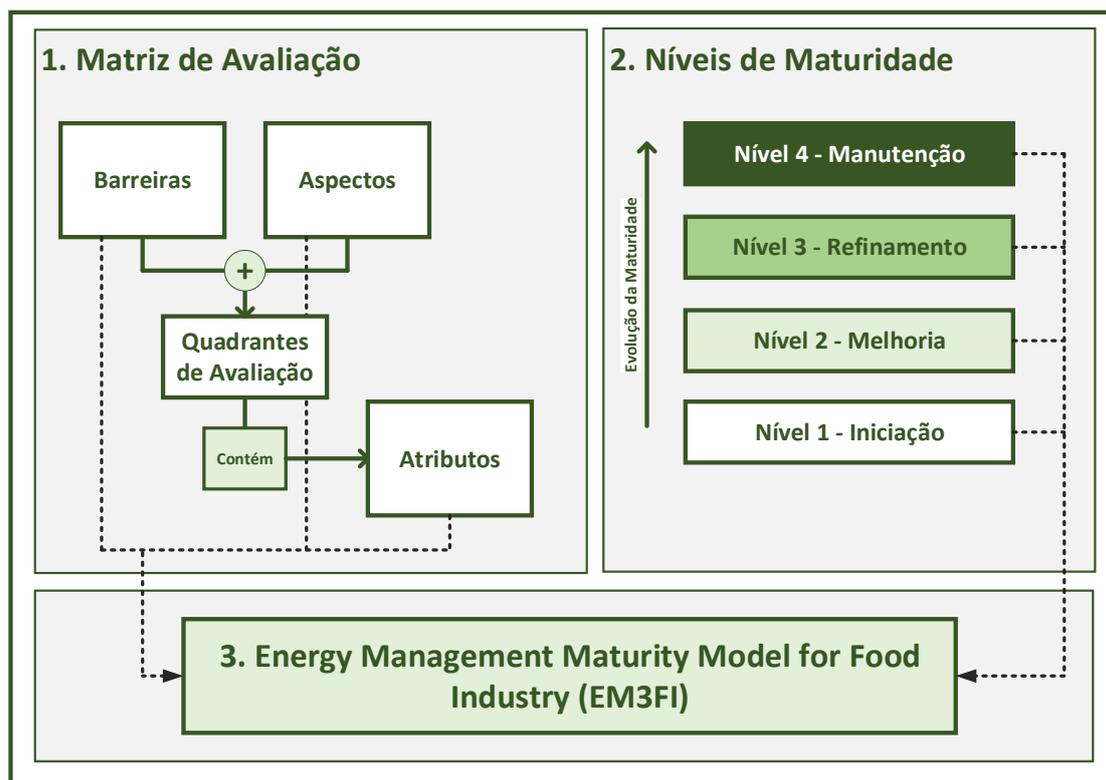


Figura 47 – Desenvolvimento da estrutura de avaliação do EM3FI

A partir da definição das etapas mostradas acima, foram desenvolvidas em cada um dos itens - um, dois e três - as etapas para construção e preenchimento da estrutura de avaliação do EM3FI.

5.1.3 Levantamento de Barreiras

O levantamento das barreiras para formação da estrutura de avaliação está estabelecido na etapa A1 do modelo IDEF0. Para realizar o levantamento dessas barreiras que compõem a estrutura de avaliação, a ferramenta *auto coding* do software ATLAS-TI é utilizada, identificando em todo o banco de dados, todas as vezes que a palavra *barriers* aparecia. Desta forma o software identifica através de *quotations* a palavra *barriers*, que são utilizadas nas análises, a Figura 48 mostra o exemplo.

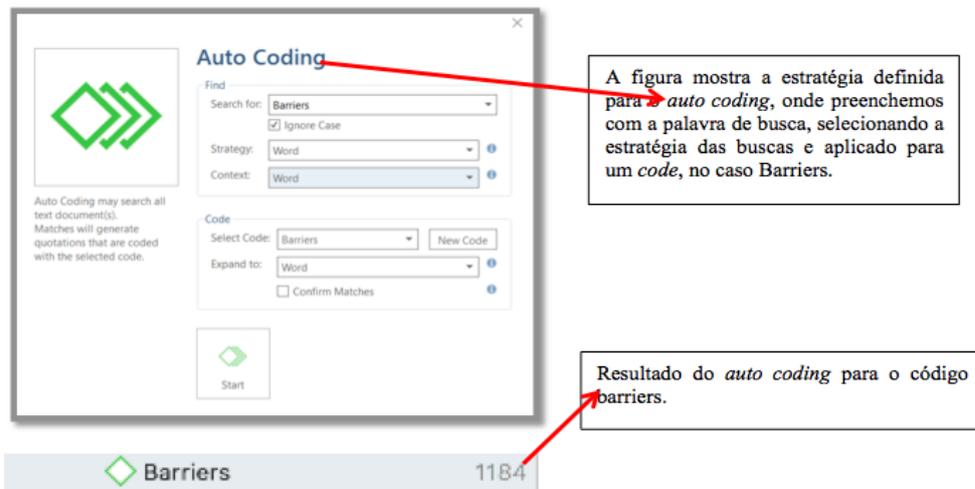


Figura 48 – Codificação das barreiras para as buscas no software Atlas.TI

Com as buscas realizadas com o software, nos artigos que utilizaram a palavra *barriers*, a sentença na qual a palavra aparecia foi recortada e levada para uma planilha no Excel, identificado: pelo autor do artigo; qual o tipo de barreira identificada e a descrição na gestão de energia. A Figura 49 representa a tabela criada em Excel para ilustrar o conteúdo ligado às barreiras no contexto da gestão de energia.

		Base Selecionada	Base de Artigos EM
Nilsson	Autores	Palm e Thollander	Paulus
In practice, the administrative cost of having a full scale EnMS constitutes a barrier for these companies often being SMEs with lower energy cost shares	<p>Recorte Artigo</p> <p>In this way, the EU is going a step further than traditional economic policies based on mainstream economic theory, as the Directive's aim is both to eliminate market imperfection and eliminate market barriers</p>		
The programme does, however, emphasize electricity efficiency rather than other factors of production as a prerequisite for industrial competitiveness. It also make requirements and provide tools for companies to overcome commonly cited barriers like "the lack of access to capital" and "the lack of time or other priorities"	<p>One categorization within mainstream economic theory is that between market failures/ imperfections and market barriers as the former may justify public policy intervention if passing a cost-benefit analysis</p>		

Figura 49 – Base de dados gerados na análise de conteúdo com autor e recorte do artigo sobre barreira

Com a leitura dos recortes retirados dos documentos, foi factível conhecer quais são as barreiras encontradas na gestão de energia de acordo com a ocorrência. De acordo com a frequência em que elas aparecem, foram identificadas seis macros barreiras: (i) Econômica; (ii) Comportamental; (iii) Organizacional; (iv) Tecnológica; (v) Normativa e; (vi) Informacional. Essas macro barreiras são identificadas como o enquadramento das barreiras que mais aparecem nos textos relacionadas ao mesmo assuntos. Por exemplo, na macro barreira econômica: os assuntos mais aparecem e estão ligados a essa barreira são: *payback*, *capital limitado*, *financiamento*, etc., ou seja, todas esses assuntos estão ligados as questões econômicas, então são relacionados a macro barreira econômica.

Durante a etapa de levantamento das barreiras e análise dos recortes da literatura, foram identificados elementos muito específicos, mas que em um contexto geral tratavam de uma mesma categoria. Por exemplo, através da leitura das citações levantou-se a barreira de *custos ocultos* e a de *capital limitado*. Mesmo tratando de elementos diferentes, as duas barreiras podem ser categorizadas como *econômicas*.

De maneira resumida, foram levantadas todas as barreiras que eram passíveis de avaliações, com relevância determinada pela análise de frequência e apoiada pela literatura. Assim, as barreiras foram agrupadas em seis macro categorias: Econômica, Organizacional, Comportamental, Informacional, Tecnológica e Normativa. Criando então, a categoria de *macro barreira*, composta pelos seis grandes grupos dos principais assuntos e as *micro barreiras*, compostas pelos elementos específicos que estão ligadas a cada macro barreira e possuem relevância para avaliação em uma macro barreira. A Tabela 2 mostra quais são as macro barreiras e as micro barreiras para cada banco de dados - indústria de alimentos e gestão de energia.

Tabela 2 – Frequência das macro e micro barreiras para matriz de avaliação dos atributos

Macro-Barreira	Barreira	Indústria de Alimentos	Gestão de Energia
Econômica	Capital limitado	10	29
	Imprevisibilidade	8	22
	Payback	3	4
	Financeiras	1	2
	Custo de implementação	8	17
	Custo-Benefício	2	1
	Baixa relevância	3	0
	Financiamento	1	3
	Econômica	3	13
	Necessidade de auditorias	1	2
	Baixo investimento	3	12
Comportamental	Mercado	2	4
	Fator humano	17	37
	Baixa priorização	3	21
	Falta de tempo	1	13
Organizacional	Gerenciais	6	6
	Estrutura de Mercado	3	14
	Capacidade de Monitoramento	4	4
	Cultura organizacional	16	29
	Treinamento	5	6
Tecnológica	Manutenção	4	1
	Falta de tecnologia de implementação	5	7
	Falta de conhecimento técnico	1	1
	Inovação/desenvolvimento tecnológico	7	11
	Falta de Técnicas	4	6
	Rejeição de tecnologias	2	3
Normativa	Baixa adoção/difusão de tecnologias	5	8
	Alto custo de certificação	1	2
	Falta de regulamentação/padronização adequada	1	2
	Políticas e Programas internos	1	4
	Políticas externas	2	7
Informacional	Normatização	2	4
	Falta de informação	16	29
	Falta do Benchmarking	1	1
	Falta de competências e habilidades	4	19
	Baixa difusão de informações	3	4

Para análise de ocorrência destas barreiras encontradas nos documentos ligados à gestão de energia, uma análise de frequência de termos foi realizada de forma a suportar a decisão de quais delas seriam adotadas na estrutura de avaliação, de acordo os dois bancos de dados. O Gráfico 2 apresenta a frequência de ocorrência das barreiras na indústria de alimentos.

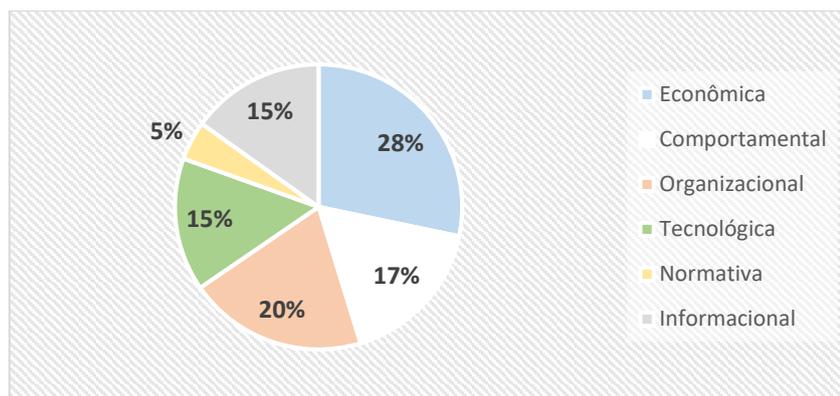


Gráfico 2 – Frequência das macro barreiras na indústria de alimentos

Para o banco de dados da gestão de energia as barreiras encontradas são similares às da indústria de alimentos, como mostra a análise de frequência apresentada no Gráfico 3.

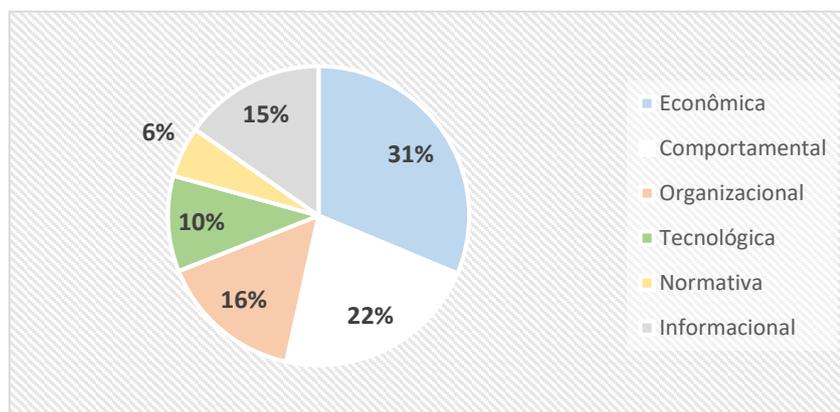


Gráfico 3 – Frequência das macro barreiras na gestão de energia

Esta associação das informações dos bancos de dados GE (Gestão de Energia) + IA (Indústria de Alimentos) formou as barreiras que compõem a parte horizontal da estrutura preliminar de avaliação. No total, são seis macros barreiras que mais ocorrem pela análise de frequência. A seleção das barreiras para composição da estrutura de avaliação seguiram os critérios:

- a) Frequência de ocorrência de cada barreira;
- b) Correlação com outras barreiras evidenciadas;
- c) Posicionamento da literatura em relação à barreira.

Pelo *primeiro critério* (a) estabelecido, a ocorrência em relação à frequência de cada barreira, as que ocorrem em maior número são: (i) Econômica; (ii) Comportamental e (iii) Organizacional. De acordo com a Tabela 3, podemos verificar:

Tabela 3 – Ocorrência das macro barreiras encontradas na análise dos artigos

Macro Barreira	Frequência Indústria de Alimentos	Frequência Gestão de Energia	Total
Econômica	45	109	154
Comportamental	27	77	104
Organizacional	32	54	86
Tecnológica	24	36	60
Normativa	7	19	26
Informação	24	53	77

Pelo *segundo critério (b)* de correlação com outras barreiras, verifica-se: (i) Informação - está ligada a todas as demais barreiras encontradas; (ii) Normativa - está relacionada com as normas que a organização deverá ser orientada para conseguir certificações como a ISO; (iii) Comportamental - está correlacionada à questão organizacional.

Pelo *terceiro critério (c)* da indicação de avaliação através da literatura, alguns posicionamentos são destacados: Groot, *et al.*, (2001) definem três categorias principais de barreiras: (i) organizacionais; (ii) econômicas e (iii) tecnológicas. Sardanou (2008) identificou dois tipos de barreiras principais: (i) econômicas e (ii) organizacionais. Para Trianini, *et al.*, (2013) as barreiras são: (i) econômicas; (ii) organizacionais e (iii) comportamentais.

Diante dos três critérios estabelecidos para definição das barreiras para matriz de avaliação, foram selecionados:

- (i) *Econômica*: possui a maior frequência na literatura; não possui correlação direta com as demais barreiras e, segundo a literatura, aparece como relevante em estudos para ser avaliada;
- (ii) *Organizacional*: aparece como uma das mais recorrentes; engloba a barreira comportamental em seu escopo de avaliação; e na literatura aparece entre as três principais barreiras a serem estudadas;
- (iii) *Tecnológica*: aparece como a quarta em maior ocorrência; não possui correlação direta com as demais barreiras; ocorre em grande maioria dos autores que descrevem sobre as barreiras na gestão de energia.

5.1.4 Levantamento dos Aspectos

Para esta etapa dos *aspectos*, a fase A1 do IDEFO foi consumida para o desenvolvimento. O mesmo procedimento adotado para levantamento das barreiras foi adotado nesta etapa dos aspectos. A primeira análise realizada foi com a palavra *concern*, como descreve o modelo de interoperabilidade de Chen (2008). Estes

resultados não foram significativos para formação da estrutura. Desta forma, as buscas com o software, no banco de dados, foram ampliadas para as palavras: *characteristics; perspectives; aspects* e *categories*. Os resultados encontrados nas buscas das demais palavras estão no apêndice II e os resultados encontrados para os aspectos que são considerados mais consistentes e ocorrem em maior número, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Frequência de palavras para os aspectos na formação da matriz de avaliação

Análise de Frequência Aspectos			
Aspectos	Indústria de Alimentos	Gestão de Energia	Total
Medição	14	10	24
Ferramentas e Técnicas	12	11	23
Financeiros	10	12	22
Informação (falta de, <i>know-how</i> , baixa difusão, comunicação)	13	8	21
Gestão	6	10	15
Tecnologia	7	7	14
Decisão	4	6	10
Estratégia	4	5	9
Normativas, Legislação e padronização	3	5	8
Benefícios (preocupações, poupança de energia)	0	3	3
Adaptação	0	2	2
Capacitação (implementação de projetos de EE)	1	1	2
Integração	0	2	2
Produto	0	2	2
Recurso energético	0	1	1
Sistema de energia	0	1	1
Total	74	86	159

Os critérios para seleção dos *aspectos* na matriz de avaliação foram:

- a) Ocorrência da palavra aspecto pela análise de frequência;
- b) Correlação com o contexto da gestão de energia e indústria de alimentos;
- c) Posicionamento da literatura em relação ao aspecto a ser avaliado.

Pelo *primeiro critério (a)*, estabelecido em relação aos aspectos que possuem maior ocorrência, tem-se: (i) Medição; (ii) Ferramentas e Técnicas; (iii) Financeiro e (iv) Informação.

Pelo *segundo critério (b)*, que possui correlação com a gestão de energia, tem-se: (i) Estratégia; (ii) Ferramentas e Técnicas; (iii) Tecnologia e (iv) Gestão.

Pelo *terceiro critério (c)*, o posicionamento da literatura em relação aos aspectos, tem-se:

1) A palavra *processo* não aparece na Tabela 4, mas está relacionada de forma direta com todos os aspectos da gestão de energia, conforme o critério dois. Conforme De Canio (1997), “...reconhecer evidências de falhas nos *processos de decisão* corporativa torna-se uma barreira ao progresso”. Para Dobes (2013), “...variações do *desempenho do processo* padrão e identificação das causas de melhor ou pior desempenho”. Na avaliação de Fleiter, *et al.*, (2011), “...*processo de adoção de tecnologia* é indispensável para a modelagem de políticas de eficiência energética que visam superar as barreiras...”. Este aspecto foi inserido na estrutura preliminar, pois todas as decisões, medições, estratégias, tecnologias e normas estão ligadas diretamente ao processo.

2) *Medição*: foi incluída na estrutura preliminar, pois atende ao critério um; ao critério dois da forte correlação com a gestão de energia e ao critério três pelo posicionamento da literatura. Conforme Jovanovic, *et al.*, (2017) “não está claro o que deve ser medido e, muitas vezes, não há registros de *medição*”. Para Introna, *et al.*, (2014) “...ferramentas adequadas para a *medição* e controle do desempenho energético não podem ser efetivas se não houver compartilhamento e envolvimento em relação a problemas energéticos e dados disponíveis”. Para Djekic, *et al.*, (2016) “...identificam várias categorias como desafios para *medição* na indústria de alimentos, tais como: política, objetivos, monitoramento e medição e treinamento de funcionários.”

3) *Estratégia*: atende ao critério um de avaliação, pela ocorrência; ao critério dois, pois possui alta relação com a gestão de energia e atende ao critério três da literatura. Para Thollander e Ottosson (2010), “...pesquisas descobriram que uma *estratégia* energética de longo prazo é de extrema importância para o sucesso do gerenciamento de energia...”. Dobes relata (2013) “como a abordagem sistemática do gerenciamento de energia integrada à *estratégia* e à operação da empresa”. Em Ates e Durakbasa (2012) “a *estratégia* de energia é um método de estabelecer um mecanismo de autoridade que exige que outras pessoas da organização cumpram os requisitos de relatórios necessários para gerenciar adequadamente a energia”.

4) O item *operacional* também estará como um aspecto a ser avaliado, mesmo que não esteja presente na Tabela 4. Pois, não atende ao critério um, mas atende ao critério dois relacionado ao contexto da gestão de energia e indústria de alimentos, pois está destacado como um dos itens em que mais ocorrem problemas na melhoria

da eficiência energética. Da mesma forma que o item processo, o operacional está diretamente ligado às questões como estratégia, decisões, econômicos, etc., necessárias para o funcionamento do processo produtivo. Para Dobes (2013), “é importante a abordagem sistemática da gestão de energia ser integrada à estratégia e à *operação* da empresa”. Em Fleiter, *et al.*, (2011), “...independentemente das tecnologias adotadas nos modelos, elas dependem dos custos financeiros e das regras de decisões *operacionais*.” Para Rudberg, *et al.*, (2013), “...a gestão de energia inclui todos os processos de tomada de decisões *operacionais*, táticas e estratégicas que envolvem ou afetam processos e operações relacionados ao uso de energia”. Para Trianni, *et al.*, (2013), “As barreiras *operacionais* se referem explicitamente a possíveis sobreposições e interações entre barreiras teóricas...”.

5.1.5 Levantamento dos Atributos

Esta etapa está relacionada à fase A1 do IDEF0, para a construção da estrutura de avaliação. Na fase de levantamento dos atributos, uma nova análise de conteúdo é realizada, com o software ATLAS.TI, para selecionar nos artigos as palavras que compõem o universo de avaliação da gestão de energia e a indústria de alimentos.

Os artigos são inseridos no software ATLAS.TI, com as etapas: (i) inserção dos documentos no software; (ii) aplicação dos *codes*, para transformar as palavras em códigos; (iii) utilização da ferramenta *Word List*, para gerar a frequência com que as palavras ocorrem nos documentos, e (iv) exportação dos resultados para o Excel para facilitar as análises massivas de palavras que causavam interrupções no software ATLAS.TI. A Figura 50 representa como o software identifica as palavras destacadas como *codes* (lado esquerdo da figura) e efetua a marcação no documento analisado (lado direito da figura).

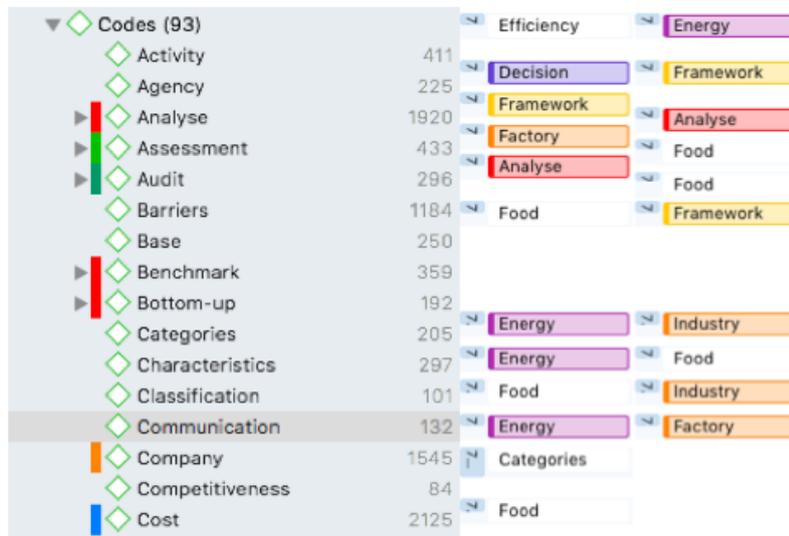


Figura 50 – Códigos gerados para identificação dos codes (lado esquerdo), destaque das palavras encontradas no artigo (lado direito)

A ferramenta *Word List* contabilizou cerca de 40.000 palavras distintas dentro do acervo. Os seguintes critérios foram utilizados para eliminação das palavras: (i) numerais; (ii) nomes próprios; (iii) preposições, prefixos, conjunções e elementos de ligação (*and; or; the, e.g.*) e; (iv) palavras que ocorriam menos de vinte vezes. A etapa que demonstra a tabela de frequência gerada em sua totalidade está no apêndice III.

As 40.000 palavras foram exportadas para a planilha de Excel, e deste total, a partir dos critérios de exclusão listados acima, resultaram em 170 palavras. Deste total foram formados 96 agrupamento de palavras, conforme mostra a Figura 51.

Atlas Exported Data	Total	Gestão de Energia	Food Industry	
Activity	activities	277	151	180
	activity	116	53	72
	agency	24	18	5
Analyze	analysis	1281	696	663
	analyze	86	50	45
	analyzed	217	94	157
	analyzing	92	45	59
Assessment	assess	103	57	64
	assessment	252	118	180
Audit	audit	167	135	57
	audits	104	70	52
Barrier	barrier	238	232	129
	barriers	913	809	355
Base	base	108	69	44
	baseline	109	53	57
Benchmark	benchmark	128	113	25
	benchmarking	155	103	81
	bottom-up	158	121	39
Categories	categories	113	69	62
	category	86	48	47
	chain	101	26	84
	characteristics	284	205	108
	classification	87	70	26
	communication	92	53	55

* Grupo de Palavras:
Ex. Activity
Coding: Activity|Activities

* Palavra Avulsa:
Ex. Communication
Coding: Communication

Figura 51 – Recorte do agrupamento das palavras no levantamento dos atributos

Com a formação dos 96 grupos de palavras realizados na planilha do Excel, foi permitido determinar nove categorias de possíveis atributos a serem refinados na MIGE. A determinação e categorização desses atributos ocorreu pela análise de frequência das palavras (apêndice III) e pela correlação e relevância dos possíveis atributos a serem avaliados na estrutura de avaliação preliminar. A Figura 52 apresenta as nove categorias geradas pela análise de frequência no software ATLAS.TI.

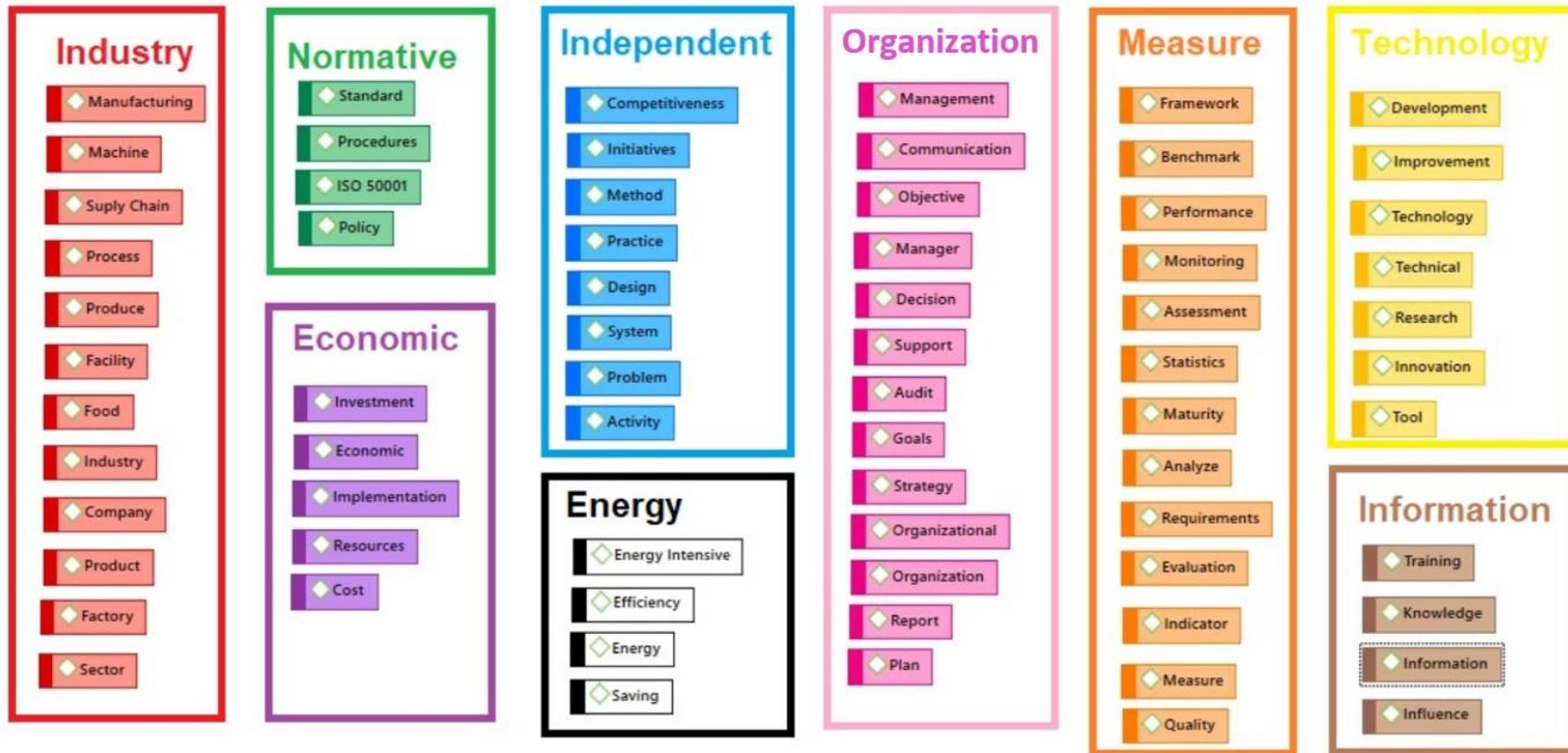


Figura 52 – Categorias geradas na análise de frequência no banco de dados

Esta formação das categorias habilitou a geração de 70 possíveis atributos a serem avaliados. A análise das frequências das palavras, além da formação das categorias geradas na figura 52, também permitiu a geração das redes de relacionamento dos atributos ligados a cada dimensão de avaliação. A Figura 53 apresenta a rede de palavras (atributos preliminares) que se relacionam com os domínios do *energy management* e *food industry*.

As redes auxiliam no processo de identificação do conhecimento nos domínios de espaço problema e solução. Elas permitem uma correlação semântica existente para melhor posicionamento da proposta de tese. Neste sentido, as redes de relações obtidas para gestão de energia e indústria de alimentos atuam como elementos referenciais de apoio para a análise da matriz relacional MIGE.

A Figura 54 apresenta a rede de palavras que se relacionam com as barreiras: as preocupações; características; perspectivas; categorias e aspectos ligadas a gestão de energia e indústria de alimentos. Estas palavras são as que ocorrem com maior frequência nos dois bancos de dados.

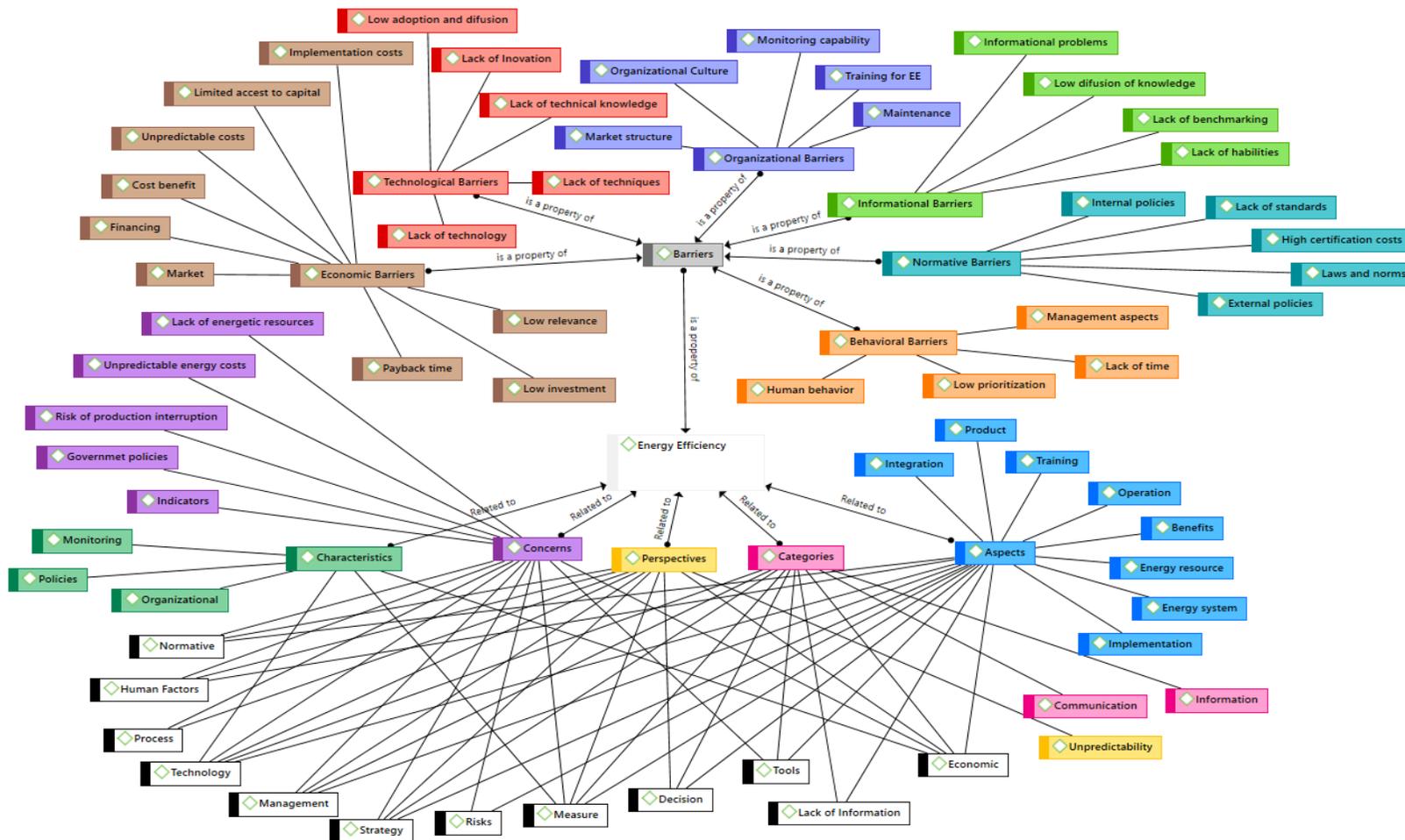


Figura 54 – Rede de palavras formada pelas barreiras e aspectos da gestão de energia e indústria de alimentos

5.1.6 Seleção dos Atributos

Neste trabalho, *atributo* foi considerado como aquilo que é próprio de algo, como características, classes e variáveis que permitem uma organização observar, avaliar e alcançar níveis de maturidade na forma evolutiva na gestão de energia no contexto da indústria de alimentos. O universo de possíveis atributos para estarem nos quadrantes teria um total de setenta, distribuídos em nove categorias. Diante deste volume de atributos, foi necessário estabelecer alguns critérios de exclusão:

- (i) Atributos que não possibilitam a avaliação por níveis de maturidade (ex: *activity*);
- (ii) Atributos que remetem a barreiras ou aspectos por motivos de redundância e ambiguidade (ex: *strategy*);
- (iii) Atributos que não pertencem a nenhum quadrante após o enquadramento relacional preliminar na MIGE (ex: *practices*);
- (iv) Atributos com nível de abrangência muito amplo, pela dificuldade de descrição e avaliação por níveis de maturidade (ex: *analysis*).

Diante destes critérios de exclusão estabelecidos acima, restaram vinte e um atributos, antes da avaliação para posicionamento na MIGE que são definidos no Quadro 8.

Quadro 8 – Definição dos atributos

Análise - AN	A estratégia empregada na análise é identificar o maior número possível de fatores econômicos e organizacionais que possam influenciar na melhoria da eficiência energética.
Auditoria - AU	Inspeção, pesquisa e análise de fluxos de energia para conservação, redução de quantidade de entrada de energia no sistema sem afetar negativamente a produção. A auditoria é a chave para a tomada de decisões na área de gerenciamento de energia, uma abordagem sistemática no setor industrial.
Comunicação - CM	Refere-se principalmente a interligação de sistemas, pessoas, processos e equipamentos, preocupando-se com protocolos e interfaces.
Custos - CT	Os custos em sua grande maioria estão relacionados à produção e devem otimizar a produção para redução do consumo energético.
Decisão – DC	As decisões devem levar em consideração as questões heterogêneas de cada tipo de processo; devem ser baseadas em conhecimento e dados.
Ferramentas - FE	As ferramentas devem ser usadas para as empresas superarem as barreiras; as ferramentas básicas podem reduzir o consumo de energia.
	Define as funções de planejamento, organização e controle do

Gestão - GE	processo de transformação e sua utilidade no fornecimento de um bem ou serviço aos clientes.
Indicador -ID	Devem ser definidos indicadores de eficiência energética que possam ser aplicados em todas as situações, mas os indicadores apropriados devem ser definidos dependendo da decisão a ser tomada ou da ferramenta de decisão a ser aplicada.
Informação - IF	Relacionada com a capacidade de trocar conteúdos entre empresas (benchmarking) e setores, utilizar estes conteúdos, documentos, e arquivos de dados para estabelecer vantagem competitiva, garantir a avaliação correta, comprovação de resultados de melhoria na gestão de energia.
Iniciativas - INC	As iniciativas para eficiência energética com o envolvimento dos gerentes de operações com uma posição claramente definida, aumentam de forma significativa os resultados.
Inovação - IN	A empresa precisa perceber a vantagem competitiva, a complexidade, a compatibilidade, a possibilidade de testar e a observação como características para adoção da inovação em seu processo.
Investimento - INV	Relacionado ao suporte gerencial, melhora o apoio à decisão para investimentos em eficiência energética. O acesso a informações corretas diminui a incerteza e os riscos associados, e melhora as atividades de acompanhamento, como fatores predominantes na melhoria dessas decisões de investimento.
ISO 50001	Especifica requisitos aplicáveis ao uso e consumo de energia, incluindo medição, documentação e relatórios, design e práticas de aquisição de equipamentos, sistemas, processos e pessoal que contribuem para o desempenho energético.
Máquina - MQ	As máquinas devem passar por manutenções, renovações constantes e calibrações que permitem o bom funcionamento e a economia de energia.
Monitoramento - MN	Relacionado à análise do consumo de energia de máquinas, processos de suporte e fabricação, para caracterizar e reduzir a energia usada no processo de fabricação.
Padronização - PD	Observam padrões e normas técnicas internas e externas, que objetiva padronizar processos, conformidade e qualidade do produto. ^[1] _[SEP]
Políticas - PL	Políticas que forneçam às empresas informações relevantes sobre as possibilidades de investimento em tecnologias de economia de energia e incentivos.
Relatórios - RL	Os relatórios gerados devem ser reportados aos gerentes para acompanhamento dos resultados na produção e levantamento de possíveis melhorias na gestão de energia.
Requisitos – RE	Os requisitos são considerados as características mais específicas, de um planejamento de um sistema de gestão de energia.
Suporte - SP	Existe a necessidade de uma perspectiva gerencial para melhorar o suporte à decisão para investimentos em eficiência energética.
Treinamento - TR	O treinamento de funcionários melhora as habilidades e reduz o consumo de energia por unidade de produção.

5.2 MATRIZ DE INFLUÊNCIA DA GESTÃO DE ENERGIA (MIGE)

A matriz de influência da gestão de energia (MIGE) é uma estrutura inspirada na ferramenta *Quality Function Deployment* (QFD), que será utilizada para posicionar os elementos selecionados até o momento como possíveis atributos nos quadrantes de avaliação. Os cálculos previstos no QFD não são relevantes na MIGE, pois o objetivo não é priorizar atributos ou avaliar o seu grau de importância, por isso *será somente avaliada a nota atribuída a cada atributo em relação aos quadrantes de avaliação*, a fim de definir o melhor posicionamento.

A utilização do QFD em sua versão original precisou ser adaptada para as necessidades dos estudos relativos aos atributos levantados nos itens anteriores, resultando na estrutura relacional MIGE. A análise básica da ferramenta é composta por duas partes: (i) na primeira, chamada de teto da matriz, estuda-se a influência dos elementos relativos aos mesmos; (ii) a segunda corresponde ao meio da matriz em que se relaciona o peso do elemento em relação a outro componente de comparação. No caso da MIGE, serão os quadrantes da estrutura de avaliação. Para ambas as partes da matriz atribuem-se pesos, a partir da literatura, realizada com a análise de frequência com que os atributos se correlacionam com as barreiras e os aspectos. A contribuição da matriz MIGE para o modelo é na análise relacional que habilita o posicionamento dos atributos nos quadrantes de avaliação, conforme os pesos atribuídos.

5.2.1. Construção da MIGE

Resgatando os métodos aplicados na matriz QFD, o primeiro passo para criação da MIGE é entender de que forma a ferramenta poderia ser aplicada para o estudo. Originalmente se trata de uma ferramenta de qualidade, que compara normalmente requisitos do produto com requisitos do cliente, e serve para identificação de possíveis elementos conflitantes. Como o resultado do QFD é o grau de importância dos requisitos, pode-se também ranquear os elementos posicionados na base do teto, podendo assim priorizar e definir um plano de ação.

Trazendo para a problemática da MIGE, baseada no QFD, a matriz servirá de ferramenta para refinar os atributos previamente levantados e posicioná-los nos quadrantes em que apresentam relação forte de avaliação. A Figura 55 mostra o fluxograma de construção da MIGE, que será detalhadamente abordado nos próximos parágrafos.

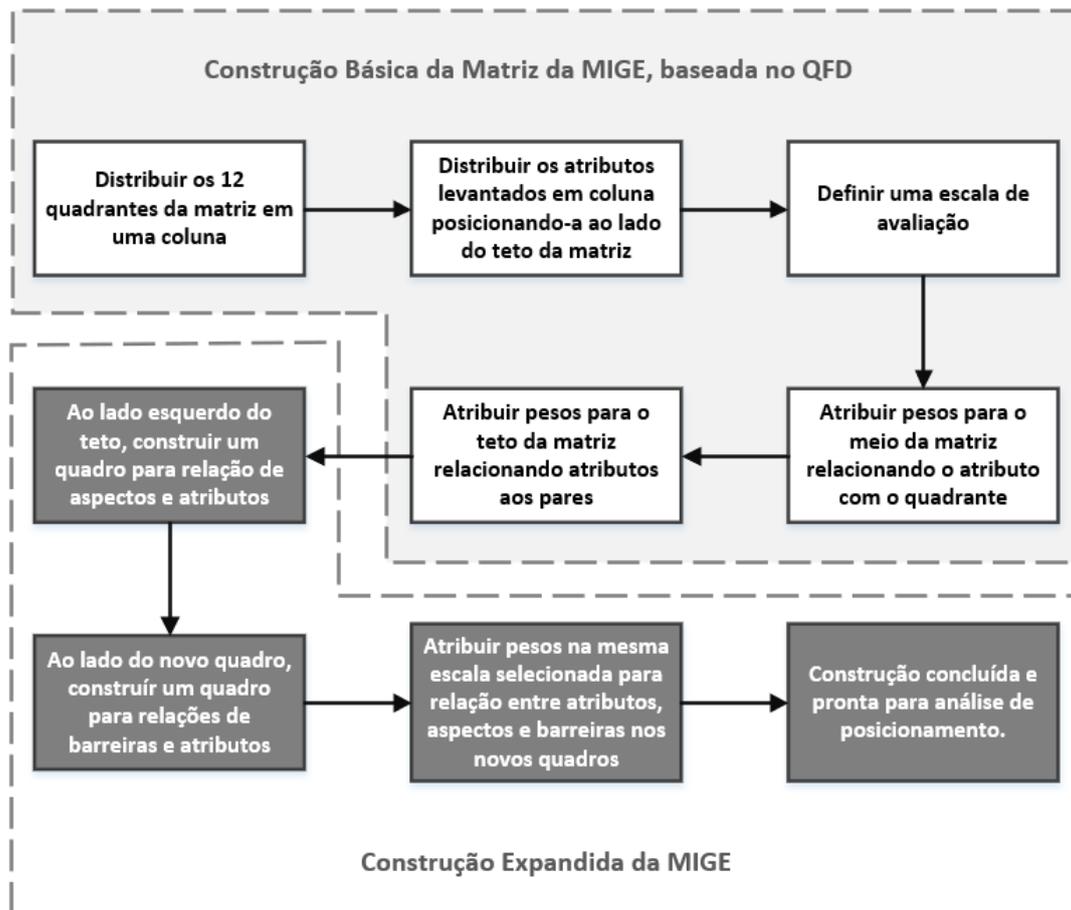


Figura 55 – Fluxograma de desenvolvimento da matriz MIGE

A área marcada pela construção básica da MIGE representa a estrutura similar ao QFD, no desenvolvimento do meio e teto da matriz. A etapa chamada de construção expandida representa os elementos adicionais idealizados para refinar o posicionamento de atributos nos quadrantes de avaliação. Nos elementos do fluxograma em que se descreve a atribuição de pesos, adotou-se a escala onde: (1) representa relação muito fraca; (3) relação fraca; (6) relação forte; (9) relação muito forte.

Receber nota nove no meio da matriz significa que para o quadrante relacionado o atributo tem relação muito forte, considerado relevante. Levando em conta que quadrantes são compostos por barreiras e aspectos, a estrutura expandida foi desenvolvida para realizar a análise relacional do atributo diretamente com tais elementos, de forma a refinar e garantir a relevância dos posicionamentos definidos nas análises da MIGE presentes nos próximos itens, a Figura 56 apresenta a estrutura da MIGE.

barreiras, aspectos, atributos, a estrutura preliminar de avaliação e análises de frequência, para a determinação do posicionamento final dos elementos que serão inseridos e utilizados na estrutura de avaliação.

Na fase seguinte, o atributo deve receber nota nove em pelo menos um quadrante, o que significa que ele é relevante em pelo menos um enquadramento da avaliação. Como o objetivo não é priorizar ou determinar o grau de importância, um atributo que recebe nota máxima apenas em um quadrante tem a mesma relevância que um elemento que recebeu cinco pesos nove. A Figura 57 ilustra um recorte da MIGE no meio, que representa a estrutura que será utilizada para primeiras análises.

Quadrante	Atributos																				
	Análise	Auditoria	Comunicação	Custos	Decisão	Ferramentas	Gestão	Indicador	Informação	Iniciativas	Inovação	Investimento	ISO 50001	Máquina	Monitoramento	Padronização	Políticas	Relatórios	Requisitos	Suporte	Treinamento
PE	6	3	3	9	6	9	6	9	9	3	3	9	9	9	9	6	1	6	3	6	3
PO	3	6	6	3	9	9	9	6	9	3	3	6	9	6	9	6	1	9	3	9	6
PT	6	6	3	6	3	9	3	6	6	3	9	9	6	9	9	6	3	3	6	6	9
EE	1	3	3	9	6	3	9	3	6	1	3	6	3	1	1	1	3	9	3	3	1
EO	1	6	9	6	9	6	9	3	9	3	3	6	6	1	6	1	6	6	3	6	6
ET	3	3	1	6	9	6	3	6	9	6	3	9	1	9	6	6	3	3	1	3	6
ME	6	6	3	9	1	9	3	9	9	1	1	3	3	6	3	1	1	9	1	3	9
MO	6	3	6	9	1	6	1	9	9	1	1	1	3	9	9	1	3	9	1	6	6
MT	3	3	1	3	3	9	3	9	6	1	1	6	3	9	9	3	1	6	1	3	6
OE	1	9	3	9	3	9	6	3	6	1	3	9	3	6	6	1	1	6	6	9	9
OO	6	9	6	3	6	6	9	3	9	3	1	6	9	1	6	3	3	9	6	9	9
OT	6	1	1	3	6	9	6	6	9	3	9	9	3	9	6	3	1	6	1	6	9

Figura 57 – Recorte da matriz MIGE

A primeira conclusão realizada a partir dos pesos da matriz são os atributos: Análise, Iniciativas, Padronização, Políticas e Requisitos foram prontamente eliminados da estrutura de avaliação, pois não receberam nota nove em relação a nenhum dos quadrantes, com base na literatura.

A estrutura expandida, conforme mostrada na Figura 58, foi idealizada para reforçar e refinar posicionamentos, já que quadrantes são formados por aspectos e

barreiras. A nota nove no enquadramento não necessariamente atribui a mesma nota ao respectivo aspecto e barreira relacionados.

Barreiras			Aspectos				Atributos
3	3	9	9	3	9	9	Análise
3	9	9	9	6	9	9	Auditoria
6	9	3	6	9	1	9	Comunicação
9	6	9	9	9	1	9	Custos
6	9	6	3	9	3	9	Decisão
9	6	6	9	6	9	9	Ferramentas
3	9	6	9	9	9	9	Gestão
3	9	9	9	9	9	9	Indicador
9	6	6	6	9	9	9	Informação
9	9	3	3	9	1	3	Iniciativas
9	3	1	9	9	3	6	Inovação
9	3	9	9	9	9	9	Investimento
9	9	6	9	9	9	9	ISO 50001
9	9	3	9	6	9	9	Máquina
9	9	9	9	6	9	9	Monitoramento
3	9	9	9	6	9	9	Padronização
3	9	9	3	9	3	9	Políticas
9	9	9	9	9	9	9	Relatórios
9	9	3	9	6	9	9	Requisitos
9	9	6	6	3	3	9	Suporte
9	9	9	9	9	9	9	Treinamento
Tecnológica	Organizacional	Económica	Processo	Estratégia	Medição	Operação	

Figura 58 – Recorte da matriz MIGE com o posicionamento dos atributos

Para que o posicionamento de um atributo seja validado, ele deve receber nota nove (9) no quadrante e no aspecto e barreira relacionado. A análise realizada para validar os posicionamentos é demonstrada nos exemplos abaixo:

➤ **Atributo:** Treinamento

Quadrante: PT (Processo + Tecnológico) – Peso atribuído = 9

Aspecto: Processo – Peso atribuído = 9

Barreira: Tecnológico – Peso atribuído = 9

Conclusão: Posicionamento validado do atributo Treinamento no quadrante PT

➤ **Atributo:** Decisão

Quadrante: PO (Processo + Organizacional) – Peso atribuído = 9

Aspecto: Processo – Peso atribuído = 3

Barreira: Organizacional – Peso atribuído = 9

Conclusão: Posicionamento não validado do atributo Decisão no quadrante PO

Realizando a análise demonstrada nos exemplos anteriores para enquadramento relacional que teve peso atribuído igual a nove (9) dentro da matriz,

define-se o resultado final do posicionamento de atributos na matriz de avaliação desenvolvida. Salienta-se que atributos repetidos em mais de um quadrante não possuem a mesma definição, pois são descritos segundo o contexto da barreira e aspecto que o envolvem, a Figura 59 mostra o resultado dos enquadramentos em cada quadrante.

PE	Custos	Indicador	Investimento	Monitoramento	
PO	Gestão	ISO 50001	Monitoramento	Relatórios	Suporte
PT	Ferramentas	Inovação	Investimento	Máquina	Treinamento
EE	Custos	Relatórios			
EO	Comunicação	Decisão	Gestão	Informação	
ET	Informação	Inovação			
ME	Indicador	Relatórios	Treinamento		
MO	Indicador	Monitoramento	Relatórios		
MT	Ferramentas	Máquina			
OE	Auditoria	Custos	Investimento	Treinamento	
OO	Auditoria	Gestão	ISO 50001	Suporte	Treinamento
OT	Ferramentas	Investimento	Máquina		

Figura 59 – Resultado do enquadramento dos atributos

Para dar robustez aos posicionamentos realizados, garantindo que nenhum atributo seja descartado de forma precipitada, foram aplicados os critérios de *Process Approach* (PLATTS, 1993; PLATTS, *et al.*, 1998) e os requisitos do *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) (KEENEY, 1996) para a exclusão de atributos. Os critérios do método *Process Approach* são:

Factibilidade: A factibilidade pode ser testada a partir da constatação de que o processo pode ser seguido (PLATTS, 1993; PLATTS, *et al.*, 1998). Para minimizar a importância do pesquisador (experiência) na factibilidade do processo, os autores recomendam a utilização de diferentes facilitadores.

Usabilidade: Buscam-se identificar problemas ocorridos em cada fase do processo e a forma com que o processo é conduzido (PLATTS, 1993; PLATTS, *et al.*, 1998). Podem ser utilizados questionários, com questões fechadas e abertas para avaliar o grau de maturidade da empresa. Estas informações servem tanto para testar o modelo desenvolvido, mas também para refiná-lo.

Utilidade: A utilidade do processo pode ser testada indiretamente, através dos objetivos definidos para gestão de energia, e da identificação de problemas durante a avaliação, com a geração de planos de ação.

O modelo proposto prevê a aplicação de métodos multicritério para realização da análise diagnóstica e prognóstica sobre a ótica dos atributos. Logo, tais elementos foram avaliados sobre os requisitos *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) (KEENEY, 1996), de modo a garantir que os atributos que prosseguirão na etapa de

aplicação atendam aos critérios necessários para análise correta. Tais requisitos dão suporte às exclusões realizadas até o momento. Eles são descritos abaixo:

Operacionais: Possibilitam coletar informações requeridas sobre o desempenho das ações potenciais, dentro do tempo disponível e com esforço viável.

Isolável: Permite a análise de um aspecto fundamental de forma independente com relação aos demais aspectos do conjunto (este requisito, muitas vezes, só pode ser testado no desenvolvimento dos descritores).

Não redundante: O conjunto de objetivos fundamentais não deve levar em conta o mesmo aspecto mais de uma vez.

Conciso: O número de aspectos considerados pelo conjunto de objetivos fundamentais deve ser o mínimo necessário para modelar, de forma adequada, o problema segundo a visão dos decisores.

Compreensível: Deve ter seu significado claro para os decisores, permitindo a geração e comunicação de ideias.

Essenciais: Devem levar em conta os aspectos de fundamental importância segundo o sistema de valores dos decisores.

Controláveis: Devem representar um aspecto que seja influenciado apenas pelas ações potenciais.

Completo: O conjunto de objetivos fundamentais deve incluir todos os aspectos considerados com fundamentais pelos decisores.

Mensuráveis: Permitem especificar, com menor dúvida possível, o desempenho das ações potenciais, segundo aspectos considerados fundamentais pelos decisores.

Para validar os atributos sobre a ótica do *Process Approach* e requisitos MCDM, foi concebido um quadro relacional, que contém as principais atividades da ISO 50001 e os níveis de maturidade propostos no decorrer deste documento. Além de dar suporte aos posicionamentos e descartes realizados, será garantido o alinhamento dos atributos com o escopo de pesquisa proposto, de forma a consolidar a estrutura de avaliação que suporta o modelo de maturidade. A Tabela 5 contém a avaliação dos atributos sobre a ótica dos métodos previamente descritos, que receberam notas 1, 3 ou 6, sendo que um (1) atende de forma fraca, (3) atende moderadamente, e (6) atende de forma forte.

Tabela 5 – Tabela com as notas atribuídas aos atributos

Atributos		Custos	Indicador	Investimento	Monitoramento	Gestão	ISO 50001	Relatórios	Suporte	Ferramentas	Inovação	Máquina	Treinamento	Comunicação	Decisão	Informação	Auditória	Requisitos	Políticas	Padronização	Análise	Iniciativa	Descrição		
Process Approach	1	6	6	6	6	6	6	6	3	6	3	6	6	3	3	6	6	3	6	6	3	3	Factibilidade: A factibilidade pode ser testada a partir da constatação de que o processo pode ser seguido		
	2	6	6	3	6	6	6	6	6	6	3	6	6	6	3	6	3	3	3	3	3	1	1	Usabilidade: Buscam-se identificar problemas ocorridos em cada fase do processo e a forma com que o processo é conduzido	
	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	3	6	3	3	3	3	1	1	Utilidade: A utilidade do processo pode ser testada indiretamente, através dos objetivos definidos para gestão de energia, da identificação de problemas durante a avaliação, com a geração de planos de ação.	
Requisitos MCDM	1	6	6	3	6	6	6	6	3	6	3	6	6	3	3	6	3	3	3	3	3	1	1	Operacionais: Possibilita coletar informações requeridas sobre o desempenho das ações potenciais, dentro do tempo disponível e com esforço viável.	
	2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	6	6	3	3	6	3	3	1	1	1	1	1	Isolável: Permite a análise de um aspecto fundamental de forma independente com relação aos demais aspectos do conjunto	
	3	6	6	6	6	6	6	3	6	6	6	6	6	6	3	3	6	3	3	3	3	1	1	Não redundante: O conjunto de objetivos fundamentais não deve levar em conta o mesmo aspecto mais de uma vez.	
	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	6	6	6	3	3	1	1	Conciso: O número de aspectos considerados pelo conjunto de objetivos fundamentais deve ser o mínimo necessário para modelar, de forma adequada, o problema segundo a visão dos decisores.	
	5	6	6	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	6	3	3	1	3	1	1	1	Compreensível: Deve ter seu significado claro para os decisores, permitindo a geração e comunicação de ideias.	
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	6	6	6	6	3	6	3	3	3	3	3	3	1	Essenciais: Deve levar em conta os aspectos de fundamental importância segundo o sistema de valores dos decisores.
	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	6	6	6	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	Controláveis: Deve representar um aspecto que seja influenciado apenas pelas ações potenciais.
	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	6	6	6	3	6	6	3	3	3	3	3	3	1	Completos: O conjunto de objetivos fundamentais deve incluir todos os aspectos considerados com fundamentais pelos decisores.
	9	6	6	6	6	6	3	6	3	3	6	3	6	3	3	3	3	3	1	3	3	1	3	3	Mensuráveis: Permite especificar, com menor dúvida possível, o desempenho das ações potenciais, segundo aspectos considerados fundamentais pelos decisores.
Níveis do MM		6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	3	6	3	3	3	3	3	1	1	3	1	1	O atributo analisado pode ser descrito e avaliado em níveis de acordo com o modelo proposto	
ISO 50001	1		6			6	6	6	6		6		6	6	6	6	6		6		6	6	6	Pessoas	
	2	6	6			6	6	6	6		6					6	6				6	6		Medição	
	3			6		6	6	6	6		6		6	6	6	6	6						6	Documentação	
	4					6	6	6					6	6	6	6	6		6					Comunicação	
	5	6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6		6	6				6		6	Práticas do Projeto de SGE	
	6	6	6		6		6	6	6	6		6	6			6					6			Equipamentos	
	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		Sistemas de Gestão de Energia	
	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		6	6	6		6			Processos	
** O Atributo deve se enquadrar em pelo menos um dos requisitos da ISO 50001 para ser validado na avaliação																									

Para análise da tabela acima, foram definidos os seguintes critérios:

➤ *Process Approach*: O atributo para prosseguir na avaliação não pode receber nota um (1) em nenhum dos três critérios, pois este peso representa o não atendimento do elemento relacionado.

➤ MCDM: O atributo para prosseguir na avaliação não pode receber nota (1) em nenhum dos nove requisitos, pois implica ao não atendimento do elemento relacionado.

➤ Níveis do Modelo de Maturidade: O atributo não pode receber nota (1) para prosseguir para estrutura final de avaliação, pois esta nota infere ao elemento que não consegue ser descrito em quatro níveis de maturidade.

➤ ISO 50001: O atributo deve apresentar pelo menos uma nota nove (9) para prosseguir para estrutura final de avaliação, pois representa o alinhamento com pelo menos uma das características extraídas da norma.

A partir das análises realizadas inicialmente neste capítulo e da validação mostrada na tabela 5, de relação dos atributos sobre a ótica dos métodos propostos, a estrutura de avaliação EM3FI consolidada está demonstrada na Figura 60.

		Matriz de Avaliação					
		Barreiras					
		Econômica		Organizacional		Tecnológica	
Aspectos	Processo	PE		PO		PT	
		Custos	Indicador	Gestão	ISO 50001	Ferramentas	Inovação
		Investimento	Monitoramento	Suporte	Relatórios	Investimento	Maquinas
		Monitoramento		Monitoramento		Treinamento	
		EE		EO		ET	
		Custos	Relatórios	Comunicação	Decisão	Informação	Inovação
	Medição	ME		MO		MT	
		Indicador	Relatórios	Indicador	Relatórios	Ferramentas	Máquinas
		Treinamento		Monitoramento			
		OE		OO		OT	
	Operação	Auditoria	Custos	Auditoria	Gestão	Ferramentas	
		Investimento	Treinamento	ISO 50001	Suporte	Investimento	
Treinamento		Treinamento		Máquinas			

Figura 60 – Matriz final do enquadramento dos atributos do modelo

Esta estrutura conclui o levantamento dos elementos que serão efetivamente avaliados no modelo proposto. Cada atributo inserido na matriz de avaliação será

descrito em níveis de maturidade do modelo. abordado no item seguinte, assim como os elementos considerados para sua construção e validação.

5.3 ESTRUTURAS QUE COMPÕEM O MODELO E DESIGN DOS NÍVEIS DE MATURIDADE

A proposição do modelo de maturidade absorve a fase A3 do IDEF0, onde é proposto o modelo de maturidade: *Energy Management Maturity Model for Food Industry* (EM3FI). O modelo está composto pelos macro grupos (i) níveis de maturidade; (ii) matriz de avaliação e (iii) fichas de avaliação dos atributos. Essas estruturas que compõem o modelo de maturidade estão definidas na Figura 61.

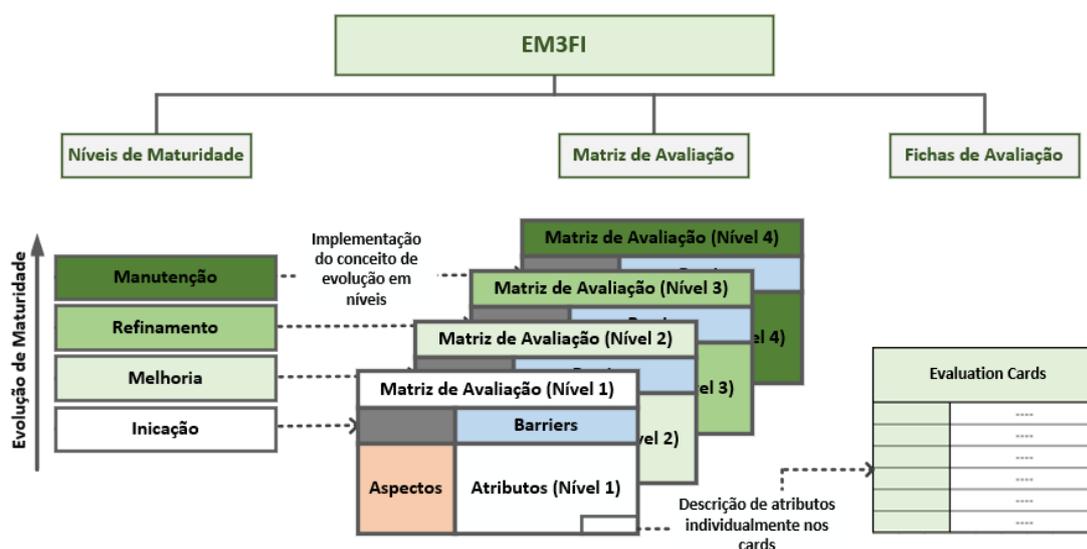


Figura 61 – Integração das estruturas que compõem o modelo EM3FI

A estrutura do modelo EM3FI possui os níveis de maturidade concebidos através de pesquisas na Norma ISO 50001;2011, com diretrizes da gestão de energia através de documentos e artigos, ainda modelos de maturidade das demais áreas. A estrutura da matriz de avaliação foi construída através da concepção de uma matriz de avaliação composta por barreiras e aspectos da energia com levantamento de atributos em uma perspectiva evolutiva dos níveis 1 até nível 4 em cada atributo.

As fichas de avaliação foram construídas para cada um dos 42 atributos avaliados no modelo em nível 1 até nível 4, (apêndice IV) contemplando as atividades que cada nível do atributo deve conter como: indicadores, descrição do atributo, resultado esperado, etc.

5.3.1 Etapas de Design dos Níveis de Maturidade

A identificação das práticas da gestão de energia encontradas na literatura, adicionadas a norma ISO 50001;2011 alinha o desenvolvimento das fases do modelo EM3FI. Com isso foram descritos os níveis de maturidade através desse conjunto de elementos, como próximo passo, a implementação dos conceitos evolutivos de maturidade nos atributos de avaliação da gestão de energia. Para implementar essa etapa de níveis evolutivos foram desenvolvidas as fichas de avaliação de cada atributo. Sendo que, cada nível maior de maturidade se baseia nos anteriores, adicionando novos problemas ou rigor. Esses conceitos de cada atributo, em cada nível, são incorporados, de forma evolutiva, através das fichas de avaliação (apêndice IV), a Figura 62 apresenta o fluxograma da construção desses níveis de maturidade.

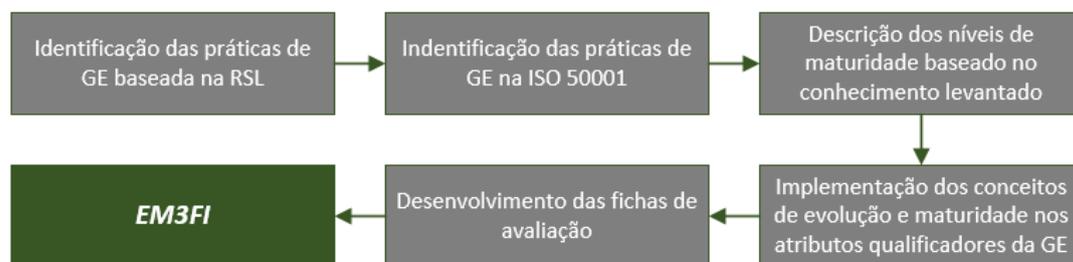


Figura 62 – Fluxograma do desenvolvimento dos níveis de maturidade

A principal diferença na proposta desenvolvida está na visão mais abrangente da organização, para avaliar cada fase da implementação ou operação. Vale ressaltar que cada autor adota uma nomenclatura, podendo ser: atributos, fatores, critérios, áreas, capítulos ou competências.

5.3.2 Caracterização dos Níveis de Maturidade

Para a qualificação dos níveis de maturidade e de sua configuração, demonstrados a seguir, foram adotados os requisitos e aspectos da Norma ISO 50001; 2011 como suporte no desenvolvimento nas etapas, o Quadro 9 representa os aspectos e requisitos.

Quadro 9 – Aspectos e requisitos da ISO 50001

Aspectos ISO 50001	Requisitos ISO 50001	
Medição	1) Requisitos da organização: (i) Documentar; (ii) Implementar; (iii) Manter e (iv) Melhorar o SGE.	2) Requisitos da política energética: (i) Relacionado à organização com a gestão de energia.
Documentação		
Comunicação		
Práticas do Projeto de SGE		

Equipamentos	3) Requisitos do Planejamento Energético: (i) Inclui aspectos gerais; (ii) Requisitos legais; (iii) Revisão energética; (iv) Indicadores de desempenho energético e (v) Objetivos, metas e planos de ação.	4) Requisitos de Implementação e Operação: (i) Competência; (ii) Treinamento e conscientização; (iii) Comunicação; (iv) Documentação; (v) Monitoramento; (vi) Medição e Análise; (vii) Auditoria e (viii) Controle de registros.
Sistema de Gestão de Energia		
Processos		
Pessoas		

Fonte: A Autora, 2019, inspirado na ISO 50001; 2011.

Para facilitar o entendimento da definição de cada um dos níveis e as características que explicam os quatro níveis, uma definição geral do que compõem cada nível é feita. Estes pontos referem-se aos aspectos gerais, de cada nível iniciando pelo nível 1 até o nível 4.

5.3.2.1 Definição geral do Nível 1 INICIAÇÃO:

A empresa avaliada apresenta pouco interesse na gestão de energia, pois o seu uso não é monitorado. A gerência não possui políticas ou metas relacionadas ao recurso, são realizados alguns esforços de forma isolada para gestão de energia. Em algumas organizações neste nível, medições de forma pontual para conhecer o estado atual da energia são realizadas, mas a utilização desses dados para gestão não ocorre. Os indicadores de energia não estão definidos, pois não são normalmente adotados e, quando utilizam, os resultados não são comunicados. No nível seguinte, alguns dos indicadores devem ser definidos. Os objetivos, tarefas e planos de ação para energia não existem ou, quando ocorrem, são pouco conhecidos. No nível seguinte os objetivos e metas devem ser descritos. O monitoramento, medição e análises não ocorrem. No nível seguinte, os indicadores deverão ser monitorados periodicamente.

5.3.2.2 Definição geral do Nível 2 MELHORIA:

Para o segundo nível de maturidade, a empresa está mais voltada para o planejamento das ações, empreendendo os primeiros esforços para entender e organizar o uso da energia. Uma política energética corporativa começa a ser desenhada e inicia a conscientização dos seus membros para a participação. Um responsável pela gestão de energia pode ser definido, mas ainda não envolve por completo toda a organização, que tenta encontrar, ainda de forma ocasional, medidas para reduzir o consumo, explorando oportunidades que possam ocorrer no processo. Os primeiros passos para medir e controlar são desenhados, para no próximo nível passar a implementação de todas as ações para gestão de energia que foram planejadas

neste nível. Os indicadores de energia foram definidos para as atividades principais dos usuários de energia. Para o próximo nível a empresa deverá apresentar todos os indicadores de energia para todos os usuários da organização e a metodologia de monitoramento. Os objetivos e metas para a energia existem, mas não estão no plano de ação para alcançá-los. No próximo nível devem ser documentados, implementados e revisados, com envolvimento de uma equipe com habilidades consistentes para propor as melhorias.

5.3.2.3 Definição geral do Nível 3 REFINAMENTO:

No terceiro nível de maturidade, a organização se caracteriza pelas ações intencionais para superar as ineficiências detectadas. Os planejamentos foram feitos e a organização implementará as ações e os avanços alcançados nas etapas preliminares para o SGE. O plano de ação foi estabelecido e agora as mudanças ocorrem de forma a atingir os resultados esperados e melhoria dos controles nos processos. Como um dos pilares do sucesso do nível três, está o apoio financeiro, importante para as melhorias necessárias relacionadas a investimentos. A colaboração dentro da organização precisará aumentar, a equipe que trabalhará com energia deverá ser treinada para entender a gestão de energia e adquirir as habilidades necessárias para conhecer o assunto e trabalhar com o SGE. Os demais setores da organização também devem estar cientes dos benefícios e metas das medidas de eficiência energética propostas para estabelecer o SGE e alcançar os resultados. Os indicadores são conhecidos e documentados para todos os usuários de energia, para estabelecer a metodologia de monitoramento prevista no plano de ação. Para o próximo nível, indicadores complexos (modelos estatísticos de previsão) são sugeridos para as decisões gerenciais. O controle da operação está documentado através de procedimentos, os processos que afetam significativamente o uso da energia estão definidos e os critérios de trabalho estão aplicados. Para o próximo nível, o controle da operação deverá ser gerenciado com auxílio da análise estatística; estes critérios deverão ser integrados dentro da produção. Nesta etapa, o monitoramento, medição e análise estão documentados, conectando o planejamento da medição e a calibração dos equipamentos. Para o próximo nível, os dados coletados devem passar por análise estatística e serem comparados para indicarem variações nos processos.

5.3.2.4 *Definição geral do Nível 4 MANUTENÇÃO:*

Neste último nível a organização está madura para entender que a redução e otimização do recurso energia vem da coleta, monitoramento e análise dos dados da energia de forma rotineira. A coleta dos dados é feita através da organização das atividades em forma de planos de ação. O monitoramento das atividades torna-se uma atividade padrão e permite desenvolver um sistema adequado de controle. As análises feitas através do monitoramento permitem a tomada de ações assertivas no processo e orientam o SGE. São definidas as responsabilidades nos níveis da organização e há participação efetiva da gestão nos resultados e nas ações de melhoria contínua. O controle da operação é gerenciado usando a análise estatística; os processos que afetam significativamente o uso da energia e seu impacto no meio ambiente são conhecidos e monitorados. O planejamento energético está integrado ao planejamento estratégico e os resultados servem como base para energia sustentável e melhor desempenho do setor. Os resultados das metas atingidas e *benchmarking* são comunicados internamente, comunicando a todas as partes interessadas.

5.3.2.5 *Design do Energy Management Maturity Model for Food Industry (EM3FI)*

A fase de proposição do EM3FI está relacionada à etapa A3, do método IDEF0. A Figura 63 ilustra o modelo de maturidade proposto para a pesquisa, com os quatro níveis definidos. Essa proposta tem início pelo nível 1, onde a organização não possui “preocupação” com a energia, evoluindo até o nível 4, onde a organização estará “madura” o suficiente para gerir de forma seguida e documentada a gestão do recurso energia, sob os resultados das ações aplicadas.

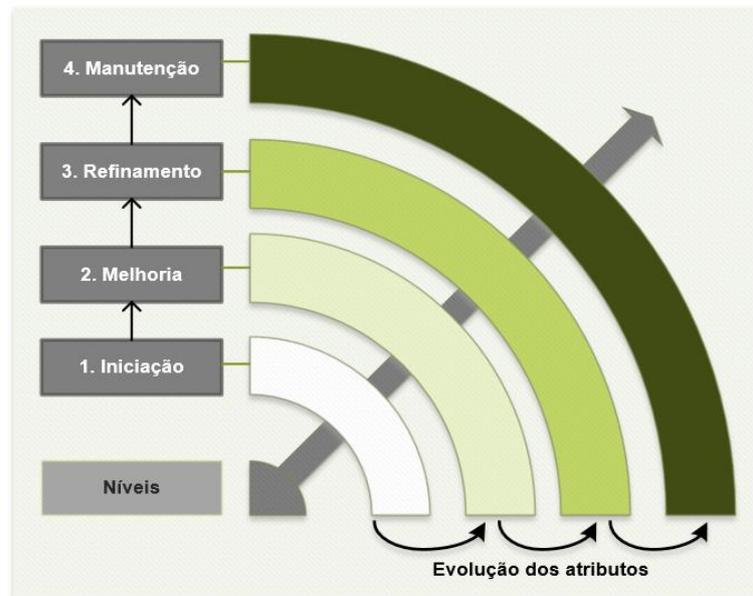


Figura 63 – Design do modelo de maturidade EM3FI

5.3.3 Avaliação dos Requisitos do Modelo de Maturidade

A análise desses requisitos da estrutura do EM3FI é avaliada sob a ótica dos DP's de Poppelbuß e Roglinger, (2011) e a organização evolutiva de Becker, *et al.*, (2009). O objetivo da tabela é observar o quanto o modelo EM3FI proposto contempla os critérios: atende totalmente (+++); atende parcialmente (++); atende fracamente (+) e até não atende (-).

Nos resultados encontrados, os itens que atendem de forma total (+++) são: 1.1(a); 1.1(b); 1.1(c); 1.1(e), com a concepção do modelo voltado para contemplar estes objetivos, assim como: 1.2 (a); 1.2(b); 1.2(c); 1.3; 1.4; 3.1; 3.2(a) e as tarefas do fluxograma: R1, R2 e R4 que caracterizam etapas de desenvolvimento, aplicação, objetivos e definição das estruturas de avaliação, nas quais o modelo da proposta atende completamente.

Os itens atendidos de forma parcial (++) são: 1.1(d); 1.2(d); 2.2(c); 3.2(b) relacionados a avaliação, configuração de critérios e fatores de influência ligados aos problemas encontrados na organização. Nas definições do racional de construção de Becker, *et al.*, (2009): a fase R3 para determinação de protocolo e R5 evolução conceitual não estão previstos para serem feitos dentro do modelo. O objetivo da validação conceitual do modelo da pesquisa não está relacionado a novos critérios a serem avaliados, e sim avaliar os atributos que já estão posicionados na matriz de avaliação.

Os itens que atendem fracamente (+), ou não atendem (-) são: 1.1(f); 2.2(a); 2.2(d); 3.2(c); 3.3(b); 3.3(c); 3.3(d). Eles são relacionados ao suporte de maturidade e dimensões, fundamentos teóricos, assessoria na avaliação de variáveis, assessoria em melhorias, adaptação e configuração dos cálculos de decisão, e não estão atendidos pelo modelo proposto.

O modelo de maturidade não está voltado para a realização de uma auditoria, mas para uma visão mais completa da organização, ou ainda das áreas avaliadas, adotado como ferramenta para orientar o processo antecedente a uma possível auditoria da gestão de energia na organização. Por este motivo, os DP's na etapa 3.3 relacionada à auditoria ficaram menos atendidos, pelo fato de não ser o foco principal do modelo desenvolvido na pesquisa. A Tabela 6 apresenta os critérios detalhados no texto, com os requisitos e princípios propostos para um modelo de maturidade pelos DP's e nas definições do racional de construção de Becker, *et al.*, (2009).

Tabela 6 – Avaliação do modelo de maturidade através dos DP’s e do fluxograma de Becker, *et al.*, (2009)

	Classificação			Nível 1	nível 2	nível 3	nível 4	
	Grupo	Divisão	Sub divisão					
Design Principals - Poppelbuß	1. Basic	1.1	1.1.a	+++	+++	+++	+++	
			1.1.b	+++	+++	+++	+++	
			1.1.c	+++	+++	+++	+++	
			1.1.d	++	++	++	++	
			1.1.e	+++	+++	+++	+++	
			1.1.f	+	+	+	+	
		1.2	1.2.a	+++	+++	+++	+++	
			1.2.b	+++	+++	+++	+++	
			1.2.c	+++	+++	+++	+++	
			1.2.d	++	++	++	++	
		1.3	-	+++	+++	+++	+++	
		1.4	-	+++	+++	+++	+++	
		2. Descriptive	2.1	-	+++	+++	+++	+++
			2.2	2.2.a	-	-	-	-
	2.2.b			++	++	++	++	
	2.2.c			++	++	++	++	
	2.2.d			+	+	+	+	
	3.1	-	+++	+++	+++	+++		
	3. Perspectrptive	3.2	3.2.a	+++	+++	+++	+++	
			3.2.b	++	++	++	++	
			3.2.c	+	+	+	+	
3.3		3.3.a	+++	+++	+++	+++		
		3.3.b	+	+	+	+		
		3.3.c	-	-	-	-		
3.3.d	-	-	-	-				
3.3.e	+	+	+	+				
Fluxograma inspirado em Becker et al 2009	Tarefa							
	R1			+++	+++	+++	+++	
	R2			+++	+++	+++	+++	
	R3			++	++	++	++	
	R4			+++	+++	+++	+++	
	R5			++	++	++	++	
	R6			++	++	++	++	

Legendas	Atende totalmente	+++	Atende Parcialmente	++	Atende Fracamente	+	Não Atende	-
Group	Design Principles							
(1) BASIC	1.1	Basic information a) Application domain and prerequisites for applicability b) Purpose of use c) Target group d) Class of entities under investigation e) Differentiation from related maturity models f) Design process and extent of empirical validation						
	1.2	Definition of central constructs related to maturity and maturation a) Maturity and dimensions of maturity b) Maturity levels and maturation paths c) Available levels of granularity of maturation d) Underpinning theoretical foundations with respect to evolution and change						
	1.3	Definition of central constructs related to the application domain						
	1.4	Target group-oriented documentation						
	(2) DESCRIPTIVE	2.1	Intersubjectively verifiable criteria for each maturity level and level of granularity					
2.2		Target group-oriented assessment methodology a) Procedure model b) Advice on the assessment of criteria c) Advice on the adaptation and configuration of criteria d) Expert knowledge from previous application						
3.1		Improvement measures for each maturity level and level of granularity						
(3) PRESCRIPTIVE	3.2	Decision calculus for selecting improvement measures a) Explication of relevant objectives b) Explication of relevant factors of influence c) Distinction between an external reporting and an internal improvement perspective						
	3.3	Target group-oriented decision methodology a) Procedure model b) Advice on the assessment of variables c) Advice on the concretization and adaption of the improvement measures d) Advice on the adaptation and configuration of the decision calculus e) Expert knowledge from previous application						
	R1	Estudo de um problema relevante						
R2	Estudos de comparação com modelos de maturidade							
R3	Determinação do protocolo							
R4	Abordagem selecionada + Design do modelo selecionado							
R5	Evolução conceitual							
R6	Comunicação do MM através de documentos e ferramentas							

5.3.4 Fichas de Avaliação

As fichas são artefatos de formalização do conhecimento avaliativo que têm o objetivo de organizar as informações inerentes ao nível de maturidade instanciado na definição do que é o atributo. Isso leva à caracterização de quatro artefatos (fichas de avaliação) para definição de um atributo em cada nível.

As fichas detalham as seguintes informações: (i) o atributo com a descrição; (ii) o enquadramento do atributo, neste caso, do exemplo *informação* no enquadramento: estratégia x organizacional (EO); (iii) a proposta de avaliação; (iv) resultado esperado e (v) indicador de avaliação respectivos para cada nível de maturidade. No apêndice IV, estão as demais fichas de avaliação dos atributos da matriz do modelo, a Figura 64 apresenta a ficha completa para o atributo informação.

Informação (EO)	Utilização da informação como estratégia da empresa para disseminar o conhecimento sobre gestão de energia e garantir que os colaboradores compreendam sua importância para o resultado econômico da organização			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar como a empresa utiliza a informação para comunicar a sua estratégia em relação a gestão de energia.	Verificar as informações internas geradas relacionadas a estratégia e conhecimento da gestão de energia por parte dos colaboradores da produção.	Verificar se a informação através da estratégia da empresa possui foco no direcionamento da melhoria da gestão de energia; (a) possui um protocolo para preencher estas informações para melhor compreensão de todos os envolvidos compreendidos por qualquer sistema que não tenha sido criado para isto.	Aplicar a estratégia baseada na informação que possui os direcionadores na empresa na gestão de energia; (a) avaliar os resultados das informações que estão baseadas como estratégia na gestão de energia.
Resultado Esperado	Adoção de estratégias por parte da empresa para informar como trabalhar a gestão de energia.	Ações feitas pela empresa para disseminar a gestão de energia.	Ações feitas pela empresa devem obter retorno na melhoria da gestão de energia.	Resultados das melhorias com base nas ações aplicadas na gestão de energia e disseminação da informação.
Indicador de Avaliação	(a) Adoção de estratégias para informar procedimentos, processos e resultados; (b) Existe informação sobre gestão da energia como uma das estratégias da empresa;	(a) Ações elaboradas voltadas para gestão de energia na empresa; (b) Qual o tipo de informação existente na empresa voltada para gestão de energia;	(a) Implementação de ações que foram informadas para gestão de energia.	(a) Resultados das ações em gestão de energia; (b) Melhorias realizadas em relação a falhas no processo de aplicação da estratégia.

Figura 64 – Exemplo de ficha de avaliação do atributo informação para os quatro níveis de maturidade

5.4 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES

O capítulo 5 apresentou o raciocínio do desenvolvimento das etapas do modelo EM3FI, que definem a sequência da pesquisa. Teve como base no seu desenvolvimento o apoio do trabalho de Becker, *et al.*, (2009), a ISO 50001;2011 e a validação conceitual relacionada às teorias de desenvolvimento do modelo de (Poppelbuß e Roglinger, (2011) e Becker, *et al.*, 2009), que fornecem o apoio para uma fase diagnóstica, com base no AHP, e uma fase decisional, com apoio do PROMETHEE.

Com base neste aporte conceitual e formalização completa do modelo, a fase que inicia na parte IV da pesquisa será a aplicação desse modelo. Essa fase permitirá a utilização de todas as estruturas desenvolvidas, a fim de conhecer o status atual da gestão de energia nas organizações onde será aplicado o EM3FI.

PARTE IV:
APLICAÇÃO E RESULTADOS DO MODELO EM3FI NA
INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

6. ABORDAGEM DE APLICAÇÃO DO MODELO

Este capítulo apresenta as etapas de *aplicação* do EM3FI, com o início no planejamento e desenvolvimento das fases necessárias para aplicabilidade do modelo. A segunda parte (item 6.2) está relacionada ao método multicritério AHP, utilizado para a análise diagnóstica com a estrutura de avaliação apresentada, através do software *Super Decisions*. Em sequência, vem o instrumento de aplicação (site – item 6.3), desenvolvido exclusivamente para aplicação do EM3FI. A terceira parte (item 6.4) está relacionada ao método multicritério PROMETHEE II, utilizado para a análise decisional, com a estrutura de avaliação apresentada, através do software Visual Promethee.

6.1 PROCEDIMENTO DE APLICAÇÃO DO MODELO EM3FI NA INDÚSTRIA

Baseado em Antunes, *et al.*, (2014), os modelos de maturidade “medem a maturidade organizacional, que pode ser definida como - uma medida para avaliar as capacidades de uma organização” de um domínio específico baseado em regras definidas. Esses modelos se espalharam por vários domínios, desde o desenvolvimento de produtos, gerenciamento de serviços, até eficiência de energia de data centers e outros.

A criação de um procedimento para aplicação de um modelo de maturidade para empresas utiliza uma composição de atributos retirados da literatura baseados nas barreiras e aspectos da gestão de energia, na avaliação pelo nível de maturidade da empresa, habilitado através de um site para os respondentes do modelo.

Entende-se que a avaliação dos atributos e as sugestões de como ultrapassar as barreiras são complementares. Quando são usados para diagnosticar um sistema de gestão de energia, revelam o quão bem estruturado aquele sistema está ou poderia estar, isto é, o potencial que ele tem para ter sucesso. Por outro lado, uma avaliação diagnóstica da gestão de energia através dos níveis de maturidade fornece uma medida de quão bem um processo de gestão da energia poderá trabalhar.

O diagnóstico ocorre em duas entidades. Uma delas faz parte de uma organização maior (com mais de uma unidade) e a outra possui apenas uma unidade. Para o caso da organização que possui mais de uma unidade, o escopo foi delimitado para avaliação dessa e, posteriormente, pode ser replicado para todas as demais unidades. Uma entidade é uma construção lógica e não precisa ser uma área específica, mas um conjunto de projetos ou áreas relacionadas com aspectos comuns

que podem participar de um processo de diagnóstico de maturidade. A definição de qual será a entidade avaliada é uma das primeiras atividades dentro do processo de diagnóstico e é importante lembrar que as entidades devem ser pertinentes ao domínio e com os objetivos do diagnóstico. A Figura 65 mostra exemplos de possíveis abordagens dentro de uma mesma organização que possui multiunidades. Considera-se unidade qualquer elemento que compõe a empresa e pode ser avaliado individualmente no contexto da gestão energética na indústria de alimentos.

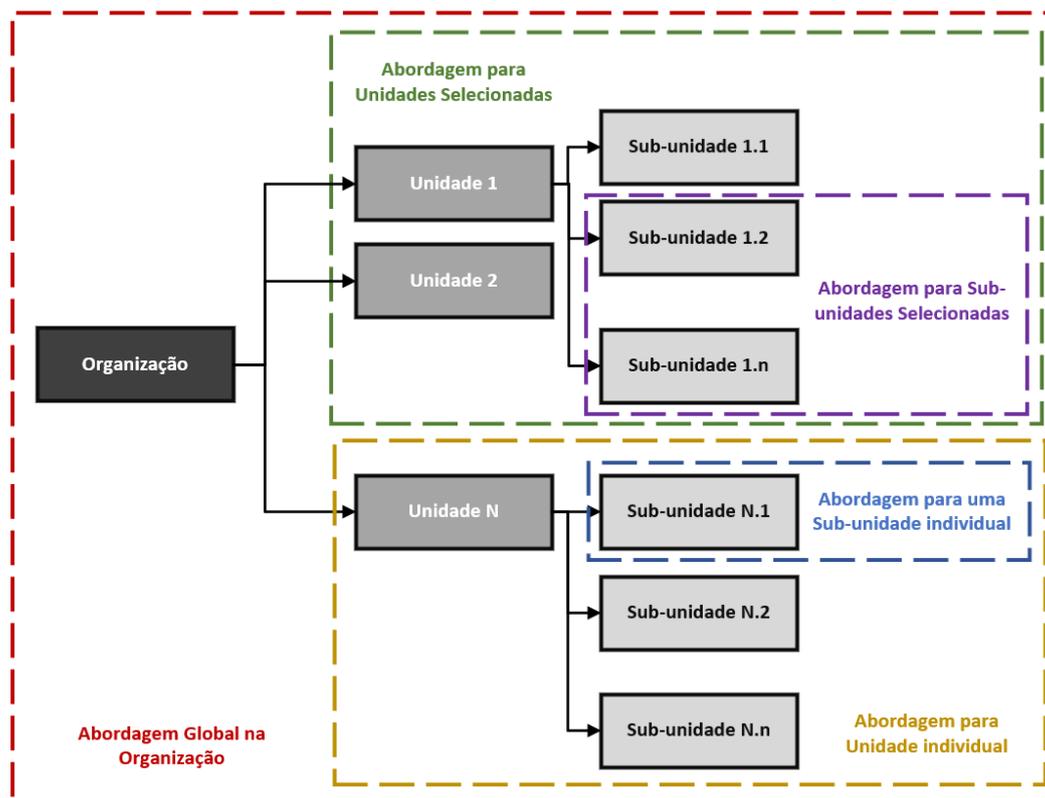


Figura 65 – Exemplo de unidades a serem avaliadas na pesquisa

Com a definição de qual unidade seria avaliada, é necessário delimitar as camadas a serem respondidas por cada especialista no modelo da pesquisa. Estas delimitações em camadas foram feitas para cada especialista responder as questões relacionadas a sua área de domínio. O modelo de maturidade proposto permite executar um diagnóstico em relação aos atributos avaliados, separados em quatro objetivos principais. O resultado diz respeito ao diagnóstico dos níveis de maturidade, de acordo com o Quadro 10.

Quadro 10 – Camadas a serem avaliadas no EM3FI

Objetivos	Descrição	Aspecto / Visão
Objetivo 1	A ótica gerencial não avalia atributos, por ter uma visão geral do negócio, portanto esta camada é responsável pela avaliação de aspectos e quadrantes apenas.	Visão Gerencial
Objetivo 2	Nesta camada os níveis de maturidade são avaliados e correspondem aos atributos <i>Gerenciais</i> do modelo.	Visão Estratégica
Objetivo 3	Nesta camada são avaliados os níveis de maturidade e os atributos <i>Econômicos</i> da gestão energética.	Visão Tática
Objetivo 4	Nesta camada são avaliados os níveis de maturidade e os atributos ligados a <i>Tecnologia</i> na gestão energética.	Visão Operacional

Os macro processos de aplicação do modelo estão representados pela Figura 66.

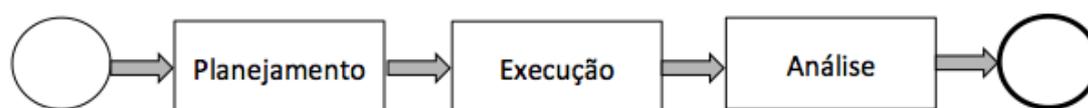


Figura 66 – Macro processos de aplicação do modelo EM3FI

A Figura 67 detalha a primeira fase de aplicação do modelo EM3FI, o *Planejamento* – Nele estão dispostas todas as *entradas* necessárias para iniciar os passos de aplicação do modelo. Para a segunda coluna, todas as *atividades* necessárias no contato e apresentação para empresa do modelo EM3FI. Na terceira coluna estão as *saídas* relacionadas às atividades anteriores. Na última coluna, as *partes envolvidas* nesta etapa do processo.

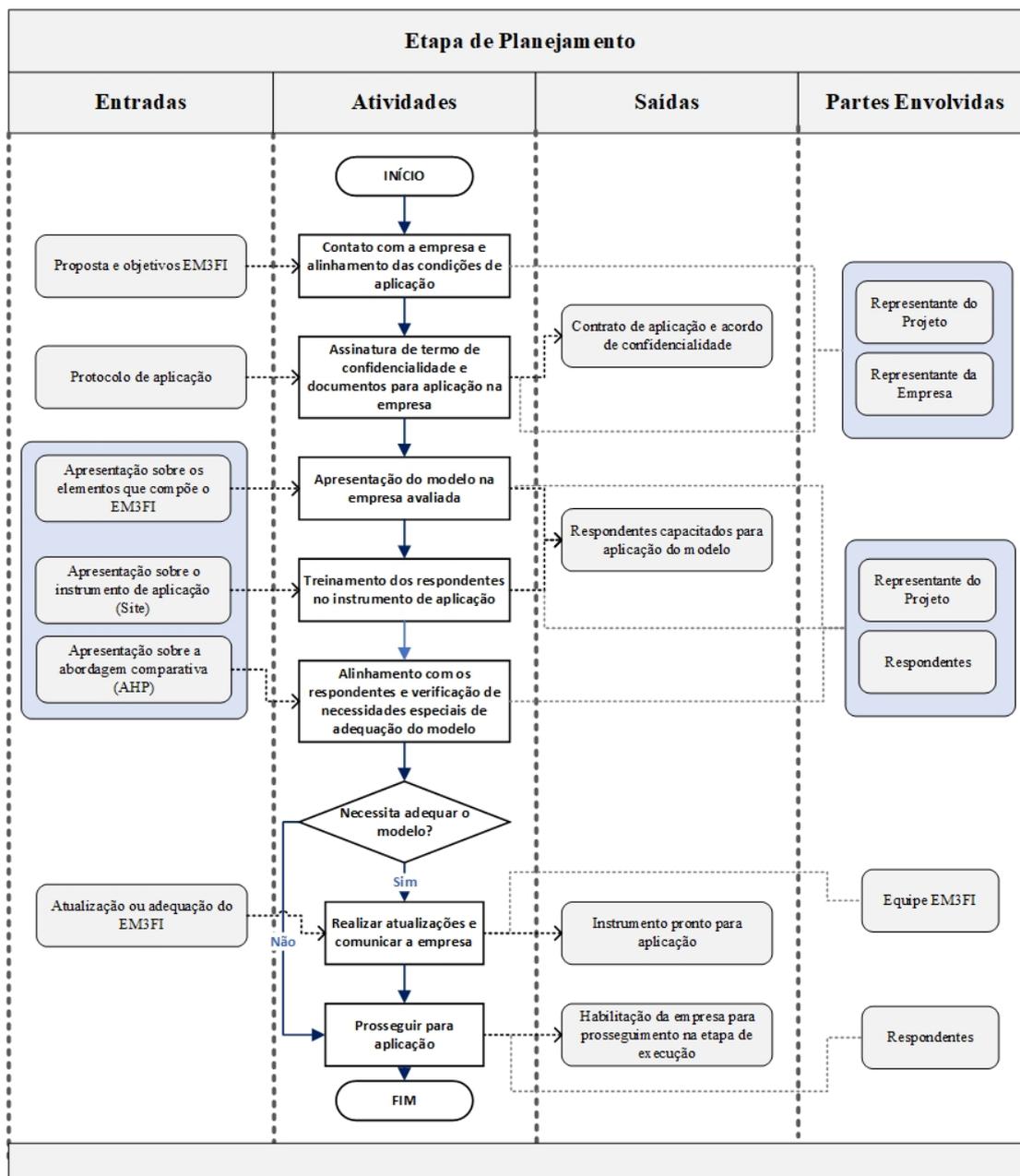


Figura 67 – Aplicação do EM3FI – fase do planejamento

Para a segunda fase - a etapa de *Execução* – as *entradas* iniciaram pelo instrumento de aplicação (site) utilizado como o instrumento de avaliação do modelo. Na segunda etapa - *equipe do projeto* – após a aprovação do cadastro no site para cada um dos respondentes, é necessária uma verificação da totalidade das respostas nos questionários. Este resultado é comunicado à empresa quando essa etapa de aplicação se encerra. Na terceira etapa - as *saídas* – há os retornos das respostas em relação à totalidade do modelo, a Figura 68 demonstra esta etapa de execução.

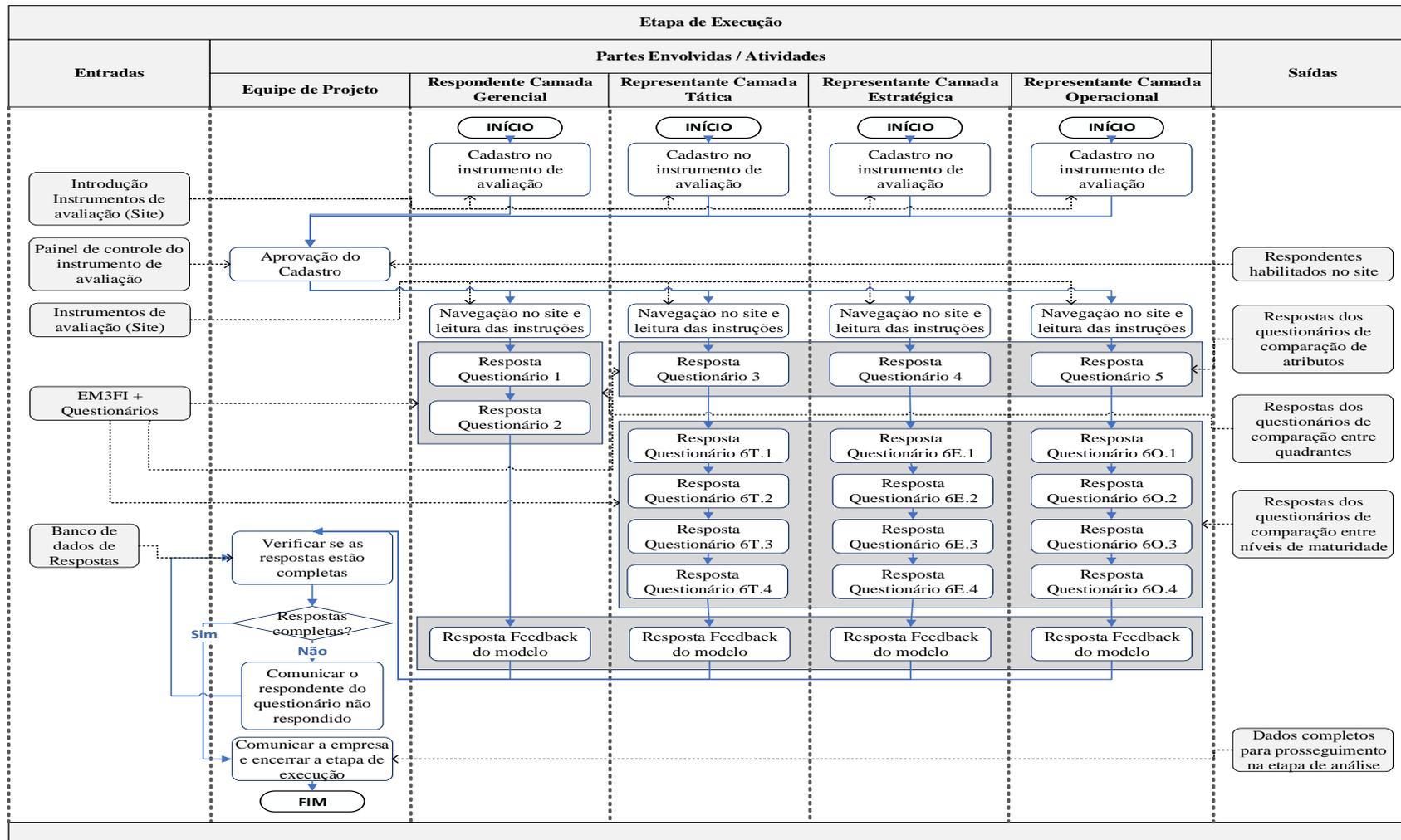


Figura 68 – Aplicação do EM3FI – fase de execução

A terceira fase e final é a *análise* dos resultados obtidos na execução, com as *entradas* que são os resultados obtidos através do banco de dados do site, transportados para o Excel. Há uma verificação de inconsistências nas respostas e, caso isso ocorra, são refeitas, de forma a ocorrer uma nova rodada de aplicação do modelo na organização.

A segunda etapa está relacionada às *atividades da equipe do projeto*, com análise dos dados levados para o (i) Excel e (ii) inserção dos dados no Software *Super Decisions* (AHP), iniciando a análise diagnóstica dos resultados no AHP. Esses pesos dados aos critérios no AHP são tratados por meio do método PROMETHEE II, quando são feitas as análises decisoriais do modelo. Na terceira etapa, as *saídas*, estão os resultados das análises diagnóstica e prognóstica em relação ao modelo. A última saída são as *atividades de retorno dos resultados na organização*, a Figura 69 representa a etapa de análise dos resultados do modelo.

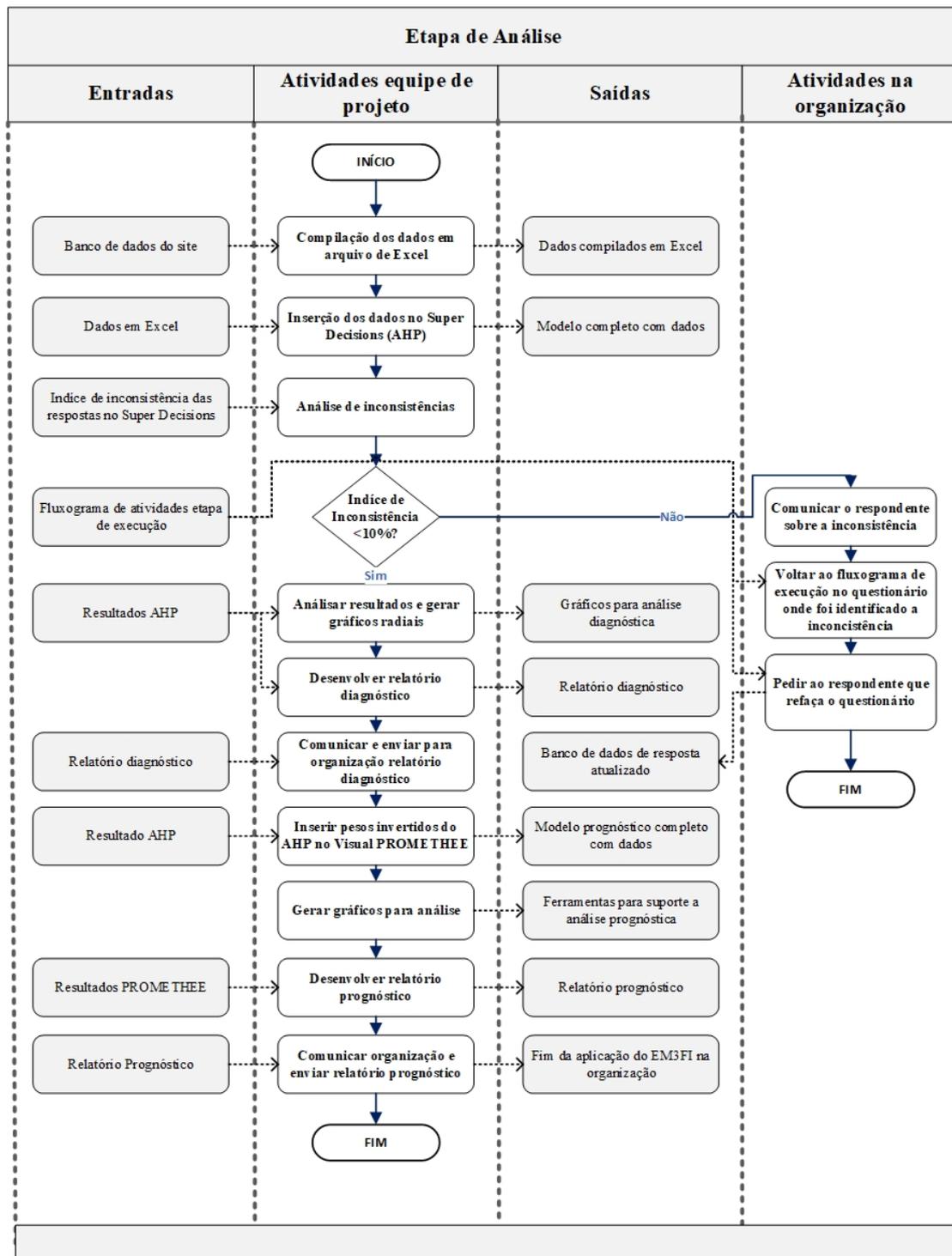


Figura 69 – Aplicação do EM3FI – fase da análise

Com as etapas definidas de planejamento, execução e análise foi necessário a seleção dos especialistas participantes da aplicação do modelo realizada através de reunião nas duas empresas avaliadas. O objetivo é adequar os especialistas respondentes na sua área de atuação, de acordo com a camada relacionada na aplicação na empresa.

6.2 DESIGN DA AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA - AHP

A estrutura de avaliação diagnóstica habilitada pelo método AHP está estabelecida na fase A4 do modelo IDEF0, como consumo da estrutura de avaliação EM3FI. Nesta fase a estrutura construída no modelo será operacionalizada no AHP e permite consumir e fazer as avaliações necessárias a partir da distribuição em camadas das barreiras. Assim, devido a diversidade dos domínios e especialidades compreendidas nos atributos, existe a necessidade da divisão da avaliação em camadas, de forma a categorizar e adequar as barreiras avaliadas aos especialistas. Desta forma, os especialistas estão aptos para fornecer respostas em questões que envolvem a sua especialidade, aumentando o grau de confiabilidade do resultado final da aplicação. A divisão é realizada a partir dos desdobramentos da matriz de avaliação para o método AHP, de modo que cada especialista é responsável por uma camada. A camada gerencial representa o domínio global da avaliação, em que o especialista avalia sobre a importância das comparações entre aspectos e quadrantes da avaliação. As camadas tática, estratégica e operacional representam os domínios específicos de avaliação, em que o especialista é responsável pela avaliação de atributos e níveis de maturidade sobre a ótica das barreiras econômica, organizacional e tecnológica, respectivamente, a Figura 70 ilustra como as camadas do modelo serão levadas para o método AHP.

		Matriz de Avaliação					
		Barreiras					
		Econômica		Organizacional		Tecnológica	
Aspectos	Processo	PE		PO		PT	
		Custos	Indicador	Gestão	ISO 50001	Ferramentas	Inovação
		Investimento	Monitoramento	Suporte	Relatórios	Investimento	Maquinas
	Estratégia	EE		EO		ET	
		Custos	Relatórios	Comunicação	Decisão	Informação	Inovação
				Gestão	Informação		
	Medição	ME		MO		MT	
		Indicador	Relatórios	Indicador	Relatórios	Ferramentas	Máquinas
		Treinamento		Monitoramento			
	Operação	OE		OO		OT	
		Auditoria	Custos	Auditoria	Gestão	Ferramentas	
		Investimento	Treinamento	ISO 50001	Suporte	Investimento	
		Treinamento		Máquinas			

Figura 70 – Camadas de avaliação inseridas no método AHP

Com a aplicação do AHP, deseja-se encontrar a importância que cada critério exerce sobre cada uma das alternativas (níveis de maturidade). Deve-se também verificar qual a importância que cada aspecto (critério), aspectos e barreiras (subcritérios) e atributos exercem sobre o objetivo geral – avaliação do modelo EM3FI. Também é possível definir o nível potencial que a empresa apresenta no domínio da gestão de energia. Assim, pode-se determinar qual o peso de cada alternativa sobre o objetivo geral, tendo como resultado uma escala de importância dessas alternativas.

A estrutura AHP resultante da modelagem deste espaço problema é ilustrada esquematicamente e com detalhes de implementação no software Super Decisions. A Figura 71 apresenta a estrutura AHP com a divisão em camadas (Gerencial, Tática, Estratégica e Operacional), elaborada para a aplicação neste trabalho. Ela apresenta uma estrutura baseada em uma matriz de comparação onde é avaliada a importância de uma característica sobre outras. A estrutura AHP na pesquisa é representada por um objetivo, aspectos (critérios), aspectos e barreiras (subcritérios), atributos e níveis de decisão. Representa a hierarquia de decisão iniciando pelo nível mais alto (número 1 indicado na Figura 71), o objetivo da decisão; posteriormente são os critérios (número 2 indicado na Figura 71); em seguida os níveis intermediários – subcritérios número 3 na Figura 71; na sequência, o nível 4 que apresenta os atributos; e no número 5, os níveis de maturidade. A estrutura AHP é, portanto, composta pelos seguintes elementos (Figura 71):

1- Objetivo (Modelo EM3FI) : Representa o objetivo do AHP em proporcionar a avaliação da gestão de energia na indústria de alimentos. Elaborado a partir da modelagem do espaço problema da gestão de energia, através de atributos para o domínio da indústria de alimentos.

2 – Critérios (Aspectos): foram considerados como aquilo que serve de regra para julgar, decidir ou proceder. Neste trabalho os critérios estão representados pelos aspectos da gestão da energia.

3 – Subcritérios (Aspectos x Barreiras): foram representados pelos quadrantes (perspectivas) da gestão de energia, com a união dos aspectos e barreiras.

4 – Atributos: organizados nos quadrantes conforme orientação da matriz MIGE.

5 – Níveis de Maturidade: indica o posicionamento da organização onde o modelo será aplicado, relativo à avaliação ou enquadramento do nível potencial (maturidade) da indústria de alimentos na gestão de energia.

Importante notar, conforme a Figura 71, que alguns atributos são pertinentes a mais de um quadrante. Para evitar distorções nas avaliações, foram feitas codificações com números nos atributos que se repetem. Eles representam o mesmo atributo com variações conforme o quadrante em que se encontram. Isso permitirá preservar a base semântica do atributo, que sofre uma diferente perspectiva de avaliação em cada quadrante. Por exemplo, ‘CT1’ representa o atributo “*custo*” e ‘CT2’ também, mas em ‘CT1’ o custo é avaliado sob o aspecto: *processo/econômico*, e CT2 sob o aspecto: *estratégia/econômico*; para o CT3 sob o aspecto: *medição/econômico*.

A divisão em camadas do modelo EM3FI é necessária para inserir os especialistas em sua área específica de atuação. Desta forma, a camada Gerencial esta ligada a comparações entre aspectos e quadrantes da avaliação no modelo, relacionada as questões de gestão do negócio. A camada tática corresponde, a avaliação das *barreiras Econômicas* do modelo EM3FI, assim como a camada estratégica corresponde a avaliação dos atributos relacionados as *barreiras Organizacionais*. Na última camada operacional realiza as avaliações relacionadas as *barreiras Tecnológicas* do modelo.

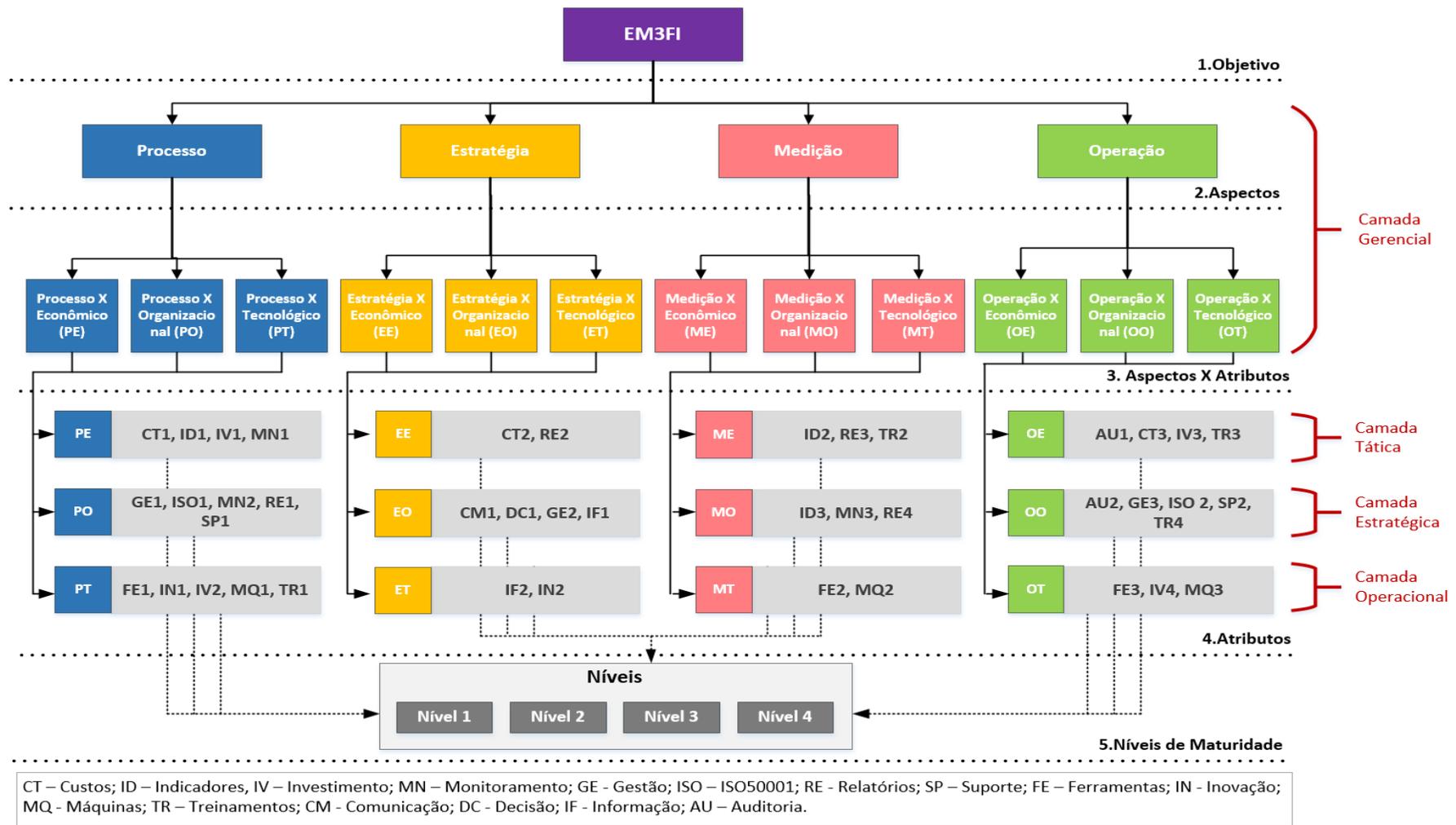


Figura 71 – Estrutura elaborada para aplicação no software Super Decisions para o método AHP do modelo EM3FI

6.2.1 Instruções Gerais

As avaliações são referenciais e pares (ou seja, há sempre uma comparação entre dois itens). Comparação de pares geralmente é qualquer processo de comparação de entidades em pares para julgar qual de cada entidade é “preferida” ou se as duas entidades são idênticas ou não. É importante lembrar que os atributos de comparação adotados como referenciais (por exemplo, “preferência” usada na sentença anterior) podem ser trocados por qualquer outro item mais pertinente (por exemplo, verossimilhança, aderência e pertinência).

Considerando a estrutura das comparações e a escala baseada em Saaty (1987), cada linha contém um vetor representando a escala de graus entre os dois itens. Isso pode ser visto na Figura 72.

● 9a ● 8a ● 7a ● 6a ● 5a ● 4a ● 3a ● 2a ● 1 ● 2b ● 3b ● 4b ● 5b ● 6b ● 7b ● 8b ● 9b

Figura 72 – Estrutura da análise aos pares do AHP

A interpretação e uso são simples: se o respondente marcar a célula da esquerda 6, o respondente considera que o “Item 1” é “Entre forte e muito forte” mais “importante / pertinente / adequado "do que" Item 2”. É importante lembrar que a comparação implica um valor inverso ao outro item comparado (não escolhido). Ou seja, no exemplo acima, “Item 1” é “6” e, portanto, “Item 2” tem uma relação de “1/6” para “Item 1”.

Como exemplo, consideremos os atributos utilizados no modelo EM3FI (Indicadores, Monitoramento e Relatórios) e o grau de "preferência" que compara todas as opções, como na Figura 73.

Questão 17		
Indicadores (a)	Comparado à:	Monitoramento (b)
● 9a ● 8a ● 7a ● 6a ● 5a ● 4a ● 3a ● 2a ● 1 ● 2b ● 3b ● 4b ● 5b ● 6b ● 7b ● 8b ● 9b		
Questão 18		
Indicadores (a)	Comparado à:	Relatórios (b)
● 9a ● 8a ● 7a ● 6a ● 5a ● 4a ● 3a ● 2a ● 1 ● 2b ● 3b ● 4b ● 5b ● 6b ● 7b ● 8b ● 9b		
Questão 19		
Monitoramento (b)	Comparado à:	Relatórios (b)
● 9a ● 8a ● 7a ● 6a ● 5a ● 4a ● 3a ● 2a ● 1 ● 2b ● 3b ● 4b ● 5b ● 6b ● 7b ● 8b ● 9b		

Figura 73 – Exemplo para comparação utilizada na aplicação do modelo

No exemplo acima, as comparações já foram executadas e marcadas com “bolinhas”. A interpretação geral bruta das respostas é a seguinte:

- Linha 1: o entrevistado tem preferência “igual” (grau “1”) pelos Indicadores em relação ao Monitoramento.
- Linha 2: o entrevistado tem uma preferência "moderada" (grau "3") pelos Indicadores em relação aos Relatórios.
- Linha 3: o entrevistado tem uma preferência "forte" (grau "5") pelo Relatório em relação ao Monitoramento.

Todas as comparações do EM3FI seguem a mesma estrutura e mecanismo, conforme exposto na Figura 72 e na Figura 73.

6.2.2 Avaliação pelo Subnets

O software *Super Decisions* (Adams e Creative Decisions Foundation, 2013) implementa o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o *Analytic Network Process* (ANP), definindo prioridades e fazendo os cálculos. A ferramenta permite a modelagem gráfica do modelo de decisão, organizando as ideias de acordo com as características dos métodos AHP, mantendo a estrutura básica dos “Objetivos”, “Critérios” e “Alternativas”.

A estrutura do modelo de *Super Decisions* foi criada de acordo com a estrutura do modelo de maturidade da pesquisa e considerando as necessidades do EM3FI. A entrada de informações vem da coleta de dados dos respondentes, inserida no site desenvolvido para a pesquisa e após a coleta de dados.

Em síntese, o *Super Decisions* funciona da seguinte maneira:

(i) O usuário cria agrupamentos sobre aspectos como "Objetivo", “Critérios”, “Subcritérios” e “Alternativas”. Tais grupos são chamados de clusters.

(ii) Dentro de cada cluster, é necessário criar “nós”, que são os elementos básicos a serem comparados (nesta pesquisa). Os "nós" representam os elementos que serão comparados aos pares durante a aplicação. No caso do EM3FI, indicam os quadrantes, aspectos, atributos ou alternativas a serem avaliadas de acordo com o nível hierárquico da estrutura desenvolvida.

(iii) São criadas as conexões entre os nós, respeitando as relações estruturadas

na matriz de avaliação.

(iv) Há inserção dos dados da comparação entre os pares, considerando a conexão dos nós e a organização dos nós (todos os nós no mesmo cluster podem ser comparados em pares e todos os nós com conexões explícitas).

(v) O programa calcula os valores considerando todos os pesos atribuídos pelos avaliadores.

O *Super Decisions* permite a criação de *sub-nets*, dentro de cada nó. É uma maneira de organizar melhor modelos complexos e obter os resultados de cálculos parciais (para cada sub-net que possui um "Objetivo"). Esta pesquisa utiliza o *Super Decision* para organizar as respostas e obter os cálculos referentes aos níveis de maturidade. O modelo é estruturado usando "sub-nets" e é apresentado nível a nível, de acordo com as extrações das figuras abaixo.

A primeira estrutura, apresentada na Figura 74 (a), apresenta o primeiro desdobramento da matriz de avaliação, em que o objetivo do EM3FI é fragmentar os quatro aspectos de avaliação. A utilização de sub-nets habilita a estruturação hierárquica do modelo decisional de forma que cada fragmentação seja conectada ao objetivo. A forma original do AHP permite apenas a conexão de nós de maneira *top-down*, de maneira estratificada, sem relação direta entre objetivo e elementos abaixo do nível de aspectos. A formalização do modelo em sub-net qualifica a avaliação individual de cada atributo, ordenando de maneira mais simples estruturas complexas, como o caso do modelo EM3FI.

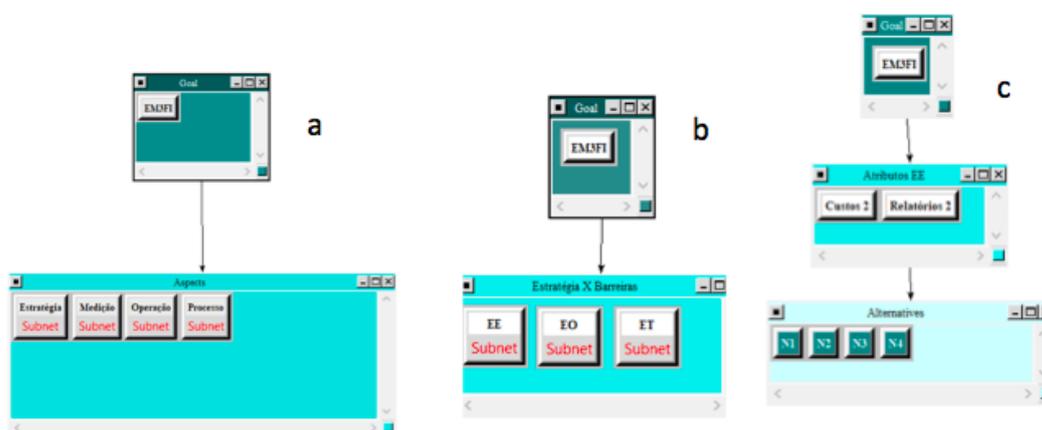


Figura 74 – Avaliação do modelo EM3FI, com os quatro aspectos a serem avaliados (a). Aspectos da avaliação em relação ao objetivo do EM3FI (b). Sub-net entre o quadrante EE e os níveis de maturidade a serem avaliados pelos respondentes (c)

Cada aspecto relacionado ao objetivo é desdobrado em quadrantes de avaliação, conforme estrutura da matriz de avaliação, exemplificado em recorte do *Super Decisions* na Figura 74 (b). Os dois primeiros desdobramentos, em aspectos em quadrantes, respectivamente, habilitam a avaliação macro dos resultados de aplicação, permitindo analisar as barreiras e aspectos que estão sendo priorizados pela organização. Os quadrantes por sua vez são desdobrados nos atributos de avaliação, conforme relação estabelecida na matriz de avaliação. Diferente dos demais, esta estrutura sub-net possui uma última camada avaliativa, contemplada pelos níveis de maturidade, habilitando a comparação entre maturidade dos atributos qualificadores e posicionamento do nível observado. A Figura 74 (c) mostra um exemplo de estruturação de rede para o quadrante Estratégico x Econômico (EE), composto pelos nós a serem comparados pelo avaliador de acordo com a sua visão de priorização atual na organização.

Desta forma, reitera-se a conexão direta de diferentes níveis hierárquicos da estrutura proposta ao objetivo EM3FI, que representa a avaliação de maturidade dos elementos compreendidos no espaço de avaliação. Este elemento qualifica a avaliação individual da maturidade dos atributos, permitindo diagnóstico focal dos elementos a serem melhorados para evolução da gestão de energia. A não estruturação através do sub-nets vincula a conexão exclusiva do nó ao seu elemento direto, como quadrantes e aspectos, inviabilizando a proposta e o alcance dos objetivos definidos para o desenvolvimento do modelo de maturidade.

6.3 INSTRUMENTO DE APLICAÇÃO DO MODELO (SITE) - AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

Como instrumento de avaliação que será levado para o método AHP, foi desenvolvido um site na plataforma WIX, que possibilitou inserir as informações sobre o desenvolvimento do modelo de maturidade e todos os questionários necessários. O link utilizado para o site é: <https://em3fimm.wixsite.com>. A Figura 75 indica a tela inicial do site onde o respondente fará a o *login* para acessar e responder aos questionários.



Figura 75 – Tela inicial do site para efetuar o login e realizar a avaliação

Este site possibilitou inserir todas as informações sobre o desenvolvimento do EM3FI. Ele foi disponibilizado para os respondentes das empresas, juntamente com os questionários a serem respondidos, as Figuras 76 até Figura 86 detalham cada um dos números indicados na Figura 76.

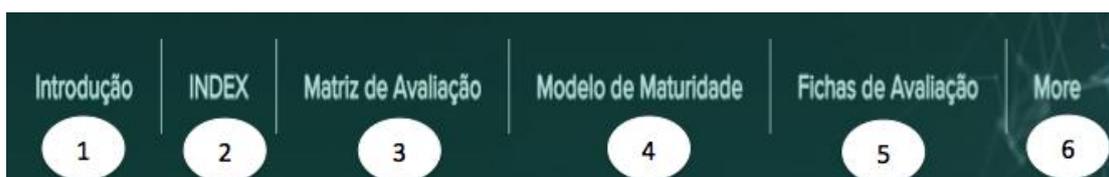


Figura 76 – Tela com o menu inicial para acesso dos especialistas para responder a avaliação

A etapa 1, indicada na Figura 77, apresenta como *introdução* do site uma abordagem inicial sobre o que é o EM3FI, o objetivo do desenvolvimento deste modelo e a proposta de avaliação da pesquisa. Esta etapa está disponível caso o respondente queira ter um entendimento maior da construção do modelo.

EM3FI

O Energy Management Maturity Model for Food Industry (EM3FI) é um modelo de maturidade desenvolvido para avaliação do domínio da gestão energética em indústrias de alimentos. O modelo se encontra em fase de desenvolvimento e passa por suas primeiras aplicações.

O EM3FI foi concebido sobre a verificação da falta de modelos de maturidade para gestão energética, assim como a falta de uma proposta de avaliação mais detalhada para o domínio.

Desenvolvido como tese de doutorado na PUCPR, o modelo é descrito detalhadamente no decorrer do presente site, realizado para operacionalizar a aplicação do EM3FI.

Objetivo

O objetivo central do EM3FI é fornecer uma ferramenta para avaliação do nível de maturidade da organização dos elementos que compreendem o espaço da gestão de energia. Sua aplicação é relevante principalmente em pré auditorias da norma ISO 50001 para avaliação prévia, e para empresas que desejam verificar o estado da gestão energética para identificação de lacunas em processos de melhoria contínua.

Figura 77 – Recorte da tela da introdução do site do modelo EM3FI

Na etapa 2 *INDEX* (Figura 76), o avaliador encontrará as divisões, que descrevem como o EM3FI foi desenvolvido através de três partes: (1) uma matriz de avaliação; (2) modelo de maturidade e (3) as fichas de avaliação, conforme a Figura 78.

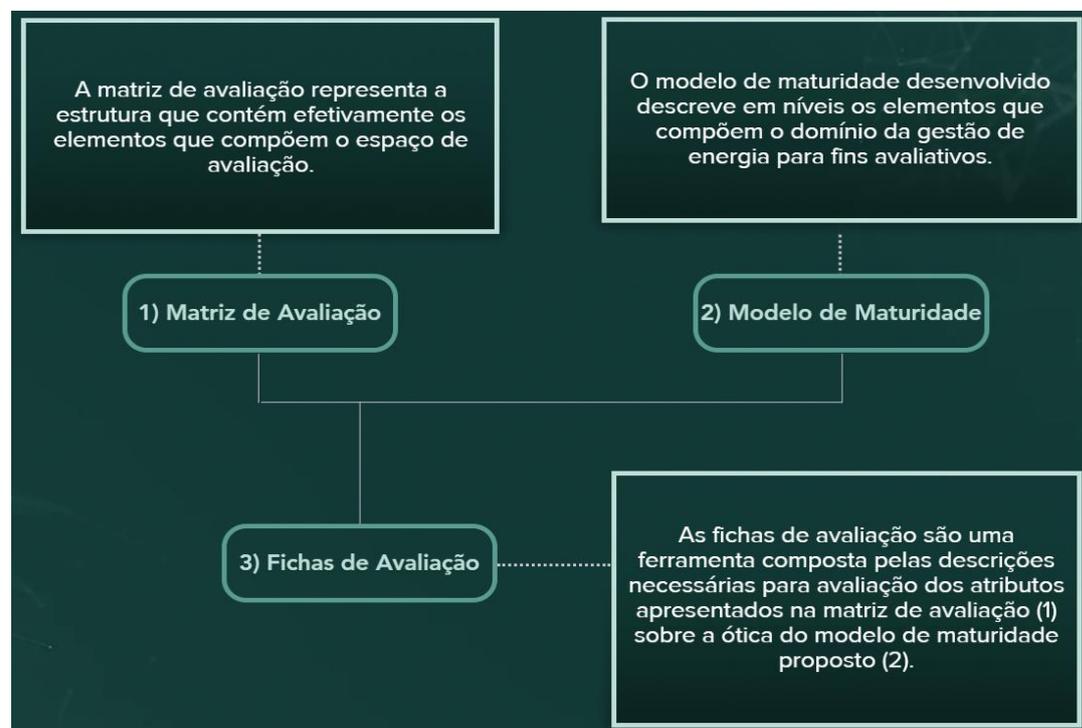


Figura 78 – Representação das três etapas de composição do EM3FI

Na etapa 3 (Figura 76), *matriz de avaliação*, está detalhado como foi desenvolvida a matriz do modelo, descrevendo como foram encontradas e definidas as barreiras e aspectos utilizados na avaliação. O resultado foi a formação dos quadrantes (barreiras + aspectos) que foram definidos, compondo a matriz de avaliação e o enquadramento dos atributos. A sequência descrita no site será a matriz de avaliação final do modelo, na Figura 79.

		Matriz de Avaliação					
		Barreiras					
		Econômica		Organizacional		Tecnológica	
Aspectos	Processo	PE		PO		PT	
		Custos	Indicador	Gestão	ISO 50001	Ferramentas	Inovação
		Investimento	Monitoramento	Suporte	Relatórios	Investimento	Maquinas
				Monitoramento		Treinamento	
	Estratégia	EE		EO		ET	
		Custos	Relatórios	Comunicação	Decisão	Informação	Inovação
				Gestão		Informação	
Medição	ME		MO		MT		
	Indicador	Relatórios	Indicador	Relatórios	Ferramentas	Máquinas	
			Monitoramento				
	Treinamento						
Operação	OE		OO		OT		
	Auditoria	Custos	Auditoria	Gestão	Ferramentas		
	Investimento	Treinamento	ISO 50001	Suporte	Investimento		
			Treinamento		Máquinas		

Figura 79 – Matriz de avaliação do EM3FI

Na etapa 4 (Figura 76) – *modelo de maturidade*, o respondente encontra o que são os quatro níveis de maturidade, quais atividades correspondem a cada um dos níveis aos quais os atributos devem atender. A Figura 80 apresenta o modelo de maturidade.

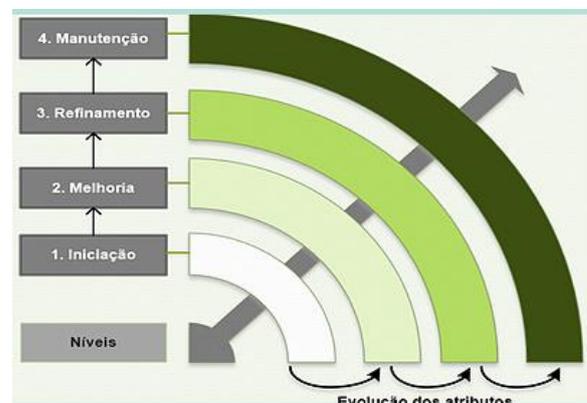


Figura 80 – Modelo de maturidade

Na etapa 5 (Figura 76) – *fichas de avaliação*, a estrutura foi criada para relacionar a matriz de avaliação com os atributos de forma individual (atividades que compõem cada um dos níveis de maturidade com o respectivo atributo), descritos no modelo de maturidade, conforme a Figura 81.

Atributo	xxx	Aspecto	a	Cabeçalho da ficha, desenvolvido para localização e identificação de cada atributo descrito
Nível	n	Barreira	b	
Código	xxn_ab	Quadrante	ab	
Descrição do Atributo	----			
Proposta	----			Proposta de avaliação do atributo, por nível de maturidade, ou seja, o que o modelo prevê para avaliação do atributo no respectivo quadrante e nível.
Resultado Esperado	----			Resultado esperado da avaliação proposta, de acordo com o nível e quadrante estabelecido.
Indicador de Avaliação	----			Elementos que indicam se os requisitos de avaliação foram atendidos.

Figura 81 – Exemplo das fichas de avaliação dos atributos

Na etapa 6 (Figura 76) – *more – descrito no menu inicial do site*, está contido o espaço de avaliação do modelo, onde o respondente fará a avaliação do modelo. A primeira tela deste espaço contém uma breve explanação de como o AHP atuará nas respostas dadas nos questionários e de qual o significado sobre a nota atribuída a um atributo em relação ao outro. A Figura 82 representa um exemplo de aplicação do AHP.

Exemplo de Aplicação AHP

Como exemplo, considere a comparação entre esportes (Futebol, Basquete e Vôlei) apresenta a seguir. A escala presente entre dois esportes indica o grau de "preferência" de um esporte em relação ao outro.

Futebol	9	X	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Basquete
Futebol	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	X	4	5	6	7	8	9	Vôlei
Basquete	9	8	7	6	5	4	3	2	X	2	3	4	5	6	7	8	9	Vôlei

No exemplo acima, as comparações já foram executadas e as alternativas selecionadas foram marcadas com um "X". A interpretação bruta das alternativas assinaladas é a seguinte:

- Linha 1 – Futebol versus Basquete: o entrevistado tem preferência "forte" (grau 8) pelo Futebol em relação ao Basquete;
- Linha 2 – Futebol versus Vôlei: o entrevistado tem uma preferência "moderada" (grau 3) pelo Vôlei em relação ao Futebol;
- Linha 3 – Basquete versus Vôlei: o entrevistado tem uma preferência "igual" (grau 1) pelo Basquete em relação ao Vôlei.

Figura 82 – Explanação do funcionamento do método AHP.

Na segunda tela, o especialista encontra a abertura dos questionários referentes a avaliação que correspondem as camadas, enquanto a camada gerencial corresponde a avaliação sobre a ótica global do negócio, que envolvem todas as barreiras e aspectos do modelo e não avalia os atributos. O especialista encontrará todas as camadas, mas apenas a sua estará habilitada para incluir as respostas. As camadas referenciadas abaixo, contém os atributos relacionados a cada barreira e desta forma o especialista responde em relação a maturidade destes atributos na organização. Esta divisão nas camadas foi necessária para garantir que cada especialista estaria respondendo aos atributos relacionados a sua área de atuação, a Figura 83 representa a divisão em camadas da avaliação.



Figura 83 – Divisão das camadas de avaliação do EM3FI

Esta visualização corrobora com a estratificação feita para aplicação demonstrada e aplicada pelo método AHP. Dessa forma, cada especialista terá acesso aos questionários apenas de sua camada, as demais estão desabilitadas. As camadas tática, estratégica e operacional, correspondem respectivamente aos atributos das barreiras: econômicas, organizacionais e tecnológicas do modelo EM3FI. A camada gerencial está ligada a avaliação do negócio da empresa e não aos atributos do modelo, dessa forma, ele avalia o modelo em relação a todos os aspectos com todas as barreiras.

A Figura 84, apresentada dentro do item *more* – *descrito no menu inicial do site* (Figura 76), demonstra os questionários à qual cada camada corresponde e a quantidade de questionários que cada especialista deve acessar. Desta forma, na camada correspondente do avaliador, encontram-se os questionários por quadrantes de avaliação, que devem ser respondidos. Assim o especialista consegue compreender o que está sendo avaliado em cada um dos questionários a serem respondidos.

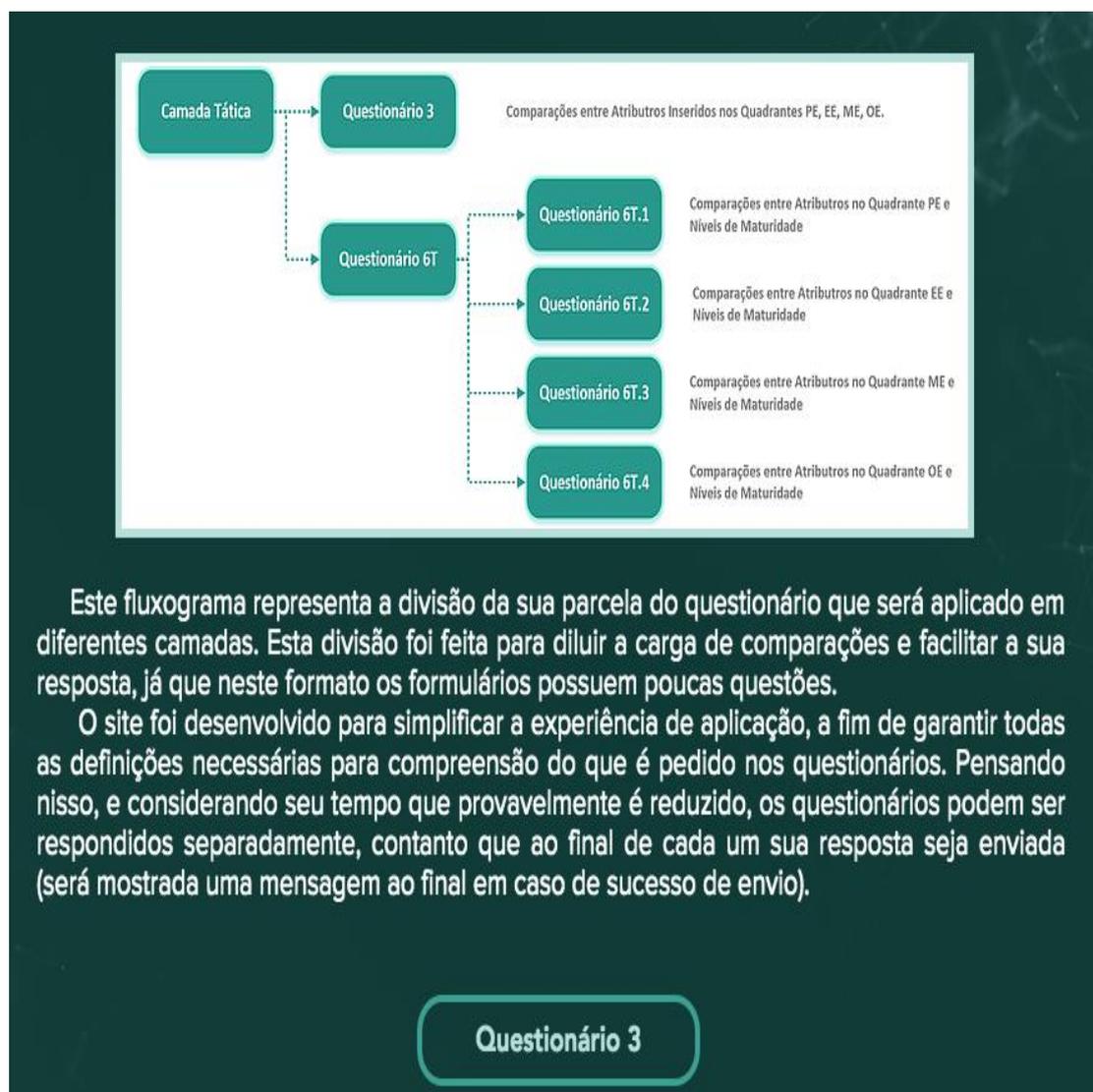


Figura 84 – Tela da divisão dos questionários aos especialistas, exemplo da camada tática – no modelo EM3FI – barreira econômica

Nesta etapa o especialista deve preencher os seus dados no canto superior direito e seguir para o questionário. Com o preenchimento das respostas, poderão ser encaminhados os dados e o sistema receberá a avaliação, a Figura 85 representa um exemplo dos questionários aplicados aos especialistas.

Questionário 3 - Camada Tática

Neste questionário serão realizadas as comparações entre atributos, sobre a perspectiva do quadrante que os contém. Não esqueça de confirmar o envio das respostas no final da página. Em caso de sucesso de envio, uma mensagem de confirmação aparecerá ao lado do botão. Lembrando que os elementos em (a) e (b) são botões clicáveis que fornecem descrições, enquanto "comparado à" fornece o exemplo de escala.

Nome:

Organização Avaliada:

Sua Posição de na Organização:

Comparações de Atributos sobre a Perspectiva do Quadrante: Processo X Econômico (PE)

Questão 1

Custos (a)

Comparado à:

Indicadores (b)

● 9a ● 8a ● 7a ● 6a ● 5a ● 4a ● 3a ● 2a ● 1 ● 2b ● 3b ● 4b ● 5b ● 6b ● 7b ● 8b ● 9b

Figura 85 – Exemplo de questionário aplicado aos especialistas

Quando os especialistas realizarem o preenchimento dos questionários, o site indicará uma parte final, na qual o respondente pode registrar o seu feedback (área para contato) relacionado ao modelo e a avaliação em si. Pode também indicar outro colega da mesma empresa como respondente do questionário, conforme mostrado na Figura 86.

Seu nome

Organização avaliada

Sua posição na empresa

Queremos saber como foi a sua experiência com o site. Este espaço é reservado para críticas e sugestões, de modo que o processo de melhoria dos instrumentos de aplicação sejam baseados no feedback do usuário.

B I U T [List icons] [Link icon]

Digite aqui seu feedback.

Você tem interesse em receber o relatório diagnóstico e prognóstico da aplicação do modelo?

Sim

Não

** O prazo de entrega é definido após o recebimento das respostas de todos os questionários, de todos avaliadores.

Para nós da equipe EM3FI, a aplicação da avaliação com mais colaboradores é extremamente valiosa para aumentar a confiabilidade dos dados, e enriquece a avaliação diagnóstica. Você tem interesse em compartilhar este modelo com outros colaboradores?

Se sim, conte-nos no campo abaixo para que possamos habilitar novos avaliadores ao site, para darmos continuidade ao controle dos dados de pesquisa.

Figura 86 – Área de contato do site – especialista poderá deixar o feedback da aplicação do modelo

6.4 DESIGN DA AVALIAÇÃO DECISIONAL – PROMETHEE II

O método PROMETHEE II fornece as relações entre alternativas e critérios, com os pesos advindos do AHP. Esse método é utilizado como suporte na decisão diante de diferentes alternativas (cenários) de avaliação, resultando em um melhor cenário de decisão. O objetivo na aplicação do método é fornecer as alternativas através de cenários para melhorar os problemas identificados na avaliação diagnóstica com o AHP. Esta etapa corrobora com a atividade A6 do IDEFO .

6.4.1 Cenários PROMETHEE II

Os cenários para o PROMETHEE II foram definidos nas barreiras adotadas no modelo identificadas na gestão de energia. Essas barreiras contemplam áreas importantes para as empresas: as econômicas, organizacionais e tecnológicos. Desta forma, elas são utilizadas no método PROMETHEE II como diferentes cenários de avaliação sobre a perspectiva de requisitos e habilitadores tecnológicos da Indústria 4.0. Tecnologias essas, advindas da literatura da I4.0, que possuem relação com a aplicação na gestão de energia e de entrevistas não estruturadas com especialistas. As tecnologias definidas para a utilização na pesquisa possuem referência nos autores: Oztemel e Gursev (2018); Lasi, *et al.*, (2014); Frank, *et al.*, (2019) e relatórios técnicos. As tecnologias utilizadas como critérios no método possuem uma avaliação para definição da pertinência das mesmas, em relação a aplicabilidade na gestão de energia. Assim, as tecnologias selecionadas são utilizadas na estrutura de avaliação final no PROMETHEE II, com os três cenários.

Para melhor compreensão de como as camadas utilizadas no modelo, são transportadas para o método AHP para avaliação diagnóstica e após levadas para o método PROMETHEE II, a Figura 87 ilustra essa adequação. Sendo que, no modelo EM3FI elas são nomeadas como barreiras da gestão de energia, para avaliação diagnóstica elas são chamadas de camadas de avaliação. Desta forma, na etapa decisional pelo método PROMETHEE II elas passam a ser denominadas como cenários de avaliação.

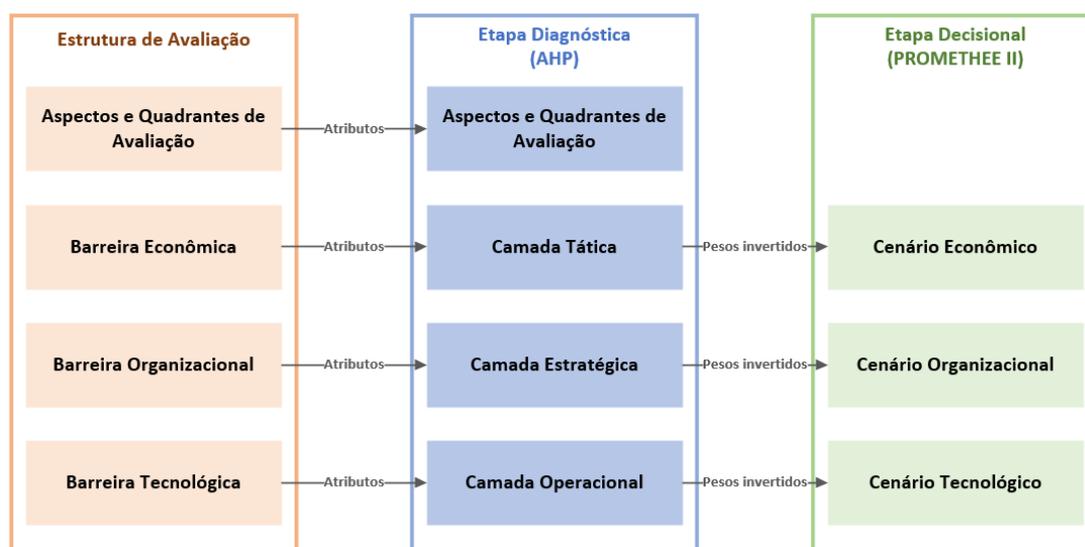


Figura 87 – Denominação das barreiras do modelo inseridas nas avaliações do AHP e PROMETHEE II

6.4.2 Critérios de seleção das tecnologias da etapa Decisiva para o PROMETHEE II

Nesta etapa, as tecnologias selecionadas passaram por uma pré-avaliação da aplicabilidade para gestão de energia na indústria de alimentos, selecionando as que possuem maior relevância e aderência na aplicação para os três cenários avaliados (econômico, organizacional e tecnológico). Os critérios de desempenho podem ser definidos como aspectos que determinam o desempenho de uma operação, visando atender os requisitos do mercado (Slack & Lewis, 2015). Sendo assim, na pesquisa, foi utilizado o modelo proposto por Slack & Lewis (2015) e Corrêa e Corrêa (2012), onde são considerados quatro critérios de desempenho, sendo eles: “Confiabilidade”, “Flexibilidade”, “Qualidade” e “Velocidade”. Os critérios de desempenho são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 - Critérios de desempenho

Critérios de Desempenho	Exemplos
Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Operações sem interrupções • Menos eventualidades que afetem a operação • Entrega/ chegada de produtos e serviços no prazo, sem variabilidade
	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de se adaptar rapidamente a novos produtos e serviços

Flexibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Ampla gama de produtos e serviços que podem ser colocados para fabricação rapidamente • Capacidade de poder ajustar volumes de produção
Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Processos sem erros • Produtos e serviços conforme suas especificações • Produtos e serviços que atendem às expectativas dos clientes
Velocidade	<ul style="list-style-type: none"> • Baixos tempos de processamento que permitem rápida entrega ao cliente • Curtos tempos de entregas e filas • Resposta rápida aos pedidos dos clientes

Fonte: Slack e Lewis, (2015); e Corrêa e Corrêa (2012).

As tecnologias utilizadas para a pré-avaliação, foram levantadas na literatura em artigos da área da indústria 4.0, que fornecem as mesmas como alternativas para melhoria e apoio na gestão de energia nas empresas. Como essas tecnologias estão associadas e causam impactos nos processos de gestão organizacional elas potencializam as melhorias e amparam sua aplicação. Para essa pré-avaliação das tecnologias, são adotados esses critérios de desempenho e a aplicabilidade das tecnologias para gestão de energia, também relatados como importantes em uma classificação segundo a literatura descrita anteriormente. O resultado obtido será adotado como alternativas para as empresas, na avaliação com o PROMETHEE II conforme mostrado na Tabela 7.

Como aplicabilidade consideramos a pertinência da alternativa para solucionar as questões da gestão de energia, sob a ótica dos atributos qualificadores utilizados no modelo. O resultado é visto como a relevância que essa tecnologia tem para uma possível aplicação. Os pesos dos critérios de desempenho, foram definidos a partir da pesquisa em literatura sobre as tecnologias da I4.0 e apoio de especialistas em conversas informais relacionadas a importância da tecnologia para implementação na gestão de energia. As tecnologias selecionadas foram avaliadas, portanto, em relação aos critérios de desempenho e aplicabilidade para gestão de energia. A Tabela 7 demonstra essa pré-avaliação, identificando na coluna de relevância os resultados que as tecnologias possuem: sendo a cor verde como mais relevantes, a serem adotadas no modelo; a cor amarela como intermediárias e a cor laranja e vermelha, com menor importância para gestão de energia. O critério para exclusão foi determinado a partir dos 20 pontos, de acordo com o ranqueamento mostrado na tabela. Essas tecnologias determinadas como importantes para aplicação na gestão de energia serão utilizadas como alternativas na avaliação decisional habilitada pelo PROMETHEE II.

Tabela 7 - Pré-avaliação das tecnologias através dos critérios de desempenho

Pré-Avaliação	Critérios de Desempenho				Aplicabilidade a GE e FI	Relevância
	Confiabilidade	Flexibilidade	Qualidade	Velocidade		
<i>Smart Sensors</i>	9	9	9	9	9	▲ 32.4
<i>Smart Actuators</i>	9	9	9	9	9	▲ 32.4
<i>Big Data e Analytics</i>	9	9	9	9	9	▲ 32.4
<i>Smart Grid</i>	9	9	9	9	9	▲ 32.4
SGE	9	9	9	9	9	▲ 32.4
<i>Business Intelligence</i>	9	9	9	9	9	▲ 32.4
<i>CMMS</i>	9	9	9	9	9	▲ 32.4
<i>Machine Learning</i>	8	9	9	9	9	▲ 31.5
<i>IoT</i>	9	9	9	9	8	▲ 28.8
Definição de procedimentos e padrão de operação	9	5	9	9	9	▲ 28.8
<i>Lean 6 Sigma</i>	9	7	9	7	9	▲ 28.8
Energias Renováveis	8	7	9	7	9	▲ 27.9
Designação de um gestor de energia	8	8	7	8	9	▲ 27.9
Procedimentos baseados na norma ISO 50001	9	6	9	7	9	▲ 27.9
FMEA	9	8	9	8	8	▲ 27.2
<i>Implementação de e-KPIs</i>	8	6	9	7	9	▲ 27
<i>Multi-Agent Systems</i>	9	9	8	9	7	▲ 24.5
Gestão de projetos	9	8	9	9	7	▲ 24.5
Simulação Computacional	7	9	9	9	7	▲ 23.8
Robôs Colaborativos	8	9	9	9	7	▲ 24.5
<i>Location Detection Technologies</i>	9	9	9	9	5	▢ 18
<i>RFID</i>	9	9	9	9	5	▢ 18
Sistemas Embarcados Inteligentes	8	9	9	9	5	▢ 17.5
Sistemas de Manufatura Flexível	9	9	9	9	4	▢ 14.4
<i>Cloud</i>	8	9	9	9	3	▼ 10.5
<i>Blockchain</i>	9	7	9	9	3	▼ 10.2
<i>Cybersecurity</i>	9	7	9	8	3	▼ 9.9
Veículos Autônômicos e Conectados	7	9	8	8	3	▼ 9.6
Realidade Aumentada	7	7	9	9	3	▼ 9.6
<i>Advanced Materials</i>	9	9	9	7	2	▼ 6.8
Realidade Virtual	7	7	9	9	2	▼ 6.4
<i>Virtually Guided Self-Services</i>	7	7	9	9	2	▼ 6.4
Impressão 3D	8	9	7	7	2	▼ 6.2

Essa pré-avaliação é necessária para excluir tecnologias, as quais não são aplicáveis ou pertinentes na gestão de energia, ou ainda, seriam dificilmente adotadas nas indústrias. Assim, as tecnologias selecionadas com mais de 20 pontos serão levadas para uma segunda avaliação. De acordo com a pré-avaliação das tecnologias mais aderentes para gestão da energia com base na indústria 4.0, as que possuem maior relevância e são utilizadas na avaliação estão, descritas no Quadro 12.

Quadro 12 - Descrição das tecnologias selecionadas, adotadas na avaliação decisional do modelo

Tecnologia	Descrição
<i>Smart Sensors</i>	São sensores com algum tipo de inteligência embutida, capazes de desempenhar funções mais avançadas do que sensores comuns, que apenas realizam a medição de uma determinada grandeza física. Exemplos de funções mais avançadas incluem: condicionamento de sinal incorporado, auto-calibração, auto-identificação, auto-diagnóstico e conectividade em rede (Mattoli <i>et al.</i> , 2010; García, 2014).
<i>Smart Actuators</i>	São atuadores que adaptam o seu comportamento ao perfil não-linear dos sistemas nos quais são aplicados, armazenando seus parâmetros em função da posição e carga, supervisionando todos os elementos relevantes e realizando diagnósticos de falha automaticamente. Exemplo: os atuadores de um acelerador permitem o controle automático da velocidade do motor para reduzir o ruído e as emissões e também melhorar a economia de combustível (Hozdić, 2015).
<i>BIG DATA</i> e <i>Analytics</i>	Softwares e sistemas que podem interpretar e analisar dados recebidos em massa (BIG DATA). O <i>Analytics</i> se refere à análise dessa grande massa de dados de forma a encontrar relações entre os dados que possam fornecer melhores <i>insights</i> para a melhoria de processos e produtos e a exploração de novos mercados (Kang <i>et al.</i> , 2016; Rüßmann <i>et al.</i> , 2015).
<i>Smart Grid</i>	<i>Smart Grid</i> é uma filosofia de gestão da rede de distribuição de energia elétrica que busca modernizar e otimizar essa rede para que seja mais eficiente, segura e ambientalmente sustentável. Um <i>Smart Grid</i> é baseado em elementos para o armazenamento de energia elétrica, sensores que detectam distúrbios e aplicativos inteligentes que podem desligar em resposta a flutuações de frequência, dentre outros (Siemens, 2010).
Sistema de Gestão de Energia (SGE)	O SGE habilita uma organização a desenvolver e implementar uma política energética, tomar as devidas ações de melhoria de seu desempenho energético e demonstrar conformidade aos requisitos da Norma (Norma ISO 50001).
<i>Business Intelligence</i>	Termo de tecnologia que abrange dados, computação e análise nas operações de negócios. Muito além de algo específico, o <i>business intelligence</i> é um termo abrangente que engloba os processos e métodos de coleta, armazenamento e análise de dados das operações ou atividades para otimizar o desempenho dos negócios. Tudo isso é usado de maneira integrada para criar uma visão abrangente da empresa e ajudar as pessoas a tomarem decisões melhores e acionáveis. Exemplos de BI: Mineração de dados; Geração de relatórios; <i>Benchmarking</i> e métricas de desempenho; Análise descritiva; Geração de consultas; Análise

	estatística; Visualização de dados; Preparação de dados.
<i>Computer Maintenance Management System (CMMS)</i>	O software mantém um banco de dados com informações sobre as operações de manutenção de uma organização. Essas informações destinam-se a ajudar os trabalhadores de manutenção a realizarem seus trabalhos com mais eficiência (por exemplo, determinar quais máquinas precisam de manutenção e quais depósitos contêm as peças de reposição de que precisam) e ajudar a gerência a tomar decisões informadas (por exemplo, calcular o custo do reparo de quebra de máquina) versus manutenção preventiva para cada máquina, possivelmente levando a uma melhor alocação de recursos).
<i>Machine Learning</i>	O aprendizado automático explora o estudo e construção de algoritmos que podem aprender com seus erros e fazer previsões sobre dados. Tais algoritmos operam construindo um modelo a partir de entradas a fim de fazer previsões ou tomar decisões guiadas pelos dados em vez de simplesmente seguindo inflexíveis e estáticas instruções programadas (Bishop, 2006; Miškuf & Zolotová, 2016).
<i>Internet of Things (IOT)</i>	IoT refere-se à interconexão em rede de objetos cotidianos via Internet, que muitas vezes são equipadas com algum tipo de inteligência, integrando cada objeto para interação um com o outro e levando a uma rede de dispositivos que interagem com seres humanos (Rüßmann <i>et al.</i> , 2015; Xia <i>et al.</i> , 2012).
Definição de procedimento padrão para operação	A padronização do trabalho refere-se à melhoria de pontos como: estabilidade dos processos, pontos de início e de parada claros para cada processo, aprendizagem organizacional, envolvimento dos funcionários, kaizen, treinamentos e etc. (Pascal, 2007).
<i>Lean Six Sigma</i>	Aplicação de ambas as ferramentas visa tornar o processo mais eficiente, reduzindo os desperdícios, e aumentar a velocidade da produção, juntamente com a redução da variabilidade e dos defeitos do processo, a fim de torná-lo mais eficaz.
Energias Renováveis	Energia renovável é aquela que vem de recursos naturais que são naturalmente reabastecidos, como sol, vento, chuva, marés ou energia geotérmica (Bornschlegl <i>et al.</i> , 2013).
Designação de um gestor de energia	O gestor de energia possui papel de líder, motivador, solucionador de problemas e ser capaz de liderar com diferentes objetivos, devendo ter experiência em questões energéticas e ser disponível para treinamentos e certificações. Sua importância está nas iniciativas e práticas para estabelecer, implementar, manter e melhorar o SGE e o desempenho energético resultante.
Procedimentos da Norma ISO 50001	O objetivo da norma é habilitar as organizações a estabelecerem sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo eficiência, o uso e consumo de energia. Com a implantação da norma espera-se redução dos gases do efeito estufa, custos de energia e outros impactos ambientais

	associados através de gestão sistemática de energia (Norma, ISO 50001).
<i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	Método utilizado para prevenir falhas e analisar os riscos de um processo, através da identificação de causas e efeitos para identificar as ações que serão utilizadas para inibir as falhas.
Implementação de e-KPIS	A implementação de e-KPIS. Além da medição dos dados de consumo de energia, os indicadores de desempenho são necessários para avaliar e controlar os desempenhos relacionados à energia (May, <i>et al.</i> , 2017).
<i>Multi-Agent Systems</i>	Um sistema multi-agente é uma rede de entidades de resolução de problemas ligeiramente acopladas que trabalham juntas para encontrar respostas a problemas que estão além das capacidades individuais ou conhecimento de cada entidade. Exemplo: considerando cada processo de fabricação em sequência como um agente, uma parada inesperada em algum desses processos acarretará na parada automática dos processos anteriores, que se comunicariam para coordenar essa parada (Kadera & Novák, 2015; Wang <i>et al.</i> , 2015).
Gestão de Projetos	O gerenciamento de projetos pode ser aplicado como disciplina para manter os riscos de fracasso em um nível tão baixo quanto necessário durante o ciclo de vida do projeto. Ao mesmo tempo, são potencializadas as oportunidades de ocorrência de eventos favoráveis do projeto. O risco de fracasso, decorrente da ocorrência de ameaças, aumenta de acordo com a presença de incerteza do evento, e da sua probabilidade de ocorrência, durante todos os estágios do projeto (PMBOOK, 6 ed.).
Simulação Computacional	Simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação (Pegden, 1990).
Robôs Colaborativos	Robôs auxiliam operadores humanos, trabalhando em conjunto com os mesmos, complementando suas capacidades e os aliviando de tarefas mais árduas, como, por exemplo, o levantamento de cargas pesadas (Rosenberg <i>et al.</i> , 2015; Sitek & Martinec, 2016).

Essas tecnologias resultantes da avaliação, descritas, são utilizadas como alternativas nas camadas do método PROMETHEE II. Essas alternativas são inseridas em uma matriz para análise do relacionamento com cada atributo de avaliação. A estrutura é desenvolvida para verificar o peso relativo de cada alternativa em relação aos cenários de avaliação, a fim de, ordenar a melhor solução para formalização da estrutura do método PROMETHEE II. O peso é atribuído a partir da percepção obtida

através de pesquisa na literatura e opinião dos especialistas, representando o alinhamento entre a descrição da tecnologia e sua aplicabilidade para evolução de maturidade do atributo. Dessa forma, cada barreira representa um cenário de análise, sendo pertinente avaliar as alternativas a serem inseridas em cada um, a fim de propor ao usuário soluções viáveis para o diagnóstico identificado no AHP. A Figura 88 representa a matriz de análise das alternativas e atributos para o PROMETHEE II. Em que pesos 1 (relacionamento muito fraco) a 9 (relacionamento muito forte), pesos atribuídos com a literatura e percepção dos especialistas.

Cenário	Quadrante	Atributo	Atributos																				Total
			Smart Sensors	Smart Actuators	Robôs Colaborativos	Machine Learning	Simulação Computacional	IoT	Big Data e Analytics	Multi-Agent Systems	Smart Grid	Energias Renováveis	SGE	Business Intelligence	Gestor de Energia	e-KPIs	Operação Padronizada	Lean 6 Sigma	Procedimentos baseados na norma ISO 50001	FMEA	Gestão de projetos	CMMS	
Cenário Econômico	PE	Custos	9	6	3	6	9	5	9	6	8	6	9	8	7	7	8	7	8	7	7	8	143
		Investimento	4	3	2	7	9	3	6	6	5	4	8	8	8	5	7	5	3	8	3	8	112
		Monitoramento	9	9	3	8	5	9	9	8	3	3	9	9	6	9	5	6	8	9	6	9	142
		Indicador	9	9	4	8	6	9	9	8	5	2	9	9	7	9	7	8	8	9	6	9	150
	EE	Custos	9	6	3	6	9	5	9	6	8	6	9	8	7	7	8	7	8	7	7	8	143
		Relatórios	9	6	3	6	5	7	9	9	3	3	9	9	8	7	9	9	9	5	9	5	143
		Indicador	9	9	4	8	6	9	9	8	5	2	9	9	7	9	7	8	8	9	6	9	150
	ME	Relatórios	9	6	3	6	5	7	9	9	3	3	9	9	8	7	9	9	9	5	9	143	
		Treinamento	3	6	8	5	2	3	3	6	3	2	9	4	8	3	9	7	9	4	7	4	105
		Auditoria	6	4	2	3	2	6	6	8	3	4	9	6	9	8	9	6	9	7	8	7	122
	OE	Investimento	4	3	2	7	9	3	6	6	5	4	8	8	8	5	7	5	3	8	3	8	112
		Treinamento	3	6	8	5	2	3	3	6	3	2	9	4	8	3	9	7	9	4	7	4	105
Custos		9	6	3	6	9	5	9	6	8	6	9	8	7	7	8	7	8	7	7	8	143	
Cenário Organizacional	PO	Gestão	9	6	8	8	6	9	9	8	5	5	9	9	9	8	7	6	9	8	9	8	155
		Suporte	8	4	3	6	8	6	9	9	5	5	7	9	9	7	6	6	7	4	8	4	130
		ISO 50001	7	6	2	5	4	6	5	6	9	9	9	7	9	8	7	7	9	6	6	6	133
		Relatórios	7	9	6	3	6	5	7	9	9	3	3	9	9	9	8	7	9	9	9	5	141
	EO	Monitoramento	9	9	3	8	5	9	9	8	3	3	9	9	6	9	5	6	8	9	6	9	142
		Comunicação	3	2	4	5	2	9	9	9	5	4	9	9	8	6	3	4	6	4	6	3	110
		Decisão	6	4	3	8	8	4	6	3	4	3	7	8	9	8	3	6	4	3	4	3	104
	MO	Informação	9	5	4	8	5	9	9	9	5	3	8	9	5	5	6	3	4	5	7	6	124
		Gestão	9	6	8	8	6	9	9	8	5	5	9	9	9	8	7	6	9	8	9	8	155
		Indicador	9	9	4	8	6	9	9	8	5	2	9	9	7	9	7	8	8	9	6	9	150
	OO	Relatórios	9	6	3	6	5	7	9	9	3	3	9	9	9	8	7	9	9	5	9	5	143
		Monitoramento	9	9	3	8	5	9	9	8	3	3	9	9	6	9	5	6	8	9	6	9	142
Auditoria		6	4	2	3	2	6	6	8	3	4	9	6	9	8	9	6	9	7	8	7	122	
ISO 50001		7	6	2	5	4	6	5	6	9	9	9	7	9	8	7	7	9	6	6	6	133	
Suporte		8	4	3	6	8	6	9	9	5	5	7	9	9	7	6	6	7	4	8	4	130	
Cenário Tecnológico	PT	Gestão	9	6	8	8	6	9	9	8	5	5	9	9	8	7	6	9	8	9	8	155	
		Treinamento	3	6	8	5	2	3	3	6	3	2	9	4	8	3	9	7	9	4	7	4	105
		Ferramentas	9	9	9	9	7	9	8	7	6	9	6	8	5	5	8	8	7	4	3	5	141
		Investimento	4	3	2	7	9	3	6	6	5	4	8	8	8	8	5	7	5	3	8	3	112
	ET	Máquinas	9	9	9	9	6	9	9	5	7	8	8	6	6	7	8	6	6	9	3	9	148
		Inovação	6	4	7	9	8	8	9	7	3	3	8	8	7	5	3	7	3	3	8	3	119
		Treinamento	3	6	8	5	2	3	3	6	3	2	9	4	8	3	9	7	9	4	7	4	105
	MT	Informação	9	5	4	8	5	9	9	9	5	3	8	9	5	5	6	3	4	5	7	6	124
		Inovação	6	4	7	9	8	8	9	7	3	3	8	8	7	5	3	7	3	3	8	3	119
	OT	Ferramentas	9	9	9	9	7	9	8	7	6	9	6	8	5	5	8	8	7	4	3	5	141
		Máquinas	9	9	9	9	6	9	9	5	7	8	8	6	6	7	8	6	6	9	3	9	148
		Investimento	9	9	9	9	7	9	8	7	6	9	6	8	5	5	8	8	7	4	3	5	141
Total	Ferramentas	4	3	2	7	9	3	6	6	5	4	8	8	8	8	5	7	5	3	8	3	112	
	Máquinas	9	9	9	9	6	9	9	5	7	8	8	6	6	7	8	6	6	9	3	9	148	

Figura 88 – Matriz de análise das alternativas e atributos para o PROMETHEE II

Para determinar quais alternativas prosseguem para a matriz final do PROMETHEE II, os dados da matriz de relacionamento foram aplicados no gráfico de Pareto. O objetivo é fazer análise dos resultados e seleção dos elementos que irão compor os cenários de avaliação. A Tabela 8 indica os dados calculados para

desenvolvimento dos gráficos de Pareto e ranqueados para cada camada do maior para o menor. Ao se habilitar a implementação da linhas de corte em A, representam-se os elementos que compõem 75% da porcentagem acumulada; em B, representando os que compõem os seguintes 20%. Por fim, em C, estão os elementos que representam os últimos 5% da porcentagem acumulada. A porcentagem relativa de cada alternativa é obtida a partir do peso de cada uma (soma dos pesos para todos os atributos da camada) dividido pela soma total dos pesos da coluna. Valores maiores indicam maior relevância da alternativa para aquela camada e respectivamente para o cenário de avaliação. Sendo que são apresentados os resultados para os três cenários de avaliação das tecnologias para o PROMETHEE II.

Tabela 8 - Resultado da avaliação para o gráfico de Pareto para as camadas Tática, Estratégica e Operacional

Cenário Econômico				Cenário Organizacional				Cenário Tecnológico							
Alternativa	Pesos	%	%ACC	Alternativa	Pesos	%	%ACC	Alternativa	Pesos	%	%ACC				
SGE	115	6.7%	6.71%	A	SGE	140	6.2%	6.16%	A	Machine Learning	99	6.4%	6.35%	A	
Procedimentos	103	6.0%	12.73%		Business Intelligence	140	6.2%	12.31%		Big Data e Analytics	93	6.0%	12.32%		
Gestor de Energia	100	5.8%	18.56%		Gestor de Energia	139	6.1%	18.43%		SGE	91	5.8%	18.16%		
Business Intelligence	99	5.8%	24.34%		Procedimentos	133	5.8%	24.27%		IoT	88	5.6%	23.81%		
Big Data e Analytics	96	5.6%	29.95%		Big Data e Analytics	131	5.8%	30.04%		Business Intelligence	87	5.6%	29.40%		
Lean 6 Sigma	95	5.5%	35.49%		Multi-Agent Systems	131	5.8%	35.80%		Smart Sensors	86	5.5%	34.92%		
e-KPIs	94	5.5%	40.98%		e-KPIs	128	5.6%	41.42%		Robôs Colaborativos	84	5.4%	40.31%		
Operação	94	5.5%	46.47%		Smart Sensors	127	5.6%	47.01%		Simulação	80	5.1%	45.44%		
Smart Sensors	92	5.4%	51.84%		IoT	121	5.3%	52.33%		Lean 6 Sigma	80	5.1%	50.58%		
Multi-Agent Systems	92	5.4%	57.21%		Gestão de projetos	119	5.2%	57.56%		Smart Actuators	79	5.1%	55.65%		
CMMS	90	5.3%	62.46%		FMEA	112	4.9%	62.49%		Operação	79	5.1%	60.72%		
FMEA	87	5.1%	67.54%		Operação	109	4.8%	67.28%		Multi-Agent Systems	77	4.9%	65.66%		
Gestão de projetos	87	5.1%	72.62%		Machine Learning	108	4.7%	72.03%		Gestor de Energia	76	4.9%	70.54%		B
Machine Learning	81	4.7%	77.35%		CMMS	108	4.7%	76.78%		Energias Renováveis	70	4.5%	75.03%		
Smart Actuators	79	4.6%	81.96%	Lean 6 Sigma	106	4.7%	81.44%	e-KPIs	70	4.5%	79.53%				
Simulação	78	4.6%	86.51%	Smart Actuators	101	4.4%	85.88%	Procedimentos	68	4.4%	83.89%				
IoT	74	4.3%	90.83%	Simulação	88	3.9%	89.75%	Gestão de projetos	64	4.1%	88.00%				
Smart Grid	62	3.6%	94.45%	Smart Grid	86	3.8%	93.54%	CMMS	64	4.1%	92.11%				
Robôs Colaborativos	48	2.8%	97.26%	Robôs Colaborativos	74	3.3%	96.79%	Smart Grid	63	4.0%	96.15%	C			
Energias Renováveis	47	2.7%	100.00%	Energias Renováveis	73	3.2%	100.00%	FMEA	60	3.9%	100.00%				

A partir dos procedimentos para filtrar as tecnologias, mostrados na tabela, é possível o desenvolvimento dos gráficos de Pareto para cada cenário de avaliação, ilustrando os resultados e possibilitando a seleção das alternativas (tecnologias) a serem implementadas na matriz do PROMETHEE II. Serão adotadas apenas as alternativas (tecnologias) classificadas como A, ou cerca de 75%, por serem consideradas mais relevantes ao espaço avaliado, para selecionar as melhores tecnologias para as matrizes do PROMETHEE II.

As alternativas *Energias Renováveis*, *Robôs Colaborativos*, *Smart Grid*, *IoT*, *Simulação Computacional*, *Smart Actuators*, *Machine Learning* e *Gestão de Projetos*

foram eliminados do *cenário econômico* pela baixa relevância para os atributos da camada tática. As demais tecnologias restantes do Gráfico 4 serão levadas para a matriz de avaliação do PROMETHEE II no cenário Econômico.

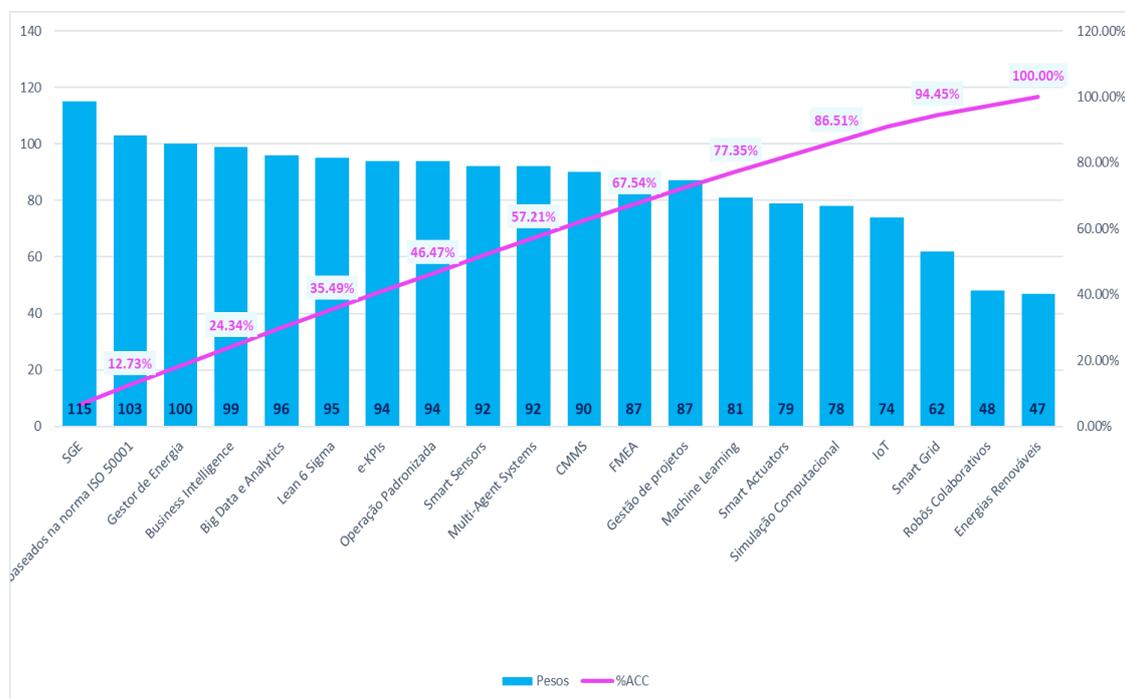


Gráfico 4 - Resultados para o cenário Econômico - camada tática

O Gráfico 5 apresenta os resultados para camada Estratégica, relacionado ao *cenário organizacional*. As tecnologias *Energias Renováveis*, *Robôs Colaborativos*, *Smart Grid*, *Simulação Computacional*, *Smart Actuators*, *Lean 6 Sigma*, *CMMS* e *Machine Learning* foram eliminadas da camada estratégica pela baixa relevância verificada com os atributos analisados. As alternativas restantes serão implementadas na matriz de avaliação do método PROMETHEE II no cenário organizacional, representado no Gráfico 5.

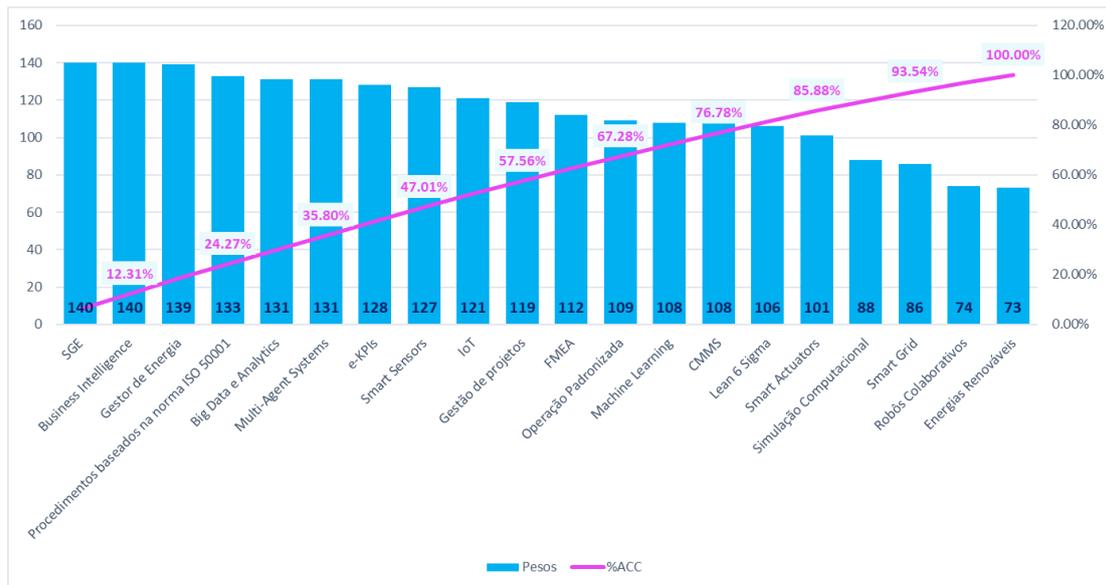


Gráfico 5 - Resultados da cenário Organizacional - camada estratégica

No Gráfico 6, são apresentados os resultados para o *cenário tecnológico*, relacionados à camada operacional. Foram eliminadas da camada operacional as tecnologias: *FMEA*, *Smart Grid*, *CMMS*, *Gestão de Projetos*, *Procedimentos baseados na ISO 50001*, *e-KPIs*, *Energias Renováveis* e *Gestor de Energia*. As demais alternativas serão implementadas no cenário tecnológico da matriz de avaliação do PROMETHEE II pela pertinência aos elementos que compõem a camada.

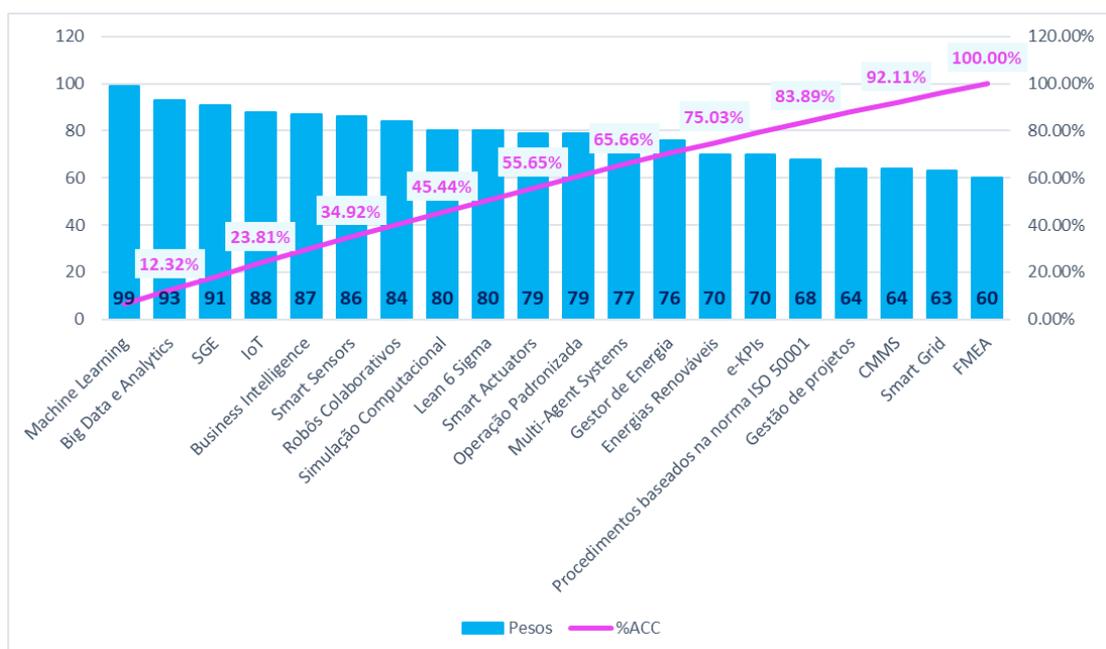


Gráfico 6 - Resultados do cenário Tecnológico - camada operacional

6.4.3 Formalização da Estrutura de Avaliação no PROMETHEE II

Definidos os elementos que compõem a matriz do PROMETHEE II, as alternativas, atributos e pesos da avaliação diagnóstica foram levados para o software *Visual Promethee*. Essa ferramenta instrumentaliza a aplicação do método e habilita diferentes instrumentos de análise que serão detalhados na seção de resultados. Esse fragmento da matriz do PROMETHEE II representa as alternativas que são as tecnologias selecionadas anteriormente, sob os critérios (os atributos), que são avaliados identificando a melhor alternativa para cada cenário avaliado. A Figura 89 indica um fragmento da matriz desenvolvida no software *Visual Promethee*, que contém os quarenta e dois atributos do modelo EM3FI, e vinte alternativas selecionadas nas tecnologias.

	<input checked="" type="checkbox"/>							
Operacional	Custos_PE	Investiment...	Monitoramen...	Indicador_PE	Custos_EE	os_EE	Indicador_ME	
Unit	9-point	9-point	9-point	unit	unit	9-point	9-point	
Cluster/Group								
Preferences								
Min/Max	max							
Weight	1,74	7,55	4,12	19,40	6,99	1,16	15,44	
Preference Fn.	Usual							
Thresholds	absolute							
- Q: Indifference	n/a							
- P: Preference	n/a							
- S: Gaussian	n/a							
Statistics								
Minimum	7,00	4,00	6,00	7,00	7,00	8,00	7,00	
Maximum	9,00	8,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	
Average	8,17	7,00	8,50	8,67	8,17	8,83	8,67	
Standard Dev.	0,90	1,53	1,12	0,75	0,90	0,37	0,75	
Evaluations								
<input checked="" type="checkbox"/> Smart Sensor	VG	B-A	VG	VG	VG	VG	VG	
<input type="checkbox"/> Smart Actuators	n/a							
<input type="checkbox"/> Robôs Colaborati...	n/a							
<input checked="" type="checkbox"/> Machine Learning	n/a							
<input type="checkbox"/> Simulação Comp...	n/a							
<input checked="" type="checkbox"/> IoT	n/a							
<input checked="" type="checkbox"/> BigData e Analytics	VG	A-G	VG	VG	VG	VG	VG	
<input type="checkbox"/> Multi-Agent Syst...	A-G	A-G	G-VG	G-VG	A-G	VG	G-VG	
<input type="checkbox"/> Smart Grid	n/a							
<input type="checkbox"/> Energias Renová...	n/a							
<input checked="" type="checkbox"/> SGE	VG	G-VG	VG	VG	VG	VG	VG	
<input checked="" type="checkbox"/> Business Intellige...	G-VG	G-VG	VG	VG	G-VG	VG	VG	

Figura 89 – Tela do software *Visual Promethee* com um fragmento da matriz do modelo EM3FI aplicado na fase decisional

A matriz do PROMETHEE II é composta pelos seguintes elementos:

1. Os critérios de avaliação: no caso do EM3FI, os quarenta e dois atributos da matriz de avaliação. Dispostos em colunas, são os elementos da estrutura que determinam a escolha da alternativa, de modo a representar o espaço de avaliação junto aos pesos da aplicação diagnóstica.
2. O *Unit* representa a unidade em que será avaliada a relação entre alternativas e atributos. No modelo foi determinada a escala qualitativa em uma escala de 1-9 pontos, onde VB representa o peso 1, VB-B o peso 2, B o peso 3, B-A o peso 4, A o peso 5, A-G o peso 6, G o peso 7, G-VG o peso 8, e por fim VG representa o peso 9.
3. O campo *Preferences* representa as seleções do usuário para modelagem dos dados e cálculo dos resultados do PROMETHEE II. Neste caso definiu-se pela maximização dos critérios, pois deseja-se encontrar a alternativa mais relevante aos elementos diagnosticados com menor maturidade. Os pesos são os resultados da avaliação diagnóstica, resultante do valor de priorização determinado no AHP dividido por um. O *Preference Fn.* representa a modelagem dos dados e é requerido pelo programa para cálculo das alternativas de acordo com o problema estruturado. No caso foi definida a modelagem usual, através do *wizard* do software que suporta a escolha através de perguntas sobre a preferência do usuário.
4. O campo *Statistics* é calculado pelo software de forma automática, e representa um instrumento de análise para verificar a média, desvios máximos e mínimos do problema introduzido.
5. O campo *Evaluations* representa o espaço da matriz onde são introduzidos as alternativas e os pesos de relação com os atributos. Os elementos são dispostos em linhas, de forma a receberem os pesos na escala definida de acordo com a matriz de análise determinada na seção anterior. As alternativas que aparecem como “n/a” excluem essas alternativas, pois como elas foram determinadas como não aplicáveis, a partir das etapas anteriores para esse critério, não fazem parte da avaliação, onde está descrita como n/a.

O modelo EM3FI contém quarenta e dois atributos e vinte alternativas, representando oitocentos e quarenta avaliações de relacionamento entre os elementos. Desta forma, foram feitos um PROMETHEE II para cada uma das barreiras do modelo: econômica, organizacional e tecnológica. Também por isso, o recurso de selecionar as

alternativas da I4.0 mais aderentes a cada uma das barreiras foram feitos, e descartadas as não relacionadas a cada cenário de avaliação.

Definida a estrutura no software, a aplicação do modelo é habilitada, onde serão detalhadas as análises dos resultados nos softwares Super Decisions e Visual Promethee.

6.4.4 Implementação dos dados de aplicação da Matriz Decisional

A etapa final de desenvolvimento da estrutura é a implementação dos resultados do AHP na matriz desenvolvida, que habilita os instrumentos de análise e avaliação decisional proposta no escopo do EM3FI. A Figura 90 apresenta as atividades a serem desenvolvidas para implementação dos dados na matriz do PROMETHEE e as análises.

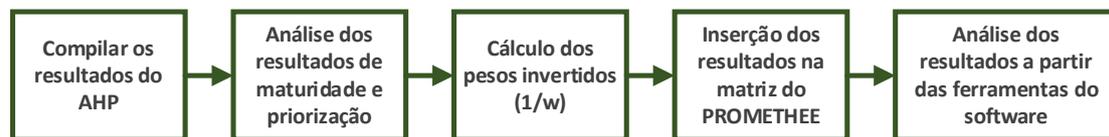


Figura 90 – Etapas para aplicação no PROMETHEE II

A análise decisional ocorre dos resultados da fase diagnóstica, de forma que são priorizados os elementos identificados como frágeis na avaliação feita pelo AHP. Esses elementos são priorizados na matriz através da inversão dos pesos, pois numericamente tornam-se os maiores valores, impactando no cálculo dos resultados do PROMETHEE II. Após a aplicação do método PROMETHEE II, a matriz de avaliação resultante fornece uma distribuição de ponderação igual entre os critérios agrupados.

6.5 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo 6 foram detalhadas as etapas de aplicação executadas desde o planejamento até a finalização nas empresas avaliadas, com diversos fluxogramas que detalham essas partes. A segunda etapa do capítulo teve objetivo de desdobrar as fases na etapa da avaliação diagnóstica, com o suporte do site para aplicação e a utilização do método AHP.

Com detalhamento das fases do PROMETHEE II, são identificados os cenários de avaliação, e é feita a seleção das tecnologias, como alternativas. Em seguida, parte-se para matriz de avaliação no PROMETHEE II, onde as tecnologias foram ranqueadas. Com este capítulo de detalhamento das etapas de aplicação, no capítulo 7, são apresentados todos os resultados da avaliação diagnóstica (AHP) e decisional (PROMETHEE II) da aplicação do modelo EM3FI nas organizações.

7. CASOS DE APLICAÇÃO

Os casos de aplicação da pesquisa utilizam o modelo de maturidade desenvolvido EM3FI para avaliar indústrias de alimentos. Como resultado, obtém-se o nível de maturidade geral da empresa em relação aos atributos e níveis avaliados no modelo. Assim são identificadas as fragilidades na gestão de energia, com oportunidades de melhoria através das alternativas. As avaliações diagnósticas e decisórias estão relacionadas à atividade A5, da aplicação da avaliação diagnóstica, e atividade A7, da aplicação da avaliação decisória, do IDEF0. A aplicação do modelo nas indústrias prevê um retorno para as mesmas, através de relatórios com os resultados da aplicação, com intuito de auxiliar na melhora do nível de maturidade nesta área, e identificar as oportunidades de melhoria.

Em ambos os casos foram firmados contratos de confidencialidade dos dados em relação à divulgação, referentes à publicação de seus nomes e números na tese e artigos que possam de alguma forma identificá-las. Ambas as organizações possuem unidades de produção no estado do Paraná, onde foram realizadas as aplicações.

O capítulo 7 apresenta todos os resultados do modelo EM3FI, com a avaliação diagnóstica e decisória das etapas que foram necessárias para levantamento dos resultados e do posicionamento diagnóstico oferecido pelo modelo. Pelo fato de se tratar de um capítulo extenso de discussão dos resultados, a Figura 91 demonstra cada uma das etapas necessárias para os resultados.

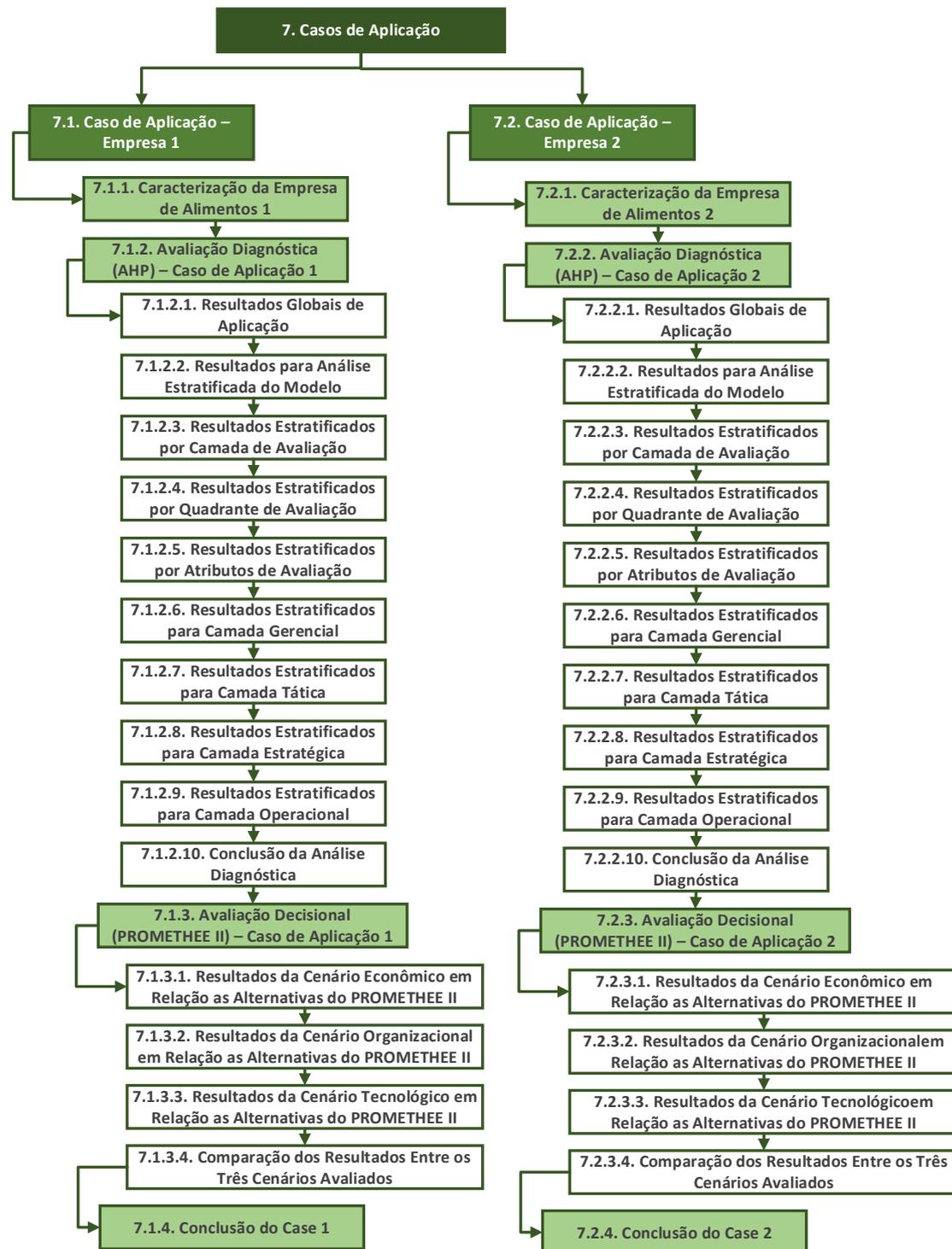


Figura 91 – Fluxograma do desenvolvimento do capítulo 7

7.1 CASO DE APLICAÇÃO – EMPRESA 1

Os casos de aplicação foram feitos em duas empresas. É necessário caracterizar cada uma delas pela diferença de tamanho e particularidades nos produtos produzidos. Dessa forma, são explicadas no próximo item as características gerais da empresa número um. Esta aplicação da avaliação diagnóstica corresponde à etapa A5 do IDEFO.

7.1.1 Caracterização da Empresa de Alimentos 1

O primeiro caso de aplicação foi realizado em uma grande indústria com reconhecimento nacional e internacional no beneficiamento de alimentos. A empresa possui unidades fabris dentro e fora do país e a unidade escolhida para ser avaliada foi em Curitiba, no Paraná. As avaliações foram divididas em camadas, que dizem respeito das três barreiras do modelo EM3FI, os respondentes foram determinados em reunião juntamente com a gestão da empresa no primeiro dia na apresentação da pesquisa.

7.1.2 Avaliação Diagnóstica (AHP) - Caso de Aplicação 1

Os resultados apresentados a partir desta etapa compõem a fase diagnóstica da pesquisa, operacionalizada através do *site* (instrumento de avaliação) desenvolvido para a pesquisa, onde as respostas estão contidas e foram transportadas para planilhas no Excel e enviadas para o Software *Super Decisions* com o método AHP. Os resultados serão apresentados em forma de gráficos e tabelas de acordo com as camadas avaliadas.

7.1.2.1 Resultados Globais da Aplicação

Na Tabela 9 são representados os resultados completos da avaliação feita na empresa 1, com a demonstração de todos os quadrantes e os níveis de maturidade avaliados. Desta forma, podemos verificar os que possuem maior priorização por parte da empresa e quais possuem a necessidade de melhorias, representando uma “fotografia” do status atual da empresa na gestão de energia.

Tabela 9 - Resultados globais do método AHP, na aplicação do EM3FI na Empresa 1

Matriz de Avaliação											
		Barreiras									
		Econômica			Organizacional			Tecnológica			
Aspectos	Processo	0.07209	PE			PO			PT		
			Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado
			Custos	1	0.62208	Gestão	4	0.55773	Ferramentas	1	0.06735
			Investimento	4	0.20039	Suporte	4	0.10359	Investimento	4	0.45279
			Monitoramento	2	0.04260	ISO 50001	3	0.22497	Máquinas	3	0.22708
Indicador	2	0.13494	Relatórios	3	0.07523	Inovação	2	0.06841			
				Monitoramento	4	0.03848	Treinamento	3	0.18437		
			0.14286		0.71429		0.14286				
Estratégia	0.56151	EE			EO			ET			
		Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	
		Custos	3	0.87500	Comunicação	3	0.04723	Informação	4	0.85714	
		Relatórios	2	0.12500	Decisão	3	0.26670	Inovação	4	0.14286	
					Informação	4	0.53212				
			0.67381		0.10065		0.22554				
Medição	0.23286	ME			MO			MT			
		Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	
		Indicador	3	0.62670	Indicador	4	0.19469	Ferramentas	3	0.14286	
		Relatórios	2	0.09362	Relatórios	3	0.71724	Máquinas	3	0.85714	
		Treinamento	2	0.27969	Monitoramento	3	0.08808				
			0.46647		0.10050		0.43303				
Operação	0.13354	OE			OO			OT			
		Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	
		Auditoria	3	0.16714	Auditoria	3	0.09496	Ferramentas	3	0.09362	
		Investimento	3	0.11877	ISO 50001	2	0.16523	Investimento	3	0.27969	
		Treinamento	2	0.04578	Suporte	3	0.23953	Máquinas	4	0.62670	
			0.66831	Gestão	4	0.45841					
			0.11722	Treinamento	3	0.04187					
			0.26837				0.61441				

Importante salientar alguns destaques da tabela 9, como a priorização pelo aspecto da *estratégia* pela empresa. Em relação aos aspectos (na cor verde), o *processo* para o enquadramento PO (Processo + Organizacional) onde está mais concentrada a tomada de decisões na barreira organizacional. O quadrante com menor priorização MO (Medição + Organizacional), no aspecto *medição*, possui oportunidades de melhoria na barreira organizacional, o que significa que, mesmo contendo a maior prioridade em PO nas avaliações, na mesma barreira, possui também a maior deficiência nas ações na medição em MO. Além disso, a tabela 9 indica em rosa os níveis de maturidade de cada um dos atributos avaliados no modelo e a partir desses níveis são identificadas as oportunidades de melhoria para a empresa. Na aplicação do modelo estão contidas as fichas de avaliação (apêndice IV) que determinam as ações, indicadores e etc., que podem ser feitos pela empresa, para melhorar o nível de maturidade e os que se encontram em nível máximo 4, a manutenção das atividades. De forma geral, a empresa avaliada encontra-se equilibrada. Os resultados dos quadrantes e os níveis altos de maturidade encontram-se pulverizados nas três camadas avaliadas, ou seja nas três barreiras do modelo e possuem em média nível 3 de maturidade. Nas próximas seções são apresentados os resultados estratificados por camadas, quadrantes e atributos.

7.1.2.2 Resultados para Análise Estratificada do Modelo

A avaliação feita no modelo EM3FI foi desenvolvida em etapas, pela necessidade de separar em *camadas*, *quadrantes* e *atributos* de avaliação, para apuração dos resultados encontrados. A Figura 92 explica como foram estratificadas as análises do modelo EM3FI e analisadas para os casos de aplicação nas empresas de alimentos.



Figura 92 – Estratificação para avaliação dos resultados do modelo EM3FI

Com esta hierarquia descrita é possível a estratificação das camadas de avaliação: estratégica, tática e operacional. Avaliação foi feita em todos os quadrantes identificando as forças e fraquezas da empresa na gestão de energia relacionados aos quadrantes, como por exemplo: PO (processo + organizacional) para cada atributo, identificando de forma focal onde as melhorias devem ser efetuadas e onde as ações devem ser mantidas pela empresa, sendo esse um dos principais diferenciais do modelo.

7.1.2.3 Resultados Estratificados pelas Camadas de Avaliação

O Gráfico 7 apresenta os resultados pelas camadas avaliadas e identifica o nível geral de maturidade da empresa. Neste caso, nível 3 em uma escala até 4. Os resultados gerais das camadas demonstram uma maior evolução na camada estratégica, onde estão os atributos ligados a gestão do negócio e uma oportunidade de melhoria na camada tática, onde estão os atributos ligados a fatores econômicos.

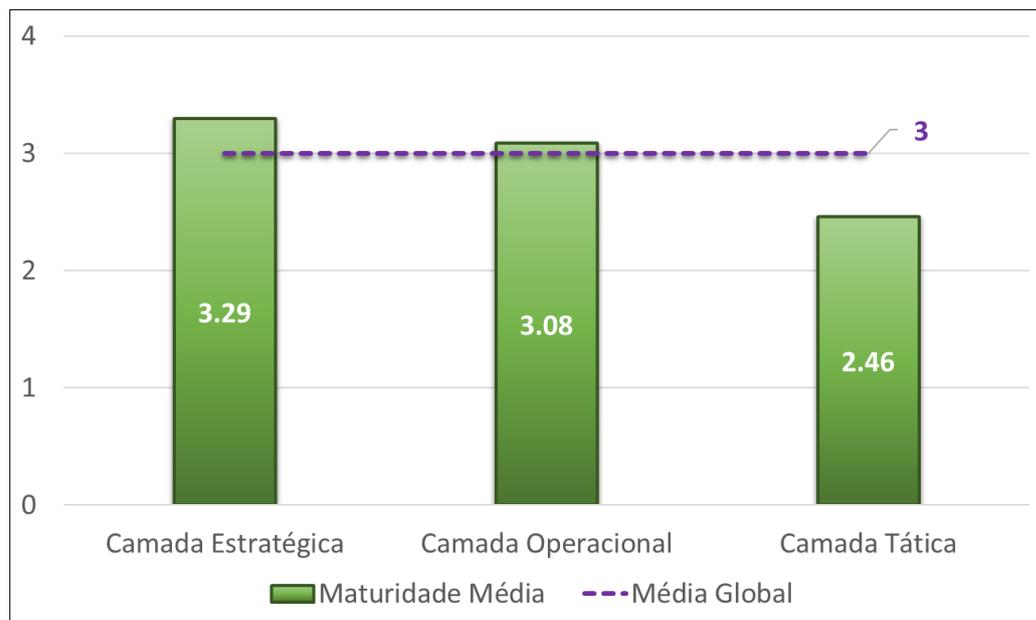


Gráfico 7 - Resultados nas camadas de avaliação

De forma geral, os resultados da empresa estão pulverizados, ou seja, não possuem grande discrepância quando comparadas uma camada a outra. Por se tratar de uma empresa de grande porte, isso é satisfatório, pois entendemos que todas as áreas de forma geral são atendidas na gestão de energia.

7.1.2.4 Resultados Estratificados pelos Quadrantes de Avaliação

Os resultados apresentados no Gráfico 8, em relação aos quadrantes de avaliação, identificam a média do nível de maturidade dos atributos dentro de cada quadrante avaliado nas camadas. Este resultado não especifica cada um dos atributos que foram avaliados, mas demonstra, nas camadas, onde ocorrem as oportunidades de melhoria para gestão de energia.

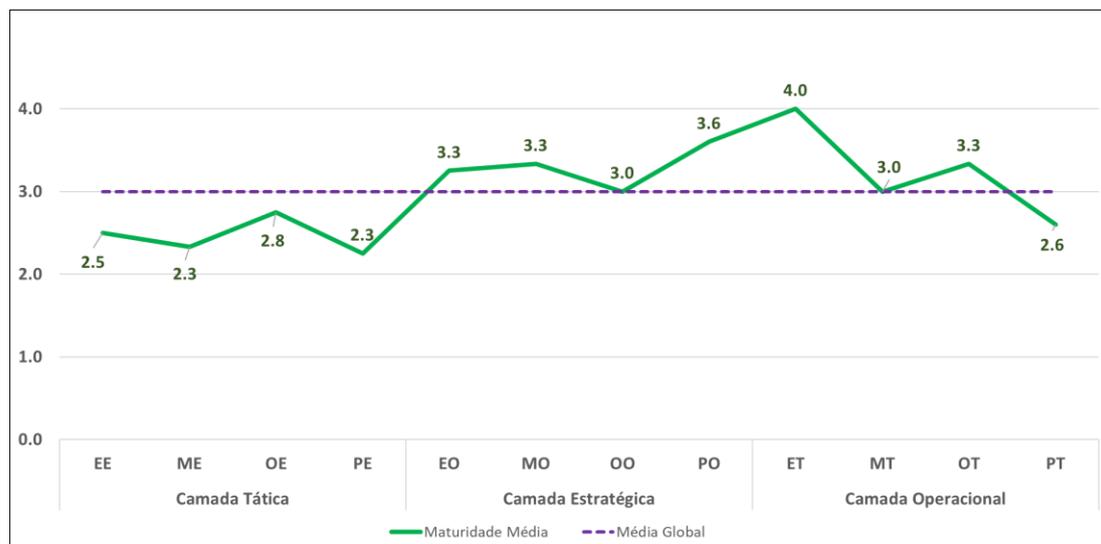


Gráfico 8 - Resultados nos quadrantes de avaliação

O Gráfico 8 possibilita uma visão geral dos resultados alcançados pela empresa, pelas camadas avaliadas e pelos quadrantes de forma individual. Demonstra-se a média alcançada com os atributos dentro do quadrante e o nível de maturidade geral do quadrante.

7.1.2.5 Resultados Estratificados por Atributos de Avaliação

Os resultados apresentados no Gráfico 9 identificam todos os atributos avaliados, com o nível de maturidade individual, com todos os quadrantes e em suas respectivas camadas. De forma geral, 11 atributos do total de 42 encontram-se em nível 4 (máximo) de maturidade para o modelo, distribuídos nas três camadas. A maioria dos atributos encontram-se em nível 3 em todas as camadas, em um total de 21 atributos; 8 atributos encontram-se em nível 2 de maturidade e 2 atributos em nível 1 de maturidade.

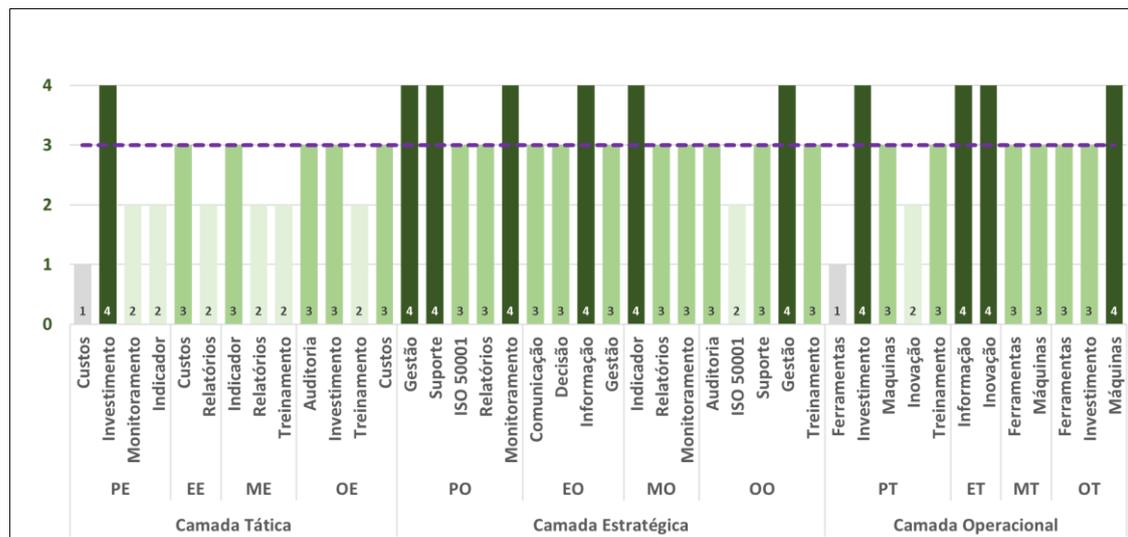


Gráfico 9 - Resultados por atributos avaliados

O Gráfico 9 demonstra como estão divididos os resultados da empresa avaliada no caso de aplicação 1, demonstrando uma síntese das avaliações feitas com o modelo EM3FI.

7.1.2.6 Resultados Estratificados para Camada Gerencial

A Figura 93 identifica os resultados da camada Gerencial aplicada no modelo EM3FI. No gráfico A, com comparação entre os *quadrantes*, demonstra o cruzamento entre aspectos e barreiras. Nesta correlação, o quadrante PO possui maior priorização situado na camada estratégica, indicando que a empresa está mais voltada para as questões estratégicas do negócio. É seguido pelo quadrante EE, com preocupação relacionadas as questões econômicas, o que demonstra uma pulverização dos resultados nas camadas. Com a menor priorização encontra-se MO, as melhorias a serem feitas estão ligadas à medição relacionadas a organização.

Para o gráfico B, a comparação dos *aspectos* corrobora o resultado de priorização da camada estratégica, onde estão ligados as questões da organização. Em contrapartida, indica que o aspecto *processo* precisa ser melhorado, indica uma baixa preocupação. A empresa necessita de ações que melhorem o aspecto do processo.

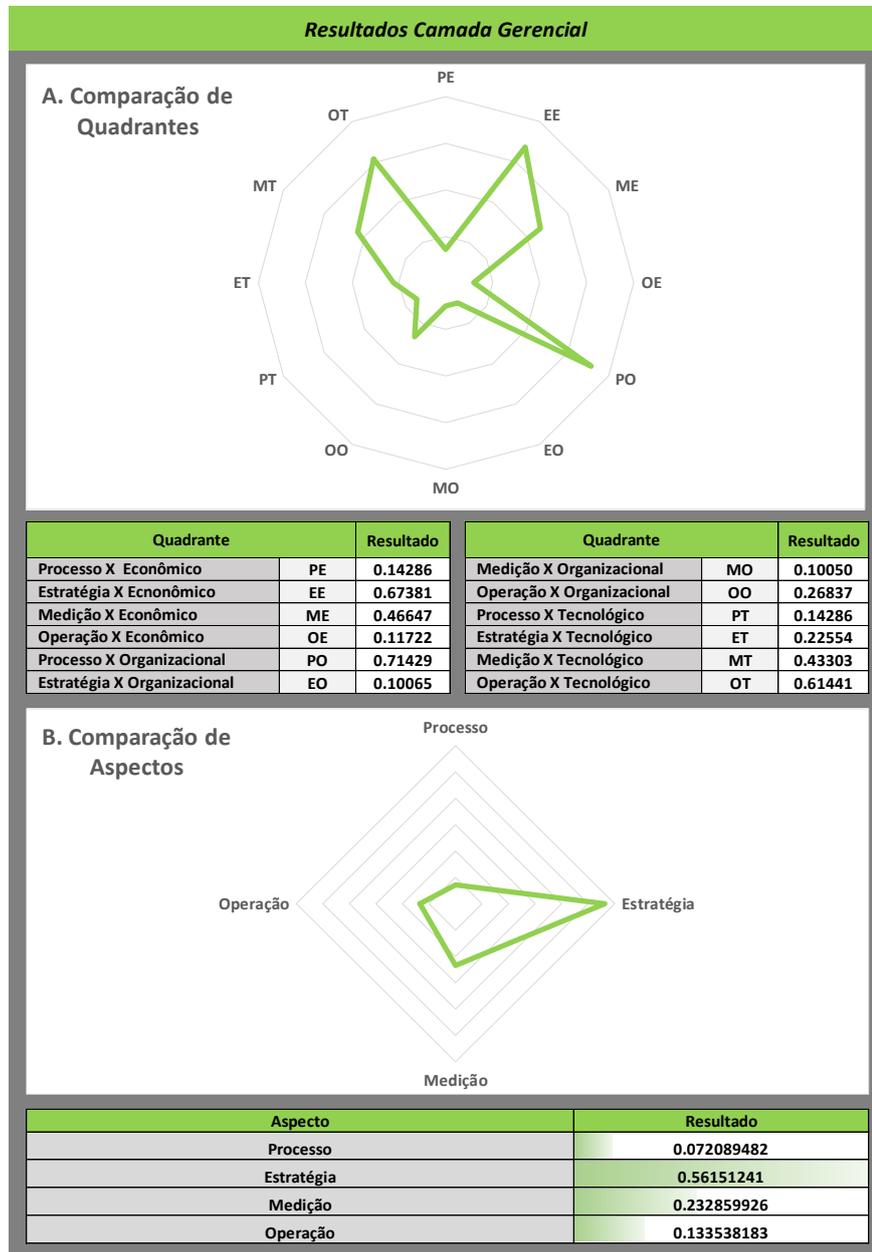


Figura 93 – Resultados da camada gerencial na aplicação do modelo

7.1.2.7 – Resultados Estratificados para Camada Tática

Na Figura 94 são apresentados os resultados da camada tática na aplicação do modelo EM3FI. Ela apresenta todos os resultados dos quadrantes avaliados relacionados aos atributos econômicos. No gráfico I, identifica-se o atributo *custos* com nível de maturidade 1, que possui oportunidade de melhoria, mas com priorização alta, ou seja, a questão custos possui grande relevância na tomada de decisões mas, nível baixo de maturidade, as melhorias podem ser feitas para evolução desse nível. Os atributos *monitoramento* e *indicador* possuem nível 2 de maturidade. São identificadas oportunidades de melhoria e possuem priorização menor, ou seja, podem ser efetuadas ações de melhorias, com melhora da maturidade. O atributo *investimento* possui nível 4 de maturidade e média priorização, o que indica que ações tomadas em relação aos custos (que possui alta priorização), podem estar refletindo em maior maturidade no investimento, mas a sua priorização e ações podem ser melhorados.

No gráfico II, os *relatórios* possuem nível 2 de maturidade e possuem baixa priorização nas ações. Ou seja, podem ser feitas ações para melhorar a geração e aproveitamento dos dados apresentados nesses relatórios, elevando o nível de maturidade pela melhora dos relatórios. As atividades que identificam a evolução para o nível 3 de maturidade e contempla as melhorias são contidas nas fichas de avaliação do modelo (apêndice IV) . Para os custos, o nível 3 é satisfatório, pois a sua priorização está alta de forma que contempla todas as atividades do nível 3 que devem ser mantidas, melhorando o atributo relatório.

No gráfico III, os atributos *treinamento* e *relatório* ambos com nível 2 de maturidade, possuem oportunidades de melhoria para evolução ao nível 3. Podemos relacionar a necessidade da melhoria nos treinamentos e relatórios para gestão de energia neste quadrante de medição. Identifica-se a ausência de ações focais para estes dois atributos, que contribuem para melhoria da medição da energia, essas ações concentradas melhoram o nível de maturidade para 3. O atributo indicador é utilizado pela empresa como apoio nos resultados e possui nível 3, pela sua ampla utilização, possui maior grau de maturidade em relação aos demais.

No gráfico IV, três dos quatro atributos encontram-se em nível 3 de maturidade: *custos*, *investimento* e *auditoria*. Entende-se que as ações estão sendo efetivas na operação nestes atributos. A oportunidade de melhoria encontra-se no

atributo *treinamento* com nível 2 de maturidade e baixa priorização, indicando que as ações não são completamente efetivas para melhoria da gestão de energia em relação aos treinamentos na operação, essa questão deve focar maior atenção da empresa.

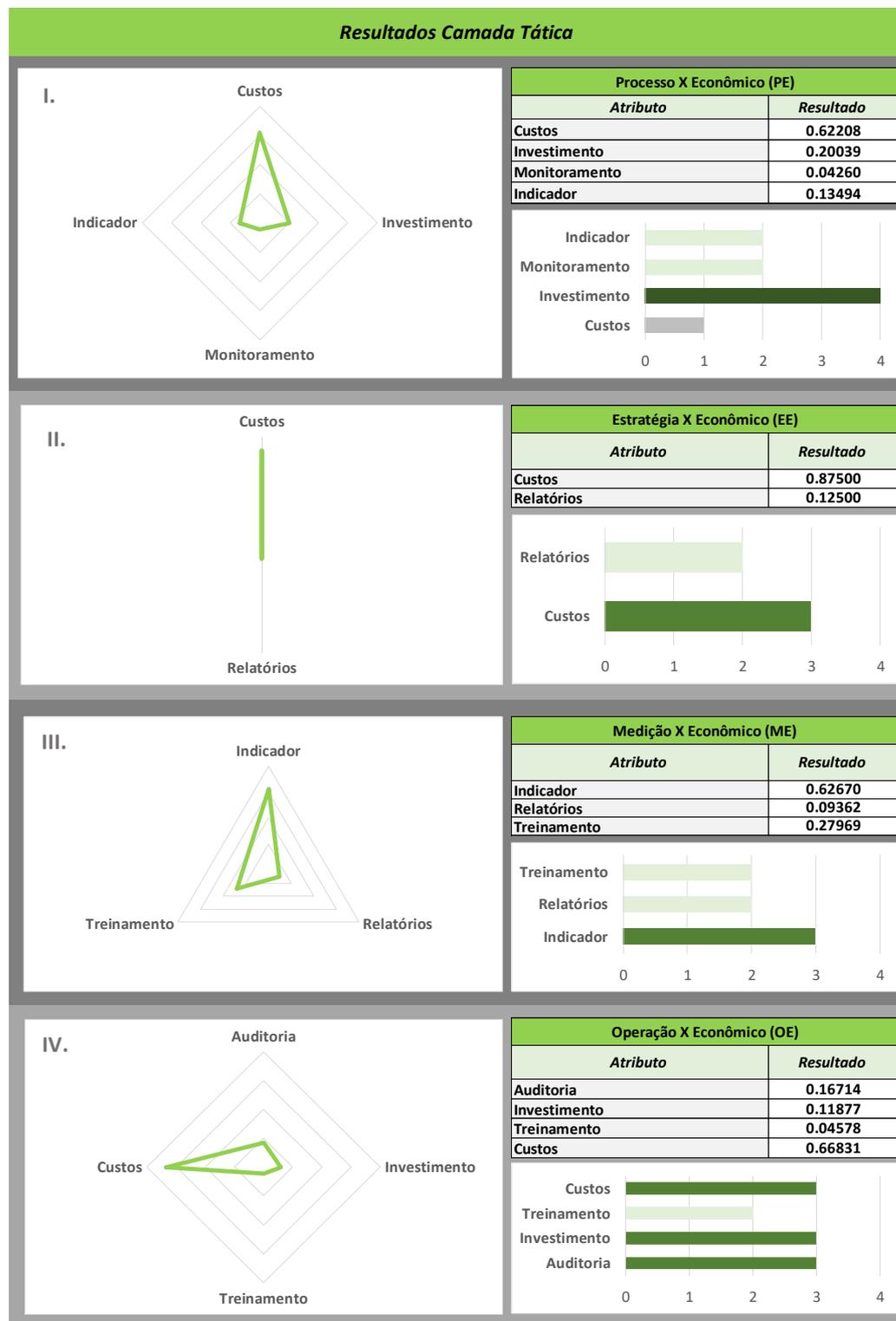


Figura 94 – Resultados da camada tática na aplicação do modelo

7.1.2.8 Resultados Estratificados para Camada Estratégica

Os resultados da camada estratégica indicam para o quadrante PO, no gráfico V, que a priorização ocorre no atributo *gestão*, faz sentido pois estão liagadas as decisões de estratégia do negócio. Sendo o *monitoramento*, a menor priorização das ações mesmo que ele tenha nível 4. O que ocorre são atividades nos demais atributos que também possuem nível 4, que de forma indireta refletem na melhoria do monitoramento. Isso não impede de serem feitas ações diretamente ligadas ao monitoramento das atividades que melhorem a sua priorização.

No gráfico VI, as melhorias devem ser voltadas para o atributo *comunicação*, que possui nível 3, mas baixa priorização no quadrante, entende-se que existe uma deficiência na comunicação das ações para gestão de energia. Para os demais atributos avaliados possuem níveis 3 e 4 a priorização esta melhor distribuída, ou seja, são identificadas ações efetivas que melhoram o nível de maturidade da gestão de energia.

No gráfico VII no quadrante MO, o atributo *monitoramento* possui baixa priorização, o que indica oportunidades de melhoria na questão melhoria do monitoramento, em um quadrante que são tratados aspectos de medição. O foco é medição nos processos, podendo estar deficientes em algumas áreas da empresa. Os *indicadores* possuem nível 4, o que indica a utilização na tomada de decisão por parte da organização, sendo que os relatórios possuem prioridade e nível alto de maturidade, isso reflete o nível geral muito bom do quadrante avaliado.

No gráfico VIII, no quadrante OO o *treinamento* possui menor prioridade para operação e a organização. Mesmo em nível 3 de maturidade, as ações efetivamente feitas para os treinamentos possuem pouca relevância, segundo os resultados. A ISO 50001 possui baixa priorização e nível 2 de maturidade indica um alerta, pois estamos tratando desses questões da energia relacionadas a estratégia da empresa com relação a operação, as fichas de avaliação indicam como aplicar ações para melhoria da ISO 50001. Como a norma relaciona todas as ações para gestão de energia, esse nível indica que a empresa pode melhorar significativamente em maturidade e que ela possui baixa aplicação da mesma. A Figura 95 indica demonstra os gráficos V ao VIII, com o grau de priorização dos atributos em cada quadrante e os níveis de maturidade de cada atributo por quadrante.

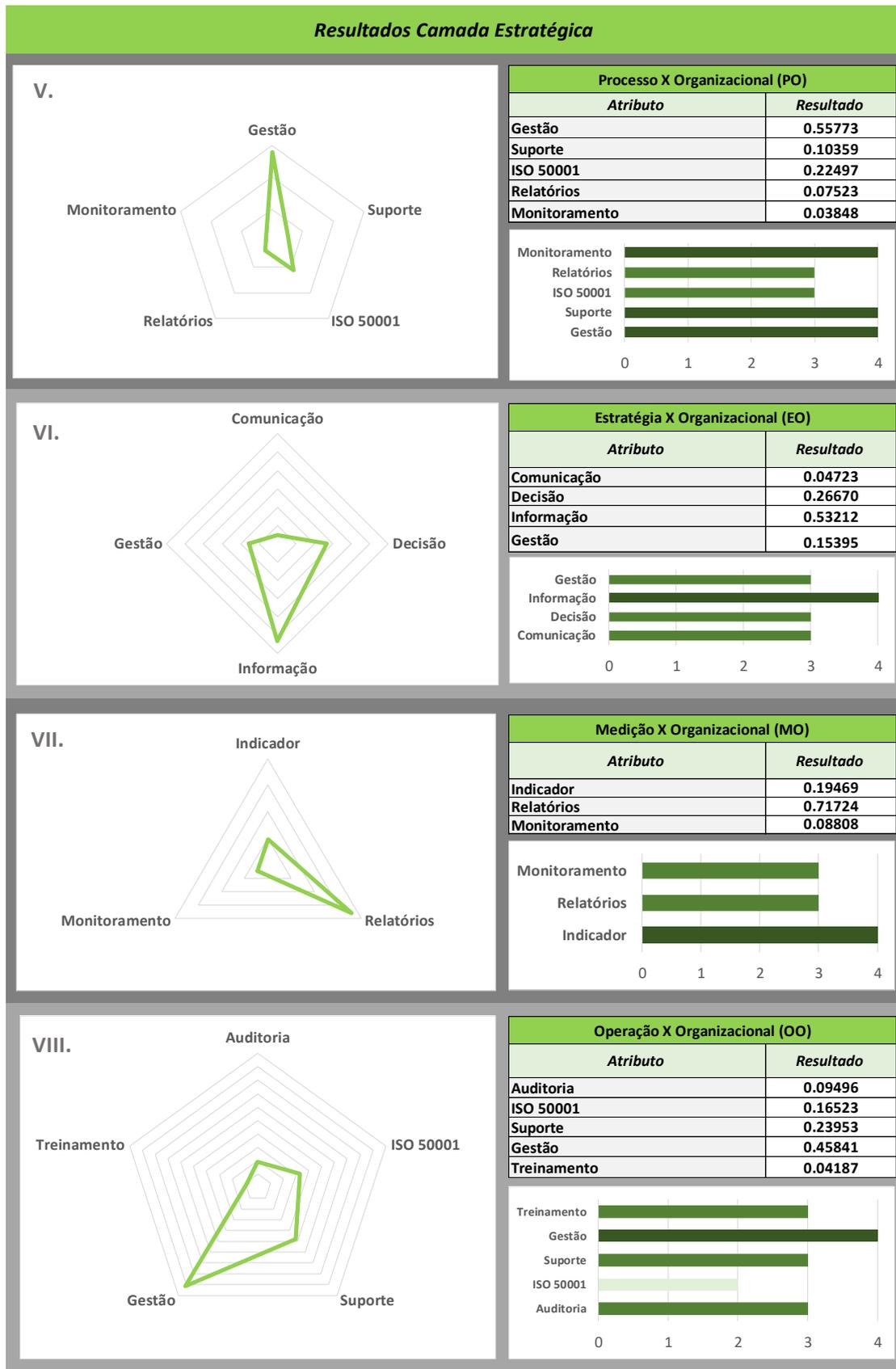


Figura 95 – Resultados da camada estratégica na aplicação do modelo

7.1.2.9 – Resultados Estratificados para Camada Operacional

O gráfico IX apresenta os resultados da camada operacional, no quadrante PT, que indicam dois pontos mais críticos, *ferramentas* e *inovação*, com priorização e nível de maturidade baixos. Em se tratando dos atributos de tecnologia nesta camada, os esforços na questão das ferramentas aliada a inovação podem melhorar significativamente esses resultados, indicando que possui espaço para utilização de novas ferramentas para gestão de energia nos processos. A empresa possui o atributo investimento com nível 4 de maturidade a maior priorização no quadrante, isso indica que existem investimentos feitos nos demais atributos avaliados, mas que não são suficientes para melhorar os resultados alcançados até o momento. Sendo necessários procedimentos focais nos demais avaliados no quadrante.

O gráfico X apresenta os resultados para o quadrante ET. O ponto crítico é a diferença na priorização da *inovação*, ambos possuem nível 4 de maturidade, mas as ações são predominantemente executadas na informação. A utilização das fichas de avaliação podem auxiliar nesta melhoria.

No gráfico XI, com o resultado do quadrante MT, percebe-se maturidade nível 3 para *máquinas* e *ferramentas*, com baixa priorização para ferramentas. A adoção de ações equilibradas para máquinas e ferramentas são essenciais, pois a utilização das máquinas passam pelas ferramentas de apoio, desta forma a melhoria no uso das ferramentas pode equilibrar e melhorar a maturidade de ambos os atributos.

O gráfico XII, no quadrante OT, possui baixa priorização para *ferramentas* e nível 3 de maturidade. Novamente corrobora o resultado do quadrante anterior, onde máquinas possui maior priorização. Assim decorre a necessidade de equilibrar e melhorar máquinas e ferramentas com ações focais para as ferramentas. Da mesma forma, os investimentos são os menos priorizados neste momento, o que descreve um baixo capital investido em novas ferramentas ou até mesmo na aquisição de novas máquinas. Nesta camada que avaliou atributos tecnológicos, voltados para operação é esperado um maior grau de priorização para as questões ligadas a máquinas e ferramentas aliada aos investimentos, mas em muitos casos os resultados mostram que isso não é uma regra e que identificando esta fragilidade ações podem ser tomadas para melhoria do nível e da priorização para questão energética. A Figura 96 apresenta os resultados para a camada operacional onde foram avaliados os atributos tecnológicos do modelo de gestão de energia.

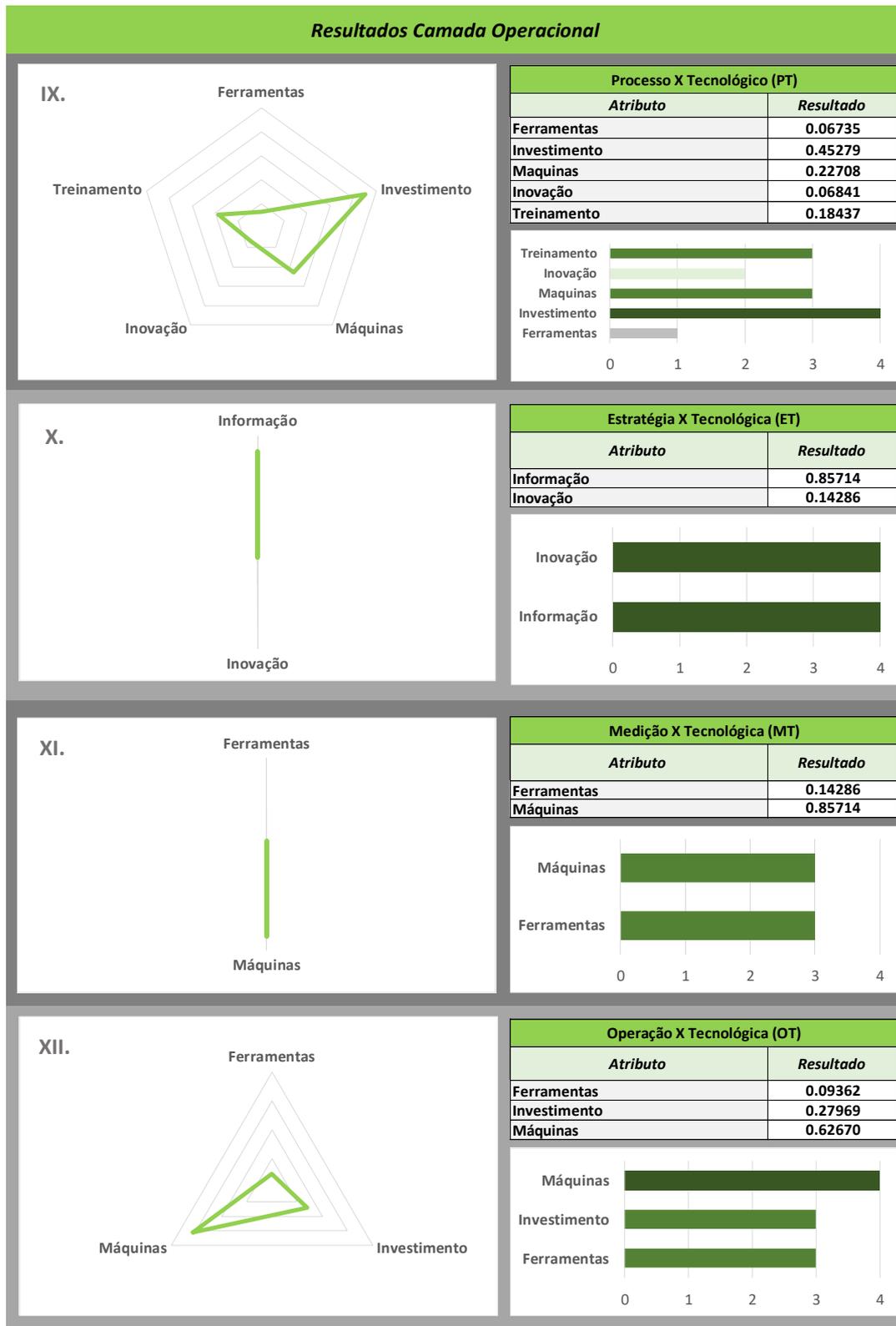
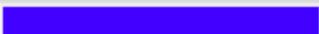


Figura 96 – Resultados da camada operacional na aplicação do modelo

7.1.2.10 - Conclusão da Análise Diagnóstica – AHP

A Figura 97 apresenta a tela do software *Super Decisions*, que finaliza a avaliação do AHP e representa o nível geral de maturidade da empresa, neste caso 3. De forma geral, em um modelo de 4 estágios de maturidade, a empresa encontra-se em um nível 3, considerado muito bom, na gestão de energia na questão de maturidade dos atributos avaliados. Isso indica ainda a possibilidade de melhorias, mas também que as atividades desenvolvidas até o momento possuem impacto positivo no campo da energia e que existe uma grande preocupação na melhor utilização dos recursos pela empresa.

Here are the overall synthesized priorities for the alternatives. You synthesized from the network Super Decisions Main Window: ahp_VF.sdmod

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
A1		0.176367	0.088067	0.022017
A2		0.296411	0.148009	0.037002
A3		1.000000	0.499338	0.124834
A4		0.529875	0.264586	0.066147

Okay Copy Values

Figura 97 – Resultado geral do nível de maturidade da empresa 1 no software *Super Decisions* do AHP

7.1.3 Avaliação Decisional (PROMETHEE II) Caso de Aplicação 1

Os resultados foram analisados no software *Visual Promthee II*, que relaciona cada uma das camadas com as melhores alternativas dentre as selecionadas para fazerem parte dos cenários. Dessa forma, as melhores ranqueadas podem ser utilizadas para melhorar o nível de maturidade dos atributos da camada e para formalizar o sistema de gestão de energia para a empresa avaliada. Essa aplicação ocorre na etapa da avaliação decisional do PROMETHEE II.

7.1.3.1 Resultados do Cenário Econômico em relação as alternativas no PROMETHEE II

Como resultado no cenário econômico foi possível obter a classificação das alternativas quanto à melhor opção a ser priorizada pela empresa para melhorar a gestão de energia, no contexto dos atributos relacionados a barreira econômica (os resultados remetem ao diagnóstico da camada tática no AHP). Para cada alternativa, dois índices são calculados a partir dos índices de preferência: o fluxo positivo ($\Phi+$) representa o quanto uma dada alternativa é melhor que as outras, e o fluxo negativo ($\Phi-$) expressa o quanto uma alternativa é superada pelas demais. Com a inserção dos dados necessários, os valores de “Phi” para cada nível foram gerados pelo software e apresentados na Figura 98.

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	SGE		0,5641	0,5641	0,0000
2	Business Intelligence		0,2133	0,4066	0,1933
3	Procedimentos ISO		0,1178	0,4208	0,3030
4	Gestor de Energia		0,0146	0,3842	0,3695
5	BigData e Analytics		0,0046	0,2767	0,2721
6	Smart Sensor		-0,0805	0,2402	0,3207
7	e-KPIs		-0,0880	0,2980	0,3860
8	CMMS		-0,0919	0,2319	0,3239
9	Multi-Agent Systems		-0,1007	0,3458	0,4465
10	FMEA		-0,1228	0,2165	0,3393
11	Lean 6 Sigma		-0,1382	0,3219	0,4601
12	Operação Padronizada		-0,2924	0,3067	0,5991

Figura 98 – Resultado para cenário econômico sobre a melhor alternativa

Neste caso, para o cenário econômico a melhor alternativa entre todas foi o SGE (sistema de gestão de energia). Ou seja, a organização da empresa deve ser no sentido de formalizar este sistema e colocar em execução, sendo este cenário relacionado aos atributos econômicos da empresa.

A Figura 99 representa o ranking do PROMETHEE II para as alternativas, identificando as melhores alternativas localizadas na parte destacada em verde e as alternativas que não possuem relevância em vermelho para o cenário econômico. Segundo os resultados, identificamos que, além do SGE, o *business intelligence* seria uma boa opção para a empresa utilizar na gestão da energia.

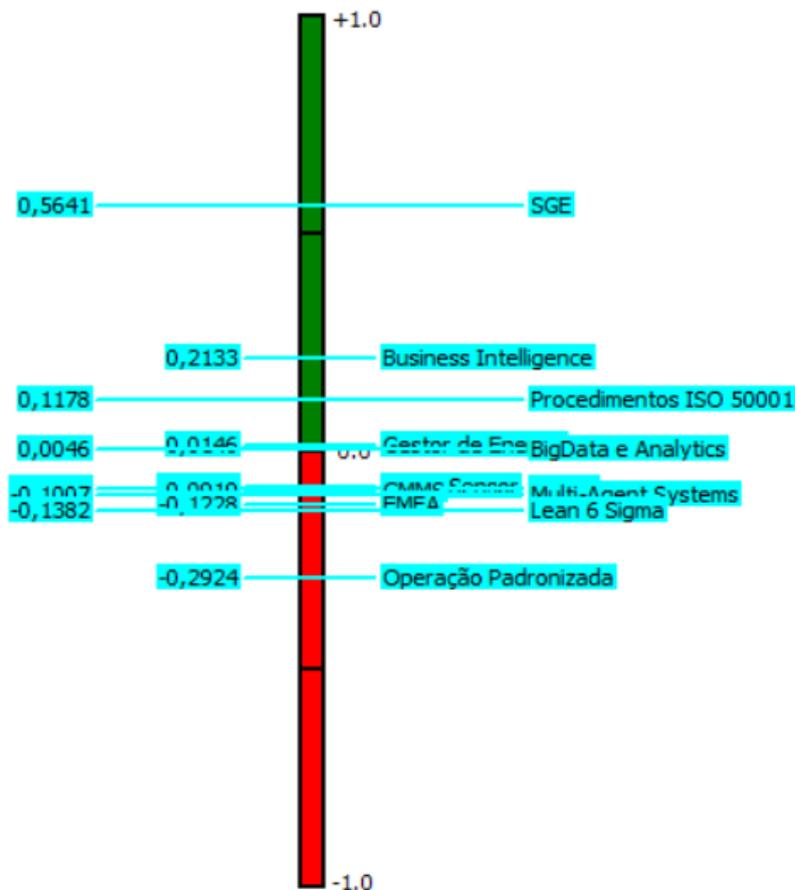


Figura 99 – PROMETHEE ranking, cenário econômico

O *business intelligence* está relacionado aos processos nos métodos de coleta, armazenamento e análise dos dados das operações. Ele cria uma visão abrangente da empresa, auxiliando na tomada de decisão das pessoas. Ferramentas como mineração dos dados, *benchmarking*, etc. podem auxiliar nesta melhoria da gestão de energia.

A Figura 100 representa o valor do Phi para todos os atributos avaliados no cenário econômico, para a alternativa melhor avaliada, o SGE. Percebe-se que todos os atributos ficariam com valores positivos com a implementação do mesmo. Este resultado define como sendo um sistema de gestão de energia (SGE), uma organização que contempla todos os atributos do cenário avaliado e conseqüentemente melhorará o nível de maturidade de todos como: custos, investimentos, indicadores, etc.

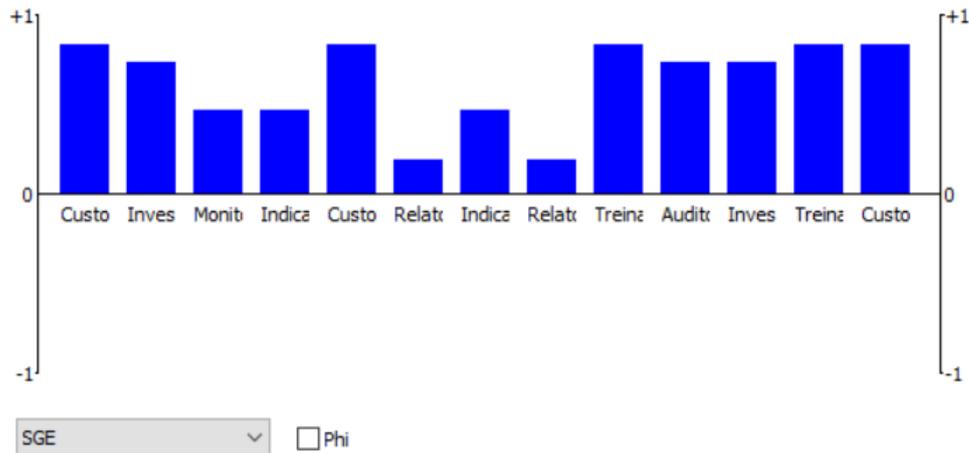


Figura 100 – Valor do Phi para cenário econômico , melhor alternativa SGE

7.1.3.2 Resultados do Cenário Organizacional em relação as alternativas no PROMETHEE II

Neste caso, para o cenário organizacional a melhor alternativa entre todas foi também o *SGE* (sistema de gestão de energia), assim como no cenário econômico. A organização da empresa deve ser no sentido de implementar este sistema, sendo esta camada relacionada aos atributos de gestão da empresa. A Figura 101 mostra os resultados da melhor alternativa entre as tecnologias avaliadas.

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	SGE		0,3583	0,5156	0,1573
2	Business Intelligence		0,2943	0,4565	0,1622
3	Procedimentos ISO		0,1614	0,4500	0,2887
4	Gestor de Energia		0,1483	0,4895	0,3412
5	BigData e Analytics		0,0775	0,3563	0,2788
6	Multi-Agent Systems		0,0180	0,4101	0,3922
7	e-KPIs		-0,0146	0,3333	0,3479
8	IoT		-0,1140	0,2701	0,3841
9	Smart Sensor		-0,1537	0,2651	0,4188
10	FMEA		-0,1843	0,2776	0,4619
11	Gestão de Projetos		-0,1992	0,3133	0,5125
12	Operação Padronizada		-0,3920	0,2545	0,6465

Figura 101 – Resultado para o cenário organizacional sobre a melhor alternativa pelo Phi

A Figura 102 representa o ranking do PROMETHEE II, identificando as melhores alternativas localizadas na parte destacada em verde e as alternativas que possuem menor relevância para o cenário organizacional em vermelho. Conforme os resultados, identificamos que, além do SGE, o *business intelligence* seria mais uma opção indicada para a empresa adotar na gestão da energia.

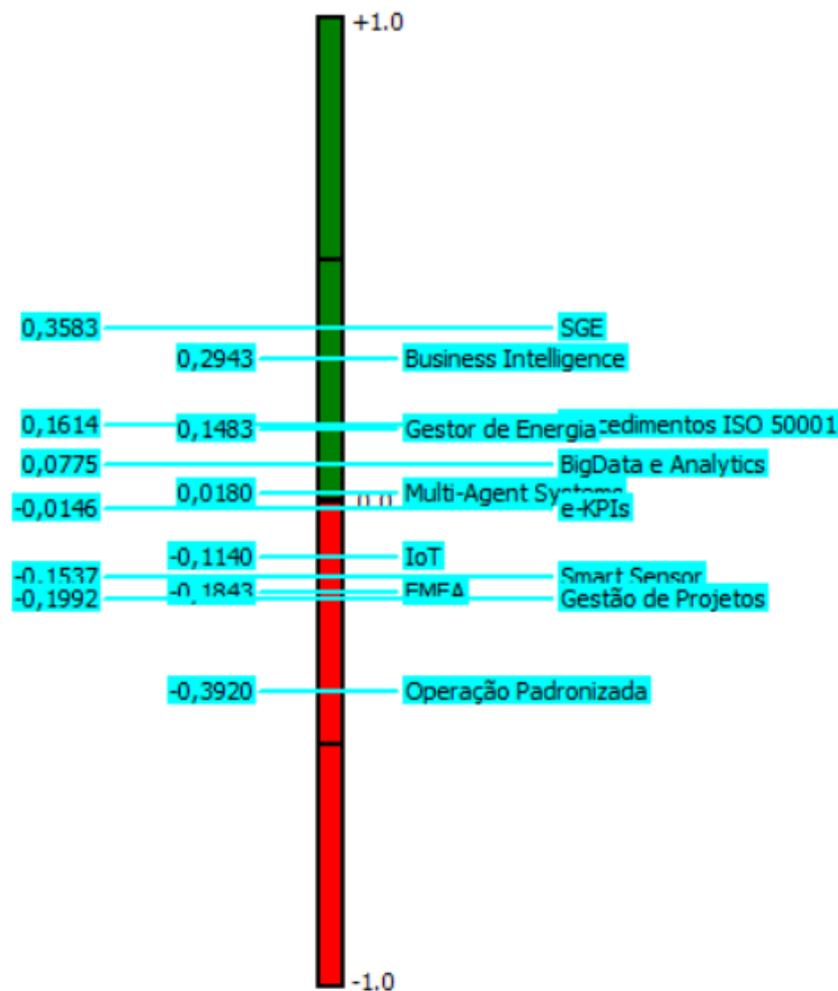


Figura 102 – PROMETHEE ranking, cenário organizacional

Assim como no cenário econômico, o *business intelligence* seria a segunda opção para a empresa adotar, além de outras opções relevantes também para as questões estratégicas, como a adoção dos procedimentos da norma ISO 50001. Ela descreve uma sequência simplificada para a empresa utilizar, no sentido em que ela detalha qual o papel de cada uma das áreas para gestão de energia e como medir e acompanhar os procedimentos.

A Figura 103 representa o valor do Phi para todos os atributos avaliados no cenário organizacional, para a alternativa melhor avaliada, o *SGE*. Nesta camada nem todos os atributos tem valores positivos, ou seja, nem todas as melhorias feitas através do SGE teriam impacto positivo para os atributos e melhorariam significativamente o nível de maturidade. Devendo ser adotado uma soma de mais ferramentas para melhoria da maturidade.

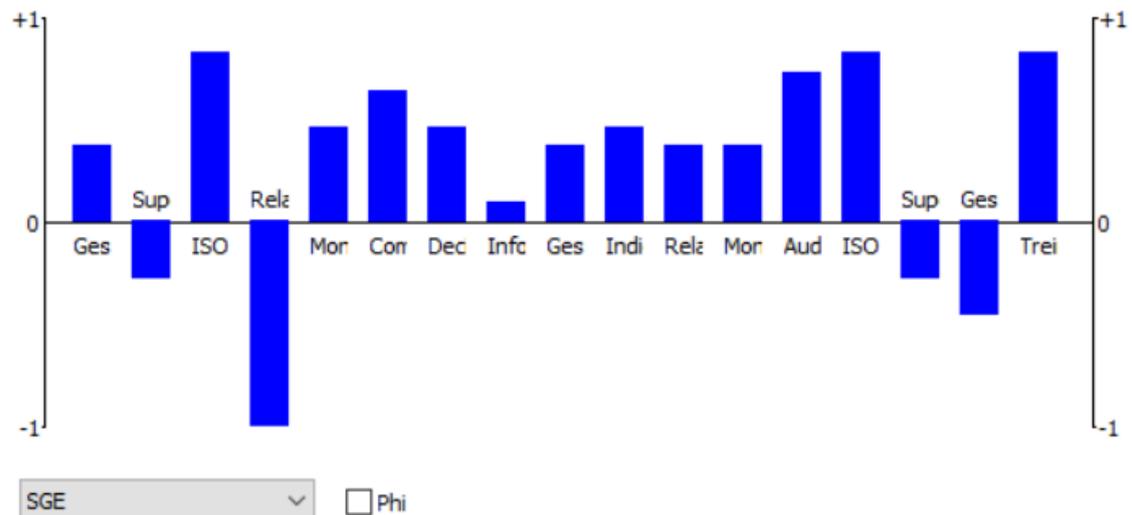


Figura 103 – Valor do Phi para todos os atributos do cenário organizacional, em relação a melhor alternativa apontada SGE

Podemos observar que em atributos como gestão, suporte e relatórios, por exemplo, as ações devem ser específicas para melhoria desses atributos. A adoção apenas do SGE não conseguiria ter um impacto maior na melhoria de todos os atributos, no caso da implementação do sistema.

7.1.3.3 Resultados do Cenário Tecnológico em relação às alternativas no PROMETHEE II

Para o cenário tecnológico, ligados as questões operacionais, a melhor alternativa apontada foi o *machine learning*. Essa ferramenta pode construir modelos para antever situações, e que fornecem o suporte para a tomada de decisão para a melhor opção, com base em dados alimentados pelo monitoramento. Essa ferramenta poderá indicar a melhor alternativa para a gestão de energia em uma determinada área, a Figura 104 apresenta os valores de Phi para as alternativas avaliadas na camada.

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	Machine Learning		0,6198	0,6913	0,0715
2	IoT		0,3468	0,5179	0,1711
3	Robôs Colaborativos		0,2092	0,4756	0,2664
4	BigData e Analytics		0,2028	0,4926	0,2898
5	Smart Sensor		0,0749	0,4255	0,3506
6	Smart Actuators		0,0415	0,4108	0,3692
7	Business Intelligence		0,0307	0,3985	0,3678
8	Lean 6 Sigma		-0,1733	0,3154	0,4887
9	SGE		-0,2366	0,3256	0,5621
10	Simulação		-0,2853	0,2904	0,5757
11	Operação Padronizada		-0,3556	0,2515	0,6071
12	Multi-Agent Systems		-0,4748	0,2061	0,6809

Figura 104 – Resultado para o cenário tecnológico sobre a melhor alternativa

O PROMETHEE II ranking apresenta os resultados com diversas alternativas tecnológicas na cor verde, ou seja, possuem uma boa resposta para implementação no cenário tecnológico. O *machine learning* continua sendo a primeira opção, mas na sequência está o IoT (*Internet of Things*), que possibilita uma conexão ampliada entre as áreas e máquinas. Essas tecnologias podem facilitar a comunicação entre diversos tipos de software e hardware melhorando a interoperabilidade das funções com diferentes interfaces e protocolos de comunicação existentes entre eles.

Os robôs colaborativos também aparecem como uma alternativa bem avaliada para o cenário tecnológico. Eles poderiam ser uma opção para funções mais difíceis de serem executadas na gestão de energia, como medições em locais perigosos, melhorando a interação homem-máquina, com diversas formas de interações, a Figura 105 apresenta o PROMETHEE II ranking para o cenário tecnológico.

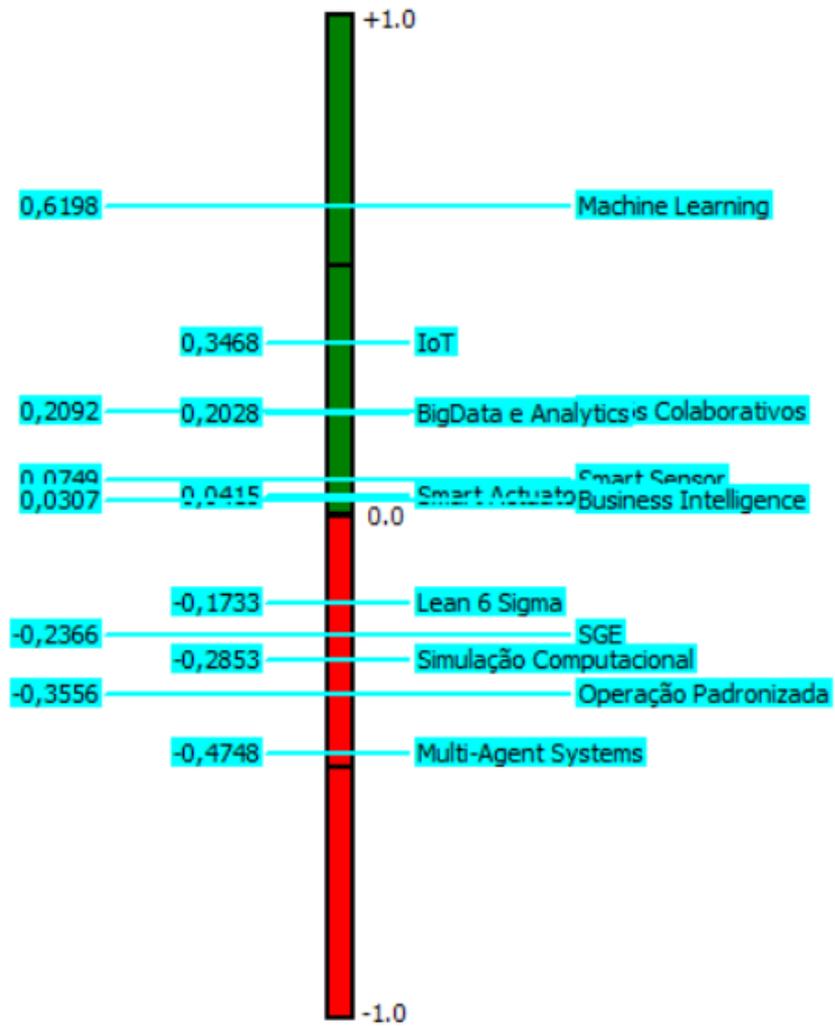


Figura 105 – PROMETHEE ranking, cenário tecnológico

A Figura 106 apresenta todos os atributos do cenário tecnológico, com o valor do Phi para todos eles, demonstrando que a maior parte ficaria positiva para a alternativa *machine learning*. Isso demonstra que a implantação desta ferramenta por parte da empresa para gestão de energia teria impacto positivo em praticamente todo o cenário. Isso também impactaria em um maior nível de maturidade para toda o cenário tecnológico, o que seria muito positivo, pois nesta camada estão as maiores deficiências identificadas durante toda a aplicação do modelo EM3FI, na empresa.

Como estão nesta camada os atributos ligados à tecnologia, isso poderia ser um ponto bem importante de melhoria, que poderia acarretar no avanço do nível geral de maturidade por parte da empresa 1.

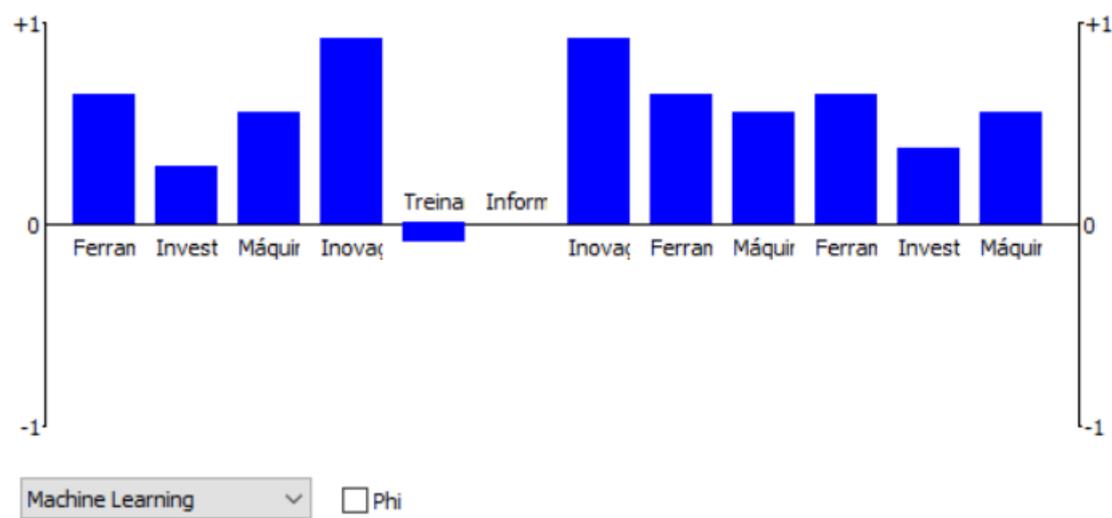


Figura 106 – Valor do Phi para todos os atributos do cenário tecnológico, em relação a melhor alternativa apontada *machine learning*

7.1.3.4 Comparação dos resultados entre os três cenários avaliados

Na Tabela 10 são demonstrados os resultados nos três cenários avaliados com todas as alternativas (tecnologias) reunidas desta forma no Excel, como o objetivo de comparar os cenários estudados no software *Visual Pomethee*. De acordo com os resultados mostrados, a grande maioria das alternativas não é aplicável por algum dos três cenários, sendo possível então agrupar todas as alternativas aplicáveis ou não, aos três cenários, apenas no Excel.

A média (*average*) representa apenas a tendência de cada alternativa. Por exemplo, a alternativa *BigData e Analytics* é importante para todos os cenários, ou

seja, é aplicável para os três cenários, por isso positiva para os três. A alternativa *Smart Sensor* é importante para o cenário tecnológico apenas, mas não para os demais, ficando negativa para os cenários econômico e organizacional. As alternativas destacadas em cinza são aplicáveis aos três cenários, pois não possuem em nenhum dos cenários a indicação N/A. As demais sem destaque possuem algum tipo de restrição para um dos três cenários.

Isso demonstra que a mesma tecnologia pode não ser efetiva para todas as áreas da empresa na gestão de energia e desta forma, podem ser definidas apenas as que possuem relevância na área, que corrobora com a proposta do modelo identificar a fragilidade e fornecer uma alternativa com apoio da tecnologia que consiga fornecer um suporte para melhoria.

Tabela 10 - Comparação entre os três cenários avaliados na Empresa 1

Empresa 1				
Alternativas	Econômico	Organizacional	Tecnológico	Average
SGE	0,5641	0,3583	-0,2366	0,2286
BigData e Analytics	0,0046	0,0775	0,2028	0,0950
Businss Intelligence	0,2133	0,2943	0,0307	0,1794
Smart Sensor	-0,0805	-0,1537	0,0749	-0,0531
e-KPIs	-0,088	-0,0146	N/A	-0,051
CMMS	-0,919	N/A	N/A	-0,919
FMEA	-0,1228	-0,1843	N/A	-0,154
Procedimentos ISO	0,1178	0,1614	N/A	0,1396
Lean Six Sigma	-0,1328	N/A	-0,1733	-0,153
Gestor de Energia	0,0146	-0,1192	N/A	-0,119
Operação Padronizada	-0,2924	-0,392	-0,3556	-0,3467
Multi Agent systems	-0,1007	-0,018	-0,4748	-0,1978
IoT	N/A	-0,114	0,3468	0,1164
Gestão de Projetos	N/A	-0,1992	N/A	-0,199
Machine Learning	N/A	N/A	0,6198	0,6198
Robôs Colaborativos	N/A	N/A	0,2092	0,2092
Smart Actuators	N/A	N/A	0,0749	0,0749
Simulação	N/A	N/A	-0,2853	-0,285

No Gráfico 10, a comparação das tecnologias pode ser feita para os cenários aos quais elas possam ser adotadas. Logo, somente seis tecnologias são aplicáveis a todos os cenários e podem ser avaliadas nesta comparação. Os resultados foram normalizados para que a visualização da importância relativa de cada tecnologia seja apresentada.

Nesta analogia, são identificadas as tecnologias que podem ser aplicadas para evolução de maturidade para todos os cenários, ou seja, que se aplicam a todos os

atributos relacionados as barreiras. O destaque ocorre para o Sistema de Gestão de Energia (SGE), BigData e Analytics, Business Intelligence e Smart Sensors. Os SGEs apresentam peso importante para as barreiras econômicas e organizacionais, pois são relacionados a padronizações, ferramentas e atividades sistemáticas para a gestão de energia. A baixa importância para o cenário tecnológico pode ser interpretada pela inovação e tecnologias não presentes nesta alternativa. As demais tecnologias estão relacionadas a conectividade, captação e manipulação de dados. Enquanto sensores atuam no levantamento e envio em tempo real de dados de operação. O Business Intelligence, o BigData e Analytics são ferramentas para manipular, interpretar e apresentar os dados, suportando a tomada de decisão em diferentes âmbitos da gestão de energia, como por exemplo a identificação do melhor tempo de parada para manutenção, ou monitoramento do consumo de energia em tempo real.

Para a empresa 1, as tecnologias são sugeridas para implementação, visando a evolução da maturidade dos atributos e dos diversos elementos que compõem a gestão de energia. Essas tecnologias, devem ser consideradas junto as sugestões de alternativas pontuais realizadas na avaliação individual de cada cenário de forma a elevar a maturidade média avaliada. Vale ainda destacar o potencial de conectividade das tecnologias, e os ganhos de aplicação das mesmas para outros âmbitos além gestão de energia. O Gráfico 10, apresenta o ranqueamento das tecnologias para os três cenários avaliados.

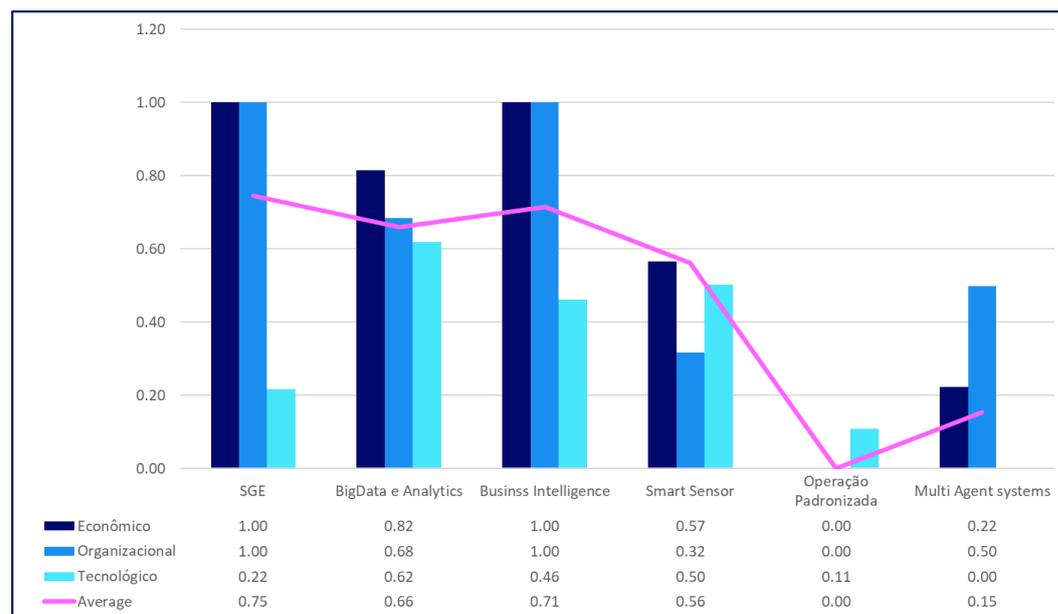


Gráfico 10 - Comparação entre os três cenários e o ranqueamento das tecnologias para a empresa 1

7.1.4 Conclusão do Caso 1

As avaliações foram efetuadas com o método AHP (avaliação diagnóstica), identificando o status atual da empresa, e pelo método PROMETHEE II (avaliação decisional). O método AHP permitiu avaliar diferentes camadas, identificando as fragilidades da empresa, onde possuem as oportunidades de melhoria na gestão de energia na empresa. Os resultados indicaram pelo método AHP que a empresa encontra-se em um nível geral bom de maturidade 3 (refinamento), que possui possibilidades de melhorias em todas as camadas e nos diversos atributos avaliados. Em relação à priorização dos atributos nos quadrantes de avaliação, muitos deles possuem ações que refletem nos demais. Existe também uma lacuna grande de melhorias a serem executadas em diversos quadrantes avaliados, mas como muitas tarefas em um mesmo atributo feitas de forma eficiente tendem a refletir nos demais de forma positiva, essas conseguem manter os demais atributos em um nível maior de maturidade.

Em relação aos resultados do PROMETHEE II, a avaliação de três diferentes cenários: econômico, organizacional e estratégico, identificou necessidades diferentes, de acordo com os atributos que foram avaliados. Foi fornecido pela avaliação do modelo a melhor alternativa de acordo com cada cenário avaliado, com apoio das tecnologias da I4.0. A comparação entre os três cenários demonstrou que na maioria dos casos a tecnologia adequada para um cenário, poderia não ser a mais adequada para o outro cenário, sendo esse um dos grandes diferenciais também do EM3FI, identificar onde e qual a melhor ferramenta para melhoria. Ou ainda, se a empresa adotar a mesma tecnologia nos três cenários, o resultado não seria uniforme e que poderia utilizar mais tecnologias em apoio para alcançar os resultados positivos. A avaliação decisional teve início no diagnóstico para entender e conhecer o status atual da empresa e entrega como resultado a melhor alternativa de priorização para cada cenário. A empresa 1 agora conhece qual a melhor tecnologia identificada dentre as utilizadas da indústria 4.0, para evoluir o seu status atual e no seu nível de maturidade, podendo utilizar como soma em seus esforços já existentes pela gestão de energia.

7.2 CASO DE APLICAÇÃO – EMPRESA 2

Para a segunda aplicação do modelo, serão explicadas no próximo item as características gerais da empresa número dois. É necessário caracterizar a empresa dois, pois, ocorrem diferenças no tamanho da empresa e nos produtos produzidos, em relação a empresa 1.

7.2.1 - Caracterização da Empresa de Alimentos 2

O segundo caso de aplicação foi realizado em uma empresa produtora de alimentos embalados a vácuo, prontos para o consumo, com reconhecimento nacional na venda de produtos. A empresa possui unidades no estado do Paraná e foi escolhida para fazer a segunda aplicação do modelo EM3FI. As avaliações foram divididas em camadas e os respondentes foram determinados em reunião juntamente com a gestão da empresa no primeiro dia na apresentação da pesquisa. Esta segunda empresa avaliada possui características distintas em relação à primeira, pelos diferentes produtos produzidos e cadeia menor de produção dos alimentos. Diante disso, o modelo será aplicado em empresas distintas em tamanho, produção e etc., o que nos possibilita verificar o comportamento do modelo em diferentes indústrias da mesma área.

7.2.2 Avaliação Diagnóstica (AHP) - Caso de Aplicação 2

Os resultados apresentados a partir desta etapa compõem a fase diagnóstica da pesquisa, operacionalizada através do *site* (instrumento de avaliação) desenvolvido para a pesquisa. Nele estão contidas as respostas e foram transportadas para planilhas no Excel. Depois enviadas para o Software *Super Decisions* com o método AHP. Os resultados serão apresentados em forma de gráficos e tabelas de acordo com as camadas avaliadas.

7.2.2.1 Resultados Globais da aplicação

Na Tabela 11 estão representados os resultados completos da avaliação feita na empresa 2, com a demonstração de todos os quadrantes e os níveis de maturidade avaliados. Desta forma, podemos verificar os que possuem maior priorização por parte da empresa e quais possuem a necessidade de melhorias, representando uma “fotografia” do status atual da empresa na gestão de energia.

Tabela 11 - Resultados globais do método AHP, na aplicação do EM3FI na Empresa 2

Matriz de Avaliação												
Barreiras												
Econômica			Organizacional			Tecnológica						
			PE			PO			PT			
	Atributo	Nível	Resultado		Atributo	Nível	Resultado		Atributo	Nível	Resultado	
Aspectos	Processo	0.10327	Custos	1	0.57382	Gestão	1	0.42452	Ferramentas	1	0.14613	
			Investimento	1	0.13237	Suporte	1	0.14543	Investimento	1	0.44526	
			Monitoramento	1	0.24228	ISO 50001	1	0.03535	Máquinas	1	0.21505	
			Indicador	1	0.05154	Relatórios	1	0.09833	Inovação	1	0.11811	
						Monitoramento	1	0.29637	Treinamento	2	0.07545	
				0.72230			0.20499			0.07272		
	Estratégia	0.16628		EE			EO			ET		
				Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado
			Custos	2	0.1428574	Comunicação	1	0.25597	Informação	1	0.85714	
			Relatórios	1	0.85714	Decisão	2	0.05053	Inovação	1	0.14286	
						Informação	2	0.12284				
				0.09726			0.80923			0.09351		
	Medição	0.07287		ME			MO			MT		
				Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado
			Indicador	2	0.06473	Indicador	1	0.31081	Ferramentas	1	0.14286	
			Relatórios	1	0.19926	Relatórios	1	0.19580	Máquinas	1	0.85714	
Treinamento			1	0.73601	Monitoramento	1	0.49339					
			0.77659			0.15304			0.07037			
Operação	0.65758		OE			OO			OT			
			Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	Atributo	Nível	Resultado	
		Auditoria	2	0.23792	Auditoria	2	0.29301	Ferramentas	1	0.07796		
		Investimento	1	0.12795	ISO 50001	1	0.11398	Investimento	1	0.63484		
		Treinamento	2	0.56746	Suporte	1	0.06834	Máquinas	1	0.28720		
			Custos	1	0.06667	Gestão	1	0.42704				
			0.72574			0.21221			0.06205			

Importante destacar nessa tabela, a priorização pelo aspecto da *operação* pela empresa. Suas ações estão mais concentradas na operação, mas em contrapartida o aspecto medição possui maior oportunidade de melhoria. Em relação aos quadrantes do aspecto *operação* (na cor verde), com maior priorização OE (Operação + Econômica), onde se concentra grande parte da tomada de decisões. O quadrante com menor priorização no aspecto *operação* o OT (Operação + Tecnológica), indicam menor priorização das barreiras tecnológicas. Além disso, a tabela indica em rosa os níveis de maturidade de cada um dos atributos avaliados no modelo e a partir desse nível são identificadas as oportunidades de melhoria para empresa e onde se estão também os pontos fortes. Na aplicação do modelo estão contidas as fichas de avaliação (apêndice IV) que determinam as ações, indicadores e etc., que podem ser feitos pela empresa para melhorar o nível de maturidade. De forma geral, a empresa avaliada encontra-se com maior prioridade na camada tática, onde estão os quadrantes com maior pontuação. A maioria dos atributos encontram-se em nível 1 de maturidade, indicando um início ainda dos esforços para gestão de energia por parte da empresa 2. Dessa forma, em todos os atributos que estejam em nível 1 ou 2 de maturidade, existem oportunidades de melhoria para a empresa, ressaltando que os

esforços da empresa encontram-se focados em outras áreas e não ainda na gestão de energia. Nas próximas seções serão apresentados os resultados estratificados por camadas, quadrantes e atributos.

7.2.2.2 Resultados para análise Estratificadas do Modelo

A avaliação feita com o modelo EM3FI foi desenvolvida em etapas, pela necessidade de separar em *camadas*, *quadrantes* e *atributos* do modelo, para a apuração dos resultados. A Figura 107 explica como foram estratificadas as análises do modelo EM3FI e analisadas neste caso de aplicação.



Figura 107 – Estratificação para avaliação dos resultados do modelo EM3FI

Com esta hierarquia descrita acima foi possível a estratificação pelas camadas de avaliação: estratégica, tática e operacional. Avaliação é feita em todos os quadrantes identificando as forças e fraquezas das empresas na gestão de energia, relacionados aos quadrantes.

7.2.2.3 Resultados Estratificados pelas Camadas de Avaliação

O Gráfico 11 apresenta os resultados pelas camadas avaliadas e identifica o nível geral de maturidade da empresa. Neste caso, nível 1 em uma escala até 4. Os resultados gerais de todas as camadas demonstram uma maior evolução na camada tática, onde estão os atributos ligados à tecnologia, e oportunidades de melhoria tanto na camada tática quanto nas demais, onde estão os atributos ligados a fatores econômicos e gerenciais na gestão de energia.

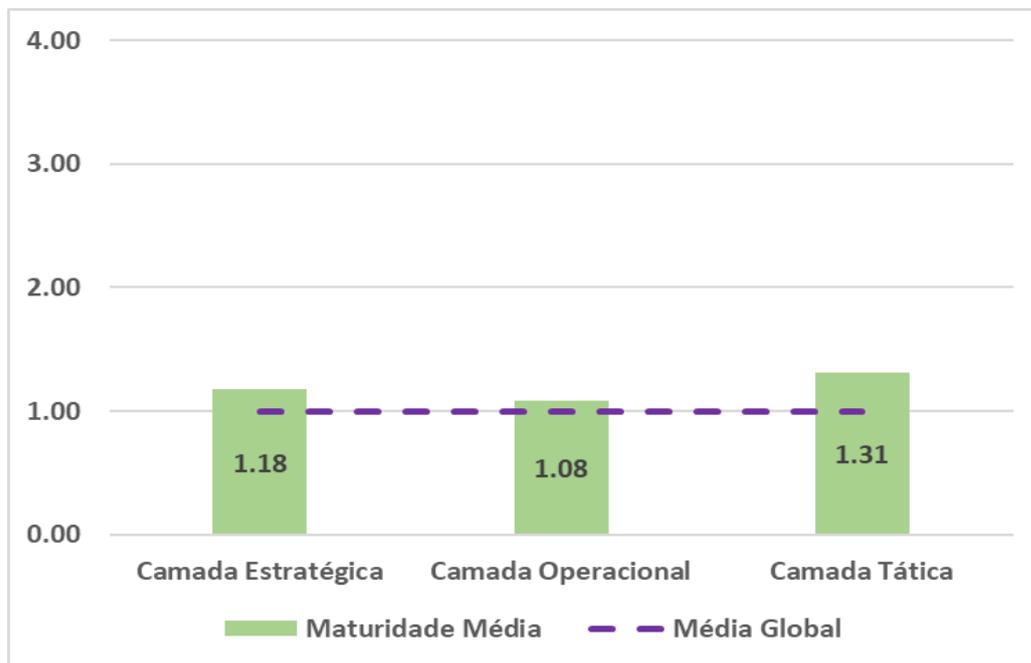


Gráfico 11 - Resultados nas camadas de avaliação

De forma geral, os resultados da empresa nas camadas estão equilibrados, mesmo que em nível 1 de maturidade. As oportunidades encontram-se em todas as camadas para melhoria na gestão de energia. Os esforços devem ser concentrados em todas as camadas para um resultado equilibrado que contemple todas as áreas da empresa.

7.2.2.4 Resultados Estratificados pelos Quadrantes de Avaliação

Os resultados apresentados no Gráfico 12, em relação aos quadrantes de avaliação, identificam a média do nível de maturidade dos atributos dentro de cada quadrante avaliado nas camadas. Esse resultado não especifica cada um dos atributos que foram avaliados, mas demonstra, nas camadas, onde ocorrem as oportunidades de melhoria para gestão de energia.

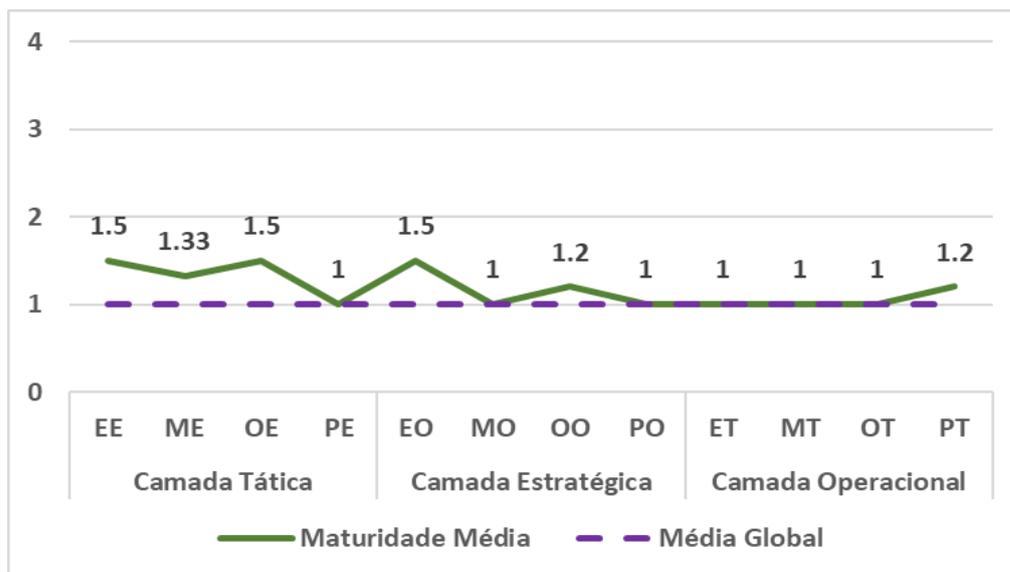


Gráfico 12 - Resultados nos quadrantes de avaliação

O gráfico 12 possibilita uma visão geral dos resultados alcançados pela empresa, pelas camadas avaliadas e pelos quadrantes de forma individual. Ele demonstra a média alcançada com os atributos dentro do quadrante e o nível de maturidade geral do quadrante.

7.2.2.5 Resultados Estratificados por Atributos de Avaliação

Os resultados apresentados no Gráfico 13 identificam todos os atributos avaliados, com o nível de maturidade individual, com todos os quadrantes e em suas respectivas camadas. De forma geral, 8 atributos do total de 42 encontram-se em nível 2 de maturidade para o modelo, distribuídos nas três camadas. A maioria dos atributos encontram-se em nível 1 distribuídos em todas as camadas, em um total de 34 atributos, não havendo atributos nos níveis 3 e 4 de maturidade.

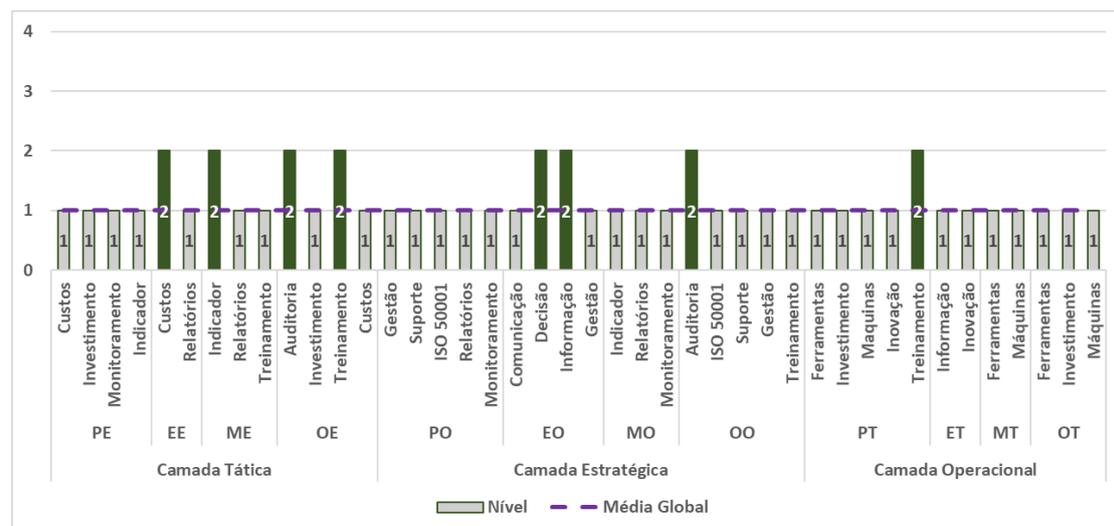


Gráfico 13 – Resultados por atributos avaliados

O Gráfico 13 demonstra como estão divididos os resultados da empresa avaliada no caso de aplicação 2, demonstrando uma síntese das avaliações feitas com o modelo EM3FI.

7.2.2.6 Resultados Estratificados para Camada Gerencial

A Figura 108 indica os resultados na avaliação da camada gerencial onde encontram-se as barreiras e aspectos do modelo avaliados pela gestão da empresa, esta relação está no gráfico A. O quadrante com maior priorização EO está na camada estratégica, com questões relacionadas a organização. Para o quadrante ME na camada tática ocorre uma priorização por parte da empresa pelos aspectos econômicos. Há menor atenção em relação ao quadrante OT na camada operacional, com os atributos tecnológicos. É importante destacar que nesta camada são

identificadas oportunidades de melhorias através das tecnologias, que a empresa pode utilizar para melhorar a gestão de energia.

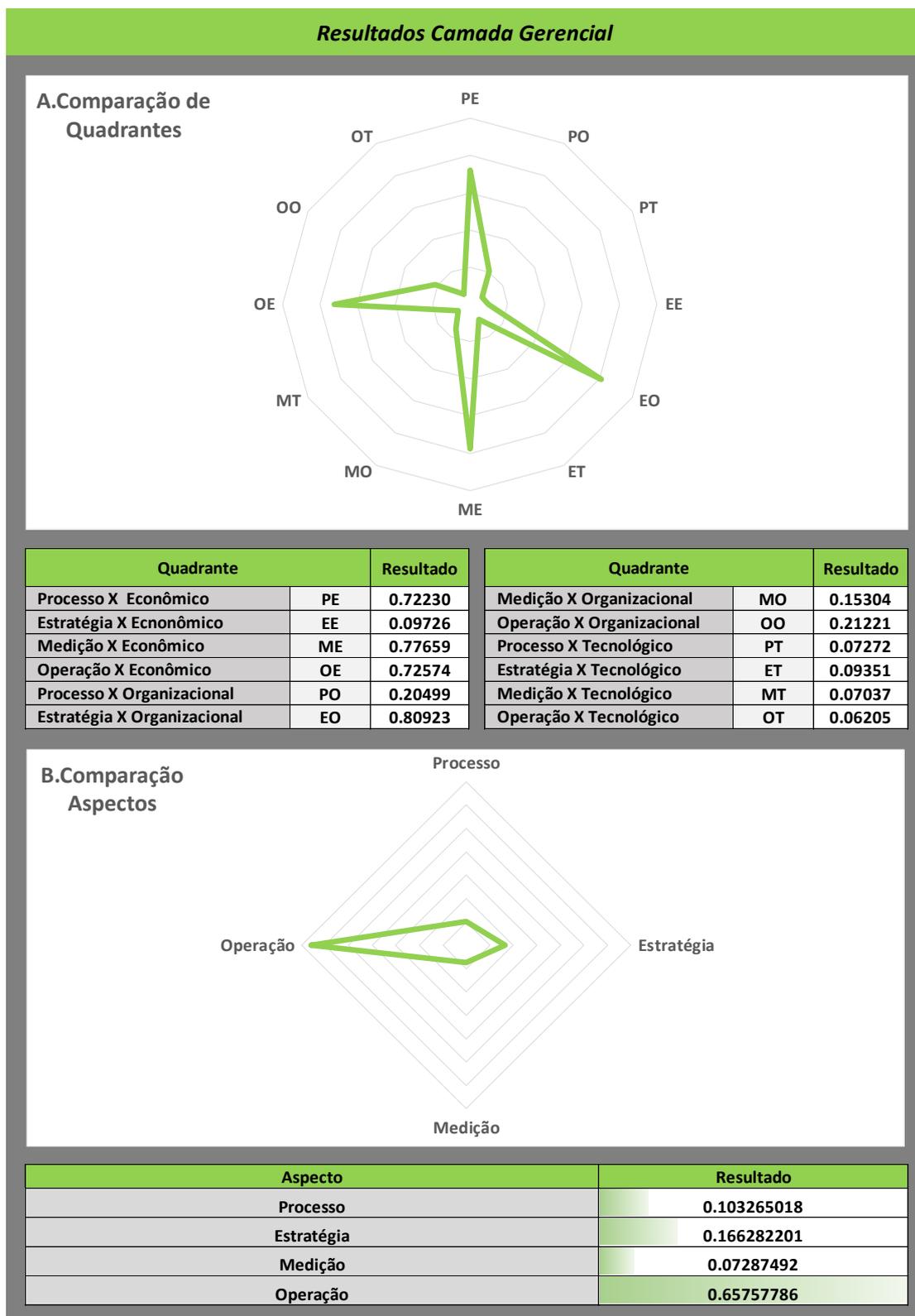


Figura 108 – Resultados da camada gerencial na aplicação do modelo

No gráfico B, são apresentados os resultados dos *aspectos* avaliados na matriz do modelo. Neste caso, a *operação* possui maior priorização, indicando uma maior atenção da empresa pela operação do negócio. Em contrapartida, a medição possui baixa prioridade, ou seja, as medições e acompanhamentos dos processos estão falhos ou não existem, relacionados à gestão de energia. O importante para empresa é gerar um maior equilíbrio entre todos os aspectos, na gestão de energia.

7.2.2.7 – Resultados Estratificados para Camada Tática

O gráfico I apresenta os resultados para o quadrante PE, indicando todos os atributos avaliados em nível 1, com priorização para o atributo *custos*, onde reside a maior preocupação por parte da empresa e menor atenção ao atributo *indicador*. A questão dos indicadores na empresa, ela ainda não possui esses indicadores que relatem os dados de consumo e utilização do recurso. O planejamento de investimentos nesta área e o monitoramento podem iniciar os esforços para lançar os indicadores de acompanhamento da gestão de energia para empresa. Desta forma, todos os atributos são atendidos e todos evoluem no mesmo sentido para melhorar a maturidade.

O gráfico II, no quadrante EE, mostra a avaliação de dois atributos. A priorização ocorre pelo atributo *relatórios* e o nível de maturidade maior está nos *custos*. Isso ocorre, porque a preocupação maior são com os custos da empresa, mas para isso os relatórios são adotados para as tomadas de decisões. As fichas de avaliação podem fazer um passo a passo, para evolução dos níveis de maturidade desses atributos e das ações a serem realizadas que melhorem a priorização dos mesmos.

No quadrante ME, no gráfico III, o *indicador* possui nível 2 na maturidade e os demais nível 1, com priorização do atributo treinamento. Neste quadrante as ações estão desorganizadas, pois a empresa não possui indicadores aplicados para gestão de energia, mas realiza medições em algumas etapas. Ao mesmo tempo, treinamentos são feitos e a utilização dos relatórios também ocorre, mas isso não reflete melhorias para gestão de energia para empresa, pois os relatórios são relacionados aos processos e não para energia.

No quadrante OE, no gráfico IV, dois atributos possuem nível 2 de maturidade auditoria e treinamento e dois possuem nível 1 *custos* e *investimentos* com baixa priorização. Desta forma, as atividades de melhoria inicialmente deveriam ser focadas nos custos e investimentos, ou seja, levantamento dos custos para iniciar ações de gestão de energia e probabilidades de investimentos, isso melhora bastante a priorização e o nível de maturidade. Para auditoria que está mais avançada e treinamento, mais ações focais devem ser feitas para iniciar um PDCA com base na ISO 50001 para melhoria da questão auditoria que a empresa ainda não recebe para as questões de energia e treinamento para os colaboradores relacionados ao campo de energia. A Figura 109 apresenta os resultados dos gráficos I, II, III e IV da camada tática.

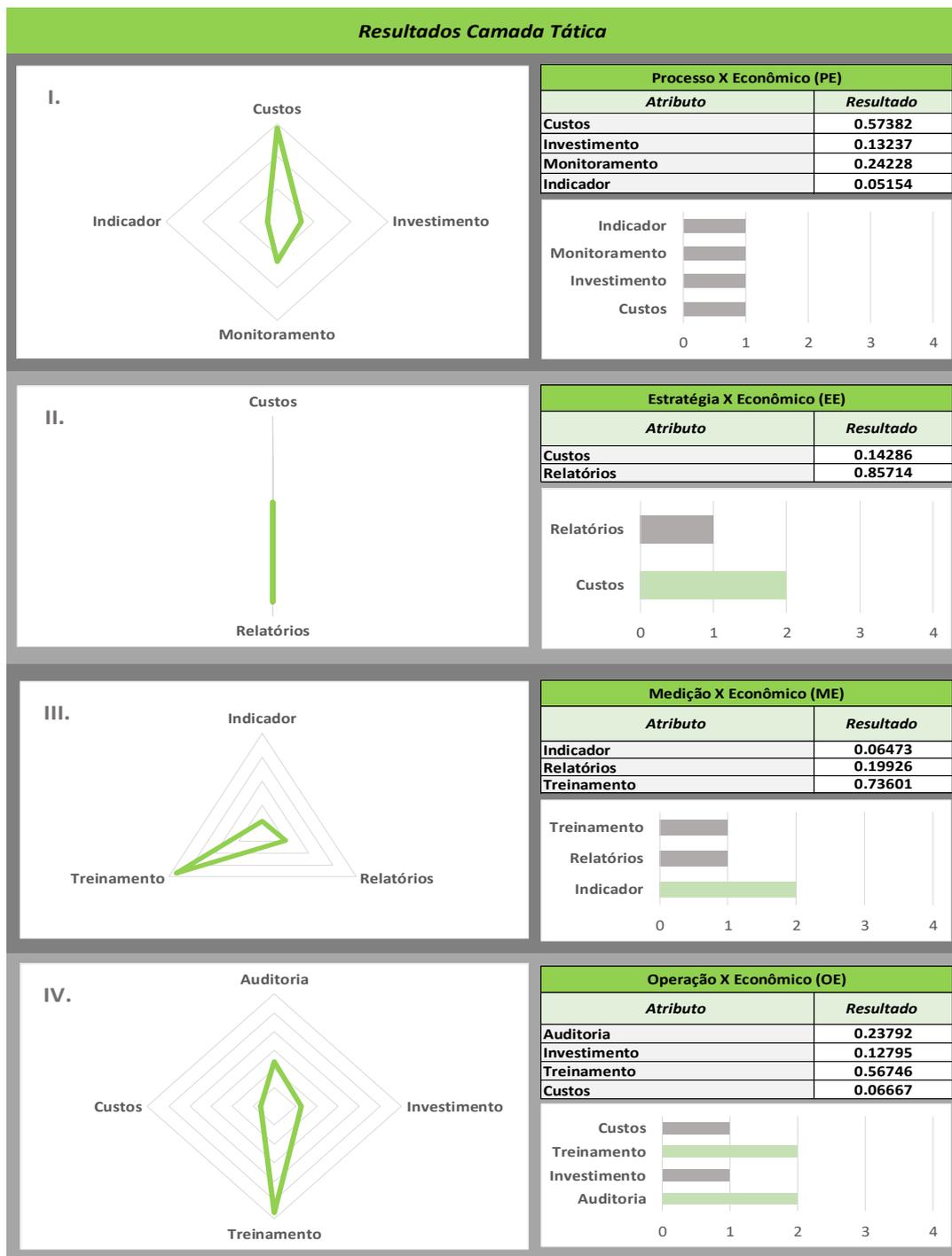


Figura 109 – Resultados da camada tática na aplicação do modelo

7.2.2.8 Resultados Estratificados para Camada Estratégica

O gráfico V apresenta os resultados do quadrante PO na camada estratégica. Todos os atributos avaliados encontram-se em nível 1 de maturidade, sendo a maior priorização dada para o atributo *gestão*. Em contrapartida, com menor priorização é a ISO 5001, a mais importante para o modelo. Neste caso, todos os atributos precisam

de ações para melhorar tanto a priorização quanto o nível de maturidade. Assim cada um dos atributos deve seguir as fichas de avaliação do nível 1 para avançar ao nível 2. Como são necessárias

O gráfico VI possui os resultados do quadrante EO com nível 2 de maturidade para *informação* e *decisão*, mas com baixa priorização. As ações devem ser focais nos atributos com menor priorização e melhoria do nível de maturidade. Mesmo em nível 2, informação e decisão possuem poucos resultados de melhoria. A tomada de decisão e as informações são escassas para a gestão de energia, indicando que os esforços precisam ser iniciados pela empresa para comunicar o que e como fazer a gestão da energia e a tomada de decisão deve ocorrer.

No gráfico VII no quadrante MO, os três atributos avaliados possuem nível 1 de maturidade e priorização para o *monitoramento*. Todos os elementos devem ser melhor atendidos com as ações previstas nas fichas de avaliação, para melhorar o nível de maturidade e as ações para serem executadas em cada um.

No gráfico VIII, para o quadrante OO, apenas a *auditoria* encontra-se em nível 2 e os demais em nível 1. A priorização é dada para a gestão, mesmo assim nem ela, nem os demais atributos possuem ações efetivas de melhoria. Como a ISO 50001 está ligada a auditoria, ambos devem conter ações de estabelecimento de metas para desempenho, assim como o suporte e o treinamento são pouco explorados pela empresa. Todos esses elementos possuem nível 1, sendo que, todos eles devem seguir um planejamento de melhorias a serem adotadas, elevando o nível de maturidade e iniciando o campo da gestão de energia para empresa, a Figura 110 apresenta os resultados dos gráficos V, VI, VII e VIII da camada estratégica.

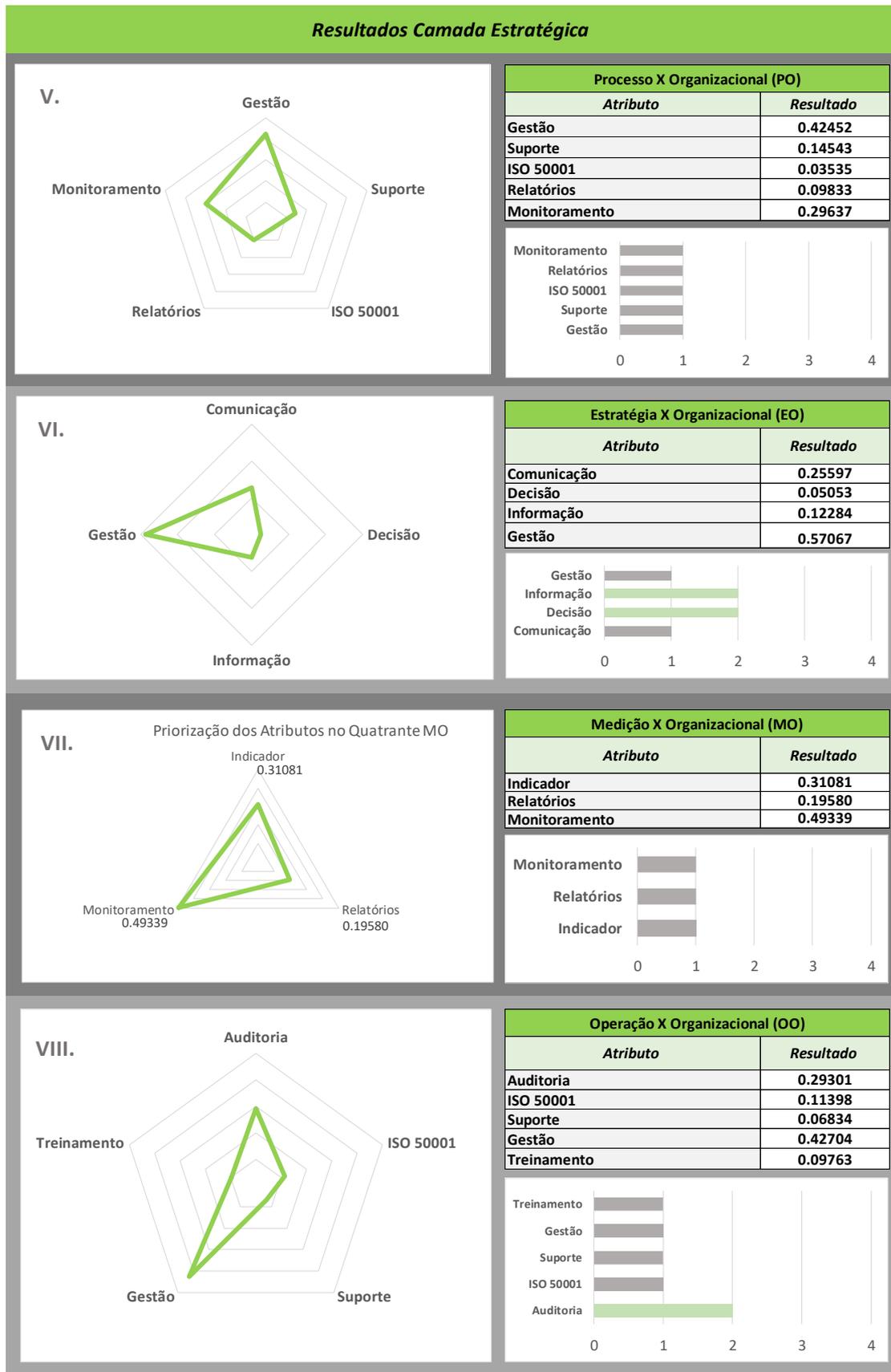


Figura 110 – Resultados da camada estratégica na aplicação do modelo

7.2.2.9 – Resultados Estratificados para Camada Operacional

O gráfico IX apresenta os resultados do quadrante PT. Apenas o *treinamento* encontra-se em nível 2 e os demais em nível 1 de maturidade. A priorização neste caso é dada para *investimento* e os demais não possuem resultados relacionados a gestão de energia. Desta forma, máquinas, ferramentas, inovação e treinamento devem passar por um planejamento de ações a serem tomadas que possam ser desenvolvidas simultaneamente para todos que consigam melhorar a priorização dos atributos e melhora do nível de maturidade, com o apoio dos investimentos. Essas etapas de melhoria dos níveis podem ser vistas nas fichas de avaliação.

O gráfico X apresenta os resultados para o quadrante ET, possuem nível 1 informação e inovação, com maior priorização para *informação*. O que deve ser melhorado é as ações para inovação que hoje não ocorrem, para empresa utilizar as informações que possui da gestão de energia para melhorar a maturidade e priorização de ambos.

O gráfico XI demonstra os resultados para MT, máquinas e ferramentas possuem nível 1 e *máquinas* possui maior priorização. Neste quadrante as melhorias passam por ações em ambos atributos, pois as máquinas utilizam ferramentas de apoio. Espera-se que a empresa utilize ferramentas que deem suporte para as melhorias necessárias e que as máquinas possam ter mecanismos de acompanhamento do uso da energia na produção. O nível de maturidade para ambos é ruim, mas podem ser melhorados com atividades em paralelo que reflitam os resultados em ambos.

O gráfico XII contém os resultados de OT, os três atributos avaliados possuem nível 1 e a priorização ocorre para os *investimentos*. Para melhorar os demais atributos, é necessário melhorar os investimentos nas máquinas e ferramentas existentes, para melhoria no uso da energia. As ações que podem ser feitas nesses atributos são descritas nas fichas de avaliação, melhorando o nível de maturidade e priorização dos mesmos. A Figura 111 apresenta os resultados dos gráficos V, VI, VII e VIII da camada operacional.

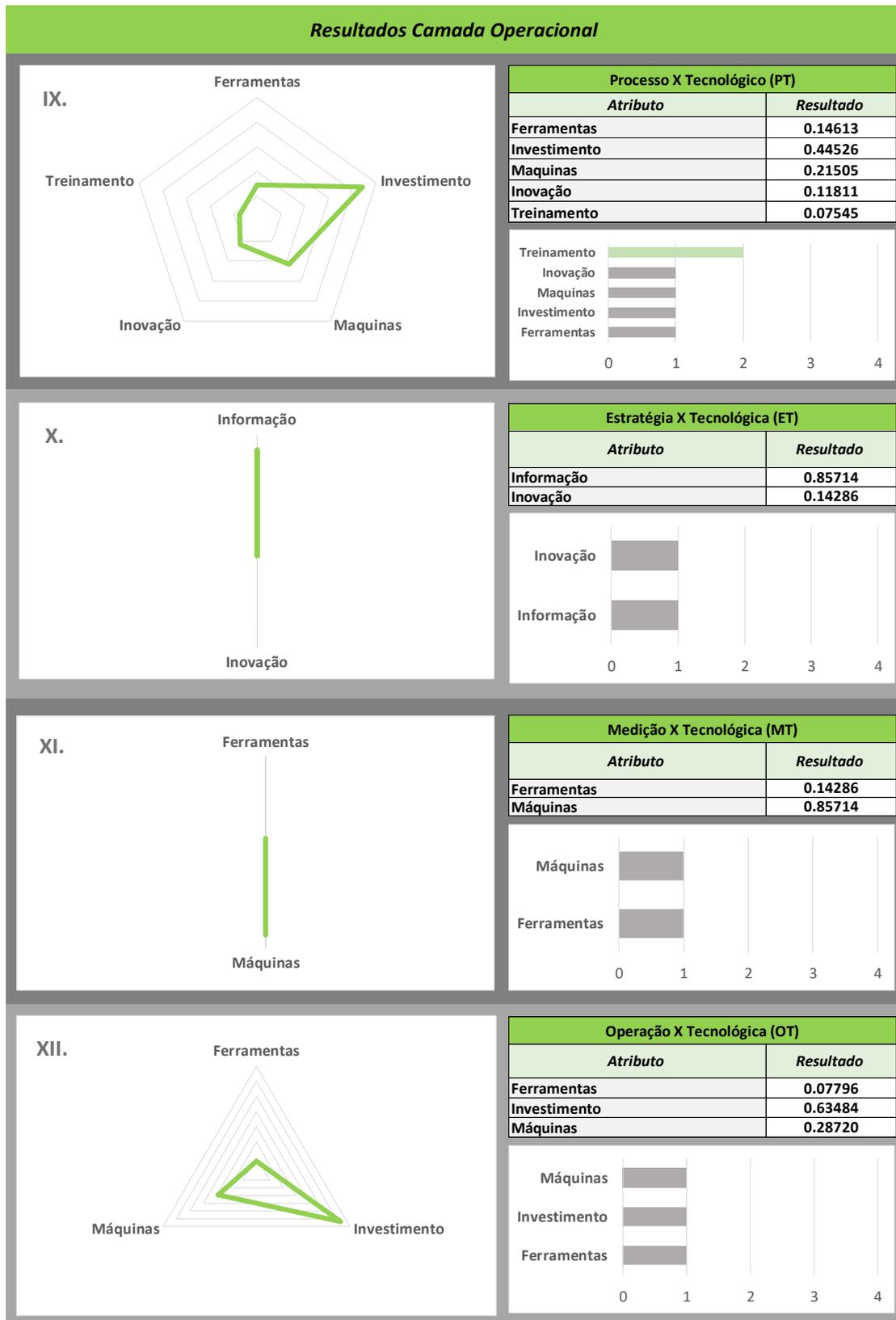


Figura 111 – Resultados da camada operacional na aplicação do modelo

7.2.2.10 - Conclusão da Análise Diagnóstica – AHP

A Figura 112 apresenta a tela do software *Super Decisions*, que finaliza a avaliação do AHP e representa o nível geral de maturidade da empresa, neste caso 1. De forma geral, em um modelo de 4 estágios de maturidade, a empresa encontra-se em um nível 1, considerado iniciação na gestão de energia. Isso indica um longo caminho de ações a serem realizadas e grandes possibilidades de melhorias, sendo que as ações desenvolvidas até o momento não possuem grande impacto na energia e na maturidade nesta área na empresa.

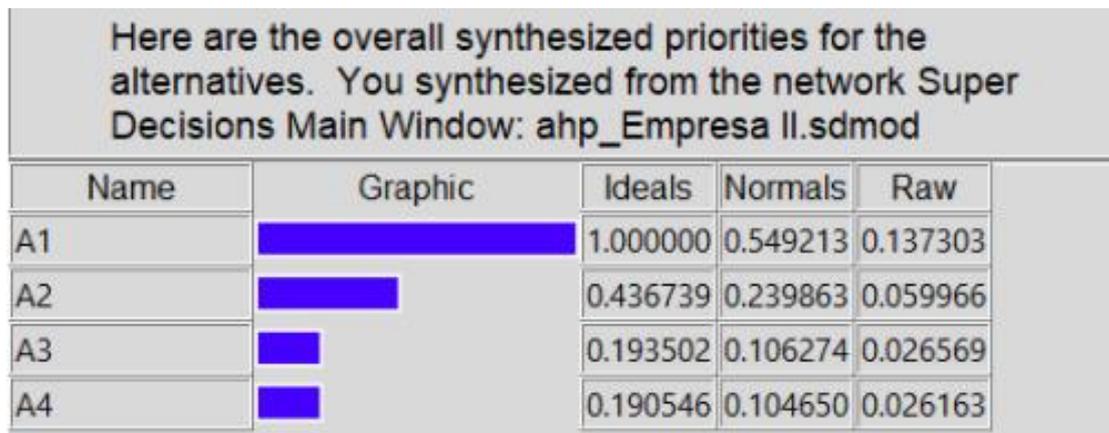


Figura 112 – Resultado geral do nível de maturidade da empresa 2 no software Super Decisions - AHP

Diferentemente da empresa 1, a empresa 2 possui um menor nível de maturidade. É uma empresa de médio porte, que tem crescido de forma gradativa ao longo dos anos. Como o resultado indica a sua área de priorização ainda não é relacionada a gestão de energia e sim para produção e expansão dos processos. Diferente da empresa 1 que possui um departamento que cuida dos assuntos relacionados a energia, a empresa 2 ainda não possui um departamento ou um responsável específico apenas para energia.

7.2.3 Avaliação Decisional (PROMETHEE II) - Caso de Aplicação 2

Os resultados foram analisados no software *Visual Promethee*, que relaciona cada uma das camadas do AHP, com as melhores alternativas da tecnologia para fazerem parte dos cenários no PROMETHEE II. As melhores ranqueadas devem ser utilizadas para melhorar o nível de maturidade dos atributos do cenário e para formalizar o sistema de gestão de energia para a empresa avaliada.

7.2.3.1 Resultados do Cenário Econômico em relação às alternativas no PROMETHEE II

No cenário econômico, foi possível obter a classificação das alternativas quanto à melhor opção a ser priorizada pela empresa para melhorar a gestão de energia. Para cada alternativa, dois índices são calculados a partir dos índices de preferência: o fluxo positivo (Φ^+) representa o quanto uma dada alternativa é melhor que as outras, e o fluxo negativo (Φ^-) expressa o quanto uma alternativa é superada pelas demais. Com a inserção dos dados necessários, os valores de “Phi” para cada nível foram gerados pelo software e apresentados na Figura 113.

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	SGE		0,6008	0,6008	0,0000
2	BigData e Analytics		0,3596	0,4937	0,1341
3	Business Intelligence		0,3358	0,4583	0,1225
4	Smart Sensor		0,2527	0,4479	0,1952
5	e-KPIs		0,1035	0,3705	0,2670
6	CMMS		0,0757	0,3442	0,2685
7	FMEA		-0,1123	0,2502	0,3625
8	Procedimentos ISO		-0,1300	0,3184	0,4485
9	Lean 6 Sigma		-0,3130	0,2377	0,5506
10	Gestor de Energia		-0,3368	0,2202	0,5570
11	Operação Padronizada		-0,4117	0,2246	0,6363
12	Multi-Agent Systems		-0,4243	0,2138	0,6381

Figura 113 – Resultado para o cenário econômico sobre a melhor alternativa

Neste caso, para o cenário econômico a melhor alternativa entre todas foi o *SGE* (sistema de gestão de energia), ou seja, a organização da empresa deve ser no sentido de ordenar e formalizar este sistema para executar, corrobora com o início de um passo a passo da empresa na formação de um sistema integrado para a gestão de energia. Para auxiliar o *SGE*, a empresa poderá aliar o uso do *BigData e Analytics*, que podem interpretar e analisar dados recebidos em massa do sistema de medição da

energia. Essa análise de grande volume dos dados recebidos poderá encontrar relações que melhorem os processos e auxiliem de forma mais rápida nos resultados na gestão de energia.

A Figura 114 representa o ranking do PROMETHEE II para as alternativas. As melhores estão localizadas na parte destacada em verde e as alternativas que não possuem relevância, em vermelho, para o cenário econômico. Segundo os resultados, identificamos que o SGE, aliado ao *BigData* e *Analytics*, seria uma boa opção para a empresa iniciar os esforços na gestão da energia, melhorando o nível de maturidade dos atributos.

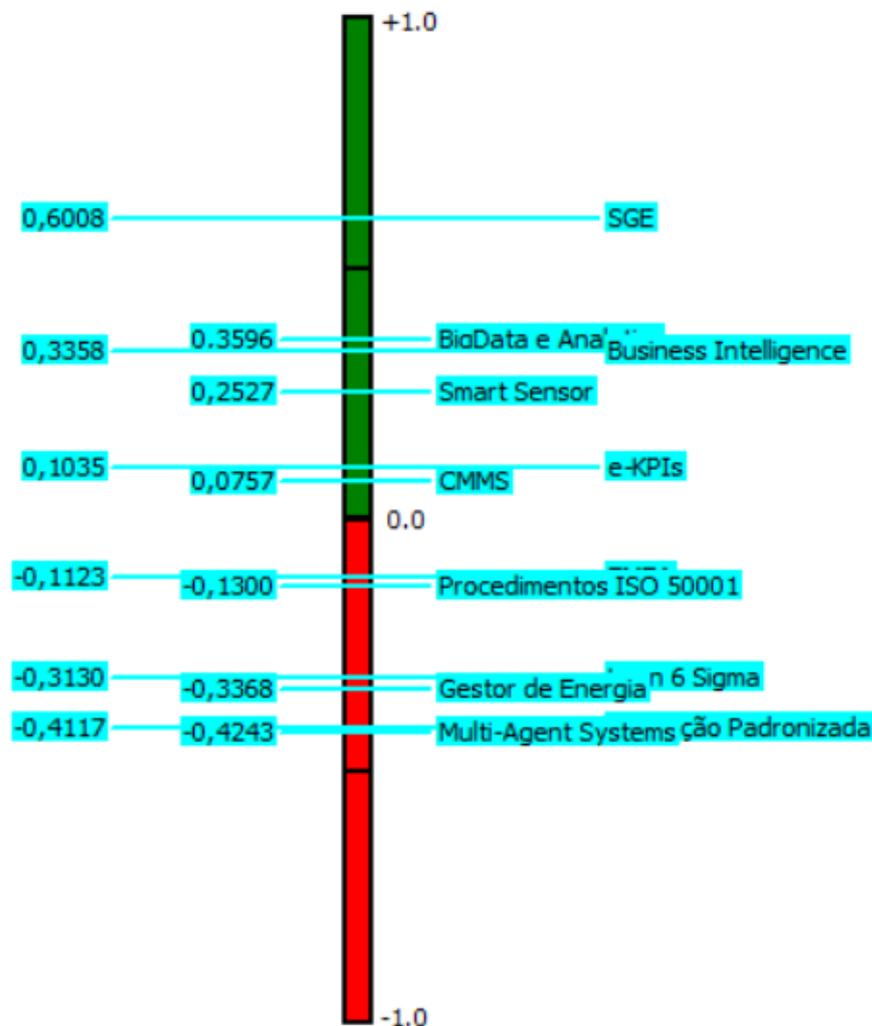


Figura 114 – PROMETHEE ranking, cenário econômico

A Figura 115 representa o valor do Phi para todos os atributos avaliados no cenário econômico, para melhor o SGE. Demonstra que todos os atributos do

cenário ficariam com valores positivos, ou seja, ocorre melhoria com a implementação do mesmo.

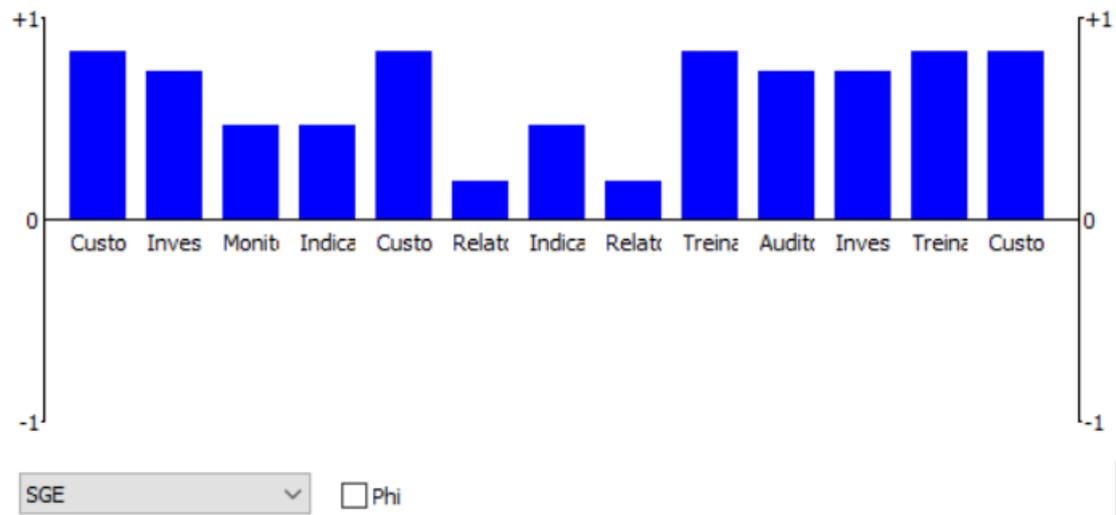


Figura 115 – Valor do Phi para todos os atributos do cenário econômico, em relação a melhor alternativa o SGE

7.2.3.2 Resultados do Cenário Organizacional em relação às alternativas no PROMETHEE II

Neste caso, para o cenário organizacional a melhor alternativa entre todas foi o *Gestor de Energia*. Conforme o resultado, é importante a empresa 2 designar um gestor de energia para iniciar o desenvolvimento da área e acompanhar as etapas de

implementação de um sistema de energia. Como um suporte ao gestor de energia o *Business Intelligence*, que poderá fazer a gestão e análise dos dados coletados e armazenados da operação, além de otimizar e maximizar os resultados das ações tomadas. Com a união do fator humano mais o histórico dos dados coletados no *Business Intelligence*, a melhoria do nível de maturidade da camada estratégica será mais fácil e em menor tempo. A Figura 116 mostra os resultados da melhor alternativa avaliada pelo Phi até a menor dentre as avaliadas.

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	Gestor de Energia		0,5317	0,6622	0,1305
2	Business Intelligence		0,3654	0,5392	0,1738
3	SGE		0,3231	0,5647	0,2416
4	Procedimentos ISO		0,1934	0,4796	0,2862
5	e-KPIs		0,1069	0,4682	0,3613
6	Smart Sensor		0,0356	0,4031	0,3675
7	BigData e Analytics		-0,0619	0,3549	0,4169
8	Multi-Agent Systems		-0,0961	0,3220	0,4181
9	Gestão de Projetos		-0,2121	0,2978	0,5098
10	Operação Padronizada		-0,3289	0,2716	0,6005
11	IoT		-0,3756	0,1910	0,5667
12	FMEA		-0,4815	0,1456	0,6271

Figura 116 – Resultado para o cenário organizacional sobre a melhor alternativa pelo Phi

A Figura 117 representa o ranking do PROMETHEE II para as alternativas, identificando as melhores alternativas localizadas na parte destacada em verde e as alternativas que possuem menor relevância para a camada estratégica em vermelho. Segundo os resultados, o Gestor de Energia, o *Business Intelligence* e o SGE se definem como opções de melhoria da gestão de energia para empresa.

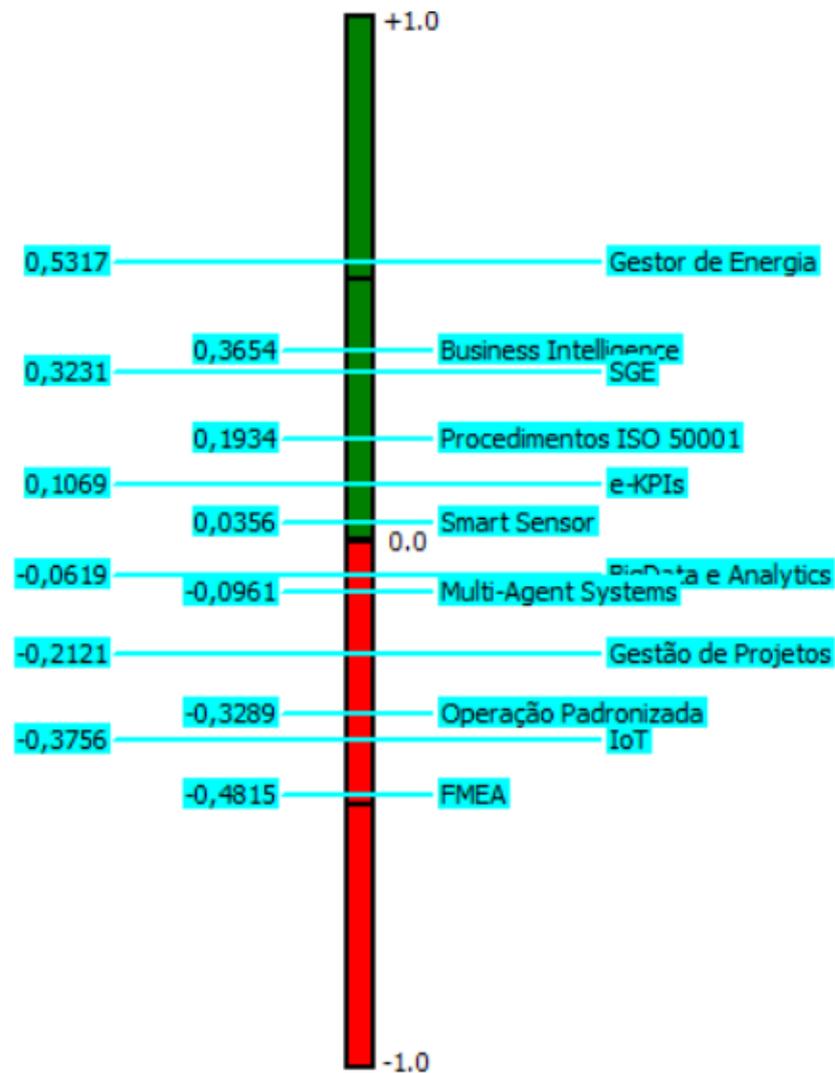


Figura 117 – PROMETHEE ranking, cenário organizacional

A Figura 118 representa o valor do Phi para todos os atributos avaliados no cenário organizacional. Para a alternativa melhor avaliada está o *Gestor de Energia*, mas mesmo assim, nem todos os atributos ficariam com valores positivos, ou seja, mais ferramentas devem ser unidas aos esforços do gestor de energia para melhoria do campo e do nível de maturidade.

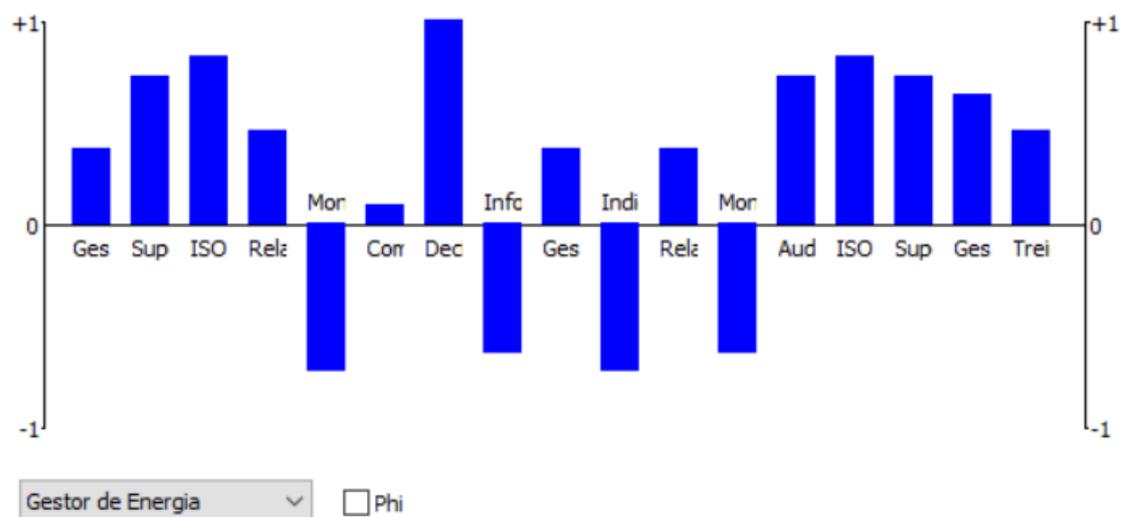


Figura 118 – Valor do Phi para todos os atributos do cenário organizacional, melhor alternativa apontada Gestor de Energia

7.2.3.3 Resultados do Cenário Tecnológico em relação às alternativas no PROMETHEE II

Para o cenário tecnológico, a melhor alternativa apontada foi o *Machine Learning*. Essa ferramenta pode construir modelos que podem antever situações, pois fornece o suporte para a tomada de decisão para a melhor opção, com base em dados alimentados pelo monitoramento. Além dos robôs colaborativos, que podem executar tarefas que são difíceis ou perigosas para os seres humanos, podendo acelerar as ações de medição e melhorar a gestão de energia dos atributos. A Figura 119 apresenta os valores de Phi para as alternativas avaliadas no cenário tecnológico.

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	Machine Learning		0,5179	0,6472	0,1292
2	Robôs Colaborativos		0,3086	0,5342	0,2256
3	IoT		0,2468	0,4704	0,2236
4	Smart Actuators		0,1204	0,4484	0,3280
5	BigData e Analytics		0,0946	0,4318	0,3373
6	Smart Sensor		0,0397	0,3996	0,3599
7	Business Intelligence		-0,0539	0,3715	0,4254
8	SGE		-0,1225	0,3860	0,5085
9	Lean 6 Sigma		-0,1226	0,3533	0,4759
10	Operação Padronizada		-0,1684	0,3458	0,5143
11	Multi-Agent Systems		-0,4272	0,2347	0,6618
12	Simulação		-0,4333	0,2258	0,6591

Figura 119 – Resultado para o cenário tecnológico sobre a melhor alternativa pelo Phi

O *Machine Learning* sendo a primeira opção, mas na sequência estão os robôs colaborativos, que também aparecem como uma alternativa bem avaliada para o cenário tecnológico. Esses poderiam ser uma opção para funções mais difíceis de serem executadas na gestão de energia, como medições em locais perigosos, melhorando a interação homem-máquina. O IoT (*Internet of Things*), como terceira opção, possibilita uma conexão ampliada entre as áreas e máquinas. Essas tecnologias podem facilitar a comunicação entre diversos tipos de software e hardware, melhorando a comunicação entre os equipamentos, com diferentes interfaces e protocolos de comunicação existentes entre eles, a Figura 120 apresenta o *PROMETHEE ranking* para o cenário tecnológico.

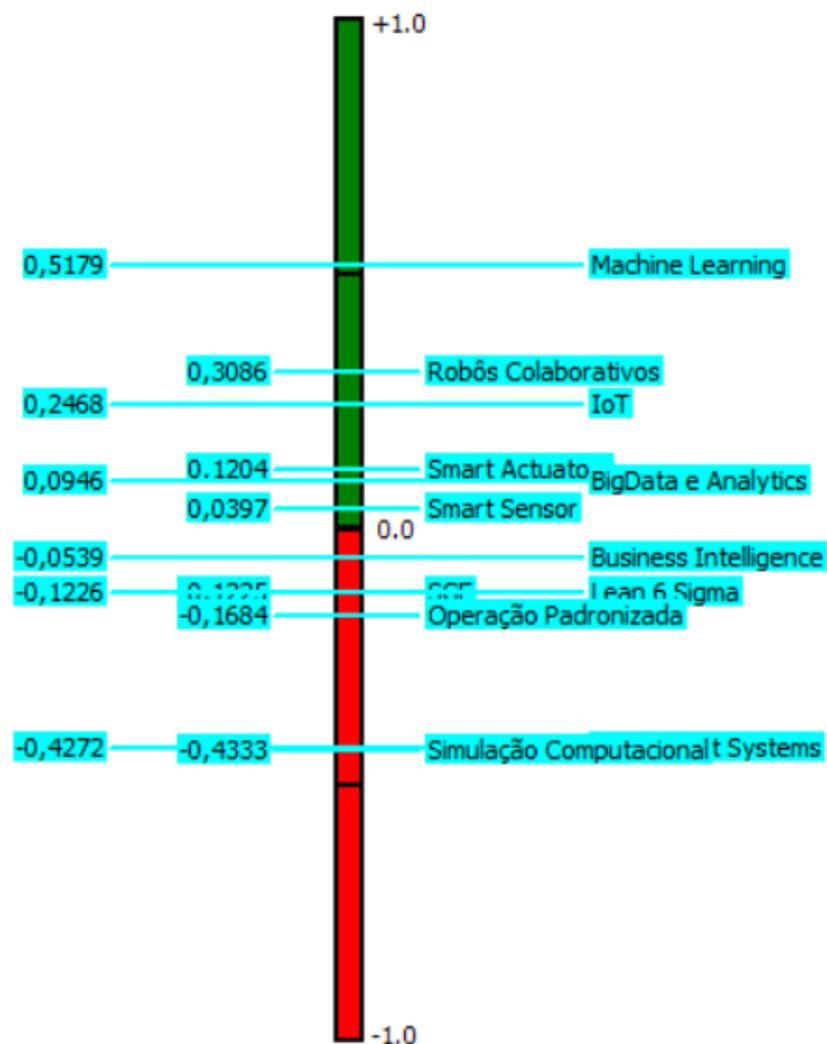


Figura 120 – PROMETHEE ranking, cenário tecnológico

A Figura 121 apresenta todos os atributos do cenário tecnológico, demonstrando que a maior parte ficaria positivo para a alternativa *Machine Learning*. Isso demonstra que provavelmente a implantação dessa ferramenta por parte da empresa, possui impacto positivo em praticamente todo o cenário, com consequente melhora no nível de maturidade.

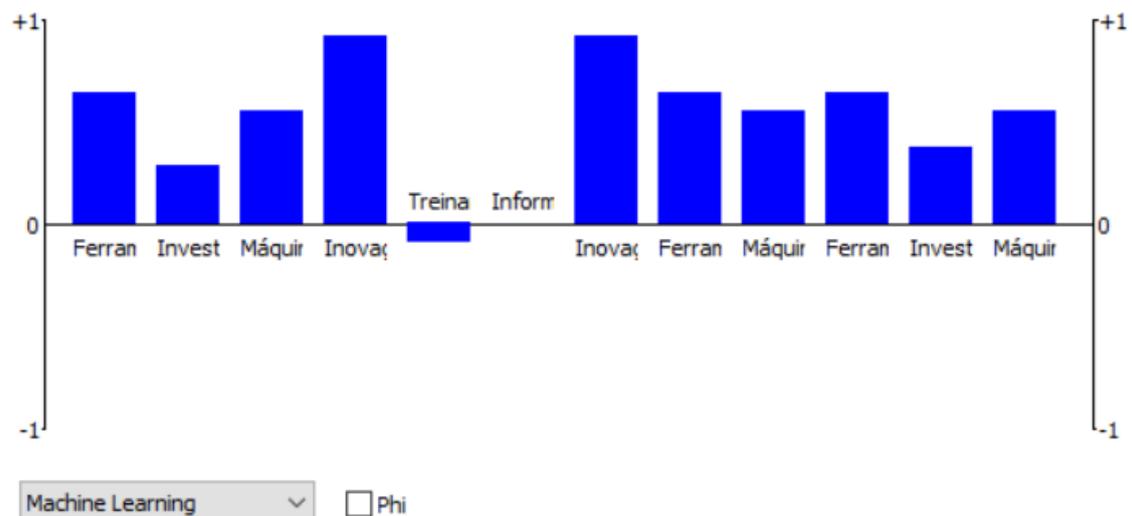


Figura 121 – Valor do Phi para todos os atributos do cenário tecnológico, em relação a melhor alternativa, *Machine Learning*

7.2.3.4 Comparação dos resultados entre os três cenários avaliados

Na Tabela 12 são demonstrados os resultados nos três cenários avaliados com todas as alternativas (tecnologias) reunidas, desta forma no Excel, com o objetivo de comparar os cenários estudados no software *Visual Pomethee*. De acordo com os resultados mostrados, a grande maioria das alternativas não é aplicável para algum dos três cenários, sendo possível então agrupar todas as alternativas aplicáveis ou não, aos três cenários, apenas no Excel.

A média (*average*) representa apenas a tendência de cada alternativa, por exemplo, a alternativa *Smart Sensors* ela é relevante para todos os cenários, ou seja, é aplicável aos três cenários, por isso positiva para os três. A alternativa *BigData e Analytics* é importante para o cenário econômico, mas não para o organizacional e tecnológico, desta forma não seria a melhor opção para os cenários onde apresenta pontuação negativa, mas pode ser utilizada aliada a outras tecnologias. As demais,

sem destaque, possuem algum tipo de restrição para um dos três cenários, ou seja, não são indicadas para utilização naquele cenário em que não se aplica.

Tabela 12 - Comparação entre os três cenários avaliados na Empresa 2

Empresa II				
Alternativas	Econômico	Organizacional	Tecnológico	Average
SGE	0,6008	0,3231	-0,1225	0,2671
BigData e Analytics	0,3596	-0,0619	-0,0946	0,0677
Business Intelligence	0,3358	0,3654	-0,0539	0,2158
Smart Sensor	0,2527	0,0356	0,0397	0,1093
e-KPIs	0,1035	0,1069	N/A	0,1052
CMMS	0,0757	N/A	N/A	0,0757
FMEA	-0,1123	-0,4815	N/A	-0,297
Procedimentos ISO	-0,13	0,1934	N/A	0,0317
Lean Six Sigma	-0,313	N/A	-0,1226	-0,218
Gestor de Energia	-0,3368	0,5317	N/A	0,0975
Operação Padronizada	-0,4117	-0,3289	-0,1648	-0,3018
Multi Agent systems	-0,4234	-0,961	-0,4272	-0,6039
IoT	N/A	-0,4815	0,2468	-0,117
Gestão de Projetos	N/A	-0,2121	N/A	-0,212
Machine Learning	N/A	N/A	0,5179	0,5179
Robôs Colaborativos	N/A	N/A	0,3086	0,3086
Smart Actuators	N/A	N/A	0,1204	0,1204
Simulação	N/A	N/A	-0,4333	-0,433

No Gráfico 14, a comparação das tecnologias pode ser feita para os cenários aos quais elas possam ser adotadas. Logo, somente seis tecnologias são aplicáveis a todos os cenários e podem ser avaliadas nesta comparação. Os resultados foram normalizados para que a visualização da importância relativa de cada tecnologia seja apresentada.

Nesta analogia, são identificadas as tecnologias que podem ser aplicadas para evolução de maturidade para todos os cenários, ou seja, que se aplicam a todos os atributos relacionados as barreiras. O destaque ocorre para o Sistema de Gestão de Energia (SGE), BigData e Analytics, Business Intelligence e Smart Sensors. Os SGEs apresentam peso importante para as barreiras econômicas e organizacionais, pois são relacionados a padronizações, ferramentas e atividades sistemáticas para a gestão de energia. A baixa importância para o cenário tecnológico pode ser interpretada pela inovação e tecnologias não presentes nesta alternativa. As demais tecnologias estão relacionadas a conectividade, captação e manipulação de dados. Enquanto sensores atuam no levantamento e envio em tempo real de dados de operação. O Business Intelligence, o BigData e Analytics são ferramentas para manipular, interpretar e

apresentar os dados, suportando a tomada de decisão em diferentes âmbitos da gestão de energia, como por exemplo a identificação do melhor tempo de parada para manutenção, ou monitoramento do consumo de energia em tempo real.

Para a empresa 2, as tecnologias são sugeridas para implementação, visando a evolução da maturidade dos atributos e dos diversos elementos que compõem a gestão de energia. Essas tecnologias, devem ser consideradas junto as sugestões de alternativas pontuais realizadas na avaliação individual de cada cenário de forma a elevar a maturidade média avaliada. Vale ainda destacar o potencial de conectividade das tecnologias, e os ganhos de aplicação das mesmas para outros âmbitos além gestão de energia, o Gráfico 14, mostra o ranqueamento das tecnologias para os três cenários avaliados.

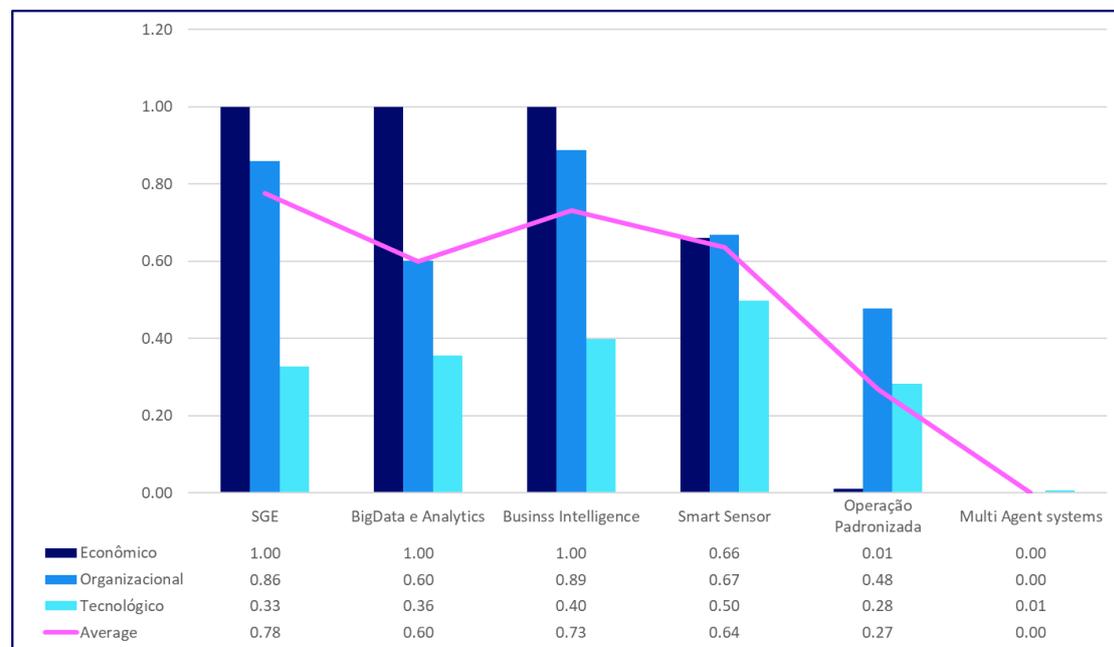


Gráfico 14- Comparação entre os três cenários e o ranqueamento das tecnologias para empresa 2

7.2.4 Conclusão do Caso 2

As avaliações foram feitas com o método AHP (avaliação diagnóstica), identificando o status atual da empresa, e pelo método PROMETHEE II (avaliação decisional). Os resultados indicados pelo AHP, a empresa encontra-se em um nível geral de maturidade 1 (iniciação), que possui a necessidade e inúmeras possibilidades de melhorias, em todas as camadas e nos diversos atributos avaliados. Existe uma

lacuna grande de melhorias a serem executadas em diversos quadrantes avaliados, mas com poucas tarefas desenvolvidas nos atributos até o momento, ou seja, o trabalho nesta área ainda precisa ser iniciado. Nesta avaliação foram identificadas as fragilidades existentes que impedem uma evolução no nível de maturidade na gestão de energia, mas que podem ser ultrapassadas com a adoção de medidas de melhorias indicadas ao longo dos resultados.

Em relação aos resultados do PROMETHEE II, a avaliação de três diferentes cenários: econômico, organizacional e tecnológico, identificou diferentes necessidades, de acordo com os atributos avaliados. Isso demonstra que o caminho no início das atividades da gestão de energia na empresa 2 são longos, mas possíveis de serem feitos, utilizando as alternativas da Indústria 4.0, que podem atender a todas as áreas. Identificando as melhores tecnologias de acordo com cada avaliação feita e as fragilidades que devem ser atacadas pela empresa. Sendo que, na comparação entre os três cenários a maioria das alternativas da Indústria 4.0, não são aplicáveis a todos os cenários da mesma forma, ou ainda, que deve ser adotada mais de uma ferramenta para cada cenário, para um resultado satisfatório.

A avaliação decisional foi concluída. Teve início no diagnóstico para entender e conhecer o status atual da empresa, e entregou como resultado a melhor alternativa de priorização por cenário, entre tantas tecnologias disponíveis para as empresas. A empresa 2, agora conhece qual a melhor tecnologia identificada da Indústria 4.0 para evoluir o seu status atual na gestão de energia, conhece quais as ações devem ser tomadas para melhoria, com o apoio das fichas de avaliação dos atributos. Como a empresa 2 encontra-se em nível de maturidade geral 1, seria importante iniciar os esforços na direção da gestão de energia, o que poderia melhorar os resultados em relação aos custos dos processos e preparar melhor a empresa para tomada de decisões em relação ao recurso.

7.3 SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo 7 foram apresentados os resultados da aplicação do modelo EM3FI, relacionados aos dois casos de aplicação nas indústria de alimentos. A avaliação diagnóstica feita pelo AHP foi detalhada em camadas e pelos resultados de cada atributo, com o seu respectivo nível de maturidade identificado no modelo. Foram identificadas e apontadas todas as fragilidades nas duas empresas, fornecendo alternativas na análise diagnóstica e decisional para melhorar a gestão de energia, com apoio das tecnologias da indústria 4.0.

Para a avaliação decisional feita pelo PROMETHEE II, foram identificados as melhores tecnologias para cada camada nos três cenários avaliados, para a empresa 1 e para a empresa 2. Isso possibilita à empresa utilizar-se dessas tecnologias de uma ou mais delas, para melhoria de sua maturidade no cenário avaliado. Caso a empresa adote a tecnologia melhor ranqueada pelo PROMETHEE II, também foram demonstrados como esta utilização poderia impactar positivamente em todos os demais atributos, melhorando o nível da gestão de energia.

Com a aplicação do modelo e chegando ao final dos resultados nas duas empresas, foi possível aplicar e demonstrar os diferenciais que o modelo EM3FI possui em relação aos demais disponíveis na literatura. Em relação a aplicação, a análise focal dos atributos distribuídos primeiramente em camadas, o que permitiu que os especialistas respondessem as questões relacionadas apenas a sua área e identificassem as fragilidades que elas possuem. Transportando estas fragilidades para uma análise focal, na etapa decisional, de ações a serem realizadas com o apoio das fichas de avaliação e das tecnologias para impactar no nível de maturidade da empresa nesta área. Seguindo, com alternativas fornecidas de acordo com cada cenário avaliado, de forma a identificar qual a melhor tecnologia da I4.0, a ser utilizada para impactar nas ações das empresas, ou seja, como as barreiras podem ser ultrapassadas melhorando a gestão do recurso.

Com o encerramento dos resultados apresentados neste capítulo 7, no capítulo 8 são apresentadas as conclusões, as limitações da pesquisa, trabalhos futuros e comentários finais da tese.

8. CONCLUSÕES

O objetivo central da pesquisa é apresentar o desenvolvimento de um modelo de maturidade para gestão de energia, juntamente com a avaliação diagnóstica da situação atual da empresa na área e avaliação decisional para gestão de energia voltada para indústria de alimentos, propondo melhorias através de diretrizes tecnológicas da indústria 4.0. Esse objetivo foi desenvolvido pela identificação da lacuna através das buscas na literatura, da escassez de trabalhos que relacionam indústria de alimentos, gestão de energia e modelo de maturidade.

Nesse sentido, a pesquisa utilizou o apoio da revisão da literatura para o suporte do desenvolvimento de estruturas (modelos, mecanismo, tratativas e métodos). Esta primeira parte da revisão da literatura contribuiu para o levantamento das barreiras, dos aspectos e dos atributos, formalizando a estrutura do modelo de maturidade. Posteriormente a construção do modelo para diagnóstico e os níveis de maturidade identificados na aplicação na indústria de alimentos. Sua relevância está no modelo e na aplicação para diagnóstico do campo, identificando as fragilidades que a empresa pode corrigir com a aplicação do modelo, oferecendo através da análise decisional, com tecnologias da indústria 4.0, alternativas de melhorias para o domínio.

Para fornecer esta estrutura de avaliação, diagnóstico e decisão, o modelo utilizou-se de basicamente três barreiras identificadas na literatura da gestão de energia: econômica, organizacional e tecnológica. Assim, ocorre a formação da matriz de avaliação do modelo para análise diagnóstica, identificando as fragilidades das empresas avaliadas nesta área. É importante relatar que se tratando de empresas com processos produtivos múltiplos e com cadeias longas de produção, a complexidade e dificuldade são maiores para traçar um diagnóstico e fornecer um suporte decisional para melhoria do nível de maturidade, entregue na proposta do trabalho.

Com o suporte dos métodos multicritério, foi possível identificar as fragilidades das empresas com AHP e em quais camadas deveriam ser focadas os esforços de melhoria proporcionados pelas análises do PROMETHEE II. Os métodos multicritério podem variar, mas eles permitem um diagnóstico preciso da situação atual da empresa, fornecendo os caminhos para melhor alternativa, para direcionar os esforços das empresas nas melhorias com as alternativas de priorização.

Em relação à avaliação pelo PROMETHEE II, são comparados três cenários, com as alternativas da Indústria 4.0, identificando que a mesma tecnologia não poderia ser utilizada da mesma forma para os três cenários. A resposta com o uso

individual da alternativa de forma isolada não é totalmente satisfatória. Isso corrobora com a proposta do desenvolvimento do modelo EM3FI na pesquisa, pois como o modelo propõe uma análise focal dos atributos, identificando onde estão os pontos que devem receber as melhorias de forma prioritária, não seria correto utilizar a mesma tecnologia para resolver os problemas dos três cenários. Esse resultado demonstra o diferencial do EM3FI, em relação aos demais modelos de maturidade na gestão de energia, que propõem um análise geral e também um nível de maturidade geral para empresa. Esse não é o caso da proposta do EM3FI, atuando em análise focal.

A pesquisa entrega ao seu final tudo que foi proposto nos objetivos, desenvolvimento e resultados: (i) fazer um levantamento teórico das características do domínio estudado; (ii) desenvolver um modelo de maturidade, com as barreiras, aspectos e atributos até a sua matriz de avaliação; (iii) fazer um diagnóstico (status atual) da gestão de energia na indústria de alimentos através do método AHP, relatando os resultados para indústria; (iv) propor as alternativas com o método PROMETHEE II de soluções para as empresas, com base nos três cenários com as tecnologias da indústria 4.0, que impactem positivamente nos atributos que precisam ser melhorados, e como esse impacto resulta na melhoria do nível de maturidade da empresa na gestão de energia.

Sob o ponto de vista de implicações teóricas e científicas, em relação às dimensões teóricas do modelo, ele representa um diferencial quando comparado aos demais encontrados na literatura atual. Diferencia-se pelo fato de como foram desenvolvidas suas etapas e em relação ao seu propósito de aplicação ser de forma focal nos diferentes atributos qualificadores da GE, os vinculando diagnosticamente à estrutura decisional de aprimoramento de maturidade. Importante destacar a adaptabilidade da abordagem a diferentes setores industriais, não apenas da indústria de alimentos. Em relação a aplicação do modelo ele demonstrou resultados positivos, orientando um plano de adoção de tecnologias da indústria 4.0 para aprimoramento de seus programas e modelos de gestão.

8.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo da pesquisa é formalizar um modelo de maturidade na gestão de energia voltado para a indústria de alimentos de forma a suportar uma avaliação diagnóstica e decisional, para o estabelecimento de um plano de diretrizes à entidade

industrial, sob diferentes cenários propositivos na adoção de tecnologias habilitadoras da I4.0. Para alcançar o objetivo proposto, torna-se necessário atender os seguintes objetivos específicos:

OE1- “Identificar as barreiras, aspectos e atributos que compõem o cenário da gestão de energia e a indústria de alimentos”.

Através de uma revisão de literatura aplicada aos três domínios pesquisados: GE, IA e MM, foi possível - com o método de revisão *ProKnow-C* - identificar os 75 artigos principais relacionados aos temas que dariam o suporte para este desenvolvimento do modelo. A exploração do conteúdo destacou práticas de GE, a publicação de normas nacionais e internacionais de SGE, avanços tecnológicos em EE/economia de energia e obstáculos na forma de barreiras a uma bem-sucedida GE. Esse levantamento proporcionou a localização dos principais atributos que caracterizam a GE e promovem o avanço na passagem das barreiras. Juntamente com a revisão, constatou-se uma lacuna de pesquisa relacionada aos modelos de maturidade de gestão de energia voltados para a indústria de alimentos, ou seja, que contemplem as particularidades existentes neste segmento. Mesmo entendendo que as práticas na gestão de energia são comuns a todos os tipos de empresas, ao mesmo tempo há uma demanda ausente na literatura.

OE2- “Avaliar os modelos de maturidade existentes (mecanismos e tratativas) para gestão de energia e desenvolver uma matriz relacional de avaliação no suporte a concepção de um novo modelo”.

Para atender ao segundo objetivo são encontrados na literatura modelos de maturidade de outras áreas, que podem ilustrar os mecanismos e tratativas necessárias e também modelos de maturidade na gestão de energia. Essa união das áreas possibilitou o desenvolvimento da matriz relacional MIGE, muito utilizada em todo o modelo. Essa fornece o suporte para a concepção do novo modelo, sob a perspectiva de barreiras e aspectos, pela ótica de quadrantes de avaliação e o posicionamento dos atributos a serem avaliados nos quadrantes. Essa formação corroborada com a literatura formalizou o modelo, sobre o aspecto da avaliação e posteriormente o desenvolvimento dos os níveis de maturidade, sendo que cada nível se baseia nos anteriores, adicionando novos problemas ou rigor.

OE3- “Desenvolver e propor um modelo de maturidade para gestão de energia na indústria de alimentos (EM3FI)”.

Neste terceiro objetivo, foi desenvolvido a matriz de avaliação. Nesta fase, os níveis de maturidade foram construídos. Sendo assim, o modelo estava quase completo, faltando o desenvolvimento das fichas de avaliação relacionadas a cada um dos atributos em quatro níveis de maturidade. Elas têm o objetivo de apoiar o desenvolvimento daquele atributo no nível identificado. Essas fichas de avaliação finalizam o processo de desenvolvimento do EM3FI, que conta com três principais estruturas: a construção dos níveis de maturidade, a matriz de avaliação do modelo, e as fichas de avaliação, finalizando este objetivo.

OE4- “Desenvolver um modelo de avaliação diagnóstica com base no modelo de maturidade desenvolvido”.

O modelo de avaliação diagnóstica proposta no objetivo quatro consome o modelo desenvolvido até o objetivo três e possibilita, a partir dos métodos multicritério como AHP, realizar esta fase de diagnóstico. Como o modelo EM3FI foi aplicado em duas empresas de alimentos, através do site (instrumento desenvolvido para aplicação do modelo), as respostas dadas às avaliações, feitas através dos especialistas, definem um status atual da empresa na gestão de energia. Essa definição do status identificou os pontos fracos nas empresas habilitados pelo AHP, na comparação aos pares das respostas, e isso atribuiu a avaliação completa do diagnóstico da gestão de energia nas empresas, fornecendo assim o nível geral de maturidade. A continuidade desta avaliação que identifica as fragilidades pelo AHP, fornece na sequência as alternativas de melhor tecnologia a apoiar a melhora dos níveis da gestão de energia.

OE5- “Analisar os resultados da etapa diagnóstica para uma avaliação decisional a ser concebida sob diferentes perspectivas (tecnológicas, econômicas e organizacionais), no apoio a um plano de priorização para empresa na adoção de tecnologias da I4.0”.

Os resultados gerados no OE-4 foram consumidos na fase decisional, habilitada pelo método PROMETHEE II através das três perspectivas propostas: tecnológica, econômica e organizacional. Isso forneceu o resultado de qual a tecnologia mais adequada, de acordo com as necessidades avaliadas em cada cenário.

Essa adoção de tecnologias fornece o apoio para implementação das medidas de gestão de energia que podem colaborar na melhoria do nível de maturidade. Desta forma, o plano de desenvolvimento e aplicação do modelo EM3FI é finalizado com a adoção do AHP na análise diagnóstica das empresas, e o PROMETHEE II que fornece as melhores alternativas a serem adotadas em relação às tecnologias da Indústria 4.0.

8.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O *Energy Management Maturity Model for Food Industry* (EM3FI) foi aplicado em duas empresas do ramo de alimentos. O intuito era realizar uma avaliação de maturidade e também foi possível verificar a performance do modelo quanto a usabilidade e aplicabilidade. Mesmo sendo orientada à indústria de alimentos, a aplicação do EM3FI não se limita ao setor apenas, pela abrangência dos seus atributos da gestão de energia, podendo ser adaptada para os demais tipos de empresas. Os atributos, barreiras, aspectos e demais elementos que compõem o modelo são comuns aos demais domínios da indústria intensiva e não intensiva, incluindo as alternativas que são orientadas ao contexto da gestão de energia.

Através da aplicação do modelo em duas empresas, as limitações são identificadas relacionadas a: software, abordagem de aplicação, aspectos comportamentais e complexidade.

Quanto a softwares que buscam simplificar e automatizar o uso dos métodos multicritério, esses possuem deficiências relacionadas à complexidade do escopo do EM3FI. Os programas computacionais são de desenvolvimento acadêmico e possuem limitações no volume de informações e dados propostos pelo modelo desenvolvido. O *Super Decisions*, que instrumentaliza o AHP, pela característica *pairwise* eleva a complexidade, devido ao número de comparações entre elementos. Dessa forma, resultou em um número muito grande de questões a serem aplicadas junto aos especialistas, por isso a necessidade de separar em camadas.

Mesmo com a grande quantidade de questionários a ser aplicada aos especialistas a análise dos resultados, indicou coerência e alinhamento ao cenário atual. Não foram observadas discrepâncias de maturidade, incluindo as alternativas propostas na etapa decisional. A complexidade envolvida no modelo gera a necessidade de reuniões e desenvolvimento de materiais para suporte e compreensão dos elementos que regem o EM3FI e seus instrumentos de aplicação e avaliação. Para

as duas empresas, foram necessárias reaplicações junto aos avaliadores para correção das inconsistências nas respostas na etapa diagnóstica.

O instrumento de aplicação (site), desenvolvido para simplificar a obtenção de respostas para alimentação de dados no AHP, apresentou lentidão no uso interno das empresas, o que indica problemas relacionados ao site e aos firewalls de organizações. Devido ao desenvolvimento em plataforma gratuita, os bloqueios de segurança de rede limitaram o instrumento, tornando-o vagaroso para o usuário, podendo ser melhorado com o uso de recursos e programações mais refinadas.

Quanto ao comportamento dos especialistas, em alguns casos foi observada pouca aderência e comprometimento com a avaliação, no caso da empresa com maior maturidade, neste caso identificadas inconsistências nas respostas e refeitas novamente no instrumento de avaliação (site). O retorno diagnóstico e decisional tem maior aderência para a organização onde a gestão de energia é mais prematura, e os resultados de aplicação se tornam orientações passo a passo para estabelecimento das atividades. No caso de empresas com maturidade elevada, devem ser aumentados os esforços em reuniões antes da aplicação, para mostrar os ganhos com o modelo, assim garantindo o comprometimento dos especialistas com as respostas dos questionários. A replicação do modelo em mais unidades da empresa, pode aumentar a adesão das unidades, com a demonstração dos resultados alcançados na aplicação e a introdução de práticas de benchmarking.

Na etapa decisional, a inclusão dos requisitos e habilitadores tecnológicos da indústria 4.0 foi feita através da literatura com as referências de Oztemel e Gursev (2018); Lasi, *et al.*, (2014); Frank, *et al.*, (2019) e relatórios técnicos e não com uma nova revisão sistemática da literatura com todo o rigor metodológico da mesma.

Por fim, as limitações relacionadas a comportamento, software e complexidade ainda geram o problema da disponibilidade de especialistas nas empresas. O cenário ideal compreende a aplicação com mais de um colaborador para cada camada de avaliação, mas devido ao alto número de questionários e ao tempo que se leva para responder, existe a dificuldade de empresas disponibilizarem um maior número de especialistas, de forma a impactar na operação da empresa. Apesar das limitações observadas, conclui-se que o EM3FI compreende as características de usabilidade e aplicabilidade, mesmo com as ferramentas e instrumentos atualmente disponíveis serem limitados para um modelo complexo de análise.

8.3 TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa pode estender seu cenário de aplicação utilizando o modelo proposto para aplicação em um maior número de empresas para ampliar o diagnóstico. Além disso, em um cenário maior de verificação do nível de maturidade das empresas de alimentos para este domínio:

- Realizar análise de custos por camadas, o que pode impactar bastante na decisão dos gestores das empresas, por optarem em melhorar a gestão da energia, quando observarem os resultados das avaliações.
- O modelo pode ser usado aumentando o número das camadas para mais áreas das empresas, com a diminuição do número de atributos em cada uma delas.
- Outros métodos multicritério podem ser utilizados além do AHP e do PROMETHEE II. Para as fases diagnóstica e decisional na pesquisa, usar outros métodos como: Dematel, ANP, ELECTRI TRI, que podem fornecer outras possibilidades de classificação dos resultados.
- Nas fichas de avaliação do modelo de maturidade, elaboradas individualmente para cada um dos 42 atributos, podem ser revisitadas e ampliadas colocando as alternativas para sobrepor as barreiras.
- A experiência na aplicação demonstrou o desentendimento por parte das empresas do que representa níveis de maturidade em uma área e em que ela impacta a empresa quando evolui nos níveis, sendo necessárias maior ênfase e atenção quando apresentado o modelo nestas questões. Um trabalho junto ao modelo para entendimento do que significa a maturidade em uma determinada área para empresa, antes da aplicação.
- Em um cenário futuro, após a implementação das melhorias observadas durante o desenvolvimento e aplicações, o modelo pode ser mais ágil e eficiente, com as melhorias em softwares trazendo ainda mais valor ao seu uso em organizações.

8.4 COMENTÁRIOS FINAIS

O modelo desenvolveu etapas que permitem para a organização a aplicação de um passo a passo das fases e sua avaliação completa dos status atual da energia. E ainda as alternativas que ela tem, através das tecnologias da Indústria 4.0, para melhorar os pontos fracos identificados, evoluindo nos níveis de maturidade. É possibilitada a implantação do modelo, tão destacada na literatura, como a maior dificuldade enfrentada nas organizações, em relação ao que medir, como medir e ao que fazer e como fazer.

Os elementos desenvolvidos e adotados durante todo o período de construção da pesquisa mostraram-se úteis, aplicáveis e replicáveis para os procedimentos relacionados aos modelos de maturidade. Eles fornecem respostas de como desenvolver e aplicar um modelo para maturidade e realizar com ele análise diagnóstica e decisional, sobre um determinado domínio da gestão de energia. O modelo final EM3FI tornou-se complexo pela diversidade de se trabalhar em três cenários diferentes (gestão de energia, indústria de alimentos e modelo de maturidade) e ao mesmo tempo conseguir unir e modelar esse espaço que possui lacuna na literatura.

Por se tratarem de três domínios bem distintos, houve uma complexidade de análises e desenvolvimento de métodos que pudessem ser utilizados para formação das estruturas de avaliação e dos métodos multicritério para análise dos resultados. A fase de aplicação conta com o apoio dos especialistas da área, para o diagnóstico do status atual da empresa nesse campo para identificar as fragilidades, com a proposição de alternativas para melhora da gestão de energia. Na fase decisional as melhores alternativas são identificadas com o apoio das tecnologias da indústria 4.0 a serem adotadas em cada cenário avaliado.

A pesquisa chega ao seu final entregando tudo aquilo a que se propôs desde o seu início: um modelo completo de avaliação de maturidade para o segmento de alimentos na gestão de energia. Desenha um status atual da empresa, sugerindo alternativas da Indústria 4.0 para melhoria do seu nível e demonstrando quais as alternativas mais relevantes para cada uma dos cenários avaliadas.

9. ARTIGOS PUBLICADOS E PROPOSIÇÃO DE ARTIGOS PARA PUBLICAÇÃO

No Quadro 13 são apresentados os artigos publicados da tese até o momento.

Quadro 13 – Artigos publicados da tese

Artigo	Título	Conferência	Ano da Publicação
I	<i>Energy Efficiency Indicators: the evolution of the concepts in the last two decades</i>	<i>The 8th International Conference on Production Research - Americas</i>	2016
II	<i>ENERGY EFFICIENCY INDICATORS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS</i>	<i>Proceedings of the 2017 Industrial and Systems Engineering Conference</i>	2017
III	<i>Energy Efficiency Indicators in the Food Industry: A Systematic Review</i>	<i>International Conference on Production Research</i>	2018
IV	<i>Energy Efficiency in Food Industry: A Systematic Literature Review</i>	<i>Conferência Internacional de Energias Inteligentes – Smart Energy.</i>	2018
V	<i>Energy Efficiency in Food Industry: A Systematic Literature Review</i>	<i>Brazilian Archives of Biology and Technology (online) – B1</i>	2019

9.1 PROPOSIÇÃO DE ARTIGOS PARA PUBLICAÇÃO

O Quadro 14 detalha os artigos que farão parte da tese, apresentando o tópico do artigo a ser publicado, objetivo específico relacionado, método/ abordagem e o *journal* proposto para a publicação de cada artigo.

Quadro 14 – Plano de publicações

Artigo	Tópico	Objetivo Específico	Método / Abordagem	Proposição de <i>Journal</i> para publicação
I	<i>DEVELOPMENT OF ENERGY MANAGEMENT MATURITY MODEL IN FOOD INDUSTRY</i>	OE 1; OE 2; OE3	Revisão Sistemática da Literatura (<i>Proknow-C</i>) e Proposta de Modelo de Maturidade EM3FI	Measuring Business Excellence– A2 (submetido)
II	Resultados da avaliação diagnóstica e decisional através de MCDM com três cenários na Indústria de Alimentos	OE 4; OE5	Modelo de Maturidade – Caso de aplicação - Avaliação no AHP	Renewable and Sustainable Energy Reviews – A1 (em desenvolvimento)
II	Resultados da avaliação decisional através de MCDM com três cenários avaliados na Indústria de Alimentos	OE 4; OE5	Modelo de Maturidade – Caso de aplicação - Avaliação no PROMETHEE II	Journal of Cleaner Production– A1

REFERÊNCIAS

- ABDELAZIZ, E. A, et al. A review on energy saving strategies in industrial sector. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2011, 15.1: 150-168. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.003>
- AFLAKI, Sa. Finding and implementing energy efficiency projects in industrial facilities. *POMS – Production and Operation Management Society*, v.22, n.3, pp. 503-517. DOI: 10.1111/j.1937-5956.2012.01377.x
- ALIAS, Mohamad Ashari, et al. Multi criteria decision making and its applications: a literature review. *Journal Technology Maklumat*, 2008, 20.2: 129-152.
- DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. Editora Atlas SA, 2000. ISBN-10: 8522480117
- AMUNDSEN, Audun. Networking among companies represents a potential for CO2 reduction. *Journal of Cleaner Production*, 2000, 8.6: 495-501. DOI: [10.1016/S0959-6526\(00\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00019-6)
- ANDERY, Maria Amélia, et al. Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica. 2004 9ª edição. *Rio de Janeiro: Espaço e Tempo*. ISBN: 85-86435-98-8
- ANG, B. W. Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: from energy–GDP ratio to composite efficiency index. *Energy policy*, 2006, 34.5: 574-582. DOI: [10.1016/j.enpol.2005.11.011](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.011)
- ANTUNES, Pedro, et al. Towards an energy management maturity model. *Energy Policy*, 2014, 73: 803-814. DOI: [10.1016/j.enpol.2014.06.011](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.06.011)
- ARULDOSS, Martin, et al. A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, 2013, 1.1: 31-43. DOI: [10.12691/ajis-1-1-5](https://doi.org/10.12691/ajis-1-1-5)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALIMENTAÇÃO. Números do setor – Faturamento. Disponível em: www.abia.org.br/vsn/anexos/faturamento2017.pdf. Acesso em 06 de agosto de 2018.
- ATES, Seyithan Ahmet; DURAKBASA, Numan M. Evaluation of corporate energy management practices of energy intensive industries in Turkey. *Energy*, 2012, 45.1: 81-91. DOI: [10.1016/j.energy.2012.03.032](https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.032)
- BACKLUND, Sandra, et al. Extending the energy efficiency gap. *Energy Policy*, 2012, 51: 392-396. DOI: [10.1016/j.enpol.2012.08.042](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.042)

BECKER, Jörg, et al. Developing maturity models for IT management. *Business & Information Systems Engineering*, 2009, 1.3: 213-222. DOI:[10.1007/s12599-009-0044-5](https://doi.org/10.1007/s12599-009-0044-5)

BENBASAT, Izak; WEBER, Ron. Research commentary: Rethinking “diversity” in information systems research. *Information systems research*, 1996, 7.4: 389-399. DOI: <https://doi.org/10.1287/isre.7.4.389>

BENEDETTI, Miriam, et al. From energy targets setting to energy-aware operations control and back: An advanced methodology for energy efficient manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 167: 1518-1533. DOI: [10.1016/j.jclepro.2016.09.213](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.213)

BERGLUND, Jonatan, et al. Energy efficiency analysis for a casting production system. In: *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC)*. IEEE, 2011. p. 1060-1071. DOI: [10.1109/WSC.2011.6147829](https://doi.org/10.1109/WSC.2011.6147829)

BLACKSTONE, J. H. APICS Dictionary–The Standard for Excellence in the Operations Management Profession. *APICS–The Association of Operations Management Dictionary*, 2008, 1-156. ISBN-10: 1558221999

BISHOP, Christopher M. *Pattern recognition and machine learning*. springer, 2006. DOI: [10.1117/1.2819119](https://doi.org/10.1117/1.2819119)

BOYD, Gale, et al. The evolution of the ENERGY STAR® energy performance indicator for benchmarking industrial plant manufacturing energy use. *Journal Of Cleaner Production*, 2008, v. 16, n. 6, p. 709-715. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.024>.

BOYD, Gale A. Estimating the changes in the distribution of energy efficiency in the US automobile assembly industry. *Energy Economics*, 2013, 42: 81-87. DOI: [10.1016/j.eneco.2013.11.008](https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.008)

BORNSCHLEGL, Martin, et al. A new approach to increasing energy efficiency by utilizing cyber-physical energy systems. In: *2013 Proceedings of the 11th Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES)*. IEEE, 2013. p. 1-6. ISBN: 978-3-00-042899-9

BRANS, Jean-Pierre; MARESCHAL, Bertrand. Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys, Promethee methods. *Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M.(eds.)*, 2005, 163-186. eBook ISBN: 0-387-23081-5

BRANS, Jean-Pierre, et al. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, 1986, 24.2: 228-238. DOI: [10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5)

BUNSE, Katharina, et al. Integrating energy efficiency performance in production management–gap analysis between industrial needs and scientific literature. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19.6-7: 667-679. DOI: [10.1016/j.jclepro.2010.11.011](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.011)

BRUNHEROTO, Paulo Henrique; LING, Bruna Pirão; DESCHAMPS, Fernando; VALLE, Pablo Deivid. *Caracterização da Adoção de Tencologias da Indústria 4.0 nas Empresas do setor Metal-Mecânico/Automotivo da Região de Curitiba*. Curitiba: UFPR, 2018. 103 p.

BRUNKE, Jean-Christian, et al. Energy conservation measures for the German cement industry and their ability to compensate for rising energy-related production costs. *Journal of Cleaner Production*, 2014, n.82, p.94-111. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.074>

CAFFAL, C. Energy management in industry. Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET). *Analysis Series*, 1995, 17.

CAGNO, Enrico, et al. A novel approach for barriers to industrial energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 19: 290-308. DOI: [10.1016/j.rser.2012.11.007](https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.007)

CARBON TRUST. Energy Management Self-assessment Tool. 2015.

CARRASQUER, Beatriz, et al. A new indicator to estimate the efficiency of water and energy use in agro-industries. *Journal of Cleaner Production*, 201, 143: 462-473. DOI: [10.1016/j.jclepro.2016.12.088](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.088)

CELORRIO, R., et al. Methodology to decrease the energy demands in wine production using cold pre-fermentation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015, 117: 177-185. DOI: [10.1016/j.compag.2015.08.009](https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.009)

CESTARI, J. M. A. P. *A Contribution to Interoperability Capability Diagnosis in Public Administration Domain*. Curitiba, 2015. 364p. Thesis - Pontifical Catholic University of Parana. Curitiba, December-10, 2015.

CHEN, David, et al. Framework for enterprise interoperability. In: *Proc. of IFAC , Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability*, Proceedings of the Open Interop Workshop on Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability, Co-located with CAiSE'06 Conference, Luxembourg, 5th-6th June, 2006. Bordeaux, p. 77-88.

CHEN, D. Framework for enterprise interoperability work performed in INTEROP NOE, DI: Domain of Interoperability, University Bordeaux, 2008.

CHRISTOFFERSEN, Line Block; LARSEN, Anders; TOGEBY, Mikael. Empirical analysis of energy management in Danish industry. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14.5: 516-526. DOI: [10.1016/j.jclepro.2005.03.017](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.03.017)

CONFORTO, Edivandro Carlos; AMARAL, Daniel Capaldo; SILVA, SL da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. 8o. Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 2011, 8.

COOK, Deborah J.; MULROW, Cynthia D.; HAYNES, R. Brian. Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. *Annals of internal medicine*, 1997, 126.5: 376-380. DOI: [10.7326/0003-4819-126-5-199703010-00006](https://doi.org/10.7326/0003-4819-126-5-199703010-00006)

CORRÊA, H. L.; & CORRÊA, C. A. (2012). *Administração de Produção E Operações: Manufatura E Serviços: Uma Abordagem Estratégica* (3 ed.). Editora Atlas SA.

CORSINI, A., et al. Multivariate KPI for energy management of cooling systems in food industry. *Energy Procedia*, 2016, 101: 297-304. DOI: [10.1016/j.egypro.2016.11.038](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.038).

DACLIN, Nicolas; CHEN, David; VALLESPIR, Bruno. A methodology to develop interoperability of enterprise applications. *IFAC Proceedings Volumes*, 2006, 39.3: 621-626. DOI: [10.1016/B978-008044654-7/50231-4](https://doi.org/10.1016/B978-008044654-7/50231-4)

DAĞDEVIREN, Metin. Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of intelligent manufacturing*, 2008, 19.4: 397-406. DOI: [10.1007/s10845-008-0091-7](https://doi.org/10.1007/s10845-008-0091-7)

DAMOUR, Cédric, et al. Energy analysis and optimization of a food defrosting system. *Energy*, 2012, 37.1: 562-570. DOI: [10.1016/j.energy.2011.10.048](https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.048)

DE ALMEIDA BIOLCHINI, Jorge Calmon, et al. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. *Advanced Engineering Informatics*, 2007, 21.2: 133-151. DOI: [10.1016/j.aei.2006.11.006](https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.11.006)

DE BRUIN, Tonia, et al. Understanding the main phases of developing a maturity assessment model. In: *Australasian Conference on Information Systems (ACIS)*: Australasian Chapter of the Association for Information Systems, 2005. p. 8-19. ISBN: 0-9758417-0-X

DECANIO, Stephen J. The efficiency paradox: bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments. *Energy policy*, 1998, 26.5: 441-454. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(97\)00152-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(97)00152-3)

DE GROOT, Henri LF; VERHOEF, Erik T.; NIJKAMP, Peter. Energy saving by firms: decision-making, barriers and policies. *Energy Economics*, 2001, 23.6: 717-740. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(01\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(01)00083-4)

DEMIR, C. et al. Project management maturity model (PMMM) in educational organizations. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2010, 9: 1641-1645. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.12.379>

DIETMAIR, Anton, et al.. Model-based energy consumption optimisation in manufacturing system and machine control. *International Journal of Manufacturing Research*, 2011, 6.4: 380-401. DOI: [10.1504/IJMR.2011.043238](https://doi.org/10.1504/IJMR.2011.043238)

DJEKIC, Ilija, et al. Assessment of environmental practices in Serbian meat companies. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 2495-2504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.126>

DOBES, V. New tool for promotion of energy management and cleaner production on no cure, no pay basis. *Journal Of Cleaner Production*, 2013, v. 39, p. 255-264. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.007>.

DOMINGUES, Pedro; SAMPAIO, Paulo; AREZES, Pedro M. Integrated management systems assessment: a maturity model proposal. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 124: 164-174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.103>

ENSSLIN, Leonardo, et al. Processo de seleção de portfólio bibliográfico. *Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil*, 2010.

ERBACH, G. Understanding energy efficiency. *European Parliament European Parliamentary Research Service (EC briefing No. PE 568.361)*. Available online at: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/EPRS_BRI\(2015\)568361_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/EPRS_BRI(2015)568361_EN.pdf), 2015.

EVANGELISTA, José. *Tecnologia de Alimentos*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2005.

FALATOONITOOSI, Elham; AHMED, Shamsuddin; SOROOSHIAN, Shahryar. Expanded DEMATEL for determining cause and effect group in bidirectional relations. *The Scientific World Journal*, 2014, 3. DOI: [10.1155/2014/103846](https://doi.org/10.1155/2014/103846)

FINNERTY, Noel, et al. An energy management maturity model for multi-site industrial organisations with a global presence. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 167: 1232-1250.(a) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.192>

FINNERTY, Noel, et al. Development of a Global Energy Management System for non-energy intensive multi-site industrial organisations: A methodology. *Energy*, 2017, 136: 16-31. (b). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.049>

FISHER, David M. The business process maturity model: a practical approach for

- identifying opportunities for optimization. *Business Process Trends*, 2004, 9.4: 11-15.
- FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal Of Production Economics*, [s.l.], v. 210, p. 15-26, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>.
- FRASER, Peter; MOULTRIE, James; GREGORY, Mike. The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability. In: *IEEE international engineering management conference*. IEEE, 2002. p. 244-249. DOI: [10.1109/IEMC.2002.1038431](http://dx.doi.org/10.1109/IEMC.2002.1038431)
- FLEITER, Tobias, et al. Barriers to energy efficiency in industrial bottom-up energy demand models—A review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 2011, v. 15, n. 6, p. 3099-3111. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.03.025>.
- FLEITER, Tobias, et al. The characteristics of energy-efficiency measures – a neglected dimension. *Energy Policy*, 2012, v. 51, p. 502-513. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.054>.
- FREITAS, Henrique; JANISSEK, Raquel. Análise léxica e análise de conteúdo: técnicas complementares, sequenciais e recorrentes para exploração de dados qualitativos. *Porto Alegre: Sagra Luzzatto*, 2000.
- FU, Chao; ZHOU, Kaile; XUE, Min. Fair framework for multiple criteria decision making. *Computers & Industrial Engineering*, 2018, 124: 379-392. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.07.039>
- GARCÍA, Gabriel J., et al. A survey on FPGA-based sensor systems: towards intelligent and reconfigurable low-power sensors for computer vision, control and signal processing. *Sensors*, 2014, 14.4: 6247-6278. DOI: [10.3390/s140406247](http://dx.doi.org/10.3390/s140406247)
- GIACONE, E.; MANCÒ, S. Energy efficiency measurement in industrial processes. *Energy*, 2012, 38.1: 331-345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.054>
- GIELEN, D. EFFICIENCY, Energy. Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions. 2007
- GÖLCÜK, İlker; BAYKASOĞLU, Adil. An analysis of DEMATEL approaches for criteria interaction handling within ANP. *Expert Systems with Applications*, 2016, 46: 346-366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.10.041>
- GOMES, Eliane G.; ALENCAR, Maria de C. F. Índice de produção ponderado de atividades de bibliotecas: uma abordagem multicriterial. *Ciência da Informação*, 2005, 34.1: 9-18. DOI: [10.1590 / S0100-19652005000100002](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-19652005000100002)

GOMES, L. F. A. M.; MOREIRA, Antônio Manuel Machado. Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério. *Recitec, Recife*, 1998, 2.2: 117-139. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X975-13>

GOMES, P. DEMATEL – Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory. Technical Report. ISA95, Enterprise-Control System Integration, 2017. Disponível em:

https://scholar.google.com/scholar?hl=ptPT&as_sdt=0%2C5&q=DEMATEL+%E2%80%93+Decision-Making+Trial+and+Evaluation+Laboratory.&btnG=. Acesso em: 05.06.2018.

GORDIĆ, Dušan, et al. Development of energy management system–Case study of Serbian car manufacturer. *Energy Conversion and Management*, 2010, 51.12: 2783-2790. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.06.014>

GOTTSCHALK, Petter. Maturity levels for interoperability in digital government. *Government Information Quarterly*, 2009, 26.1: 75-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2008.03.003>

GROOT, H.; VERHOEF, E., NIJKAMP, P. Energy saving by firms: decision-making, barriers and policies. *Energy Economics*, 2001, 23: 717-740.

GUÉDRIA, Wided; CHEN, David; NAUDET, Yannick. A maturity model for enterprise interoperability. In: *OTM Confederated International Conferences" On the Move to Meaningful Internet Systems"*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. 9: 216-225. DOI:

HACKOS, Joann T. From theory to practice: Using the information process-maturity model as a tool for strategic planning. *Technical communication*, 1997, 44.4: 369-380.

HASANBEIGI, Ali, et al. Emerging energy-efficiency and CO2 emission-reduction technologies for cement and concrete production: a technical review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 2012, v. 16, n. 8, p. 6220-6238. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.019>.

HENCHION, Maeve; MCINTYRE, Bridin. Market access and competitiveness issues for food SMEs in Europe's lagging rural regions (LRRs). *British Food Journal*, 2005, 107.6. DOI: [10.1108/00070700510602183](https://doi.org/10.1108/00070700510602183)

HERMES, J. Why are Certain Countries Stronger in Energy Management? *Energy Manager Today*. <http://www.energymanagertoday.com/why-are-certain-countries-stronger-in-energy-management-086920>, 2012.

HOZDIĆ, Elvis. Smart factory for industry 4.0: A review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 2015, 7.1: 28-35. ISSN: 2067-3604

HSU, Chia-Wei, et al. Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. *Journal of cleaner production*, 2013, 56: 164-172. DOI: [10.1016/j.jclepro.2011.09.012](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.012)

IEA, I.E.A., 2012. WORLD ENERGY OUTLOOK. VAN DER HOEVEN, Maria. World energy outlook 2012. *International Energy Agency: Tokyo, Japan*, 2013.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World energy outlook 2014: Executive summary. 2014.

INTEROP. The interop network of excellence. In: *Interoperability of Enterprise Software and Applications*. Springer, London, 2006. <http://www.interop-noe.org>.

DOI: https://doi.org/10.1007/1-84628-152-0_44

INTRONA, Vito, et al. Energy Management Maturity Model: an organizational tool to foster the continuous reduction of energy consumption in companies. *Journal of cleaner production*, 2014, 83: 108-117. DOI: [10.1016/j.jclepro.2014.07.001](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.001)

ISO (International Organization for Standardization) (2006) ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (online). http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=37456. Acesso em 20 de setembro de 2018.

ISO, 2008. ISO/TC 176/SC 2/N 544R3 ISO 9000 Introduction and Support Package: Guidance on the Concept and Use of the Process Approach for Management Systems.

ISO, 2011. ISO 50001:2011 energy management systems standard—requirements with guidance for use.

JAFFE, Adam B.; STAVINS, Robert N. The energy-efficiency gap: What does it mean?. *Energy policy*, 1994, 22.10: 804-810. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(94\)90138-4](https://doi.org/10.1016/0301-4215(94)90138-4)

JOVANOVIĆ, Bojana; FILIPOVIĆ, Jovan; BAKIĆ, Vukman. Energy management system implementation in Serbian manufacturing—Plan-Do-Check-Act cycle approach. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 162: 1144-1156. DOI: [10.1016/j.jclepro.2017.06.140](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.140)

KADERA, Petr; NOVÁK, Petr. Automatic compilation of performance models for industrial Multi-Agent Systems. In: *2015 IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*. IEEE, 2015. p. 1-8. DOI: [10.1109/ETFA.2015.7301495](https://doi.org/10.1109/ETFA.2015.7301495)

KANER, Maya; KARNI, Reuven. A capability maturity model for knowledge-based decision making. *Information Knowledge Systems Management*, 2004, 4.4: 225-252.

KANG, Hyoung Seok, et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, 2016, 3.1: 111-128. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>

KARLSSON, Magnus. The MIND method: a decision support for optimization of industrial energy systems – principles and case studies. *Applied Energy*, 2011, 88.3: 577-589. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.08.021>

KEENEY, Ralph L. *Value-focused thinking*. Harvard University Press, 1996.

KHALILI, Nasrin R.; DUECKER, Susanna. Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 47: 188-198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.044>

KITCHENHAM, Barbara. *Procedures for performing systematic reviews*. Technical Report TR/SE-0401, Keele, UK, Keele University, 2004, 33.2004: 1-26.

LAHRMANN, Gerrit, et al. Inductive design of maturity models: applying the Rasch algorithm for design science research. In: *International Conference on Design Science Research in Information Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 176-191. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-20633-7_13

LASI, Heiner; FETTKE, Peter; KEMPER, Hans-georg; FELD, Thomas; HOFFMANN, Michael. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 239-242, 19 jun. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>.

LEE, Shin-Ku, et al. Application of an energy management system in combination with FMCS to high energy consuming IT industries of Taiwan. *Energy Conversion and Management*, 2011, 52.8-9: 3060-3070. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.031>

LEAL, Gabriel da Silva Serapião; GUÉDRIA, Wided; PANETTO, Hervé. Interoperability assessment: a systematic literature review. *Computers In Industry*, [S.L.], v. 106, p. 111-132, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.002>.

LEVY, Yair; ELLIS, Timothy J. A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. *Informing Science*, 2006, 9. DOI: [10.28945/479](https://doi.org/10.28945/479)

LI, Zhantao, et al. Unrelated parallel machine scheduling problem with energy and tardiness cost. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, 84.1-4: 213-226. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7657-2>

LIN, Lie-Chien, et al. A continual improvement framework with integration of CMMI and six-sigma model for auto industry. *Quality and Reliability Engineering International*, 2009, 25.5: 551-569. DOI: [10.1002/qre.988](https://doi.org/10.1002/qre.988)

LIN, Boqiang, et al. Evaluation of electricity saving potential in China's chemical industry based on cointegration. *Energy Policy*, 2012, v. 44, p. 320-330. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.059>.

LIN, Boqiang; XU, Lin. Energy conservation of electrolytic aluminum industry in China. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 2015, v. 43, p. 676-686. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.021>.

LIN, Boqiang; ZHAO, Hongli. Energy efficiency and conservation in China's chemical fiber industry. *Journal Of Cleaner Production*, 2015, v. 103, p. 345-352. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.070>.

LINSTONE, Harold A.; TUROFF, Murray. The Delphi Method Techniques and Applications. *Edited by New Jersey Institute of Technology With a Foreword by University of Southern California*, 2002. DOI: [10.2307/3150755](https://doi.org/10.2307/3150755)

MA, Chih-Ming, et al.. Energy conservation status in Taiwanese food industry. *Energy policy*, 2012, 50: 458-463. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.043>

MÄKITALO, Miika; HILMOLA, Olli-Pekka. Analysing the future of railway freight competition: a Delphi study in Finland. *Foresight*, 2012.

MATTOLI, Virgilio, et al. A universal intelligent system-on-chip based sensor interface. *Sensors*, 2010, 10.8: 7716-7747. DOI: [10.3390/s100807716](https://doi.org/10.3390/s100807716)

MAY, Gökan; TAISCH, Marco; KELLY, David. Enhanced energy management in manufacturing through systems integration. In: *IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, 2013. p. 7525-7530. DOI: [10.1109/IECON.2013.6700386](https://doi.org/10.1109/IECON.2013.6700386)

MAY, Gökan, et al. Toward energy efficient manufacturing: a study on practices and viewpoint of the industry. In: *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, 397: 1-8. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-40352-1_1

MAY, Gökan, et al. Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency. *Applied Energy*, 2015, 149: 46-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.065>

MAY, Gökan, et al. Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework. *Journal of cleaner production*, 2017, 167: 1464-1489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.191>

MAY, Gökan, et al. Energy related key performance indicators—state of the art, gaps and industrial needs. In: *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 257-267. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-41266-0_32

MCCORMACK, Kevin; LADEIRA, Marcelo Bronzo; DE OLIVEIRA, Marcos Paulo Valadares. Supply chain maturity and performance in Brazil. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2008, 13.4: 272-282. Doi: <https://doi.org/10.1108/13598540810882161>

MEDJOU DJ, Rabah; AISSANI, Djamil; HAIM, Klaus Dieter. Power customer satisfaction and profitability analysis using multi-criteria decision making methods. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2013, 45.1: 331-339. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.08.062>

MI, Xiaomei; LIAO, Huchang. An integrated approach to multiple criteria decision making based on the average solution and normalized weights of criteria deduced by the hesitant fuzzy best worst method. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 133: 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.004>

MIAH, J. H., et al. Heat integration in processes with diverse production lines: a comprehensive framework and an application in food industry. *Applied energy*, 2014, 132: 452-464. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.027>

MIAH, J. H., et al. A small-scale transdisciplinary process to maximising the energy efficiency of food factories: insights and recommendations from the development of a novel heat integration framework. *Sustainability Science*, 2015, 10: 621-637. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11625-015-0331-7>

MILLER, Ronald E.; BLAIR, Peter D. *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge university press, 2009, 2Ed. ISBN: 9780521517133

MIŠKUF, Martin; ZOLOTOVÁ, Iveta. Comparison between multi-class classifiers and deep learning with focus on industry 4.0. In: *2016 Cybernetics & Informatics (K&I)*. IEEE, 2016. p. 1-5. DOI: [10.1109/CYBERI.2016.7438633](https://doi.org/10.1109/CYBERI.2016.7438633)

MOHD, A. Energy Management-A comprehensive guide to controlling energy use. *Carbon Trust*, 2011.

MULLER, Damien CA, et al. An energy management method for the food industry. *Applied Thermal Engineering*, 2007, 27.16: 2677-2686.

NEUHAUSER, Charlotte. A maturity model: Does it provide a path for online course design. *The Journal of Interactive Online Learning*, 2004, 3.1: 1-17, p.1541-4914.

NEELIS, M, et al. Approximation of theoretical energy-saving potentials for the petrochemical industry using energy balances for 68 key processes. *Energy*, 2007, v. 32, n. 7, p. 1104-1123. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2006.08.005>.

NGAI, E. W. T., et al. Energy and utility management maturity model for sustainable manufacturing process. *International Journal of Production Economics*, 2013, 146.2: 453-464. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.12.018>

NUNES, José, et al. Predictive tool of energy performance of cold storage in agrifood industries: The portuguese case study. *Energy conversion and management*, 2014, 88: 758-767. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.09.018>

NUNES, J.; SILVA, Pedro D.; ANDRADE, L. P. Energetic efficiency evaluation in refrigeration systems of meat industries. In: *23rd International Congress of Refrigeration - ICR*. 2011. p. 21-26. ID:30001642

NUNES, J., et al. Key points on the energy sustainable development of the food industry—Case study of the Portuguese sausages industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 57: 393-411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.019>

O'CALLAGHAN, Paul W.; PROBERT, S. D. Energy management. *Applied Energy*, 1977, 3.2: 127-138. DOI: [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(77\)90024-1](https://doi.org/10.1016/0306-2619(77)90024-1)

O'DRISCOLL, Eoin; CUSACK, Donal Og; O'DONNELL, Garret E. The development of energy performance indicators within a complex manufacturing facility. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, 68.9-12: 2205-2214. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-013-4818-z>

O'SULLIVAN, John. Energy efficiency in industry, a holistic and integrated strategy from policy to results. *ECEEE 2011 SUMMER STUDY Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society*, 2011, p. 745-757.

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal Of Intelligent Manufacturing*, 2018, v. 31, n. 1, p. 127-182. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>.

PALM, Jenny, et al. An interdisciplinary perspective on industrial energy efficiency.

- Applied Energy, 2010, v.87, p. 3255-3261. DOI:10.1016/j.apenergy.2010.04.019.
- PATTERSON, Murray G. What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy policy*, 1996, 24.5: 377-390. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00017-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1)
- PAULUS, Moritz, et al. The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity markets in Germany. *Applied Energy*, 2011, v. 88, n. 2, p. 432-441. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.03.017>.
- PERRONI, Marcos G., et al. The relationship between enterprise efficiency in resource use and energy efficiency practices adoption. *International Journal of Production Economics*, 2017, 190: 108-119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.023>
- PHYLIPSEN, G. J. M.; BLOK, K.; WORRELL, E. International comparisons of energy efficiency-Methodologies for the manufacturing industry. *Energy policy*, 1997, 25.7-9: 715-725. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(97\)00063-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(97)00063-3)
- PLATTS, Ken W. A process approach to researching manufacturing strategy. *International Journal of Operations & Production Management*, 1993, 3.8: 4-17. DOI: <https://doi.org/10.1108/01443579310039533>
- PLATTS, K. W., et al. Testing manufacturing strategy formulation processes. *International Journal of Production Economics*, 1998, 56-57: 517-523. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00134-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00134-5)
- PORZIO, Giacomo Filippo, et al. Reducing the energy consumption and CO2 emissions of energy intensive industries through decision support systems—An example of application to the steel industry. *Applied energy*, 2013, 112: 818-833. DOI: [10.1016/j.apenergy.2013.05.005](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.005)
- PRANANTO, Adi; MCKAY, Judith; MARSHALL, Peter. A study of the progression of e-business maturity in Australian SMEs: Some evidence of the applicability of the stages of growth for e-business model. *PACIS 2003 Proceedings*, 2003, 5. Corpus ID: 14767316
- PRICE, Lynn, et al. The challenge of reducing energy consumption of the Top-1000 largest industrial enterprises in China. *Energy Policy*, 2010, v. 38, n. 11, p. 6485-6498. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.036>.
- PROENÇA, Diogo; BORBINHA, José. Maturity models for information systems - A state of the art. *Procedia Computer Science*, 2016, 100: 1042-1049. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.279>

PROSKURYAKOVA, Liliana; KOVALEV, A. Measuring energy efficiency: is energy intensity a good evidence base? *Applied energy*, 2015, 138: 450-459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.060>

RÖGLINGER, Maximilian; PÖPPELBUß, Jens; BECKER, Jörg. Maturity models in business process management. *Business process management journal*, 2012. 18.2: 328-346. DOI: [10.1108/14637151211225225](https://doi.org/10.1108/14637151211225225)

ROSENBERG, Eliot, et al. Smart Architecture-Bots & Industry 4.0 Principles for Architecture. 2015. Real Time - Extending the Reach of Computation, 2015, 2.2: 251-259.

RÜßMANN, Michael, et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 2015, 9.1: 54-89.

RUDBERG, Martin, et al. Strategic perspectives on energy management: a case study in the process industry. *Applied Energy*, 2013 [S.L.], v. 104, p. 487-496. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.027>.

SA, Aida, et al. Classification of Industrial Energy Management Practices: A case study of a Swedish foundry. *Energy Procedia*, 2015, 75: 2581-2588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.311>

SAATY, Thomas L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 1990, 48.1: 9-26. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

SAATY, Thomas L. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. Serie A. Matematicas*, 2008, 102: 251-318. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03191825>

SARDIANOU, E. Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece. *Journal Of Cleaner Production*, 2008, v. 16, n. 13, p. 1416-1423. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.08.002>

SAYGIN, Deger, et al. Benchmarking the energy use of energy-intensive industries in industrialized and in developing countries. *Energy*, 2011, 36.11: 6661-6673. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.025>

SAYGIN, D.; PATEL, M.K.; WORRELL, E.; TAM, C.; GIELEN, D.J.. Potential of best practice technology to improve energy efficiency in the global chemical and petrochemical sector. *Energy*, [S.L.], v. 36, n. 9, p. 5779-5790, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.05.019>.

SAYGIN, Deger, et al. Long-term energy efficiency analysis requires solid energy statistics: the case of the german basic chemical industry. *Energy*, 2012, v. 44, n. 1, p. 1094-1106. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.062>.

SLACK, Nigel. Operations Strategy. *Wiley Encyclopedia Of Management*, 2015. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118785317.weom100160>.

SCHNITZER, Hans, et al. A decision support framework considering sustainability for the selection of thermal food processes. *Journal of cleaner production*, 2014, 78: 112-120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.044>

SCHULZE, Mike, et al. Energy management in industry—a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 3692-3708. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.060>

SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, 2016, 52.1: 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>

SEETHARAMAN, A., et al. Enterprise framework for renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 54: 1368-1381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.127>

SHEN, Jung-Lu; LIU, Yong-Mei; TZENG, Yi-Lin. The cluster-weighted DEMATEL with ANP method for supplier selection in food industry. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 2012, 16.5: 567-575.

STENQVIST, Christian. Trends in energy performance of the Swedish pulp and paper industry: 1984-2011. *Energy Efficiency*, 2014, v. 8, n. 1, p. 1-17, 26. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-014-9276-4>.

SIEMENS. Smart Energy Consumption and the Smart Grid. *Siemens Group*, 2010. <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10594770>

SILVA, João Andrade. *Tópicos da tecnologia de alimentos*. São Paulo: Livraria Varela, 2000. ISBN: 8585519517

SITEK, Libor; MARTINEC, Petr. Abrasives and possibilities of increase in efficiency of abrasive waterjets. *MM Science Journal*, 2016, 01: 856–861. DOI: 10.17973/MMSJ.2016_03_201603

SOARES, S. R. *Análise multicritério com instrumento de gestão ambiental*. 2003. PhD Thesis. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC.

SOLA, Antonio Vanderley Herrero, et al. A model for improving energy efficiency in industrial motor system using multicriteria analysis. *Energy Policy*, 2011, 39.6: 3645-3654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.070>

SORRELL, Steve. The economics of energy service contracts. *Energy policy*, 2007, 35.1: 507-521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.12.009>

STERN, Nicholas; STERN, Nicholas Herbert. *The economics of climate change: the Stern review*. cambridge University press, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>

SUCIC, Boris, et al. Context sensitive production planning and energy management approach in energy intensive industries. *Energy*, 2016, 108: 63-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.129>

SUMRIT, Detcharat; ANUNTAVORANICH, Pongpun. Using DEMATEL method to analyze the causal relations on technological innovation capability evaluation factors in Thai technology-based firms. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 2013, 4.2: 81-103. ISSN 2228-9860

SURKOV, I. V., et al. The development of an integrated management system to ensure the quality stability and food safety. *Foods and Raw materials*, 2015, 3.1. DOI: [10.12737/11245](https://doi.org/10.12737/11245)

TALWAR, Rohit. Business re-engineering - A strategy-driven approach. *Long range planning*, 1993, 26.6: 22-40. DOI: [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(93\)90204-S](https://doi.org/10.1016/0024-6301(93)90204-S)

TANAKA, Kanako. Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy. *Energy policy*, 2008, 36.8: 2887-2902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.032>

TRIANNI, Andrea, et al. Energy management: A practice-based assessment model. *Applied energy*, 2019, 235: 1614-1636. DOI: [10.1016/j.apenergy.2018.11.032](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.032)

TRIANNI, Andrea, et al. Barriers to industrial energy efficiency in foundries: a European comparison. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 40: 161-176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.040>

TRIANNI, Andrea; CAGNO, Enrico. Dealing with barriers to energy efficiency and SMEs: Some empirical evidences. *Energy*, 2012, 37.1: 494-504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.005>

THOLLANDER, et al. Energy management practices in Swedish energy-intensive industries. *Journal Of Cleaner Production*, 2010, v. 18, n. 12, p. 1125-1133. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.011>.

THOLLANDER, Patrik; OTTOSSON, Mikael. An energy efficient Swedish pulp and paper industry – exploring barriers to and driving forces for cost-effective energy efficiency investments. *Energy Efficiency*, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 21-34, 10 jan. 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-007-9001-7>.

URI, Noel D. Industrial energy efficiency: A look at the data. *Socio-Economic Planning Sciences*, 1980, 14.5: 251-256. Doi: [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(80\)90012-9](https://doi.org/10.1016/0038-0121(80)90012-9)

VILAS BOAS, Cintia L. de. *Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da Barragem do Ribeirão João Leite*. 2006. 158 f. 2006. PhD Thesis. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) - Universidade de Brasília, Brasília. <http://repositorio.unb.br/handle/10482/4949>

VIKHOREV, Konstantin; GREENOUGH, Richard; BROWN, Neil. An advanced energy management framework to promote energy awareness. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 43: 103-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.012>

WANG, Shiyong, et al. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 2016, 101: 158-168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>

WEBSTER, Jane.; Watson, Richard T. Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS Quarterly*, 2002, 26.2: 13-23. DOI: <https://www.jstor.org/stable/4132319>

WENDLER, Roy. The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. *Information and software technology*, 2012, 54.12: 1317-1339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.07.007>

WERKEMA, Cristina. Métodos P. D. C. A. DEMAIC e suas Ferramentas Analíticas. 1 Ed. Campus – Elsevier, 2012, 208. ISBN: 9788535254297

WOJDALSKI, Janusz, et al. Assessment of energy consumption in a meat-processing plant - a case study. *Food and bioprocess technology*, 2013, 6.10: 2621-2629. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0924-4>

WOJDALSKI, Janusz, et al. Energy efficiency of a confectionery plant - Case study. *Journal of food engineering*, 2015, 146: 182-191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.019>

WORRELL, Ernst, et al. Energy efficiency and carbon dioxide emissions reduction opportunities in the US iron and steel sector. *Energy*, 2001, v. 26, n. 5, p. 513-536. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-5442\(01\)00017-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-5442(01)00017-2).

WORRELL, Ernst, et al. Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry. *Energy*, 2000, v. 25, n. 12, p. 1189-1214. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-5442\(00\)00042-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-5442(00)00042-6).

WORRELL, Ernst, et al.. Productivity benefits of industrial energy efficiency measures. *Energy*, 2003, v. 28, n. 11, p. 1081-1098. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-5442\(03\)00091-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-5442(03)00091-4).

WORRELL, Ernst, et al. Energy intensity in the iron and steel industry: a comparison of physical and economic indicators. *Energy*, 1997, v.25, n.7-9, p. 727-744. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(97\)00064-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(97)00064-5)

WORRELL, Ernst, et al. Industrial energy efficiency and climate change mitigation, *Energy Efficiency*, 2009, v.2, p. 109-123. DOI: 10.1007/s12053-008-9032-8

XIA, Feng, et al. Internet of things. *International journal of communication systems*, 2012, 25.9: 1101-1102. Doi: <https://doi.org/10.1002/dac.2417>

XU, Tengfang; FLAPPER, Joris; KRAMER, Klaas Jan. Characterization of energy use and performance of global cheese processing. *Energy*, 2009, 34.11: 1993-2000. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.08.014>

XU, Tengfang; KARALI, Nihan; SATHAYE, Jayant. Undertaking high impact strategies: the role of national efficiency measures in long-term energy and emission reduction in steel making. *Applied energy*, 2014, 122: 179-188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.094>

ZHANG, J, et al. Energy saving technologies and productive efficiency in the Chinese iron and steel sector. *Energy*, 2008, v. 33, n. 4, p. 525-537. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2007.11.002>.

APÊNDICE I – Artigos correlatos sobre modelos de maturidade em gestão de energia; modelos de maturidade em múltiplas áreas; e artigos sobre gestão de energia na indústria de manufatura em geral

Tabela: Artigos Correlatos da pesquisa.

#	Autor (Ano)	Artigo	Periódico
1	Abdelaziz, E. A., et al. (2011)	<i>A review on energy saving strategies in industrial sector</i>	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
2	Aflaki, S., et al. (2013)	<i>Finding and Implementing Energy Efficiency Projects in Industrial Facilities</i>	<i>Productions and Operations Management</i>
3	Antunes, et al., (2014)	<i>Towards an energy management maturity model</i>	<i>Energy Policy</i>
4	Ates, S., et al. (2012)	<i>Evaluation of corporate energy management practices of energy intensive industries in Turkey</i>	<i>Energy</i>
5	Becker, J. (2009)	<i>Developing Maturity Models for IT Management – A Procedure Model and its Application</i>	<i>BISE – Research Paper</i>
6	Boyd, G., et al. (2007)	<i>The evolution of the ENERGY STAR energy performance indicator for benchmarking industrial plant manufacturing energy use</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
7	Brunke, J. C. (2014)	<i>Energy conservation measures for the German cement industry and their ability to compensate for rising energy-related production costs</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
8	De Bruin, T. (2005)	<i>Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model</i>	<i>16th Australasian Conference on Information Systems</i>
9	DeCanio, S. (1997)	<i>The efficiency paradox: bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments</i>	<i>Energy</i>
10	Dobes, V. (2012)	<i>New tool for promotion of energy management and cleaner production on no cure, no pay basis</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
11	Domingues, P. (2016)	<i>Integrated management systems assessment: a maturity model proposal</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
12	Finnerty, N. (2017)	<i>An energy management maturity model for multi-site industrial organisations with a global presence</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
13	Finnerty, N. (2017)	<i>Development of a Global Energy Management System for non-energy intensive multi-site industrial organisations: A methodology</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
14	Fleiter, T., et al. (2011)	<i>Barriers to energy efficiency in industrial bottom-up energy demand models – A review</i>	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
15	Fleiter, T., et al. (2012)	<i>The characteristics of energy-efficiency measures – a neglected dimension</i>	<i>Energy Policy</i>
16	Giacone, E. (2011)	<i>Energy efficiency measurement in industrial processes</i>	<i>Energy</i>
17	Groot, H. et al. (2001)	<i>Energy saving by firms: decision-making, barriers and policies</i>	<i>Energy Economics</i>
18	Hackos, J.T. (1997)	<i>From theory to practice: using the information process-maturity model as a</i>	<i>Technical Communication</i>

		<i>tool for strategic planning</i>	
19	Hasanbeigi, A., et al. (2012)	<i>Emerging energy-efficiency and CO2 emission-reduction technologies for cement and concrete production: A technical review</i>	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
20	Kaner, M. (2004)	<i>A Capability Maturity Model for Knowledge-Based Decision making</i>	<i>Information Knowledge Systems Management</i>
21	Lin, B., et al. (2012)	<i>Evaluation of electricity saving potential in China's chemical industry based on cointegration</i>	<i>Energy Policy</i>
22	Lin, B.; Lin, X. (2014)	<i>Energy conservation of electrolytic aluminum industry in China</i>	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
23	Lin, B.; Zhao, H. (2014)	<i>Energy efficiency and conservation in China's chemical fiber industry</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
24	Neelis, M., et al. (2007)	<i>Approximation of theoretical energy-saving potentials for the petrochemical industry using energy balances for 68 key processes</i>	<i>Energy</i>
25	Palm, J. (2010)	<i>An interdisciplinary perspective on industrial energy efficiency</i>	<i>Applied Energy</i>
26	Paulus, M. (2010)	<i>The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity markets in Germany</i>	<i>Applied Energy</i>
27	Phylipsen, G.J.M. (1997)	<i>International comparisons of energy efficiency - Methodologies for the manufacturing industry</i>	<i>Energy Policy</i>
28	Price, L., et al. (2010)	<i>The challenge of reducing energy consumption of the Top-1000 largest industrial enterprises in China</i>	<i>Energy Policy</i>
29	Roglinger, M. (2015)	<i>Maturity models in business process management</i>	<i>Business Process Management Journal</i>
30	Rudberg, M., et al. (2013)	<i>Strategic perspectives on energy management: A case study in the process industry</i>	<i>Applied Energy</i>
31	Sardianou E. (2007)	<i>Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
32	Saygin, D., et al. (2011)	<i>Benchmarking the energy use of energy-intensive industries in industrialized and in developing countries</i>	<i>Energy</i>
22	Saygin, D., et al. (2012)	<i>Long-term energy efficiency analysis requires solid energy statistics: The case of the German basic chemical industry</i>	<i>Energy</i>
34	Saygin, D., et al. (2011).	<i>Potential of best practice technology to improve energy efficiency in the global chemical and petrochemical sector</i>	<i>Energy</i>
35	Sorrell, S. (2006)	<i>The economics of energy service contracts</i>	<i>Energy Policy</i>
36	Stenqvist, C. (2012)	<i>Energy efficiency in energy-intensive industries — an evaluation of the Swedish voluntary agreement PFE</i>	<i>Energy Efficiency</i>

37	Stenqvist, C. (2015)	<i>Trends in energy performance of the Swedish pulp and paper industry: 1984 – 2011</i>	<i>Energy Efficiency</i>
38	Thollander, P. (2008)	<i>An energy efficient Swedish pulp and paper industry – exploring barriers to and driving forces for cost-effective energy efficiency investments</i>	<i>Energy Efficiency</i>
39	Thollander, P. (2010)	<i>Energy management practices in Swedish energy-intensive industries</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
40	Trianni, A., et al. (2012)	<i>Barriers to industrial energy efficiency in foundries: A European comparison</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
41	Worrell, E. et al. (2001)	<i>Energy efficiency and carbon dioxide emissions reduction opportunities in the US iron and steel sector</i>	<i>Energy</i>
42	Worrell, E. et al. (1997)	<i>Energy intensity in the iron and steel industry: a comparison of physical and economic indicators</i>	<i>Energy Policy</i>
43	Worrell, E. et al. (2000)	<i>Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry</i>	<i>Energy</i>
44	Worrell, E., et al. (2004)	<i>Productivity benefits of industrial energy efficiency measures</i>	<i>Energy</i>
45	Worrell, E., et al. (2008)	<i>Industrial energy efficiency and climate change mitigation</i>	<i>Energy Efficiency</i>

APÊNDICE II – Frequência das palavras encontradas na formação dos aspectos na matriz de avaliação MIGE

Análise de Frequência Perspectives				Análise de Frequência Aspects			
Perspective	Food Industry	Energy Management	Total	Aspect	Food Industry	Energy Management	Total
Decisão	1	5	6	Benefícios (preocupações, poupança de energia)	0	3	3
Normativo	0	5	5	Estratégia	4	5	9
Econômico	6	13	19	Capacitação (implementação de projetos de EE)	1	1	2
Medição	4	6	10	Recurso energético	0	1	1
Gerenciamento	2	4	6	Sistema de energia	0	1	1
Técnicas	1	4	5	Normativas, Legislação e padronização	3	5	8
Imprevisibilidade e Riscos	2	2	4	Gestão e organização	6	10	15
Comportamental	1	2	3	Financeiros	10	12	22
Tecnológica	0	4	4	Informação (falta de, know-how, baixa difusão, comunicação)	13	8	21
Processo	0	3	3	Medição	14	10	24
Estratégico	4	10	14	Decisão	4	6	10
Alternativa	0	3	3	Produto	0	2	2
Total	21	61	82	Ferramentas e Técnicas	12	11	23
Análise de Frequência Concerns				Análise de Frequência Categorias			
Concern	Food Industry	Energy Management	Total	Categories	Food Industry	Energy Management	Total
Falta de recursos energéticos	0	2	2	Gerenciamento	4	3	7
Imprevisibilidade preço da energia	0	2	2	Normativo	1	1	2
Falta de dados/informação e tecnologia	6	9	15	Comunicação	0	1	1
tecnologia	6	3	9	Informação	1	2	3
Econômicos	6	3	9	Econômico/Financeiro	5	7	12
Indicadores	7	0	7	Tecnologia	3	4	7
Gestão/Gerenciamento	5	3	8	Técnicas	1	1	2
Comportamental	5	1	6	Riscos	2	1	3
Governamental	2	0	2	Comportamental	1	3	4
Normativo	6	1	7	Organização	1	3	4
Falta de cooperação	0	1	1	Estratégico	1	1	2
Riscos de interferência na produção	0	2	2	Medição	2	3	5
Ferramentas	4	1	5	Total	22	30	52
Estratégico	0	1	1				
Processos	1	1	2				
Total	48	30	78				
Análise de Frequência Características							
Característica	Food Industry	Energy Management	Total				
Monitoramento	2	1	3				
Aspectos financeiros	1	12	13				
Políticas	1	4	5				
Aspectos organizacionais	3	7	10				
Tecnologias	6	10	16				
Falta de Informação	2	3	5				
Total	15	37	52				

APÊNDICE III – Frequência das palavras analisadas que definiram os atributos de
avaliação

Atlas Exported Data		Total	Energy Management	Food Industry
Activity	activities	277	151	180
	activity	116	53	72
	agency	21	18	5
Analyze	analysis	1281	696	663
	analyze	86	50	45
	analyzed	217	94	157
	analyzing	92	45	59
Assessment	assess	103	57	64
	assessment	252	118	180
Audit	audit	167	135	57
	audits	104	70	52
Barrier	barrier	238	232	129
	barriers	913	809	355
Base	base	108	69	44
	baseline	109	53	57
Benchmark	benchmark	128	113	25
	benchmarking	155	103	81
	bottom-up	158	121	39
Categories	categories	113	69	62
	category	86	48	47
	chain	101	26	84
	characteristics	284	205	108
	classification	87	70	26
	communication	92	53	55
Company	companies	824	528	412
	company	553	350	297
	competitiveness	69	37	35
Cost	cost	825	583	282
	cost-effective	185	171	29
	costs	951	831	230
	criteria	225	94	170
Decision	decision	328	156	224
	decision-making	90	55	58
	decisions	130	82	77
	design	228	84	162
Development	develop	148	67	99
	developed	323	168	188
	developing	146	84	74
	development	465	243	281
	drivers	89	41	60
Economic	economic	449	310	192
	economics	65	50	23
	economy	94	74	27
Efficiency	efficiency	3160	1999	1721
	efficiency	467	422	56
	efficient	369	220	209

	energy	12983	8255	6237
	energy-efficiency	143	126	36
	energy-efficient	211	187	90
	energy-intensive	213	189	43
	energy-related	104	60	56
	energy-saving	177	161	33
Environment	environment	136	63	83
	environmental	819	224	638
	equipment	409	209	222
	evaluation	316	176	193
Facility	facilities	181	86	109
	facility	163	100	75
Factory	factories	115	17	102
	factory	204	21	191
Firm	firm	118	106	54
	firms	154	131	46
	firms	112	112	0
	food	427	37	393
	framework	427	152	330
	gap	123	76	76
	goals	107	44	71
	implementation	561	255	360
Improvement	improvement	589	337	328
	improvements	284	196	110
	index	99	45	64
	indicator	260	97	190
Industry	industrial	1338	996	500
	industries	604	400	244
	industry	2236	1550	859
	influence	153	98	70
	information	724	541	290
	initiatives	84	53	40
	innovation	103	76	28
Investment	investment	436	375	119
	investments	403	374	87
	key	207	100	134
	knowledge	243	139	132
	machine	147	8	144
	maintenance	170	86	93
	management	2413	1026	1779
Manager	manager	118	78	51
	managers	113	59	67
	manufacturing	903	297	724
	maturity	275	93	268
Measure	measure	254	181	96
	measured	91	28	67
	measurement	169	71	135

	measures	928	655	362
	measuring	67	38	40
	meat	233	3	230
Method	method	377	153	247
	methodology	230	114	135
	methods	220	92	146
	milk	81	6	75
Model	model	738	394	376
	modeling	113	60	55
	models	399	241	175
	monitoring	276	135	179
Objective	objective	98	26	79
	objectives	195	61	159
	Organization	259	167	190
	organizational	191	116	110
	organizations	406	128	309
	output	235	156	100
	performance	902	295	712
Plan	plan	153	85	87
	planning	160	75	108
Policy	policies	393	334	99
	policy	615	495	215
Practice	practical	93	44	62
	practice	255	122	148
	practices	496	173	381
Problem	problem	188	93	112
	problems	140	74	87
	procedures	92	55	49
Process	process	1902	923	1093
	processes	953	597	481
	processing	317	47	275
Produce	produce	116	72	49
	produced	179	137	47
Product	product	575	322	272
Produce	production	2162	1372	955
	productivity	224	184	49
Product	products	544	290	289
	quality	313	126	201
Report	report	182	154	51
	reported	254	230	47
	reporting	77	54	34
Requirements	require	98	50	52
	required	245	140	119
	requirements	304	107	217
	requires	119	69	63
	research	723	384	458
Resources	resource	240	41	207
	resources	216	106	144

	sausages	90	0	90
Saving	saving	577	479	127
	savings	901	709	219
Sector	sector	887	650	297
	sectors	427	348	117
Standard	standard	230	133	119
	standards	160	89	104
Statistics	statistical	128	82	53
	statistics	262	228	62
Strategy	strategic	168	120	82
	strategies	117	41	81
	strategy	213	127	107
	supply	290	199	109
	support	323	150	224
System	system	1038	448	645
	systematic	87	52	71
	systems	801	312	570
Technical	technical	338	269	100
	techniques	102	42	64
Technology	technological	136	73	67
Technology	technologies	859	675	290
	technology	768	620	226
	tool	237	69	192
Tool	tools	235	82	200
	training	97	52	57
ISO 50001	50001	110	35	93
ISO 50001	50001)	4	4	2
	50001-2012	3	0	3
	50001-energy	1	0	1

APÊNDICE IV – Fichas de Avaliação dos Atributos do modelo EM3FI

Indicadores (PE)	Refere-se ao uso de indicadores para monitorar e controlar os aspectos econômicos do uso de energia nos processos produtivos da empresa			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Avaliar os indicadores definidos pela organização para monitoramento do processo produtivo no contexto energético	Verificar a influência de indicadores econômicos de energia na tomada de decisão	Avaliar o intercâmbio de indicadores econômicos e energéticos relacionados aos processos produtivos, e o seu impacto nas áreas táticas, estratégicas e operacionais	Indicadores econômicos do uso da energia devem ser parte de um sistema de gestão energética para controle da operação
Resultado Esperado	A organização tem indicadores que servem para monitorar custos relacionados a energia, mas não necessariamente são especificamente designados para este fim	Indicadores devem ser uma ferramenta para tomada de decisão em relação a ações que impactem no consumo de energia ou redução de gastos com a mesma	Espera-se neste nível que indicadores econômicos do consumo de energia devem ter impacto direto em áreas não necessariamente relacionadas a gestão de energia	O sistema de gestão de energia deve prever o uso de indicadores para monitorar e controlar o consumo energético no processo produtivo da empresa
Indicador de Avaliação	(i) indicadores econômicos do consumo energético	(i) Presença de indicadores nos relatórios; (ii) presença dos indicadores econômicos relacionados ao consumo de energia	(i) Indicadores econômicos relacionados ao consumo de energia são adotados globalmente na empresa	(i) O SGE prevê o uso de indicadores para controle e monitoramento dos processos produtivos
Investimento (PE)	Relacionado ao suporte gerencial, melhora o apoio à decisão para investimentos em eficiência energética. O acesso a informações corretas diminui a incerteza e os riscos associados, melhora as atividades de acompanhamento, como fatores predominantes na melhoria dessas decisões de investimento.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar como os investimentos são planejados e gerenciados: (a) apresentar informações sobre os investimentos.	Os processos principais que afetam de forma significativa o uso da energia são definidos, para nortear os investimentos.	O controle dos investimentos deverá estar documentado através de procedimentos. Os processos que afetam significativamente os investimentos em energia devem ser definidos.	Caracterizar os principais elementos do planejamento energético que compõem as questões de investimento em gestão de energia no processo. As questões ambientais devem ser consideradas nesta etapa dos investimentos no processo, melhorando o aspecto sócio ambiental da empresa.
Resultado Esperado	Os investimentos nos processos sejam monitorados.	Plano de investimentos no processo estar definido.	Controle das informações que estão ligadas a gestão de energia, no que diz respeito ao processo. Deve estar alinhado ao planejamento de investimentos.	As informações relacionadas a gestão de energia no processo são documentadas e alinhadas com os projetos de investimentos, relacionando as questões ambientais na minimização das consequências da produção, no uso da energia.
Indicador de Avaliação	a) Verificar como são feitos os planejamentos dos investimentos no processo b) Apresentar as informações sobre o planejamento de investimentos;	a) projetos de investimentos realizados no processo através de um planejamento; b) existe um planejamento referente a questão energética no processo de produção	a) colaboração entre os gestores do processo; b) estrutura de planejamento de investimentos em gestão de energia disseminada em forma de informação para todos os envolvidos.	a) Projetos realizados através do planejamento energético no processo; b) Projetos de melhorias ambientais alcançadas com a eficiência energética

Monitoramento (PE)	Relacionado a análise do consumo de energia de máquinas, processos de suporte e fabricação, para caracterizar e reduzir a energia usada no processo de fabricação.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar qual forma de monitoramento está sendo realizado e como melhorar os indicadores de energia.	Verificar a existência de ferramentas e relatórios para auxiliar no monitoramento dos processos	Verificar quais as ferramentas são aplicadas e os relatórios gerados no controle dos processos da gestão de energia.	Monitorar os processos de produção desde os principais até os secundários para conhecer o consumo energético da cadeia produtiva e melhorar os indicadores de eficiência energética.
Resultado Esperado	Realizar monitoramento no processo produtivo, como forma de melhoria do processo em si e identificar como fazer as melhorias na eficiência energética.	a) Verificar os indicadores utilizados no monitoramento dos processos e os resultados encontrados b) Frequência do monitoramento e relatórios preenchidos.	a) A partir dos indicadores monitorados nos processos, esses resultados são levados em consideração em uma auditoria e no planejamento de melhorias; b) Preenchimento dos relatórios de forma satisfatória.	a) Monitoramento e análise estão documentados, conectando o planejamento do monitoramento e a calibração dos equipamentos, aliados ao plano de indicadores de energia.
Indicador de Avaliação	a) Monitoramento do processo produtivo; b) Monitoramento do uso da energia na produção; c) Relatórios gerais de consumo	a) Ferramentas de monitoramento; b) Processos monitorados; c) Indicadores de energia ou de eficiência energética.	a) Ferramentas de monitoramento através de documentação; b) Processos monitorados com documentação comprobatória; c) Indicadores de eficiência energética documentados.	a) Ferramentas de monitoramento através de documentação; b) Processos monitorados com documentação comprobatória; c) Indicadores de eficiência energética documentados.
Gestão (PO)	Define as funções de planejamento, organização e controle do processo de transformação e sua utilidade no fornecimento de um bem ou serviço aos clientes.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar como a empresa está disponível e interessada em realizar a gestão de energia na fábrica. Com um papel importante relatado ao gestor em disseminar as oportunidades de melhoria na área de energia.	Verificar a existência de uma política energética que considera requisitos legais baseado em um planejamento.	Os requisitos legais e políticas de gestão de energia devem estar documentados e ser de conhecimento das equipes para identificação de possíveis melhorias.	Verificar se a organização está aliada a gestão para facilitar as ações necessárias para gestão de energia e aplicação das políticas baseadas na norma ISO50001.
Resultado Esperado	Habilidade em um primeiro momento do gestor em disseminar a importância da eficiência energética, por se tratar de uma nova realidade para empresa.	Aliado a habilidade do gestor, existir uma política de gestão de energia com base em normas regulamentadoras como a ISO 50001.	a) Política energética planejada e revisada que esteja documentada e com as oportunidades de melhoria.	a) Política energética planejada e revisada que esteja documentada e com as oportunidades de melhoria, incluídas no planejamento estratégico da empresa. As políticas ambientais devem ser aliadas as políticas energéticas.
Indicador de Avaliação	a) Existe algum tipo de medição específico para o consumo energético da fábrica; b) Algum dos colaboradores tem entre as suas atribuições o controle da eficiência energética dos equipamentos; c) A fábrica segue algum tipo de política ou norma estabelecida para gestão da energia.	a) Identificação dos requisitos legais; b) Identificação das políticas necessárias para um programa de gestão de energia que traga resultados para empresa	a) Documento formal da política da gestão de energia nos processos; b) Requisitos legais e políticos que contemplem o plano energético	a) Documentação das ações efetivas da gestão na política energética da empresa; b) Conhecimento e documentação dos aspectos ambientais relacionados a energia; c) Definição da função do gestor de energia

ISO 50001 (PO)	Especifica requisitos aplicáveis ao uso e consumo de energia, incluindo medição, documentação e relatórios, design e práticas de aquisição de equipamentos, sistemas, processos e pessoal que contribuem para o desempenho energético.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar a existência de um Sistema de Gestão de Energia (SGE), caso ocorra avaliar os procedimentos realizados.	Avaliar os procedimentos existentes relacionados ao SGE estabelecidos, (requisitos, ações, políticas, etc)	Todos os requisitos do SGE, neste nível são conhecidos e descritos em manual.	Todos os requisitos do SGE, neste nível são conhecidos e descritos em manual. A documentação está formalizada e deve levar em conta os dados ambientais no SGE, com a melhoria do escopo, com as revisões feitas de forma semestral.
Resultado Esperado	Conhecimento da Norma ISO 50001 para produção e aplicação de alguns requisitos.	Aplicação dos requisitos da Norma ISO 50001 relacionados ao processo e a organização (documentação; implementação; requisitos legais)	Adotar o manual do SGE com aplicação dos requisitos da organização e da política energética.	Adotar o manual do SGE com aplicação dos requisitos da organização e da política energética. As decisões devem ser baseadas em dados de energia e os resultados sobre o desempenho energético se refletem no planejamento estratégico.
Indicador de Avaliação	a) Conhecimento e aplicação de parte da Norma ISO 50001; b) Requisitos aplicados; c) Tipos de registros feitos.	a) Conhecimento e aplicação dos requisitos da norma ligados ao processo; b) Existência de documentação sobre o controle dos requisitos.	a) Utilização do manual com as ações descritas; b) O manual deverá ser conhecido pelos colaboradores e prever ações de melhoria na gestão de energia, pois devem ocorrer revisão anuais do mesmo.	a) As ações do manual devem ser seguidas no que diz respeito aos requisitos legais, políticos e organizacionais; b) O escopo do manual deve ser revisto de forma semestral com mudança de ações para melhoria da gestão de energia, quando os resultados não estiverem satisfatórios para organização.
Relatórios (PO)	Relatórios neste quadrante compreendem a documentação de dados referentes a operação do processo produtivo para definir um padrão operacional para atividades energéticas			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se existe um padrão de operação na organização para atividades relacionadas a gestão de energia, e orientados através de relatórios	Verificar se relatórios relacionados a energia sugerem um padrão de operação, indicando lacunas para processos produtivos	Verificar se a equipe de gestão de energia gera relatórios operacionais de resultados energéticos dos processos produtivos, a fim de indicar lacunas, melhorias e dar suporte as demais áreas.	Avaliar o uso de relatórios energéticos como padrão operacional na empresa
Resultado Esperado	Neste nível não espera-se da organização nenhum tipo de padrão de operação relacionado a atividades de gestão de energia	Espera-se neste nível que relatórios para controle e padronização de operação sejam desenvolvidos, não necessariamente pelo setor responsável pela gestão de energia.	(i) Relatórios de operação energética (ii) Manuais padrão de atividades energéticas	Relatórios neste nível são identificados como ferramenta padrão no SGE e possuem papel estratégico na padronização e melhoria de processos.
Indicador de Avaliação	(i) Relatórios prévios (ii) Áreas envolvidas no desenvolvimento de tais relatórios	Relatórios energéticos, neste caso desenvolvido pelo setor de gestão de energia, são uma ferramenta para melhoria de processos, e adotados de forma global na empresa	(i) Relatórios desenvolvidos pelo gestor de energia (ii) Uso de relatórios para melhorias, identificação de lacunas e controle da operação	(i) Presença de relatórios como ferramentas no SGE (ii) Relatório como ferramenta estratégica para controle de assuntos energéticos no processo produtivo

Suporte (PO)	Suporte a decisão para investimentos em eficiência energética			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar a existência de suporte no processo por parte da organização.	Como ocorre o suporte no processo para tomada de decisão e este suporte ocorre para ações em energia.	Existir ações de suporte para a tomada de decisão no processo por parte da organização em ações de gestão de energia específicas.	O suporte a decisão no processo para gestão de energia deve sofrer ações específicas de melhorias e que estejam em acordo com a norma ISO 50001.
Resultado Esperado	A organização oferecer suporte para os processos para decisão.	Organização além de oferecer o suporte para decisão no processo, avaliar a questão energética com o suporte em planejamentos para melhorias.	O suporte da organização estar estabelecido na gestão de energia em união com os processos e prever planos de ação para gestão de energia.	Os resultados alcançados por este suporte no processo por parte da organização deve estar inserido em um plano de gestão de energia elaborado em conjunto com outras atividades.
Indicador de Avaliação	(i) Possuir um suporte a decisão nos processos por parte da organização; (ii) suporte para diminuir o grau de incerteza nas ações tomadas.	(i) O suporte da organização deve prever a gestão de energia como um foco nas decisões tomadas em relação aos processos.	(i) Suporte para elaboração de um planejamento na gestão de energia, que possibilite ações para melhorias nos processos da organização.	(i) Com um plano de gestão de energia implementado, o suporte deve monitorar as ações que fazem parte do planejamento e melhoria contínua.
Custos (EE)	Os custos em sua grande maioria estão relacionados a produção e devem otimizar a produção para redução do consumo energético.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar como são planejadas as estratégias para os custos do processo de produção e como são gerenciados: (a) apresentar informações sobre estratégias, políticas e regras para os custos.	Conhecer de forma geral as estratégias para os custos do processo de produção e como são destinados: (a) apresentar informações sobre custos do processo e destinação para gestão de energia.	Caracterizar os principais elementos da estratégia de custos como: custos principais, custos fixos e variáveis e custos com perdas;	Descrever e analisar os principais elementos da estratégia de custos como: custos principais, custos fixos e variáveis e custos com perdas;
Resultado Esperado	A estratégia em relação aos custos sejam planejadas.	A estratégia em relação aos custos sejam implementadas.	A estratégia em relação aos custos influenciem os demais setores com resultados alcançados; (a) conhecer os recursos destinados e aplicados na gestão de energia	A documentação dos custos levantados como forma de estratégia para influenciarem na melhoria dos resultados; (a) documentar e divulgar os recursos destinados e aplicados na gestão de energia no processo de produção.
Indicador de Avaliação	(a) Planejamento dos custos (b) Custos integrados ao processo produtivo. (c) Custos integrados a produção e gestão de energia	(a) Aplicação dos custos levantados; (b) Custos gerados no processo produtivo; (c) Custos integrados a produção e gestão de energia	(a) Indicadores de custos do processo como: fixos, variáveis, etc; (b) Custos que foram gerados e aplicados diretamente na melhoria da gestão de energia	(a) Histórico dos indicadores de custos do processo como: fixos, variáveis, etc para serem avaliados e melhorados; (b) Custos aplicados diretamente na melhoria da gestão de energia.

Relatórios (EE)	Os relatórios gerados devem ser reportados aos gerentes para acompanhamento dos resultados na produção e levantamento de possíveis melhorias na gestão de energia.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Conhecer os relatórios gerados no processo produtivo como parte da estratégia da empresa	Conhecer os relatórios existentes gerados no processo produtivo que tenham relação com a gestão de energia e estratégia da empresa	Avaliar as informações dos relatórios gerados no processo produtivo que tenham relação com a gestão de energia e estejam alinhados com a estratégia da empresa	Verificar se os resultados das informações geradas nos relatórios dos processos contribuem e podem servir como base para melhora da eficiência energética da fábrica.
Resultado Esperado	Os relatórios detenham informações relevantes para a produção e que possam ser auxiliares na gestão de energia.	Adoção das informações dos relatórios como estratégia de avanço na gestão de energia no processo de produção.	Melhoria da qualidade das informações geradas nos relatórios como estratégia e avanço na gestão de energia no processo de produção.	Melhoria da qualidade das informações e da utilização dos relatórios, unindo os relatórios da gestão de energia com o processo.
Indicador de Avaliação	a) Quais os relatórios gerados no processo produtivo;	(a) Relatórios com informações relativas apenas ao processo produtivo; (b) esses relatórios possuem dados que auxiliem na gestão de energia e que possam ser utilizados como suporte nesta área	a) Análise das informações dos relatórios do processo produtivo; (b) dados dos relatórios usados como base para melhoria da gestão de energia e como suporte no avanço de maturidade	a) Aplicação da totalidade dos dados gerados nos relatórios do processo; (b) união dos dados dos relatórios processo e energia usados como bases para o avanço de maturidade.
Comunicação (EO)	Refere-se principalmente a interligação de sistemas, pessoas, processos e equipamentos preocupando-se com protocolos e interface			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar como são comunicados os dados, resultados e especificidades dos processos pela empresa.	Verificar se a comunicação entre os setores segue modelos ou normas padrão; (a) possuem protocolos ou normas para comunicação.	Verificar se a comunicação entre os setores é vista por todos os envolvidos; (a) Assuntos relacionados a gestão de energia fazem parte da comunicação entre os setores da empresa.	Qualidade da comunicação em relação aos resultados; (a) Aumento da importância das atividades relacionadas a gestão de energia que fazem parte da comunicação entre os setores da empresa.
Resultado Esperado	Comunicação eficiente das capacidades e características de uma empresa	A empresa possui protocolo padrão para efetuar comunicações internas (entre os setores produtivos) e externa (demais áreas).	Comunicação seja recebida por todos os setores envolvidos ou impactados e a gestão de energia tenha seus resultados e mudanças comunicados com os demais assuntos.	Comunicação dos resultados da gestão de energia seja perceptível a todos os setores para entendimento dos colaboradores da importância da melhoria na gestão do recurso e na otimização da sua utilização.
Indicador de Avaliação	(a) Comunicação realizada é interna (setor de produção), externa (setor de gerência e demais áreas) ou ambas; (b) que tipo de comunicação é gerada pela empresa entre as áreas (resultados, falhas, melhorias, etc); (c) verificar os obstáculos gerados nesta comunicação.	(a) Protocolo de Comunicação; (b) linguagem da comunicação é compreendida entre todos os setores; (c) Possuem regras de comunicação interna e externa.	(a) Estratégia colaborativa na comunicação de todas as informações relevantes; (b) Dados do processo e gestão de energia; (c) revisão dos comunicados.	(a) Comunicação de indicadores específicos de gestão de energia; (b) Dados do processo da melhoria da gestão de energia; (c) Comunicados específicos para a energia de acordo com os setores envolvidos.

Informação (EO)	Utilização da informação como estratégia da empresa para disseminar o conhecimento sobre gestão de energia e garantir que os colaboradores compreendam sua importância para o resultado econômico da organização			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar como a empresa utiliza a informação para comunicar a sua estratégia em relação a gestão de energia.	Verificar as informações internas geradas relacionadas a estratégia e conhecimento da gestão de energia por parte dos colaboradores da produção.	Verificar se a informação através da estratégia da empresa possui foco no direcionamento da melhoria da gestão de energia; (a) possui um protocolo para preencher estas informações para melhor compreensão de todos os envolvidos compreendido por qualquer sistema que não tenha sido criado para isto.	Aplicar a estratégia baseada na informação que possui os direcionadores na empresa na gestão de energia; (a) avaliar os resultados das informações que estão baseadas como estratégia na gestão de energia.
Resultado Esperado	Adoção de estratégias por parte da empresa para informar como trabalhar a gestão de energia.	Ações feitas pela empresa para disseminar a gestão de energia.	Ações feitas pela empresa devem obter retorno na melhoria da gestão de energia.	Resultados das melhorias com base nas ações aplicadas na gestão de energia e disseminação da informação.
Indicador de Avaliação	(a) Adoção de estratégias para informar procedimentos, processos e resultados; (b) Existe informação sobre gestão da energia como uma das estratégias da empresa;	(a) Ações elaboradas voltadas para gestão de energia na empresa; (b) Qual o tipo de informação existente na empresa voltada para gestão de energia;	(a) Implementação de ações que foram informadas para gestão de energia.	(a) Resultados das ações em gestão de energia; (b) Melhorias realizadas em relação a falhas no processo de aplicação da estratégia.
Custos (PE)	Custos envolvendo o uso de energia em processos produtivos			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Avaliar a capacidade de controle da organização sobre os custos relacionados ao uso de energia no processo produtivo	Verificar se existe controle de custos de energia por processo.	Verificar se a organização usa o controle do uso energético por processos para tomada de decisão na gestão de energia	Avaliar se o controle de custos relacionados a energia no processo produtivo, assim como o uso de tais dados para tomada de decisão, fazem parte do sistema de gestão de energia adotado na empresa.
Resultado Esperado	Neste nível a organização não monitora os custos relacionados a energia individualmente por processos, mas sabe o custo efetivo do uso de energia como um todo	Espera-se neste grau de maturidade que a organização tenha controle do custo do uso de energia por processo, permitindo avaliação focal de eficiência energética.	Neste nível gestores envolvidos com a gestão de energia devem ter apoio em dados de custos relacionados a energia para tomada de decisão, como para melhorias de eficiência energética.	O controle de custos energéticos por processo é uma prática recorrente no SGE da organização.
Indicador de Avaliação	a) Documentação de dados relacionados ao custo energético na organização	a) Monitoramento do uso energético por processos b) Documentação de dados do consumo energético	a) Uso de indicadores econômicos energéticos para tomada de decisão gerencial	a) Sistema de gestão de energia com controle de custos por processo.

Decisão (EO)	Este atributo refere-se as decisões de gestores em investimento, preocupação, controle ou qualquer outro elemento relacionado a energia. Decisão é um atributo comportamental e está diretamente relacionado a cargos mais altos na hierarquia da organização, pois são os colaboradores que efetivamente tem poder para influenciar mudanças ou alocação de recursos.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar a frequência de tomadas de decisões favoráveis a assuntos energéticos	Verificar como os responsáveis pela tomada de decisão abordam as questões dos assuntos energéticos	Verificar como a decisão é feita pelos responsáveis para investimentos relacionados a gestão de energia	Avaliar se a organização oferece suporte a decisões que implicam em alocação de recursos e investimento em melhorias de elementos relacionados a energia
Resultado Esperado	Verifica-se poucas decisões relacionadas ao benefício da causa energética na organização	Colaboradores preocupados com a causa energética tem pouco poder de influência em caso de decisão de investimento, por exemplo.	Gestores de energia tem a influência atestada e são responsáveis por decisões de investimento, melhoria estratégica e outros elementos relacionados a energia.	Pode-se observar como política da organização a autonomia de gestores de energia para tomarem decisões relacionadas as causas energéticas
Indicador de Avaliação	(i) Autonomia de responsáveis por energia (ii) investimentos em causas energéticas	(i) Poder de influência dos responsáveis por energia	(i) Decisão de gestores por investimentos (ii) probabilidade de influência do gestor de energia sobre os demais setores da empresa	(i) Ferramentas de suporte a tomada de decisão (ii) Influência do gestor de energia sobre os demais setores da empresa
Gestão (EO)	Refere a participação da gestão no posicionamento estratégico da empresa em relação as práticas de gestão de energia			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Avaliar se assuntos energéticos estão em pauta de discussões e reuniões estratégicas da alta gestão	Verificar se a organização tem designado um gestor específico para área de energia, de modo que este agente tenha participação direta nas estratégias de gestão energética	Verificar a influência do gestor de energia sobre a estratégia de gestão de energia, de modo que suas recomendações tenham impacto direto nos demais setores da organização	Avaliar se existe um sistema de gestão energética inserido na estratégia operacional na organização
Resultado Esperado	Espera-se neste nível que o assunto energia seja pauta em reuniões estratégicas pela alta direção, não necessariamente relacionado a um gestor de energia	Neste nível a organização deve ter designado um gestor energético, responsável por garantir o posicionamento estratégico em relação a gestão de energia	Neste nível o gestor de energia deve ter participação direta em outros setores, principalmente nos ligados a produção, para alinhar os interesses energéticos da organização com a operação das demais áreas	Espera-se que a organização tenha definido um sistema de gestão de energia capaz de garantir a eficiência estratégica energética na organização.
Indicador de Avaliação	(i) Pautas energéticas em reuniões da alta direção (ii) Conhecimento de assuntos energéticos por colaboradores de altos cargos	(i) Existência de um gestor designado especificamente para assuntos energéticos (ii) Participação do gestor de energia na estratégia energética	(i) Intercâmbio de conhecimento energético entre áreas a partir do gestor de energia (ii) participação do gestor energético em outros setores da empresa	(i) Existência de um SGE (ii) Conhecimento e prática da norma ISO 50001

Indicador (MO)	Qualquer tipo de indicador para monitoramento do desempenho da organização em relação a elementos da gestão da energia.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar a existência de indicadores específicos para a avaliação do desempenho da organização em relação a elementos da gestão de energia	Identificar o uso de indicadores de desempenho para monitorar a aplicação de práticas de gestão energética na organização.	Existem na organização o uso de indicadores para verificar o desempenho da organização em relação a atividades de gestão de energia.	Espera-se nesse nível que a organização utilize indicadores alinhados a normas e regulamentações para medir o desempenho operacional de seus colaboradores em atividades de gestão de energia. Identifica-se também que tais indicadores devem estar inseridos em um sistema de gestão de energia, com acesso irrestrito a gestores que procuram oportunidades de melhoria e identificação de falhas relacionadas ao âmbito energético na organização.
Resultado Esperado	Existem poucos, ou nenhum indicador designado para monitorar o desempenho da organização em relação a práticas da gestão de energia. O uso desses indicadores é limitado ou inexistente.	A organização possui indicadores bem definidos e documentados e os utiliza para monitorar a sua capacidade de gerenciamento energético. Não é esperado que nesse nível a organização utilize tais indicadores para tomada de decisão ou investimento em melhorias.	(a) Plano de Indicadores; (b) Monitoramento da capacidade organizacional para GE	(a) Uso de e-KPI; (b) Alinhamento dos indicadores de desempenho a norma ISO 50001.
Indicador de Avaliação	(i) Plano de indicadores; (ii) uso de indicadores de desempenho para GE; (iii) Monitoramento de desempenho a partir de indicadores	(a) Monitoramento de capacidade para GE a partir de indicadores; (b) Avaliação organizacional com uso de indicadores	(i) Indicadores devem ser documentados e serem específicos para medição de energia neste nível e adotados como ferramentas de melhoria na organização.	(i) Indicadores devem ser documentados e serem específicos para medição de energia e prever revisões e ações de melhoria de forma semestral (ii) Estes indicadores devem ser previstos nos processos da operação como meio de auditoria.
Monitoramento (MO)	Relacionado ao consumo de energia de máquinas e processo que deve ser medido pela organização, com processo de suporte a fabricação para melhoria da gestão de energia.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se existe monitoramento e medição na organização para os processos efetuados.	Quais os tipos de monitoramento são feitos na organização e se existe algum tipo de relação com a preocupação com a gestão de energia	Os monitoramentos são realizados pela organização e os registros estão documentados e fazem parte da gestão de energia	Verificar todos os monitoramentos realizados pela organização que dizem respeito a gestão de energia e os planejamento das melhorias
Resultado Esperado	Existência de algum modo de monitoramento realizado pela organização que seja remetido a gestão de energia.	Verificação do monitoramento feito pela organização nas ações voltadas para gestão de energia	Os monitoramentos e medições feitos sejam documentos e façam parte de auditorias que controlem os resultados alcançados.	Todos os monitoramentos realizados para gestão de energia estejam em conformidade com a norma ISO 50001
Indicador de Avaliação	(i) Existência de monitoramento; (ii) Quais os processos da organização são monitorados;	(i) Como são executados os monitoramentos, seguem algum tipo de procedimento padrão estabelecido pela organização; (ii) As medições realizadas trazem resultados que expressam dados importantes para empresa;	(i) O monitoramento deve conter informações específicas da gestão de energia na organização; (ii) Os relatórios gerados pelo monitoramento devem demonstrar ações de melhorias e ações de correção;	(i) Os relatórios devem estar em conformidade com a norma ISO 50001 e devem expressar os resultados da evolução da gestão de energia por parte da organização; (ii) ações de melhoria contínua no procedimento de revisão das ações

Relatório (MO)	Avaliar a capacidade de produção de relatórios para monitoramento da capacidade organizacional da gestão de energia. Verificar o uso de tais relatórios para gestores de energia na tomada de decisão e correção de problemas envolvendo energia na organização.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Identificar se existem práticas de desenvolvimento de relatórios, específicos ou não, para avaliação do desempenho da gestão de energia na organização.	Identificar o uso de relatórios organizacionais para monitoramento das atividades relacionadas a gestão de energia.	Identificar se colaboradores estão habilitados para desenvolver relatórios de gestão de energia, capaz de fornecer informação suficiente para o monitoramento das atividades organizacionais relacionadas ao gerenciamento dos recursos energéticos	Avaliar a capacidade de produção de relatórios para monitoramento da capacidade organizacional de gestão de energia. Verificar o uso de tais relatórios para gestores de energia na tomada de decisão e correção de problemas envolvendo energia na organização.
Resultado Esperado	Não existem documentos específicos formalizados para o monitoramento do desempenho da gestão de energia. Podem ocorrer práticas isoladas em documentos não específicos para tal finalidade.	Verifica-se o uso de relatórios dentro da organização e existe preocupação com relação a gestão de energia. A formalização destes documentos é esperada neste nível de avaliação.	Espera-se nesse nível que faça uso de relatórios bem estruturados para gestão de energia. Tais documentos devem conter informações, indicadores, feedbacks, controles, reportes e outros elementos para dar suporte ao gestor de energia, no monitoramento e controle das atividades energéticas da organização.	Identifica-se o uso de relatórios como atividade central para monitoramento das práticas da gestão de energia na organização. Tais documentos são de fundamental importância para reunir informações importantes para tomada de decisão de gestores ou profissionais envolvidos na gestão de energia. Tal prática deve seguir recomendações da ISO 50001 como forma de garantir um sistema de gestão eficiente.
Indicador de Avaliação	(i) Documentação de dados históricos relativos a energia (ii) Uso de relatórios para monitoramento de desempenho	(a) Formalização de relatórios para GE; (b) Uso de relatórios para monitoramento da capacidade organizacional para GE	(a) Relatórios antigos; (b) Transmissão de documentos relacionados a gestão de energia.	(a) Relatórios periódicos e recorrentes; (b) Monitoramento de atividades através de relatórios; (c) Alinhamento do conteúdo dos relatórios com os requisitos e sugestões da ISO 50001

Suporte (OO)	Existência de áreas suporte (ex: consultoria, auditoria, especialistas...) para colaboração na melhoria da gestão energética da operação da organização			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Identificar a disponibilidade de áreas, profissionais, terceiros, capazes de dar suporte a gestão de energia na organização.	Verificar se a organização apresenta um ou mais representantes para gestão de energia e se o mesmo recebe suporte de outras áreas para gestão de energia.	Verificar se a organização compreende a necessidade de dar apoio a gestão de energia, seja com áreas de suporte interno, ou terceiros contratados para melhorar a operação da organização em termos de consumo energético.	Avaliar a capacidade da empresa de integrar as áreas envolvidas com gestão de energia, de modo que se crie um ambiente de sinergia para as melhores práticas de GE possíveis. Neste contexto se encaixam possíveis terceiros, parceiros e especialistas para dar suporte a gestão energética.
Resultado Esperado	A organização apresenta poucos ou nenhum elemento de suporte para gestão de energia.	Espera-se que a organização tenha definido um responsável pela gestão energética e que este gestor tenha a colaboração de outros setores para coleta de dados.	Espera-se que nesse nível exista uma preocupação em dar suporte ao responsável pela gestão de energia, pois compreende-se a importância de seu papel para o resultado da organização. Não necessariamente se identifica a contratação de agentes externos, mas é fundamental garantir que o gestor receba todo apoio possível, seja no levantamento de dados, em processos de auditoria ou na implementação de soluções.	Espera-se na organização um ambiente favorável para intercâmbio de informações e conhecimentos relativos a gestão de energia. Nesse cenário não existem mais áreas suporte dando apoio a uma gestão de energia central, mas sim um ambiente integrado em que o sistema de gestão de energia é descentralizado e praticado por todos. Terceiros, especialistas e parceiros estão envolvidos diretamente neste cenário, de forma que possam apoiar e serem apoiados na organização para práticas de gestão de energia.
Indicador de Avaliação	(a) Partes interessadas em assuntos energéticos; (b) áreas suportes envolvidas em GE; (c) Contratação de terceiros ou especialistas para suporte da GE	(a) Responsável pela gestão energética; (b) Suporte externo a gestão de energia; (c) intercâmbio de dados entre setores	(a) Atuação de agentes externos no apoio a GE; (b) Atuação de setores internos para dar suporte ao gestor de energia.	(a) Cenário descentralizado para GE; (b) Intercâmbio contínuo de conhecimento para apoio a GE.
Treinamento (OO)	Treinamento para conscientização ou capacitação dos colaboradores da organização para práticas de gestão de energia			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Averiguar se ocorrem na organização treinamentos, formais ou informais, de práticas de gestão de energia entre os colaboradores.	Identificar práticas de treinamento, formais ou informais, para capacitação ou conhecimento de práticas relacionadas a gestão de energia.	Identificar se o responsável pela gestão de energia transmite conhecimento e capacita outros colaboradores, de forma que torne seu processo de gestão de energia mais eficiente na organização. Fazer com que o seu trabalho seja conhecido e compreendido, faz com que mudanças sugeridas sejam bem vistas e mais fáceis de serem aplicadas.	Avaliar a capacidade de investimento em treinamentos especializados para capacitação de colaboradores em gestão de energia e ISO 50001.
Resultado Esperado	Existem poucas ou nenhuma troca de informação a respeito de gestão de energia entre colaboradores. Tal fato pode ocorrer devido a falta de conhecimento adquirido na organização sobre o consumo, gerenciamento e eficiência energética.	Espera-se que existam treinamentos, mesmo que informais, para capacitação e conscientização da importância da gestão energética para os resultados econômicos da organização. O treinamento pode significar a simples troca de conhecimento entre colaboradores, contanto que seja de alguma forma aplicada para gestão de energia na empresa.	É esperado que ocorram treinamentos formais com participação significativa de colaboradores de diversas áreas e conduzidos pelo gestor de energia, de forma que todos os setores possam compreender e suportar as práticas propostas pela gestão energética.	Espera-se da organização nesse nível um investimento maior de recursos em treinamento de colaboradores, como por exemplo: fornecer MBAs e programas de pós graduação, envio para congressos e contratar treinamentos especializados, de forma que profissionalize colaboradores e traga conhecimento de fora a todo momento para melhoria nas práticas de GE.
Indicador de Avaliação	(a) Treinamentos em GE; (b) Comunicação e/ou cultura pela gestão de energia	(a) Treinamentos realizados; (b) difusão de conhecimento sobre gestão energética.	(a) Treinamentos prévios relacionados a GE; (b) Verificação da aderência de programas de capacitação nos demais setores da organização.	(a) Investimento em programas de treinamento; (b) Treinamentos para capacitação com selo ISO 50001.

ISO 50001 (OO)	Norma que especifica os requisitos necessários para organização aplicáveis ao consumo de energia que incluem: medição, documentação e relatórios, práticas necessárias que contribuem para melhora energética			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se existe o conhecimento sobre a norma ISO 50001 no nível da operação da organização	A norma está sendo adotada em algum dos procedimentos executados pela operação da empresa	Adotar a norma de forma integral para melhora significativa da gestão de energia e avanços na operação por parte da organização.	Certificação da empresa deve ser alcançada com o cumprimento na forma integral da norma ISO 50001.
Resultado Esperado	Exista o conhecimento da norma ISO 50001 por parte da organização e da operação.	Além do conhecimento, aplicação de forma parcial dos procedimentos previstos pela norma ISO 50001 para iniciar os esforços na busca de uma certificação para organização.	Aplicar a norma de forma integral com documentação dos procedimentos executados e relatórios que detalhem os escopos de aplicação	Certificação da empresa com a ISO 50001 e manutenção de todos os registros e ações de melhorias executadas pela operação com o suporte da organização
Indicador de Avaliação	(i) Exite o conhecimento da ISO 50001, por parte da operação da oprganização; (ii) Qual o grau de conhecimento da norma.	(i) Quais os procedimentos adotados que estão previstos pela norma; (ii) como são feitos os registros das ações implementadas na prática	(i) Com a aplicação na forma integral da norma por parte da operação, avaliar os registros que são feitos que estão previstos pela norma; (ii) como são feitas as revisões das ações previstas pela norma em caso de não conformidade	(i) Manutenção dos registros previstos pela norma; (ii) Integração com as ações ambientais que podem estar previstas no planos de gestão de energia
Gestão (OO)	Define as funções de planejamento, organização e controle do processo de transformação e sua utilidade no fornecimento de um bem ou serviço aos clientes. Essas funções do planejamento e controle do processo devem estar organizadas em ações que sejam voltadas além de serem para diversos campos de atuação para gestão de energia também.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Avaliar o interesse da gestão da organização em empreender esforços na gestão de energia	Neste nível a organização manifesta o interesse em melhorar a gestão de energia na sua operação, através de esforços na direção de planejar melhorias para gestão de energia.	Um plano de ação já está definido para ações voltadas para gestão de energia em específico na operação e com o suporte da gestão da empresa.	Verificar os esforços da gestão nas ações coordenadas para gestão de energia na operação.
Resultado Esperado	(i) Esforços iniciais devem ser demonstrados na direção da gestão de energia	(i) Ações estabelecidas com o suporte da gestão da organização gestão de energia.	(i) A implementações das ações planejadas anteriormente devem relatar resultados que indiquem um avanço na melhoria da gestão da energia na organização.	(i) Planos e oportunidades de melhorias devem ser identificados com os resultados das ações implementadas anteriormente e dessa forma devem prever o avanço na gestão de energia da operação.
Indicador de Avaliação	(i) Identificar como a organização inicia os esforços na operação para gestão de energia (planejamentos, equipe de gestão e operação)	(i) Plano de ação estabelecido com ações na operação para melhoria da gestão de energia; (ii) Estabelecimento de indicadores iniciais para medição de energia	(i) Implementar o plano de ação estabelecido para operação e coletar os resultados em relatórios que indiquem os avanços na gestão de energia	(i) Identificar os resultados alcançados onde relatem a melhoria da gestão de energia; (ii) Relatórios que possam ser documentados e descrever o avanço nos resultados na operação

Auditoria (OO)	Requisitos para os processos de avaliação e melhoria no desempenho energético em uma organização. Por meio de uma auditoria analisa-se detalhadamente o desempenho energético das operações.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se a organização possui algum tipo de auditoria para avaliar os resultados operacionais alcançados ao final de um período determinado.	Identificar se a organização utiliza auditorias internas para análise de sua operação e quais as ações tomadas com os resultados encontrados, para gestão de energia.	Verificar as práticas de auditorias existentes para análise dos resultados e as ações direcionadas desta auditoria para gestão de energia.	Identificar quais as ações resultantes dos processos de auditoria são empregados nas melhorias da operação e na gestão de energia.
Resultado Esperado	Não existem práticas de auditoria operacional e organizacional para elementos específicos da gestão de energia.	A organização aplica auditorias internas, mas não para assuntos energéticos voltados para operação; as informações levantadas como possibilidades de melhorias não são aplicadas.	Espera-se que a empresa possua algum tipo de auditoria voltada para a operação na gestão de energia, voltada com ações para a organização efetivamente melhorar a sua gestão energética.	Para este nível a organização deve possuir auditoria especializada para a operação na gestão de energia para efetivamente aplicar ações de melhoria da operação e da organização em relação a este recurso.
Indicador de Avaliação	(i) Existência de programas de auditoria; (ii) ou execução de auditoria interna	(i) Resultados de auditorias passadas; (ii) uso dos relatórios como identificação de possíveis oportunidades de melhoria	(i) Resultados das auditorias anteriores da operação que possam prever ações de melhorias para gestão de energia;	(i) Adoção de auditoria externa, no qual os resultados possam ser avaliados e a tomada de ações para melhoria da eficiência energética possa ser alcançada ;(ii) ações de melhorias com resultados efetivos de redução de consumo ou otimização do mesmo.
Ferramentas (PT)	As ferramentas devem ser usadas para as empresas superarem as barreiras, podendo as ferramentas básicas reduzir o consumo de energia.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar o uso de ferramentas no processo com ênfase na tecnologia da produção	Aplicar as ferramentas disponíveis no processo com ênfase na melhoria da gestão de energia da produção	Monitorar a utilização das ferramentas disponíveis no processo, com planejamento de ações de melhoria tecnológica com ênfase na melhoria da gestão de energia.	Relatar e documentar o uso das ferramentas, juntamente com um plano de modernização de ferramentas que podem melhorar e otimizar o processo de produção com ganhos na gestão de energia.
Resultado Esperado	A adoção de ferramentas que habilitem a melhoria da gestão de energia, dentro do desenvolvimento tecnológico planejado pela empresa. Elementos essenciais ao controle de produção são definidos e implementados.	Aplicação de ferramentas na produção que habilitem a melhoria tecnológica do processo e possibilitem a gestão de energia.	Aplicação de modelos de produção como CEP (Controle Estatístico do Processo) que habilitem a melhoria tecnológica do processo.	a) Ferramentas de controle estatísticos; b) Meta modelos de produção; c) Identificação de falhas (FMEA);
Indicador de Avaliação	a) Possuir ferramentas que avaliam a qualidade do produto. b) Possuem planejamento em relação as ferramentas adotadas no processo.	a) Quais as ferramentas adotadas na produção; b) As ferramentas existentes estão relacionadas a melhoria tecnológica na produção com redução dos custos e gestão de energia; c) Produção Lean	a) Controles de produção com modelos estatísticos; b) Melhoria tecnológica com melhoria de sensores e identificadores de falhas na produção;	a) Planos de ação realizados para cobrir falhas na produção; b) Ferramentas de controle da produção utilizadas na otimização e na melhoria do uso do recurso energia.

Inovação (PT)	Empresa precisa perceber a vantagem competitiva, a complexidade, a compatibilidade, a possibilidade de testar e a observação como características para adoção da inovação em seu processo.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar como a inovação atua no processo produtivo dentro do contexto tecnológico do processo.	Verificar como atua o programa de inovação tecnológica no processo produtivo no contexto energético, quais as evidências de sua adoção.	Verificar o processo de inovação tecnológica no processo produtivo e os resultados diretos com a gestão de energia.	Verificar se estão documentados os planejamentos e a aplicação do processo de inovação tecnológica no processo produtivo e os resultados diretos com a gestão de energia.
Resultado Esperado	A inovação como ferramenta de suporte para melhoria da eficiência energética	Conhecer quais as ferramentas de inovação são utilizadas no processo	Conhecer como atua o programa de inovação tecnológica voltada ao processo e os resultados das ferramentas aplicadas.	Documentar os resultados do programa de inovação tecnológica para intercâmbio de dados que facilitem a compreensão e melhoria voltada para gestão de energia
Indicador de Avaliação	a) Possuir algum tipo de programa de inovação tecnológica; b) qual a periodicidade dos programas de inovação tecnológica caso existam	a) Possuir indicadores de inovação no processo; b) inovação esta aderente com algum programa de eficiência energética	a) A inovação atua na troca de dados dos procedimentos e dos resultados; b) o programa de inovação possui resultados que possam ser aliados a gestão da energia	a) Indicadores de melhoria e revisão dos programas de inovação tecnológica do processo; b) acessar os dados do programa e os indicadores de energia que possibilitem melhorias na utilização do recurso
Investimento (PT)	Este atributo é compreendido por investimento de recursos em melhorias relacionados a eficiência energética nos processos produtivos, ligados a máquinas, equipamentos e ferramentas			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	É esperado nesse nível que não existam esforços voltados especificamente para melhoria da eficiência energética em tecnologias relacionadas ao processo produtivo	Verifica-se investimento dedicado a melhoria de máquinas, ferramentas e equipamentos, mas tal esforço não vem da intenção de melhora no consumo de energia. Eventuais avanços na eficiência energética partem de esforços não dedicados para tal fim.	Existem esforços designados para investimento de recursos para melhorar a eficiência energética das tecnologias envolvidas nos processos produtivos. O investimento de recursos partem da intenção de gestores que compreendem a necessidade de alocar recursos para melhorias envolvendo o assunto energia.	Os esforços para investimento em melhorias de eficiência energética nas tecnologias são baseados em uma política bem definida pela alta gestão e ocorrem com frequência considerável
Resultado Esperado	Não espera-se nesse nível que a gestão entenda a necessidade de investir para melhorar o consumo de energia, mas entende-se que deve haver preocupações com investimento em tecnologia para melhoria do processo produtivo	Deve haver neste nível um princípio de preocupação com questões energéticas, de modo que se compreenda a necessidade de investir recursos para melhorias ligadas ao consumo de energia no processo produtivo. Investimentos ocorrem mas não intencionados a causa energética.	Responsáveis pela gestão de energia compreendem a necessidade de investir recursos para obterem resultados satisfatórios relacionados a eficiência de energia dos elementos tecnológicos que compreendem o processo produtivo. Verifica-se neste nível a alocação significativa de recursos para questão energética de esforços pessoais, ou esforços financeiros.	Espera-se verificar na organização uma política de investimento e incentivo a melhorias relacionadas a tecnologia a fim de aprimorar a eficiência energética. O gestor de energia deve ser responsável por garantir tais investimentos, e ainda interagir com as demais áreas para dar suporte as questões energéticas.
Indicador de Avaliação	(i) Investimentos prévios (i) relatório de investimentos	(i) Relatórios de investimentos (ii) preocupação dos gestores com questões energéticas	(i) Monitoramento das atividades tecnológicas (ii) relatórios de investimentos (iii) alocação de recursos para questões energéticas	(i) Política de investimento em questões energéticas (ii) atividade do gestor de energia no suporte a demais áreas

Treinamento (PT)	O treinamento dos colaboradores e disseminação das informações na gestão de energia podem melhorar as habilidades e reduzir o consumo de energia, com o suporte da tecnologia.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar quais os treinamentos são realizados pela organização nos processos em relação a tecnologia.	Verificar as ações dos treinamentos nos processos em relação a gestão de energia e a tecnologia que pode ser utilizada de forma paralela.	Conhecer os treinamentos oferecidos em relação a gestão de energia e os pontos abordados que possuem relação no processo e inserção da tecnologia como suporte.	Treinamentos específicos para gestão de energia com planos de ação e melhoria no processo com a adoção da tecnologia.
Resultado Esperado	(i) Realização de treinamentos nos processos com inserção de algum tipo de ferramenta tecnológica.	(i) Treinamentos que iniciem ações na gestão de energia no processo e adoção de ferramentas de tecnologia que possam auxiliar neste procedimento; (ii) Ferramentas tecnológicas como: controladores de uso da energia; medição de consumo.	(i) Treinamentos para gestão de energia específicos; (ii) Abordagens que demonstrem a necessidade da redução do consumo; (iii) identificação de oportunidades de melhoria.	(i) Ferramentas de tecnologia que facilitem o processo de melhoria no uso da energia nos processos; (ii) sensores que identifiquem falhas no uso, ou medições que apontem o aumento do consumo.
Indicador de Avaliação	(i) Realizar treinamentos nos processos; (ii) Treinamentos sobre ferramentas de tecnologia empregadas no processo.	(i) Realizar treinamentos nos processos com gestão de energia; (ii) Adotar ferramentas tecnológicas que possibilitem a medição da energia.	(i) Utilizar indicadores de gestão de energia nos processos; (ii) Utilizar relatórios de medição com históricos que permitam evolução na gestão de energia.	(i) Utilizar indicadores do processo específicos para gestão de energia; (ii) Empregar tecnologias que melhorem a eficiência energética dos processos; (iii) Estar em acordo com a ISO 50001.
Máquina (PT)	Máquinas devem ser calibradas e verificadas constantemente para garantia da melhor operação energética nos processos			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se existem planos de controle da operação por processos, evidenciando questões energéticas	Verificar frequência de manutenção baseada em melhoria do consumo de energia	Verificar se no controle da operação de máquinas existe controle individual de consumo energético	Avaliar a capacidade da organização de controle em tempo real da atividade energética
Resultado Esperado	Existe uma preocupação inicial com o controle do consumo de energia, mesmo que em estágio básico e não individual por máquinas	Existem atividades de identificação de agentes que comprometem a eficiência energética, e esforços para eliminá-los são evidentes	A organização apresenta equipamentos capazes de avaliar a atividade energética individualmente por máquina	Existe controle da operação em questão de energia em tempo real, e atividades corretivas são prontamente realizadas em caso de constatação de falha
Indicador de Avaliação	(a) Plano de manutenção; (b) Documentos de controle da operação	(a) Histórico de manutenção; (b) Controle do consumo de energia	(a) Ferramentas de controle; (b) documentação de dados de consumo energético	(a) Monitoramento em tempo real
Informação (ET)	Relacionada com a capacidade de trocar conteúdos entre empresas (benchmarking) e setores, utilizar estes conteúdos, documentos, e arquivos de dados para estabelecer vantagem competitiva, garantir a avaliação correta, comprovação de resultados de melhoria na gestão			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se a empresa gera informações internas e qual tecnologia é usada; (a) importante relacionar o tipo de informação e estratégia adotada.	Identificar as informações internas geradas se possuem relação com a gestão de energia.	Identificar as informações internas geradas voltadas de forma específica para gestão de energia nos processos.	Identificar as informações internas geradas voltadas de forma específica para gestão de energia nos processos e a relação com a questão ambiental deste uso.
Resultado Esperado	Informações que são geradas pela empresa.	Normas e padrões seguidos para geração destas informações	Informações geradas pela empresa na gestão de energia oportunizem melhoria no uso do recurso com o suporte da tecnologia.	A tecnologia como suporte principal no controle do uso da energia e a integração com a preocupação ambiental.
Indicador de Avaliação	(a) Geração de informações internas, se possuem base na estratégia; (b) utiliza alguma tecnologia para disseminar a informação; (c) existência de um sistema de informação.	(a) Geração de informações internas está acessível a todos os envolvidos com o processo; (b) qual a preocupação com a questão tecnológica para gestão de energia.	(a) Suporte da tecnologia para melhoria da informação do controle do uso da energia no processo produtivo. (b) melhorias alcançadas com o suporte tecnológico para gestão de energia na otimização do processo.	a) Suporte da tecnologia com informações que possam ser traduzidas para melhoria da gestão de energia; (b) suporte da informação com a tecnologia e questão ambiental.

Inovação (ET)	Adoção de inovação como cultura pela melhoria da tecnologia e consequentemente da gestão energética.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Avaliar o uso da inovação aliado a tecnologia na estratégia da empresa.	Utilizar a inovação para a gestão de energia em ações preliminares ou planejamento.	Avaliar a aplicação das ações planejadas no nível anterior relacionadas a inovação que melhorem a gestão de energia na empresa com o uso da tecnologia.	Avaliar os resultados da empresa relacionados a inovação para gestão de energia com aplicação tecnológica e resultados e melhoria voltados apenas para gestão de energia.
Resultado Esperado	Conhecimento por parte da empresa do papel da inovação na estratégia da empresa.	Os primeiros esforços sejam feitos para adotar a inovação e organizar o uso da tecnologia como suporte na estratégia para gestão de energia.	Ações feitas para superar as falhas identificadas pelo planejamento no nível anterior; (a) Mudanças necessárias para melhoria e avanços na gestão de energia.	Monitoramento das ações realizadas de melhoria do nível anterior e nos planos para inovação no aumento da eficiência energética.
Indicador de Avaliação	(a) A empresa utiliza a tecnologia como suporte para inovação, como estratégia; (b) possuir programas de inovação	(a) Planejamento das ações de inovação ligadas a gestão de energia; (b) primeiros passos para disseminar a inovação entre os setores de produção da fábrica.	(a) Aplicação das ações de inovação para gestão de energia; (b) resultados alcançados com a tecnologia voltada para inovação para gestão de energia.	(a) Monitoramento de ações de melhoria para gestão de energia; (b) manutenção e melhoria dos programas existentes para gestão de energia com foco na inovação.
Ferramentas (MT)	Consiste no uso de ferramentas e instrumentos para coleta de dados das atividades tecnológicas envolvidas em qualquer processo em que haja consumo de energia.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Examinar as práticas do uso de ferramenta para monitoramento do desempenho energético de tecnologias envolvidas no processo produtivo da organização.	Verificar se a organização faz o uso de ferramentas para monitoramento de consumo energético e utiliza os dados coletados para suporte a gestão de energia.	Avaliar se a organização atingiu um grau de controle de modo que seja possível monitorar e controlar o consumo energético com cada tecnologia envolvida em sua operação.	Verificar se a organização detém ferramentas para monitoramento em tempo real de dados de consumo energético na sua operação para melhor prática de monitoramento.
Resultado Esperado	Não existem ferramentas para análise isolada de equipamentos, máquinas e outras tecnologias que envolvem consumo de energia.	Espera-se que a organização utilize ferramentas para monitoramento do consumo energético, de forma que possa avaliar individualmente os diferentes tipos de consumo de recurso energético. Os dados coletados no entanto não são utilizados especificamente para atividades relacionadas a GE.	Neste nível é esperado que a organização seja capaz de controlar e medir individualmente o consumo de cada tecnologia envolvida na sua operação de um modo global. Este controle deve ser utilizado em sistemas de gestão de energia para tomada de decisão, identificação de falhas e oportunidades de melhoria.	Verifica-se ferramentas, inclusive da indústria 4.0, de monitoramento e análise de dados em tempo real, dos dados de consumo de máquinas e outras tecnologias envolvidas na operação da organização.
Indicador de Avaliação	(i) Monitoramento individual de equipamentos (ii) Levantamento de dados individuais	(a) Ferramentas de medição de consumo de energia; (b) Documentação de dados históricos para monitoramento do consumo energético.	(a) Controle de dados de monitoramento; (b) Uso de ferramentas para monitoramento em SGE.	(a) Uso de ferramentas 4.0; (b) profissionais capacitados para análise de dados.

Máquinas (MT)	Monitoramento da necessidade de manutenção em máquinas para garantia da otimização da operação, aumentando a eficiência energética			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se existem práticas de monitoramento das máquinas, para verificar a necessidade de manutenção.	Verificar se a organização tem um plano de manutenção definido a partir de indicadores de eficiência energética	Verificar se existem profissionais designados para manutenção de máquinas que entendam a necessidade de manutenções para melhoria da eficiência energética, de forma que tais atividades estejam acopladas ou alinhadas ao responsável pela gestão de energia.	Avaliar se a organização possui um plano de manutenção suportado pela medição em tempo real dos dados de consumo de máquinas. O monitoramento em tempo real permite a tomada de decisão rápida e precisa para decisões de manutenção para eficiência energética.
Resultado Esperado	Não existem práticas de manutenção em máquinas com o intuito de melhoria da eficiência energética. As manutenções que ocorrem se limitam a correção de defeitos, problemas e trocas de equipamento.	A organização se preocupa com eficiência energética das máquinas apenas pelo âmbito econômico, não adotando tal estratégia como atividade de gestão de energia.	Através de planos de manutenção e controle contínuo da operação de máquinas, existem colaboradores capazes de identificar oportunidades de aumento de eficiência energética através de medição do consumo e dados históricos.	Espera-se neste nível que a equipe responsável pela manutenção seja capacitada para monitorar e analisar dados em tempo real, relativos ao consumo de energia nas tecnologias envolvidas na operação. A partir desse dado, se espera que os responsáveis sejam capazes de garantir a melhor eficiência energética ajustando a produção ao consumo de energia ideal.
Indicador de Avaliação	(i) Dados de manutenções prévias (ii) Manutenções para melhoria de eficiência energética	(a) Monitoramento e documentação de operação de máquinas (b) Manutenções para melhoria da eficiência energética	(a) Monitoramento da necessidade de manutenção; (b) Setor específico designado para manutenção de máquinas; (c) Ferramentas de controle de consumo em máquinas.	(a) Ferramentas da indústria 4.0; (b) Planos de manutenções alinhados a ferramentas de monitoramento em tempo real.
Investimento (OT)	Iniciativas gerenciais para o investimento em melhorias tecnológicas para o aumento da eficiência energética no contexto operacional da indústria			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se existem iniciativas de investimento de recursos em tecnologias envolvidas na gestão de energia.	Verificar se os responsáveis pela gestão energética, se definidos, praticam iniciativas de investimento de recursos visados para melhoria do resultado energético da organização.	Verificar se o responsável pela gestão da energia exerce influência suficiente para captar investimentos, independente se financeiros ou não, em tecnologias com fins de melhoria da eficiência energética.	Avaliar se a organização tem definidas políticas de investimento em melhoria contínua para tecnologias na operação diária, de forma que se garantam as melhores práticas e ferramentas de forma atualizada.
Resultado Esperado	Não existe investimento ou interesse em tecnologias. Melhorias se limitam a implementação de ferramentas para outros fins, mas que agregam para gerenciamento do consumo energético.	Identificam-se investimentos pontuais em melhorias para eficiência energética, mas estas iniciativas não partem de nenhum tipo de análise ou prática de gestão energética, apenas da verificação de uma oportunidade de melhoria.	Espera-se que nesse nível ocorra uma disponibilidade de recurso significativa, pois se prevê que ocorra a compreensão da importância de atividades de gestão energética. Tais iniciativas de investimento podem ser reconhecidas em alocação de profissionais para treinamento, injeção de dinheiro para compra de novas tecnologias, disponibilidade de pessoas e recursos tecnológicos para pesquisa e desenvolvimento.	Espera-se da organização uma política bem definida para investimentos em setores de pesquisa, desenvolvimento e implementação de novas tecnologias. Essa política é a garantia de que a empresa compreende a importância de manter atualizada nas questões tecnológicas para vanguarda energética.
Indicador de Avaliação	(a) Investimentos prévios em ferramentas para GE; (b) Iniciativas para investimentos de recursos em GE	(a) Investimento de recursos em tecnologias; (b) Iniciativas gerenciais para melhorias tecnológicas.	(a) Investimentos prévios em novas tecnologias; (b) Recursos disponibilizados para práticas de GE; (c) Investimento em setores de PeD.	(a) Políticas de investimento em tecnologia e afins;

Máquina (OT)	Planos de manutenção para garantia da operação mais eficiente das máquinas			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Identificar se existem planos de manutenção designados para melhoria da eficiência energética de máquinas na operação.	Verificar se os responsáveis pela operação e gerenciamento de máquinas compreendem a importância de garantir um processo mais eficiente tratando de aspectos energéticos.	Verificar a disponibilidade de uma equipe para monitorar e identificar a necessidade de manutenções para garantir o melhor consumo energético possível.	Verificar se a organização atende aos requisitos e normas da ISO 50001 relativa a manutenção de máquinas para garantir a eficiência energética otimizada.
Resultado Esperado	Planos de manutenção se limitam a preocupações com a interrupção do processo de produção e não com precauções relacionadas a energia.	Verifica-se que existem planos de manutenção para operação eficiente de máquinas, mas tal iniciativa não parte de um gerenciamento energético estabelecido na organização. Responsáveis por manutenção apenas se preocupam com eficiência energética pelo resultado econômico final.	Identifica-se a disponibilidade de profissionais capacitados e disponíveis para manutenção e controle da sua necessidade. Planos de manutenções estão alinhados com estratégias definidas pela gestão de energia.	É verificado na empresa que existem profissionais capacitados que compreendem a norma ISO 50001 e são capazes de alinhar tais orientações as políticas de manutenção para garantia de um sistema mais eficiente.
Indicador de Avaliação	(a) Manutenções com o objetivo de melhoria da eficiência energética (b) Plano de manutenções	(a) Plano de manutenção; (b) Iniciativas de responsáveis pela manutenção para avanços na eficiência energética.	(a) Equipe de manutenção qualificada; (b) Envolvimento de profissionais de manutenção com causas energéticas.	(a) Políticas de manutenção alinhadas a ISO 50001
Ferramentas (OT)	As ferramentas devem ser usadas para as empresas superarem as barreiras, ferramentas básicas podem reduzir o consumo de energia. A tecnologia pode ser adotada como suporte no apoio a decisão da operação.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar as ferramentas tecnológicas existentes na operação da empresa, se possuem relação com a gestão da energia.	Quais são as ferramentas tecnológicas adotadas na operação para melhora da gestão de energia.	Verificar como são utilizadas as ferramentas tecnológicas empregadas na operação, voltadas para gestão de energia.	Verificar como os resultados do emprego das ferramentas são utilizados na implementação de ações de melhoria para gestão de energia.
Resultado Esperado	A empresa não possui um plano de gestão de energia e nem tecnologias voltadas para operação nesta área.	Planejamento das ações que empreendem esforços para implementação de ferramentas e tecnologia na operação.	Estabelecimento de um plano de ação voltado para adoção de tecnologias na operação que melhorem os resultados da gestão de energia	As ferramentas implementadas e as ações do plano de ação gerem resultados satisfatórios para melhoria da gestão de energia
Indicador de Avaliação	(i) Possui plano de ação em tecnologias para implantação na operação (ii) iniciativas para gestão de energia ações ou planejamento	(i) Implementação de plano de ação na gestão de energia (ii) Ferramentas utilizadas na operação com tecnologia para medição da energia	(i) Plano de ação implantado com ações previstas em caso de erros ou falhas na operação para gestão de energia (ii) Acompanhamento dos resultados das ações corretivas na gestão de energia	(i) Ferramentas implementadas na operação com viés tecnológico para gestão de energia (ii) Resultados documentados e ações de melhoria previstas para avanço na gestão de energia.

Indicador (ME)	Qualquer indicador para monitoramento de resultados econômicos ou custos relacionados ao consumo de energia.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se existem indicadores definidos para monitoramento de custos relacionados ao consumo energético.	Verificar se a organização faz o uso de indicadores econômicos para monitorar os resultados relacionados ao consumo de energia	Verificar se a organização usa seus planos de indicadores para tomada de decisões relativas a gestão de energia e identifica oportunidades de melhoria dos resultados econômicos a partir deles.	Avaliar se a organização usa indicadores como atividade padrão para monitoramento dos custos relacionados ao consumo de energia.
Resultado Esperado	Existem poucos, ou nenhum indicador específico para o monitoramento do resultado econômico relacionado ao consumo de energia. O uso de tais indicadores também é limitado dentro da organização.	A organização possui indicadores econômicos bem definidos e documentados, fazendo uso para monitoramento dos custos que envolvem o consumo de energia. Nesse nível não se espera da organização que se tomem decisões baseadas por tais indicadores	A organização tem indicadores bem definidos e documentados, que são usados pelos responsáveis pela gestão de energia para monitoramento das atividades econômicas relativas ao consumo energético. Tais indicadores devem ser utilizados para identificação de problemas e oportunidades de melhoria.	Espera-se neste nível que a organização tenha indicadores bem definidos e altamente difundidos internamente. Espera-se que a empresa esteja alinhada também a requisitos da ISO 50001, aliados aos indicadores para garantia da operação correta do monitoramento econômico das práticas de gestão energética.
Indicador de Avaliação	(i) Plano de indicadores (ii) uso de indicadores em relatórios econômicos	(a) Uso de indicadores econômicos, (b) Indicadores documentados e disponíveis para colaboradores.	(a) Plano de indicadores; (b) Tomada de decisão a partir de indicadores; (c) Adoção de indicadores na prática de monitoramento de um sistema de gestão energética.	(a) Alinhamento dos indicadores perante os requisitos da ISO 50001; (b) Monitoramento contínuo e minucioso dos resultados econômicos a partir desses indicadores.
Treinamento (ME)	Os treinamentos feitos devem gerar resultados na medição dos processos e serem capazes de refletir na melhoria dos resultados alcançados pelos colaboradores com a prática da gestão de energia.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar a existência de comunicação do conhecimento a respeito das práticas de medição e monitoramento de custos relacionados a gestão de energia	Verificar se existem treinamentos relacionados a capacidade de monitoramento dos resultados econômicos da organização.	Identificar atividades de treinamento para capacitação de colaboradores em aspectos gerenciais de energia. O gestor responsável pelo monitoramento de aspectos energéticos é responsável por promover iniciativas de treinamento para melhoria da organização em práticas de medição e monitoramento de elementos econômicos relacionados ao consumo energético.	Verificar os programas de treinamento para capacitação de profissionais em gestão de energia, contando com o apoio de especialistas, terceiros, e consultorias, garantindo maior eficácia.
Resultado Esperado	Existe uma troca de conhecimento informal sobre gestão de energia dentro da organização, de modo que treinamentos específicos ainda não são realizados por parte dos gestores.	Existem treinamentos que ocorrem de maneira informal, de modo que, o conhecimento sobre monitoramento dos resultados econômicos é transmitido entre colaboradores.	Espera-se neste nível que treinamentos para medição de elementos econômicos do consumo de energia sejam uma prática estabelecida e recorrente na organização. Não é esperado que exista um grande investimento em consultorias, especialistas ou auditorias, mas ao menos existam treinamentos formais entre colaboradores para transmissão de conhecimento a respeito de práticas de medição de custos relacionados a energia.	Identifica-se na organização esforços e investimentos para garantir a capacitação e a qualidade profissional de seus colaboradores na área de gestão de energia. Além disso, existe a preocupação com constantes programas de atualização de conhecimentos e práticas para se manter no nível mais alto.
Indicador de Avaliação	(i) Plano de treinamento; (ii) transmissão de conhecimentos da GE.	(a) Troca de informações entre colaboradores sobre GE; (b) compartilhamento de documentos de gestão energética.	(a) Iniciativas e programas de treinamento de colaboradores; (b) Cursos para colaboradores sobre práticas de monitoramento.	(a) Treinamentos e programas envolvendo terceiros (prestadores de serviço); (b) atualização constante dos treinamentos para gestão de energia; (c) treinamentos para ISO 50001.

Auditoria (OE)	Práticas de auditoria para identificar problemas relacionados a operação da organização em elementos econômicos da gestão de energia			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se a organização realiza auditorias, internas ou externas, para avaliação do resultado econômico relativo a gestão de energia.	Identificar se a organização utiliza práticas de auditoria para identificar oportunidades relacionadas a melhoria do resultado econômico do consumo de energia.	Verificar se a organização pratica auditorias, internas e externas, para análise de resultados econômicos de suas atividades relacionadas a gestão de energia. Deve avaliar se o gestor responsável é capaz de utilizar tais informações levantadas para promover melhorias na operação da empresa.	Verificar o comprometimento da organização para receber processos de auditoria, de forma que os dados levantados sejam de fundamental importância para implementações, mudanças, práticas e outras atividades para gestão de energia. Nessa etapa também avalia-se a competência para receber auditorias relativas a ISO 50001, avaliando a organização sobre as normas e regulamentações propostas.
Resultado Esperado	Não existem práticas de auditoria específica para elementos da gestão de energia.	A organização contrata ou realiza auditorias, não necessariamente para assuntos energéticos, mas ainda não utiliza as informações levantadas para identificação de oportunidades de melhorias.	Espera-se que a empresa pratique auditorias especializadas e focadas em gestão de energia, para monitorar sua operação em relação ao consumo energético e gerar a análise mais detalhada dos resultados econômicos que o envolvem.	Espera-se que nesse nível a organização invista em auditorias especializadas para garantir a melhor avaliação, e levantar dados para aplicar na gestão de energia, de forma que se obtenha as melhores práticas.
Indicador de Avaliação	(a) Contratação de auditorias para GE. (b) execução de auditorias internas para GE.	(a) Auditorias feitas; (b) Documentos de avaliação energética	(a) Resultado das auditorias anteriores; (b) Uso dos relatórios das auditorias para identificação de oportunidades e correção de falhas, no âmbito energético para melhoria do resultado econômico.	(a) Auditorias externas para ISO 50001; (b) Uso de dados levantados em auditoria para melhorias em gestão de energia.

Custos (OE)	Custos relacionados a utilização de energia em um contexto global na indústria, envolvendo qualquer atividade em que ocorra uso de energia.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar a existência de controle, documentação ou monitoramento dos custos envolvidos com o consumo de energia na organização.	Verificar a existência de documentação e monitoramento dos custos relacionados ao consumo de energia em qualquer tipo de operação na organização.	Avaliar a capacidade de análise de custos relacionados ao consumo de energia na organização e pelos responsáveis pela gestão de energia. Verificar se os dados são transmitidos para demais setores, de forma a promover intercâmbio de práticas para redução do custo energético.	Avaliar se a empresa é comprometida para monitorar os custos em tempo real, de forma que possam tomar decisões rápidas baseadas no levantamento preciso dos dados.
Resultado Esperado	Não existe registro econômico do consumo de energia, devido a falta de instrumentos para medição, ou falta de interesse em monitorar o resultado financeiro de despesas relacionadas a gestão de energia.	Espera-se que a organização tenha mapeado e registrado em planilhas e documentos os custos mensais relacionados ao consumo energético, discriminado por tipo de gasto. Não é esperado nesse nível que a organização tenha qualquer tipo de ação de melhoria ou tomada de decisão baseada em tais monitoramentos, ou seja, tais registros servem apenas para controle.	Verifica-se nesse nível que a empresa detém a documentação e monitoramento dos custos com energia em sua operação. O que se espera nessa avaliação é o modo com que tais dados são utilizados, de forma que compreenda que o controle de custos é uma ferramenta fundamental para o gerenciamento energético da organização.	São identificados na organização profissionais capacitados para analisar e tomar decisões baseados nas atividades em tempo real de variação de custos relacionados a energia. A agilidade do monitoramento em tempo real garante que a empresa esteja previnda quanto a possíveis variações que tragam grande impacto econômico no resultado final.
Indicador de Avaliação	(a) Plano de indicadores econômicos; (b) Instrumentos de medição; (c) documentação de resultados	(a) Registros históricos de consumo de energia; (b) Planilhas para controle de custos relacionados a energia	(a) Documentação detalhada de custos energéticos de forma regular e periódica; (b) Uso de dados relacionados a custos para tomada de decisão relacionadas a gestão de energia.	(a) Monitoramento em tempo real dos custos de operação; (b) Planos de ação para possíveis variações nos custos relacionados a energia.
Treinamento (OE)	Avalia a capacidade e regularidade de treinamentos para controle econômico da operação ligada a energia.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Avaliar se colaboradores são instruídos para controle econômico da operação energética da organização	Verificar se colaboradores recebem treinamento e capacitação para controle e monitoramento dos resultados econômicos da operação energética da organização	Verificar se responsáveis pela gestão de energia recebem treinamento adequado e participam de eventos para atualização e troca de conhecimentos	Avaliar o papel do gestor de energia para investimento em treinamentos para colaboradores que tenham funções relacionadas a energia.
Resultado Esperado	Não é observada a instrução de colaboradores para assuntos energéticos, independente da área de atuação	Verifica-se treinamentos e capacitação interna de colaboradores para controle dos resultados econômicos da gestão de energia	Gestores recebem treinamentos externos, se atualizam para garantir eficiência na gestão energética	O gestor de energia participa ativamente de treinamentos para colaboradores que devem compreender a causa energética e sua influência sobre os resultados econômicos
Indicador de Avaliação	(i) Planejamento dos treinamentos; (ii) Disseminação do conhecimento pelos treinamentos;	(a) Esses treinamentos gerem intercâmbio de informações na operação da organização; (b) compartilhamento de documentos de gestão energética.	(a) Programas de treinamento para todos os envolvidos na operação; (b) Cursos para colaboradores sobre práticas de monitoramento voltados as questões econômicas e relacionadas a gestão de energia.	(a) Treinamentos e programas envolvendo terceiros (prestadores de serviços); (b) atualização constante dos treinamentos para gestão de energia; (c) treinamentos para ISO 50001.

Investimentos (OE)	Relacionado ao suporte gerencial, melhorando o apoio a decisão para investimentos na gestão de energia. As informações sobre investimentos devem ser disseminadas para redução das incertezas nas decisões de investimento.			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Proposta	Verificar se existe uma participação no planejamento em relação aos investimentos por parte da operação da empresa.	Identificar no planejamento feito, são previstos investimentos em ações de gestão de energia; (a) se elas existem quais; (b) quais os requisitos estabelecidos	Os investimentos realizados estão dispostos para gestão de energia e qual o retorno que possui nesse investimento em termos de melhoria dos resultados na gestão de energia	Avaliar a continuidade desses investimentos na operação voltados para gestão de energia e como os resultados são melhorados ou revistos.
Resultado Esperado	Planejamento dos investimentos com participação da operação, pois podem direcionar melhor as necessidades para iniciar os esforços na gestão de energia	Ações de investimentos em gestão de energia através de um planejamento das atividades a serem executadas	Os investimentos aplicados estão em acordo com os resultados esperados e que permitam uma evolução na gestão de energia, com planejamentos de melhorias e continuidade.	Com o direcionamento dos investimentos, os resultados devem ser acompanhados com relatórios auditáveis e que permitam uma evolução em múltiplas áreas da operação.
Indicador de Avaliação	(i) Planejamento e comunicação da forma de investimento a ser realizada na operação em gestão de energia	(i) Protocolo de ações a serem executadas e resultados alcançados; (ii) regras a serem seguidas para as ações	(i) Estabelecimento das regras de investimento para gestão de energia; (ii) resultados alcançados	(i) Os resultados prevêm novos investimentos ou continuidade de programas de gestão de energia por parte da operação; (ii) os esforços devem estar coordenados com a gestão e os resultados disseminados