

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS**

CAIO CESAR FERREIRA

**GESTÃO ENERGÉTICA AVANÇADA: PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA O
GERENCIAMENTO INDUSTRIAL**

**CURITIBA
2020**

CAIO CESAR FERREIRA

**GESTÃO ENERGÉTICA AVANÇADA: PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA O
GERENCIAMENTO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito à obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio E. Gouvêa da Costa

Coorientador: Prof. Dr. Edson Pinheiro de Lima

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps

CURITIBA

2020

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/PUCPR
Biblioteca Central
Pamela Travassos de Freitas - CRB 9/1960

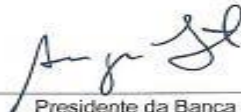
F383g 2020	<p>Ferreira, Caio Cesar Gestão energética avançada : proposição de diretrizes para o gerenciamento industrial / Caio Cesar Ferreira ; orientador: Sérgio E. Gouvêa da Costa ; coorientador: Edson Pinheiro de Lima, Fernando Deschamps. - 2020. 152 f. : il. ; 30 cm</p> <p>Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2020 Bibliografia: f.135-152</p> <p>1. Energia. 2. Comunicação. 3. Desempenho. 4. Energia - Indústria. 5. Indústria - Administração. 6. Recursos energéticos. 7. Tecnologia da informação. I. Costa, Sérgio E. Gouvêa da. II. Lima, Edson Pinheiro de Lima. III. Deschamps, Fernando. IV. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. IV. Título.</p>
CDD 20. ed. - 333.79	

TERMO DE APROVAÇÃO

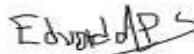
Caio Cesar Ferreira

GESTÃO ENERGÉTICA AVANÇADA: PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA O GERENCIAMENTO INDUSTRIAL

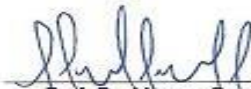
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Presidente da Banca
Prof. Dr. Sergio Eduardo Gouvêa da Costa
(Orientador)



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



Prof. Dr. Marcos Gonçalves Perroni
(Membro Externo)

Curitiba, 14 de abril de 2020.

A meus familiares e amigos, que
estiveram comigo por toda esta
caminhada.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradecer a Deus pelas oportunidades que me oferece.

Agradeço também a meus familiares, com especial atenção a meus pais e irmão, que não medem esforços para me apoiar nas decisões pessoais e profissionais.

À minha namorada, pelo companheirismo e apoio durante esta etapa da minha vida.

Um agradecimento especial a meus professores e orientador, que tanto me auxiliaram e direcionaram meus pensamentos para execução deste trabalho.

Agradeço às pessoas que participaram e contribuíram nas etapas de entrevistas e estudo de caso, proporcionando grande conhecimento e aprendizados a mim, além de enriquecer os resultados do trabalho.

Por fim, a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, participaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

A satisfação está no esforço, não na conquista. Esforço completo significa vitória completa.

(MAHATMA GANDHI)

RESUMO

Realizar a gestão da energia nas organizações é uma necessidade que surge com a escassez de recursos, pressões legais e governamentais, maior exigência dos consumidores e também como fator de competitividade. Ainda que no seu início, as tecnologias provenientes da indústria 4.0 contribuem e potencializam os sistemas de gestão energética. Entretanto, ainda são escassos os trabalhos que abordam a integração entre estas duas áreas. Desta forma, este trabalho tem por objetivo compreender como os conceitos e práticas de gestão da energia se relacionam com os elementos da indústria 4.0. E, assim, propor diretrizes que orientem organizações no momento de estruturar seus sistemas de gestão energética suportados pela indústria 4.0. Para isso, o trabalho utiliza das metodologias de revisão sistemática da literatura, análise de conteúdo, entrevista com especialistas e estudo de caso. As três primeiras foram utilizadas para compor o conjunto de diretrizes, enquanto a última demonstrou a aplicabilidade destas diretrizes como ferramenta diagnóstica. Desta forma, o resultado deste trabalho consiste em um conjunto de diretrizes que auxilia organizações a estruturar seu sistema de gestão energética avançado.

Palavras-chave: Gestão energética. Indústria 4.0. Gestão energética avançada. Tecnologias da informação e comunicação.

ABSTRACT

Energy management in organizations is a necessity that arises with the scarcity of resources, legal and governmental pressures, greater demand from customers and also as a factor of competitiveness. Even though at the beginning, technologies from industry 4.0 contribute and enhance energy management systems. However, there are still few studies that address the integration between these two areas. Thus, this work aims to understand how energy management concepts and practices are related to the elements of industry 4.0. And propose guidelines to guide organizations when structuring their energy management systems supported by industry 4.0. For this purpose, the work uses the methodologies of systematic literature review, content analysis, interview with experts and case study. The first three were used to compose the set of guidelines, while the last demonstrated the applicability of these guidelines as a diagnostic tool. Therefore, the result of this work consists of a set of guidelines that helps organizations to structure their advanced energy management system.

Keywords: Energy management. Industry 4.0. Advanced energy management. Information and communication technologies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Organização dos métodos de pesquisa.....	21
Figura 2 - Estrutura do trabalho	22
Figura 3 - Revisão sistemática de literatura integradora.....	27
Figura 4 - Análise de conteúdo indutiva	29
Figura 5 - Etapas da entrevista com especialistas.....	31
Figura 6 - Possibilidades de refinamento das diretrizes.....	36
Figura 7 - Etapas de coleta e análise de dados do estudo de caso.....	39
Quadro 1 - Decomposição das diretrizes.....	39
Figura 8 - Cronograma	43
Figura 9 - Framework para gestão energética na manufatura	54
Figura 10 - Framework integrador de gestão energética	55
Figura 11 - Arquitetura de planejamento da produção e gestão energética.....	56
Figura 12 - Framework avançado de gestão energética	57
Figura 13 - Nível de análise na manufatura com escalas temporais de decisão	66
Figura 14 - Framework de sistema de usinagem com eficiência global.....	68
Figura 15 - Framework para integração dos dados de energia na gestão da produção.....	69
Figura 16 - Agrupamento variáveis de gestão energética.....	72
Figura 17 - Agrupamento variáveis de gestão energética.....	72
Figura 18 - Agrupamento variáveis de gestão da informação.....	73
Figura 19 - Modelo conceitual de gestão energética avançada.....	75
Figura 20 - Classificações e escala visual	90
Figura 21 - Evolução no refinamento das diretrizes organizacionais	91
Figura 22 - Evolução no refinamento das diretrizes informacionais.....	92
Figura 23 - Estrutura de gestão energética da organização	111
Quadro 2 - Percepção dos funcionários quanto à aplicação das diretrizes.....	112
Quadro 3 - Características da organização.....	127
Quadro 4 - Ações propostas para melhoria do sistema	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de objetivos e métodos.....	23
Tabela 2 - Protocolo de pesquisa para gestão energética.....	24
Tabela 3 - Protocolo de pesquisa para Indústria 4.0.....	26
Tabela 4 - Especialistas em gestão de energia	31
Tabela 5 - Especialistas em tecnologias da informação	33
Tabela 6 - Plano de publicações.....	43
Tabela 7 - Classificação das barreiras, sua origem e área afetada	50
Tabela 8 - Requisitos para estabelecimento de um programa de gestão energética	52
Tabela 9 - Diretrizes organizacionais.....	85
Tabela 10 - Diretrizes informacionais.....	87
Tabela 11 - Diretrizes organizacionais refinadas	95
Tabela 12 - Diretrizes informacionais refinadas	97
Tabela 13 - Conjunto de diretrizes para uma gestão de energia avançada.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAx	Computer-aided tools
CEP	Controle Estatístico de Processo
CNC	Computer Numeric Control
CPPS	<i>Cyber-Physical Production Systems</i>
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
G.E	Gestão Energética
I4.0	Indústria 4.0
ICT	<i>Information and communication technologies</i>
IoS	<i>Internet of Services</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
ISO	International Organization of Standardization
KDD	<i>Knowledge Discovery in databases</i>
KPI	<i>Key Performance indicator</i>
MES	Manufacturing Execution System
MRP	Material Requirement Planning
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
TI	Tecnologia da informação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2	TEMA E QUESTÃO DE PESQUISA.....	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	17
1.4	OBJETIVOS	19
1.4.1	Objetivo Geral	19
1.4.2	Objetivos Específicos	19
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
1.5.1	Abordagem metodológica	19
1.5.2	Métodos da pesquisa	20
1.5.3	Estrutura do trabalho	21
2	PROJETO DE PESQUISA	23
2.1	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	23
2.2	ANÁLISE DE CONTEÚDO	27
2.3	ENTREVISTA COM ESPECIALISTAS	30
2.3.1	Planejamento do estudo	31
2.3.2	Desenvolvimento dos procedimentos	34
2.3.3	Implementação dos procedimentos	35
2.3.4	Uso dos dados	37
2.4	ESTUDO DE CASO.....	37
2.5	CRONOGRAMA E PUBLICAÇÕES	42
3	REFERENCIAL TEÓRICO	45
3.1	GESTÃO ENERGÉTICA	45
3.1.1	Gerenciamento da energia	47
3.1.2	Barreiras à gestão energética efetiva	48
3.1.3	Requisitos à gestão energética	51
3.1.4	Sistemas de gestão energética	53
3.2	INDÚSTRIA 4.0	57
3.2.1	Investimentos em I4.0	59
3.2.2	IoT – características e benefícios	61
3.2.3	Desafios e perspectivas futuras	63
3.3	INTEGRAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 À GESTÃO DE ENERGIA.....	64

SUMÁRIO

4	RESULTADOS INICIAIS	71
4.1	ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	71
4.2	RELATÓRIO DE RESULTADOS.....	74
4.2.1	Modelo conceitual de gestão energética avançada	74
4.2.1.1	Aspectos organizacionais.....	76
4.2.1.2	Aspectos informacionais.....	80
4.2.2	Diretrizes à gestão energética avançada	85
5	REFINAMENTO DOS RESULTADOS	90
5.1	EVOLUÇÃO DAS DIRETRIZES.....	93
5.2	CONFIGURAÇÃO FINAL DAS DIRETRIZES.....	99
6	APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES COMO FERRAMENTA DIAGNÓSTICA	110
6.1	DESCRIÇÃO DO CASO.....	110
6.2	ANÁLISE DO CASO.....	111
6.3	DISCUSSÃO DO CASO.....	130
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
7.1	LIMITAÇÕES E CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	134
	REFERÊNCIAS	136

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A gestão energética em organizações tem sido colocada em foco nos últimos anos. Esta crescente preocupação tem diversas causas, dentre as quais pode-se citar as pressões externas por redução dos impactos ambientais, maior cobertura da mídia sobre as mudanças climáticas, legislações governamentais, escassez e aumento do custo das fontes energéticas (XU *et al.*, 2014; KARALI *et al.*, 2014; THOLLANDER *et al.*, 2013).

O uso de fontes de energia renováveis é uma alternativa para longo prazo, entretanto uma utilização mais eficiente dos recursos energéticos caracteriza-se como uma contramedida imediata aos problemas enfrentados pelas organizações (IREK e THOMAS, 2006).

Embora as pressões externas e a escassez de recursos sejam problemas que as organizações precisam enfrentar, a eficiência energética é também vista como um fator de competitividade (MORENO *et al.*, 2014; DRAKE e SPINLER, 2013; FRIEDLER, 2010). Os ganhos não são provenientes apenas da redução no uso de recursos, mas também na melhora de imagem da organização, que atrai os clientes que buscam organizações ambientalmente corretas.

Como reforçado por Weinert, Chiotellis e Seliger (2011), a redução do consumo energético nas organizações é esperada tanto por meio de melhorias na eficiência energética de processos produtivos específicos, como através da adoção de sistemas inovadores de monitoramento e gestão.

Segundo Schulze *et al.* (2016), compõem a gestão energética as atividades, procedimentos e rotinas sistemáticas dentro de uma empresa, incluindo os elementos de estratégia e planejamento, implementação e operação, controle, organização e cultura, através do envolvimento tanto dos processos de produção como de suporte, reduzindo consumo de energia e seus custos relacionados.

Para que haja uma potencialização dos sistemas de gestão de energia e, conseqüentemente, das ações de melhoria, May *et al.* (2013) defendem uma maior participação e utilização dos sistemas de tecnologia de informação avançados. Wang *et al.* (2017) afirmam que as tecnologias de *IoT* viabilizam o projeto e

desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão para melhoria da eficiência energética.

A evolução das tecnologias de informação e comunicação é um fator de importante contribuição para o aprimoramento dos sistemas de medição e acompanhamento de desempenho (*KPIs*). Com a indústria 4.0 (I4.0), a coleta e tratamento dos dados tornam-se facilitados e contribui com a tomada de decisão dos gestores de processos produtivos.

Assim, os sistemas de gestão energética, suportados pelas tecnologias de informação e comunicação, caracterizam-se como ferramentas de suma importância às organizações, uma vez que tem a capacidade fornecer dados atualizados, tratados e de fácil compreensão, agilizando e potencializando as ações de correção e gestão dos sistemas produtivos.

1.2 TEMA E QUESTÃO DE PESQUISA

Conforme identificado no trabalho de May *et al.* (2017), o número de estudos que englobam conjuntamente os campos de *ICT (Information and Communication Technologies)* e sistemas produtivos sustentáveis ainda é pequeno. Entretanto, organizações intergovernamentais e pesquisadores estão trabalhando em iniciativas desta natureza, com a finalidade de propor tecnologias com potencial impacto nos processos produtivos industriais, auxiliando nesta mudança rumo à uma manufatura energeticamente mais eficiente.

Tecnologias autônomas, como *IoT*, melhoram o monitoramento em tempo real dos processos produtivos, fato que impacta de forma positiva e direta na disponibilidade de dados de consumo energético, auxiliando na identificação de oportunidades de redução e melhorando as práticas de eficiência energética na gestão da produção (SHROUF e MIRAGLIOTTA, 2015).

Assim, fica claro para May *et al.* (2017) que sistemas de tecnologia da informação destacam-se como uma dimensão importante da gestão de energia, uma vez que fornecem mecanismos de auxílio à tomada de decisão, envolvendo desde a gestão de informação até, por exemplo, planejamento e programação da produção. Ainda, os autores apontam para o fato de que estudos sobre integração de ferramentas como MES e ERP com decisões de gestão energética, caracterizam uma nova área de estudo.

Baseado neste cenário de integração da gestão energética às tecnologias de informação avançadas (*I4.0*), que possibilita melhoria na eficiência energética dos sistemas produtivos industriais, o tema deste trabalho está pautado na identificação dos fatores essenciais à esta integração.

Observa-se, com as informações até aqui apresentadas, que a aplicação das inovações tecnológicas da área de gestão da informação no campo da eficiência energética tem grande potencial, entretanto ainda está no seu começo, classificando-se como uma área nova a ser explorada. Desta forma, buscam-se trabalhos que melhor abordem esta integração, a fim de facilitar o entendimento sobre os elementos que norteiam as aplicações práticas.

Tomando como base essa contextualização do tema, a questão de pesquisa que guiará este trabalho é:

- *Quais são as diretrizes a serem seguidas por empresas que pretendem adotar sistemas de gestão energética suportados pela indústria 4.0?*

Entende-se por diretriz, no contexto deste trabalho, recomendações universais que possam ser utilizadas pelas empresas para a adoção e aplicação de sistemas de gestão energética suportados pelas tecnologias avançadas de informação e comunicação, compreendidas dentro das dimensões da *I4.0*. Esta definição de diretriz, na língua inglesa *guideline*, está apoiada no trabalho de Deschamps *et al.* (2013), que define este termo como sendo uma recomendada prática ou princípio de concepção de organizações, que permite alguma discricção na sua interpretação, uso ou implementação.

1.3 JUSTIFICATIVA

O setor industrial é responsável por consumir metade de toda a energia consumida no mundo (LI *et al.*, 2016). Fato que, junto à escassez de recursos e impactos ambientais, reforça a necessidade de políticas empresariais de redução e controle dos gastos energéticos de seus processos produtivos.

Sistemas de monitoramento da eficiência energética são ferramentas de extrema importância, que auxiliam no gerenciamento eficaz da energia, uma vez que servem como instrumentos para a identificação de oportunidades de melhoria e, ainda, registram os impactos de ações voltadas ao tratamento do consumo energético (MAY *et al.*, 2013).

Entretanto, dificuldades de implementação e avanço dos sistemas de gestão energética, assim como a tardia adoção de tecnologias eficientes, tem sido abordada na literatura como barreiras a serem superadas. Há uma extensa lista de trabalhos dedicados a identificar e classificar estas barreiras, o que, segundo Cagno *et al.* (2013), é uma ferramenta útil na identificação de fatores críticos para o aprimoramento da eficiência energética industrial.

Outro ponto importante é o fato de que mesmo em organizações onde encontra-se sistemas de monitoramento e controle eficientes, percebe-se 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 conceitos apropriados de avaliação (BUNSE *et al.*, 2011).

Relacionado a estas dificuldades, May *et al.* (2017) aponta para o fato de que mesmo estando ainda que no seu início, a utilização das tecnologias provenientes da indústria 4.0 possuem grande potencial no que diz respeito a uma melhora da visibilidade e entendimento dos padrões de consumo dos sistemas produtivos das organizações.

Considerando este cenário inicial, May *et al.* (2017) enxergam a necessidade e espaço para trabalhos que contemplem diretrizes (*guidelines*) e alternativas para as indústrias explorarem o uso e adoção destas tecnologias avançadas.

De forma similar, Shrouf e Miragliotta (2015) destacam os benefícios trazidos pelas soluções de *Internet of things*, que melhoram o nível de conhecimento sobre o sistema analisado, uma vez que permitem uma maior flexibilidade de instalação e coletam grandes quantidades de dados relacionados à energia. Sendo assim, torna-se importante projetar como estas soluções *IoT* devem ser incluídas nas abordagens de gestão de energia das empresas.

Além desta evidente necessidade de trabalhos que abordem a integração da gestão de energia com a indústria 4.0, a discussão proposta nesta dissertação também tem sua importância devido ao fato de que os trabalhos presentes na literatura estão divididos entre dois focos: processo de implementação da gestão energética e fluxo e gestão das informações. De forma que esta dissertação contempla ambas características, gerencial e tecnológica, proporcionando um entendimento mais amplo sobre os itens essenciais ao processo de gerenciamento energético em organizações que, para esta finalidade, apoiam-se na disponibilidade e no potencial das tecnologias de informação.

Embora alguns dos resultados desta dissertação possam ser utilizados para gestão de outros recursos energéticos, este trabalho tem foco na gestão da energia elétrica, de forma que todas as etapas do trabalho, desde a análise da literatura até o estudo de caso, estão voltadas à gestão deste tipo de energia.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Compreender como os conceitos e práticas de gestão da energia se relacionam com os elementos da indústria 4.0, para definição de diretrizes que orientem a criação de sistemas de gerenciamento energético avançados.

1.4.2 Objetivos Específicos

Com a intenção de atender ao objetivo geral deste trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Compreender, por meio de uma revisão de literatura, os conceitos, princípios e elementos que compõem os sistemas de gestão energética e a indústria 4.0;
2. Explorar os modelos de gestão energética, existentes na literatura, que já contemplem os princípios e tecnologias da indústria 4.0;
3. Propor um modelo conceitual de gerenciamento energético suportado pela Indústria 4.0;
4. Refinar e definir um conjunto final de diretrizes;
5. Investigar a aplicação das diretrizes como ferramenta diagnóstica, por meio de estudo de caso;

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

1.5.1 Abordagem metodológica

Deschamps (2013), em seu trabalho de desenvolvimento de diretrizes, aponta para os esforços de sistematização, que envolvem coleta, organização e análise de informações sobre o objeto de estudo, de maneira racional, permitindo a identificação destes padrões e denominadores comuns.

Assim, dada a similaridade entre o atual trabalho e o desenvolvido por Deschamps (2013) e utilizando do conceito de Miguel *et al.* (2012), este trabalho pode ser definido pela utilização de uma análise qualitativa, pois avalia os dados encontrados na literatura em busca de características e lacunas, fazendo relacionamento de conceitos teóricos. Assim como também abriga uma série de técnicas de descrição, tradução e decodificação que visam entender quais são as variáveis, não a quantidade de vezes que elas aparecem (MARTINS, 2012).

O trabalho pode ser classificado, também, como descritivo. Pois, segundo Håkansson (2013), este método tem foco nos fatos encontrados e pode ser utilizado para encontrar novas características, significados ou relações entre dados já conhecidos. Ainda, para Gil (2002), trabalhos descritivos tem como característica a utilização de técnicas padronizadas para a coleta dos dados.

Estas definições e classificações evidenciam-se pelo fato de o trabalho buscar entender quais são os elementos a serem considerados dentro de um modelo de gestão energética, não interessando quantas vezes eles aparecem ou foram mencionados, mas sim sua relação com os outros elementos que compõem o modelo proposto. Dentre estas relações estudadas no trabalho, destaca-se a busca pela combinação entre os princípios, características e tecnologias da gestão energética e indústria 4.0.

É importante ressaltar que este trabalho considera que a adoção da gestão energética, assim como das tecnologias de informação e comunicação, gera impactos positivos na organização. Ou seja, apoiado no senso comum da literatura que aponta para benefícios no uso destes métodos e abordagens, não será discutido neste trabalho a relação entre a implementação e seus resultados, que exigiria outras abordagens de pesquisa.

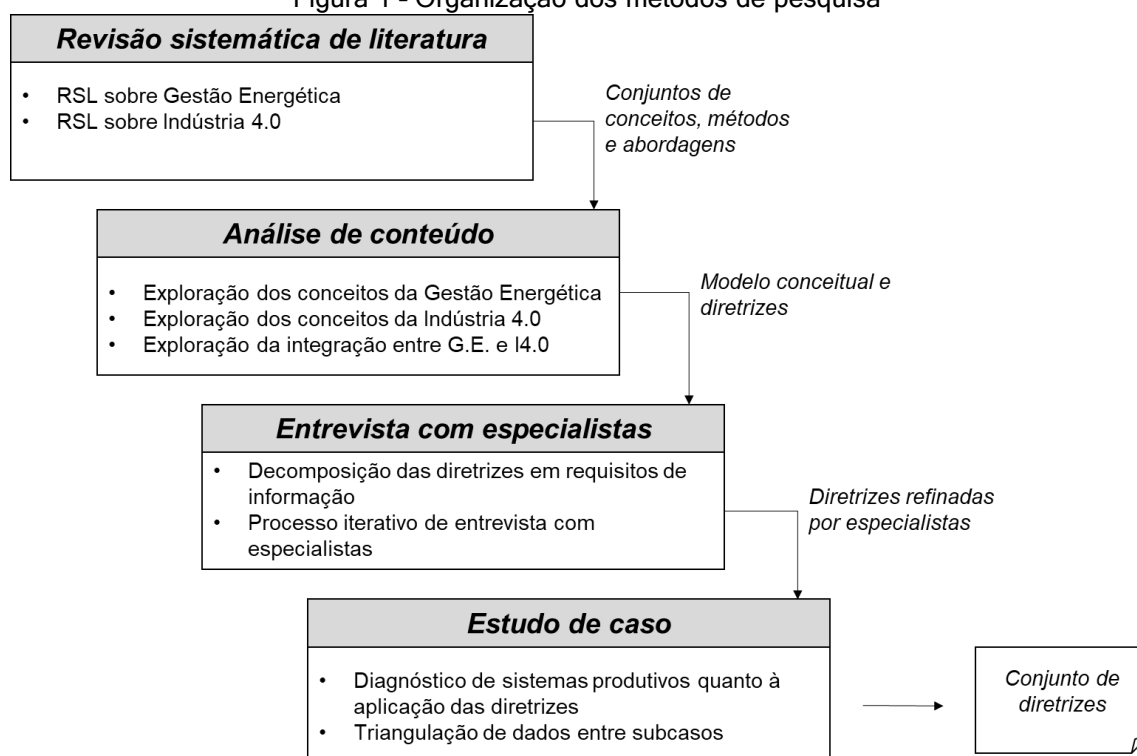
1.5.2 Métodos da pesquisa

Dados os objetivos do trabalho, serão utilizados os seguintes métodos para alcance dos resultados: revisão sistemática da literatura, análise de conteúdo, entrevistas semiestruturadas e estudos de caso exploratórios. De forma que as duas primeiras contribuirão para proposição do modelo conceitual e definição das diretrizes, enquanto as entrevistas serão utilizadas para refinamento e confirmação das diretrizes propostas. Já o estudo de caso aplica-se na tentativa de testar as

diretrizes e o modelo de forma diagnóstica. O detalhamento destes métodos está descrito no capítulo “Projeto de pesquisa”.

Na imagem a seguir, tem-se uma ilustração da sequência de aplicação dos métodos e os resultados de cada um. Percebe-se que os resultados de cada método são os dados de entrada para o seguinte, demonstrando a cronologia e dependência entre eles.

Figura 1 - Organização dos métodos de pesquisa

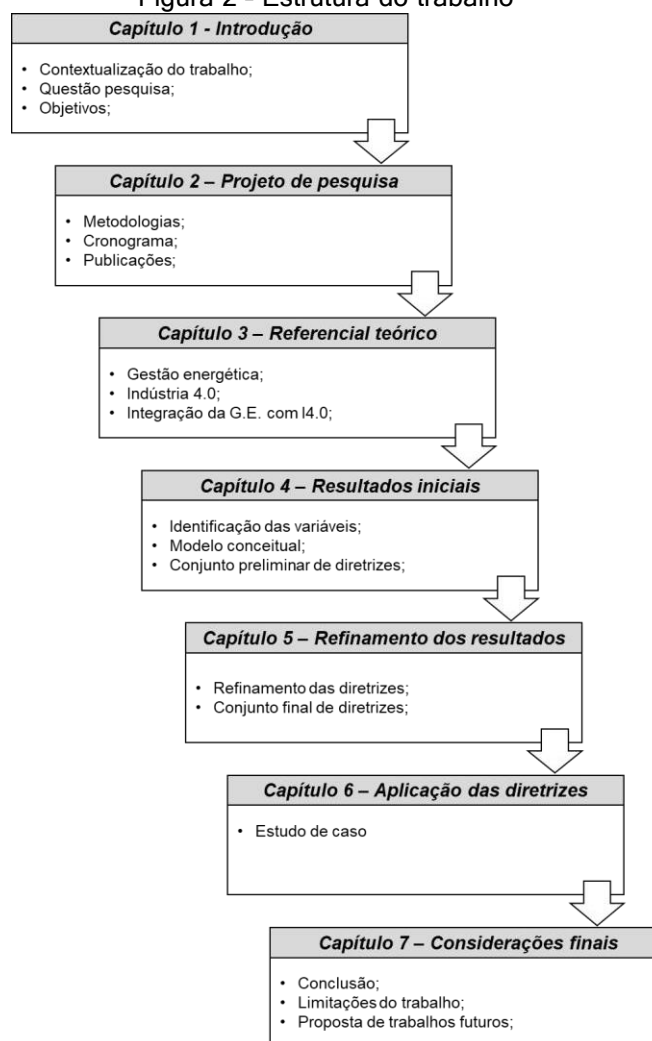


Fonte: o autor, 2020.

1.5.3 Estrutura do trabalho

Considerando os objetivos a serem atingidos, o trabalho é composto por sete capítulos. Os títulos e seus principais conteúdos estão esquematizados na figura 2, mostrada abaixo.

Figura 2 - Estrutura do trabalho



Fonte: o autor, 2020.

O primeiro capítulo contextualiza o tema do trabalho, disserta sobre a questão pesquisa e apresenta dos objetivos traçados para atender à questão. Na sequência, o capítulo 2 descreve as metodologias utilizadas no trabalho, o cronograma e um resumo das publicações realizadas e planejadas. O capítulo 3 é responsável por apresentar as definições teóricas de cada tema abordado no trabalho. Após estas etapas iniciais, o trabalho apresenta alguns resultados parciais, por exemplo o conjunto inicial de diretrizes. O capítulo 5 demonstra todo o processo de refinamento deste conjunto, enquanto o capítulo seguinte traz um detalhamento do estudo de caso e seus resultados. Por fim, no capítulo 7, são apresentadas conclusões sobre o trabalho, suas limitações e proposição de trabalhos futuros.

2 PROJETO DE PESQUISA

A fim de atingir os objetivos traçados pelo trabalho, seu desenvolvimento pode ser dividido em 4 fases principais que, na tabela abaixo, estão relacionadas aos objetivos específicos e os procedimentos metodológicos aplicados.

Tabela 1 - Relação de objetivos e métodos

Fase	Descrição	Objetivo específico atendido	Método
Primeira	Preparação conceitual	Objetivos 1 e 2	Revisão Sistemática da Literatura e análise de conteúdo
Segunda	Desenvolvimento do modelo e diretrizes	Objetivos 3 e 4	Análise de conteúdo
Terceira	Refinamento das diretrizes	Objetivo 4	Entrevista com especialistas
Quarta	Aplicação das diretrizes em sistemas reais	Objetivo 5	Estudo de caso

Fonte: o autor, 2020.

Nos subcapítulos seguintes, serão detalhados os procedimentos metodológicos aplicados neste trabalho.

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A revisão sistemática da literatura (RSL) é, segundo Kitchenham (2007), uma forma de identificar, avaliar e interpretar as pesquisas disponíveis que são relevantes à determinadas questões de pesquisa, área ou fenômenos de interesse. Além disso, o autor também pontua como uma das razões para se utilizar a RSL o fato desta metodologia fornecer um contexto que permita posicionar novas atividades de pesquisa.

A aplicação do método seguiu as recomendações e etapas propostas por Tranfield *et al.*, (2003), que determina a seguinte sequência de trabalho:

- 2.1.1 Definir a proposta da pesquisa;
- 2.1.2 Formular um protocolo de pesquisa;
- 2.1.3 Realizar a pesquisa na base de dados;
- 2.1.4 Selecionar os trabalhos de interesse – de acordo com o protocolo especificado anteriormente;

2.1.5 Ler/analisar os artigos selecionados, respondendo à questão de pesquisa.

Alinhado com esta visão, utilizou-se da RSL para que se pudesse compreender o histórico, conceitos, princípios e elementos que compõem os dois principais temas estudados neste trabalho: gestão de energia e indústria 4.0.

Após uma pesquisa preliminar nas bases de dados, percebeu-se que ainda é escasso o número de trabalhos que tratam de ambos os temas de forma conjunta e os relacionando. Desta forma, além de demonstrar que esta amostra inicial de trabalhos não era representativa para que se pudesse construir uma análise completa sobre o tema, estes trabalhos foram inicialmente utilizados para auxiliar na construção do tema de pesquisa e estruturação dos objetivos desta dissertação.

Portanto, com base neste contexto, orientado por estes trabalhos e para que se pudesse ter um resultado mais robusto, nesta dissertação foram realizadas duas RSL, sendo a primeira sobre o tema de gestão energética e a segunda sobre indústria 4.0. Com isso, o objetivo é construir uma base sólida de conhecimento sobre ambos os temas, para que se possa relacioná-los conforme proposta final da pesquisa.

O protocolo de pesquisa elaborado para a revisão da gestão energética pode ser observado na tabela a seguir. Os termos de busca foram divididos em três grupos, de forma que se utilizou o operador Booleano “OR” entre eles e, assim, os artigos selecionados devem atender às especificações de pelo menos um dos grupos. Os termos procurados estão relacionados à gestão de energia no contexto industrial. Além disso, estes termos deveriam estar no título, resumo ou palavras-chave dos trabalhos.

Tabela 2 - Protocolo de pesquisa para gestão energética

Características	Descrição
Termos de busca (Título, resumo, palavra-chave)	Grupo 1: ("industrial energy efficiency" OR "industrial energy management" OR "energy efficiency manufacturing") Grupo 2: ("energy efficiency" AND "manufacturing") Grupo 3: ("energy management" AND "industry")
Estratégia de pesquisa	“OR” entre grupos
Base de dados	Scopus
Delimitação de área de	Energia, Engenharia, Meio Ambiente, Negócios e Gestão, Economia e

estudo	Ciências da Decisão
Critérios de exclusão	Trabalhos que não deixam claro no título ou resumo seu objetivo de revisar os conceitos da gestão energética Trabalhos dedicados a temas/tecnologias específicas Trabalhos com abordagem de gestão energética em casas Trabalhos que estudavam o contexto de determinado país Trabalhos duplicados
Idioma	Inglês
Tipo de publicação	Revisões de literatura
Data da publicação	Não especificado

Fonte: o autor, 2020.

A base de dados escolhida foi a Scopus, devido a sua abrangência e reconhecido prestígio dentro do ambiente científico. Os trabalhos pré-selecionados deveriam ser escritos na língua inglesa e serem do tipo “*review*” – revisões da literatura. Optou-se por não especificar uma janela temporal, pois o objetivo do trabalho passa também pela compreensão do histórico de evolução do tema.

Ainda dentro da base de dados, selecionou-se os trabalhos que eram relacionados às áreas de estudo de energia, engenharia, meio ambiente, negócios e gestão, economia ou ciências da decisão. Esta seleção foi determinada devido ao grande número de artigos que estavam ligados às áreas como biologia, genética, química, entre outras.

Após esta pré-seleção, obteve-se informações como título, resumo, palavras-chave, número de citações, autores, entre outros dados utilizados para o filtro final. Conforme especificado no protocolo de pesquisa, baseado na leitura e análise destes dados, os critérios de exclusão final foram: trabalhos que não manifestavam de forma clara a realização de uma revisão sobre o tema de interesse, trabalhos dedicados a tecnologias específicas (exemplo: células fotovoltaicas), trabalhos que tratavam da gestão da energia em casas, os que estudavam o contexto de um país específico e os que fossem duplicados.

Para a pesquisa sobre indústria 4.0, o protocolo de pesquisa assemelha-se ao de gestão de energia. Entretanto, os termos de busca estão alocados em apenas um grupo, onde pelo menos um termo deve ser encontrado no título, resumo ou palavras-chave dos trabalhos.

Tabela 3 - Protocolo de pesquisa para Indústria 4.0

Características	Descrição
Termos de busca (Título, resumo, palavra-chave)	("industr* 4.0" OR "connect* manufactur*" OR "smart manufactur*" OR "industrial internet of things" OR "21st manufactur*" OR "4th industrial revolution")
Base de dados	Scopus
Critérios de exclusão	Trabalhos que não deixam claro no título ou resumo seu objetivo de revisar os conceitos da indústria 4.0 Trabalhos dedicados a temas/tecnologias específicas Trabalhos que estudam o contexto de determinado país Trabalhos duplicados
Idioma	Inglês
Tipo de publicação	Revisões de literatura
Data da publicação	Não especificado

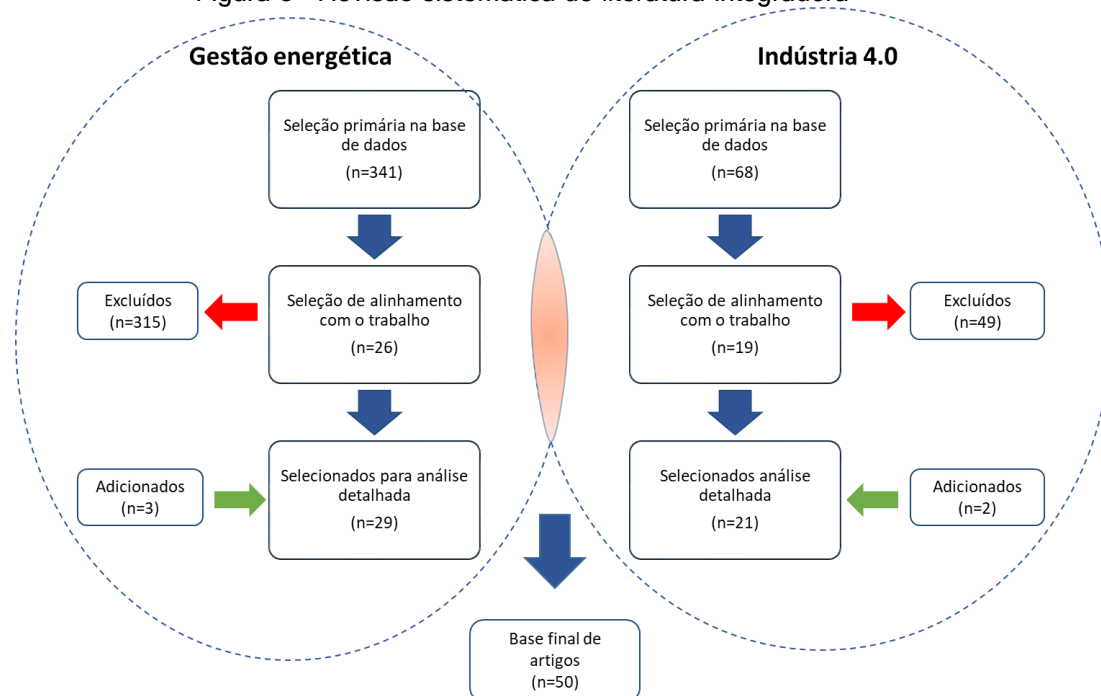
Fonte: o autor, 2020.

As especificações quanto à base de dados utilizada, o idioma, tipo e data da publicação são iguais ao protocolo de gestão energética.

Os artigos pré-selecionados na base de dados foram refinados conforme os seguintes critérios de exclusão: ausência de definição clara, no título ou resumo, que o trabalho revisará o tema em estudo, trabalhos que se dediquem ao estudo de tecnologias específicas (exemplo: soluções de LP-WAN), estudos sobre o contexto de determinado país e trabalhos duplicados.

A figura 3 mostra um fluxograma que retrata a evolução na quantidade de trabalhos selecionados, após cada etapa de refinamento.

Figura 3 - Revisão sistemática de literatura integradora



Fonte: o autor, 2020.

No final, um total de cinquenta (50) trabalhos foram selecionados para uma análise mais detalhada (identificação de conceitos, métodos, modelos, ...). Estes trabalhos foram utilizados para elaboração tanto do modelo conceitual, como para composição das diretrizes propostas. Os trabalhos adicionados, na etapa final, foram autores citados em outros trabalhos e que estavam alinhados com a proposta desta dissertação.

A separação dos temas (gestão de energia e indústria 4.0) foi necessária devido à baixa presença de trabalhos que tratassem de ambos assuntos de forma conjunta. Entretanto, foi primordial para que uma sólida base de conhecimento fosse construída para ambos os temas, possibilitando um melhor entendimento de cada um e da relação entre eles.

2.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Tendo selecionado os trabalhos que melhor se adequavam à proposta desta dissertação, o método escolhido para interpretação dos dados foi a análise de conteúdo.

Segundo Cole (1988), a análise de conteúdo é um método que analisa mensagens escritas, verbais ou visuais. Além disso, quando utilizada como método

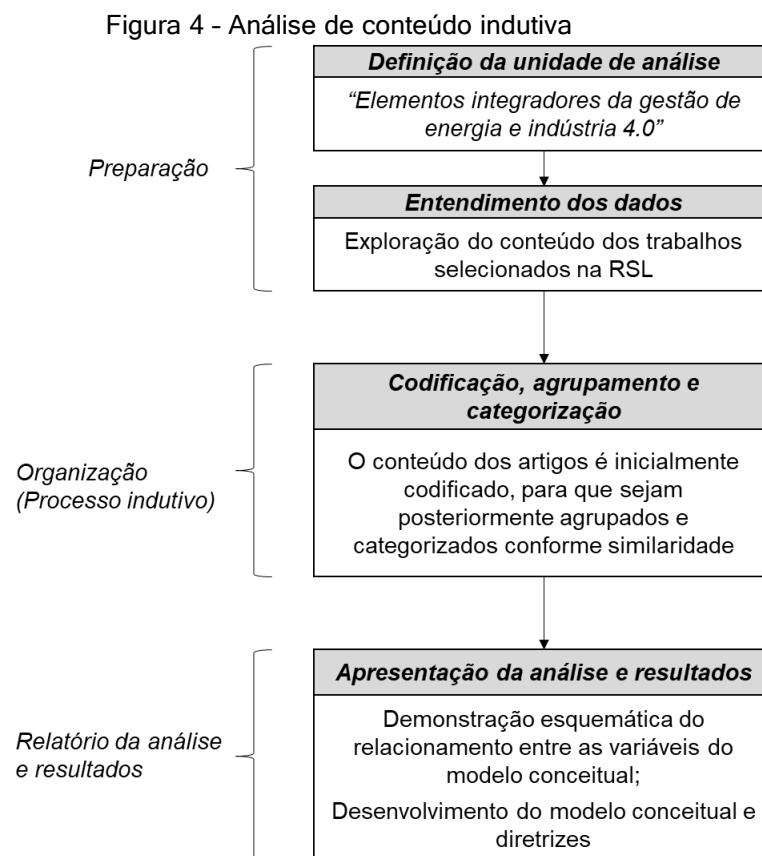
de pesquisa, é uma forma sistemática e objetiva de descrever e quantificar fenômenos (KRIPPENDORFF, 1980; DOWNE-WAMBOLDT, 1992; SANDELOWSKI, 1995).

Para KRIPPENDORFF (1980), este é um método de pesquisa para se criar inferências replicáveis e válidas de dados sobre o seu contexto, com o intuito de prover conhecimento, novos *insights* e representar fatos. Também, para Elo e Kyngäs (2008), o objetivo da análise de conteúdo é conseguir uma descrição condensada e ampla sobre um fenômeno, obtendo conceitos e categorias, para que posteriormente se possa construir, por exemplo, modelos ou sistemas conceituais.

Duas são as possíveis abordagens de uma análise de conteúdo: indutiva ou dedutiva. A primeira é recomendada em ambientes onde há conhecimento formado, porém ainda se encontra fragmentado (LAURI e KYNGÄS, 2005). Já a segunda, é normalmente utilizada quando a estrutura de análise está operacionalizada em uma base de conhecimento e precisa-se testar a teoria (KYNGÄS e VANHANEN 1999). Além disso, de acordo com Chinn e Kramer (1999), uma abordagem baseada em dados indutivos vai do específico para o geral, de forma que particularidades são estudadas e combinadas em uma questão maior ou declaração geral.

Assim, o presente trabalho utiliza da abordagem indutiva, pois através do entendimento dos conceitos, características e informações fragmentadas de ambos os temas (gestão energética e indústria 4.0), sintetiza e relacione os temas.

Para isso, adotou-se como processo padrão para a análise de conteúdo o proposto por Elo e Kyngäs (2008). A seguir, tem-se ilustração deste processo, já contextualizada com a análise desenvolvida neste trabalho.



Fonte: Elo e Kyngäs (2008), adaptado pelo autor (2020).

A primeira fase de uma análise de conteúdo é a preparação, que é composta pela seleção da unidade de análise e entendimento inicial dos dados. A unidade de análise deste trabalho é a relação existente entre a gestão energética e a indústria 4.0. O entendimento dos dados exigiu extensa exploração do conteúdo dos trabalhos selecionados na RSL, de forma que os temas foram analisados separadamente, mas sempre buscando a criação de relações entre eles.

Na fase seguinte acontece a organização, que passa pelas atividades de codificação aberta, armazenagem das informações coletadas, agrupamento, categorização e abstração. Neste trabalho, diversos foram os agrupamentos e categorizações. Como exemplo, tem-se o agrupamento de informações que tratavam de modelos matemáticos de análise do consumo energético. Estas informações foram, posteriormente, categorizadas como “ferramentas de análise do consumo”.

Por fim, tem a fase de comunicação dos resultados do processo de análise. Que, neste trabalho, ficou representado de duas formas, por meio da proposição de um modelo conceitual e das diretrizes formuladas. A validade da análise foi

demonstrada por meio do constante embasamento das afirmações em trabalhos e autores de relevância ao tema.

2.3 ENTREVISTA COM ESPECIALISTAS

Após concepção do modelo conceitual e das diretrizes, aplicou-se como metodologia a entrevista com especialistas. A principal razão desta aplicação foi a necessidade de unir os conhecimentos da literatura com as percepções do campo prático e profissional dos especialistas. Assim, o objetivo deste método é refinar as diretrizes elaboradas com base na literatura, de forma que seja constatada sua aplicabilidade tanto no ambiente acadêmico, quanto em empresas.

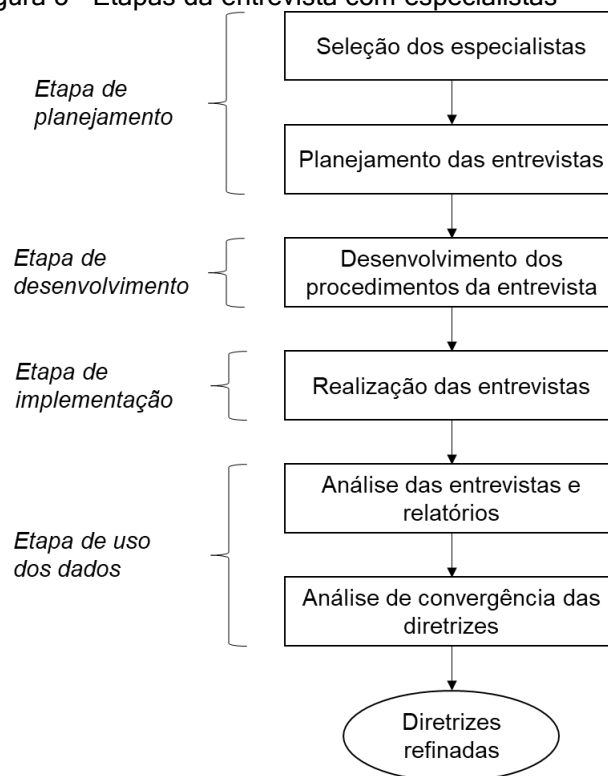
A forma de aplicação desta metodologia foi baseada no trabalho de Silveira et al. (2017). Os autores alertam para duas características essenciais deste método: seleção apropriada dos especialistas e adoção de um procedimento sistemático e bem definido para coleta, análise e sintetização das informações provenientes das entrevistas.

O método é baseado em dois conceitos principais, os trazidos pelo Cambridge Process Approach de Platts e Gregory (1990) e pelo framework de Bourne *et al.* (2000). São quatro as fases do método:

- a) *Planejamento e gestão do estudo*: nesta etapa é elaborado um planejamento geral do estudo, contemplando as ações de seleção dos especialistas e definição de um cronograma das entrevistas;
- b) *Concepção do procedimento*: etapa de criação dos procedimentos, formulários e materiais de apoio para as entrevistas;
- c) *Implementação dos procedimentos*: fase onde são realizadas as entrevistas;
- d) *Uso dos procedimentos*: nesta etapa são realizadas análises e sínteses dos dados coletados nas entrevistas.

A seguir apresenta-se fluxograma esquemático das etapas do método de entrevistas com especialistas.

Figura 5 - Etapas da entrevista com especialistas



Fonte: Silveira *et al.* (2017), adaptado pelo autor (2020).

Nos subcapítulos seguintes descreve-se em detalhes cada etapa apresentada na imagem anterior.

2.3.1 Planejamento do estudo

A primeira etapa realizada foi a seleção dos especialistas. Para isso, levou-se em consideração duas principais características: relevância das suas experiências com algum dos temas explorados (gestão de energia e/ou tecnologia da informação) e diversificação das visões, ou seja, definiu-se que para uma maior robustez das diretrizes era necessário mesclar especialistas com atuações acadêmicas, em indústrias e atividades de consultoria.

Nas tabelas abaixo tem-se a descrição dos especialistas participantes. Devido ao fato de as diretrizes terem sido separadas em dois domínios de conhecimento, as diretrizes foram avaliadas separadamente, assim, os especialistas avaliaram ou as diretrizes ligadas à gestão de energia ou diretrizes sobre tecnologias de informação.

Tabela 4 - Especialistas em gestão de energia

Identificação	Descrição do conhecimento	Área de atuação
---------------	---------------------------	-----------------

do especialista		Indústria	Consultoria	Academia
EE01	Especialista mais de 15 anos trabalhando com consultoria, auxiliando empresas na definição de contratos de energia. Sua especialidade é adequar os contratos de energia de acordo com o padrão de consumo das organizações, buscando fontes de reduções de custos.		X	
EE02	Especialista com 17 anos de experiência na área de manutenção industrial e gestão de fluídos. Trabalhou os últimos 4 anos como gestor de energia, fazendo o controle de indicadores de consumo energético em uma multinacional do ramo automobilístico.	X		
EE03	Especialista com 18 anos de experiência na área de gestão de processos produtivos. Desde o início de sua carreira atuando em multinacional do ramo automobilístico, onde também desenvolveu atividades de gestão energética, que lhe renderam o título de doutor.	X		X
EE04	Especialista com mais de 26 anos de atuação na área de infraestrutura energética, onde coordenou projetos de gestão de energia em empresa de grande porte do setor de telecomunicações. Possui também experiência com consultoria para aplicação de projetos de eficiência energética.	X	X	X
EE05	Especialista com pós-doutorado em Engenharia de produção e sistemas, cujo foco de trabalho é a gestão de energia na cadeia de suprimentos. Pesquisa voltada ao desenvolvimento de modelos de avaliação da eficiência energética em cadeias de suprimento.			X

Os especialistas em gestão de energia (EE) foram enumerados conforme sequência de entrevistas. A descrição atribuída a cada um deles está relacionada com sua experiência e especialidade, além disso, os especialistas também foram classificados de acordo com suas experiências relacionadas à gestão de energia: atuação em empresas, consultorias e/ou acadêmica.

Tabela 5 - Especialistas em tecnologias da informação

Identificação do especialista	Descrição do conhecimento	Área de atuação		
		Indústria	Consultoria	Academia
EI01	Profissional com 5 anos de experiência na área de gestão de energia por meio do processamento e tratamento de dados. Participação e coordenação de times em projetos internacionais de eficiência energética. Possui título de mestre em gestão de energia.		X	X
EI02	Atuação de 10 anos na área de automação industrial, com foco no desenvolvimento, programação e implantação de PLCs e sistemas supervisórios. Recentemente, trabalhou com a construção de provas de conceito para projetos de I4.0, atuando em assuntos como manutenção preventiva e rastreabilidade de embalagens.	X		X
EI03	Especialista com 5 anos de experiência na área de gestão de energia, com foco no gerenciamento de dados eletrônicos. Participação em projetos internacionais de eficiência energética. Possui título de mestre em gestão de energia.		X	X
EI04	Especialista com mais de 5 anos de experiência em implementação de projetos de eficiência energética, onde atuou em empresa de grande porte do setor automotivo, integrando o time de implementação da América Latina. Nos últimos anos tem trabalhado com desenvolvimento e aplicação de projetos	X	X	

	de eficiência energética através de plataformas digitais.		
EI05	Experiência com especificação e gerenciamento de indicadores da área de TI, totalizando 15 anos de experiência. Trabalhou como gerente de desenvolvimento de softwares. Além de ser PhD em Engenharia de produção e Sistema, com ênfase em interoperabilidade.	X	X
EI06	Especialista com aproximadamente 6 anos de experiência na área de gestão de energia, com atuação na implementação e gestão de sistemas de monitoramento energético, assim como ferramentas de suporte à decisão. Possui título de doutor, proveniente de estudos ligados à área de engenharia elétrica.	X	X

Fonte: o autor, 2020.

De forma similar, os especialistas em tecnologia da informação (EI) foram enumerados e descritos de acordo com suas experiências e especialidades, além da classificação por “área de atuação” das suas experiências relacionadas às tecnologias de informação avançadas (*IoT e IA.0*).

Na etapa de planejamento das entrevistas definiu-se que elas ocorreriam de acordo com o tempo de experiência e relevância das características dos entrevistados, ou seja, priorizou-se os especialistas com maior experiência e/ou que a área de atuação ou a experiência tivesse alta relevância com o tema estudado.

2.3.2 Desenvolvimento dos procedimentos

Nesta fase são elaborados os procedimentos, formulários e materiais de apoio utilizados nas entrevistas. Dentre os produtos desta etapa estão:

- a) Procedimento para condução da entrevista e coleta dos dados relevantes;
- b) Procedimento para análise e síntese dos dados coletados nas entrevistas;

- c) Formulários de entrevistas, como o roteiro da entrevista e o relatório;
- d) Materiais de apoio, como apresentações do projeto e lista impressa com as diretrizes;

Ao final de cada entrevista foi necessário revisar e atualizar alguns procedimentos, como por exemplo a lista de diretrizes, que sofriam modificações de acordo com as visões dos entrevistados.

2.3.3 Implementação dos procedimentos

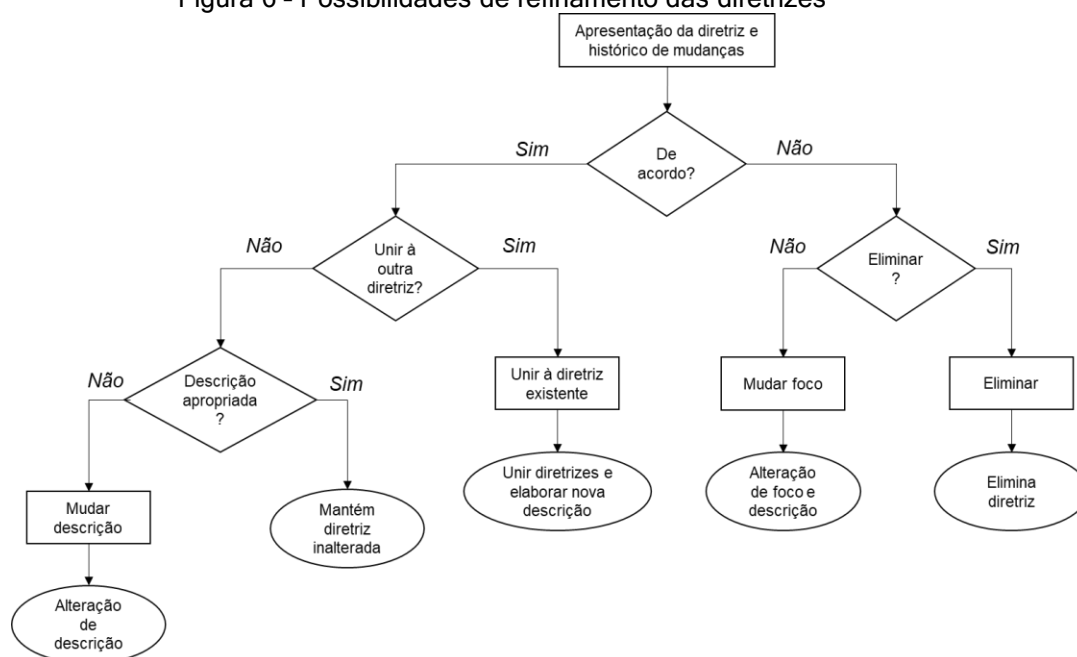
A etapa de implementação corresponde à realização das entrevistas com os especialistas. De acordo com a localização e disponibilidade de cada entrevistado, as reuniões de discussão das diretrizes ocorreram de forma presencial ou via Skype® e tiveram duração média de 1 hora e meia.

Três foram as etapas desempenhadas em cada entrevista: contextualização, análise das diretrizes e avaliação de completude do conjunto de diretrizes.

As entrevistas começaram com uma contextualização do trabalho de pesquisa e seus objetivos, uma rápida introdução sobre as diretrizes e sua aplicação. Depois o entrevistado foi perguntado sobre suas experiências profissionais, com foco nas atividades relacionadas à gestão de energia ou tecnologias de informação avançadas. Também se questionou a percepção do especialista em relação às dificuldades de aplicação da gestão energética e/ou tecnologias de informação.

Na sequência, iniciaram-se as análises das diretrizes. Para cada diretriz o entrevistado foi questionado quanto à sua concordância com a diretriz. Este questionamento levou a diferentes resultados, que são exemplificados no fluxograma a seguir.

Figura 6 - Possibilidades de refinamento das diretrizes



Fonte: Silveira *et al.* (2017), adaptado pelo autor (2020).

Quando o entrevistado não estava de acordo com a diretriz ele solicitava a eliminação da mesma ou mudança do seu foco, ou seja, propunha uma alteração no conceito e descrição da diretriz.

Mesmo que o entrevistado estivesse de acordo com a diretriz ele era questionado se a mesma poderia ser unificada com alguma outra e/ou se a forma de descrição estava clara, podendo sugerir alteração na forma de escrita.

Os entrevistados, com exceção dos primeiros, tiveram acesso ao histórico de evolução das diretrizes, ou seja, foram-lhe apresentadas as alterações sugeridas por especialistas anteriores. Assim, além de apresentarem sua percepção quanto à diretriz, também foi possível confrontar com a opinião anterior, criando discussões mais aprofundadas sobre o tema e permitindo um melhor alinhamento entre os pontos de vista dos entrevistados.

Após a análise do especialista, cada diretriz ou processo de refinamento (iteração) era classificada de acordo com a sugestão do entrevistado:

- a) Sem alteração (I): nenhuma alteração foi proposta pelo especialista;
- b) Simplificada (S): o entrevistado sugeriu alguma mudança na descrição da diretriz para torná-la mais simples;
- c) Refinada (R): sugerida alteração para refinamento semântico ou sintático;

- d) Mudança de foco (F): especialista sugeriu alteração do foco/conceito abordado pela diretriz;
- e) Eliminada (E): é proposto que a diretriz seja eliminada.

Ao final da entrevista o especialista era questionado sobre a completude do conjunto de diretrizes, ou seja, se as diretrizes propostas eram suficientes ou faltavam pontos a serem abordados. Quando o especialista sugeria a inclusão de alguma diretriz, ela não era incluída, mas armazenada como banco de sugestões para serem discutidas ao final do trabalho.

2.3.4 Uso dos dados

Após cada entrevista, foram elaborados relatórios de registro da entrevista, que possibilitassem uma posterior análise e reflexão do pesquisador sobre os dados coletados. Os registros deveriam contemplar todas as etapas da entrevista, de forma que tivessem uma descrição sobre as experiências do entrevistado, assim como sua percepção quanto às dificuldades de adoção da gestão de energia e tecnologias de informação avançadas.

Os registros também deveriam conter informações sobre a evolução das diretrizes, apresentando o formato anterior e as proposições feitas, assim como descrição das considerações do especialista sobre cada diretriz.

Eram contempladas também reflexões críticas do pesquisador sobre cada etapa da entrevista, assim como sobre a evolução das diretrizes e dos procedimentos. Além destas, as discussões geradas mediante diferentes visões dos especialistas foram importantes para reflexões e ideias relacionadas à aplicação das diretrizes e seu desenvolvimento em ambientes práticos.

Por fim, utilizando da categorização das diretrizes em cada iteração (sem alteração, refinada, mudança de foco, ...) foi possível avaliar o nível de convergência das diretrizes, ou seja, avaliar se havia uma tendência ao consenso sobre a diretriz. Esta análise permitiu avaliar a necessidade de novas entrevistas com especialistas.

2.4 ESTUDO DE CASO

Tendo finalizado o processo de refinamento e, desta forma, consolidado um conjunto final de diretrizes, o trabalho utilizou-se da metodologia de estudos de caso para avaliar a aplicação destas diretrizes como ferramenta diagnóstica. Assim, além

apresentá-las em um contexto real, os estudos de caso correlacionaram as diretrizes com a realidade da organização.

Yin (2010), classifica o estudo de caso como uma investigação empírica, que, para Lewis (1998), vem sendo continuamente utilizada nas pesquisas voltadas à gestão de operações devido às rápidas e contínuas mudanças tecnológicas ocorridas nos últimos anos.

Segundo Cauchick e Sousa (2012), a metodologia de estudo de caso investiga um determinado fenômeno dentro do seu contexto real. Desta forma, Yin (2010) estabelece que esta metodologia deve ser utilizada para estudos onde buscase entender a forma (“Como”) um determinado fenômeno ocorre. Assim, no contexto deste trabalho, significa entender como e em qual grau as diretrizes propostas neste trabalho são adotadas na organização.

Desta forma, propõe-se utilizar este conjunto de diretrizes como ferramenta diagnóstica, uma vez que elas buscam guiar os processos de desenvolvimento e implementação de sistemas de gestão energética avançada, para que sejam bem estruturados e robustos. Ou seja, serão utilizadas como parâmetros para entendimento quanto à robustez do sistema, indicando alinhamento ou oportunidades de melhoria.

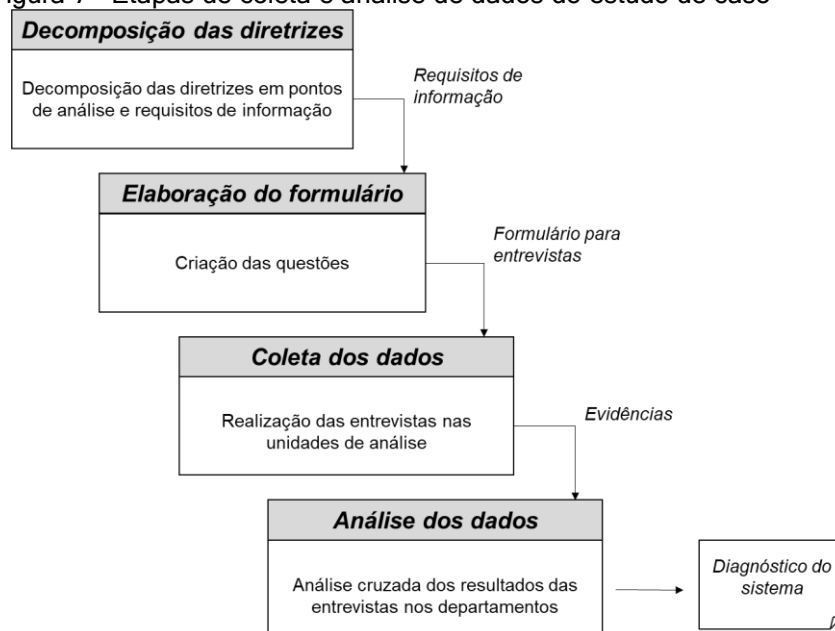
Para isso, realizou-se um estudo de caso único, com unidades de análise integradas (YIN, 2012). Ou seja, avaliou-se o contexto de uma única empresa (caso), mas através de múltiplas unidades de análise (subcasos). O estudo foi aplicado à uma empresa do setor automobilístico, pois possui departamentos e funcionários com foco na gestão da energia, além de seu reconhecido esforço de inovação em processos de gestão.

Com a intenção de obter um conhecimento mais amplo sobre a estrutura de gestão energética da empresa, as áreas (unidades de análise) escolhidas para o estudo compõem os níveis de planejamento e operacionalização, além de possuírem relação direta nas atividades de G.E. Assim, foi possível avaliar a adoção das diretrizes nos diferentes departamentos, proporcionando não apenas um entendimento quanto ao nível de atendimento às diretrizes, mas também habilitando uma avaliação quanto à uniformidade entre os departamentos.

Baseado no trabalho de Deschamps (2013), as fases de coleta e análise dos dados foram estruturadas em quatro etapas: decomposição das diretrizes em requisitos de informação, elaboração do formulário de entrevista, coleta das

informações por meio de entrevistas abertas e análise dos dados através da triangulação entre os subcasos. A figura 7 traduz de forma gráfica estas etapas e seus resultados.

Figura 7 - Etapas de coleta e análise de dados do estudo de caso



Fonte: o autor, 2020.

A primeira etapa propõe a decomposição das diretrizes em requisitos de informação (quadro 1), ou seja, cada diretriz é decomposta em informações específicas que devem ser coletadas para que se possa relacionar os resultados das entrevistas, confirmando ou negando a adoção das diretrizes pela organização. Antes de decompor em requisitos de informação, definiu-se pontos de análise para cada diretriz, ou seja, uma definição simplificada do que se deseja conhecer, de forma que englobe os diversos elementos presentes na diretriz e suas relações. A decomposição das diretrizes em pontos de análise e requisitos de informação foi baseada na literatura.

As diretrizes mencionadas no quadro 1 são resultados futuros deste trabalho e estão sendo previamente apresentadas como forma de ilustrar e clarificar o processo de criação dos questionários do estudo de caso.

Quadro 1 - Decomposição das diretrizes

Diretriz	Ponto de análise	Requisitos de informação
Compartilhamento de objetivos	Se há compartilhamento dos objetivos energéticos dentro da	Meios de divulgação
		Frequência de compartilhamento

	organização e com os interessados (<i>stakeholders</i>)	Treinamentos
Apoio da gerência	Até que ponto a alta gerência está comprometida (ex. divulga constantemente seu apoio via divulgação interna, valoriza e destaca ações de gestão energética)	Planejamento estratégico
		Níveis de acompanhamento dos objetivos de G.E.
		Programas de reconhecimento
Definição de responsabilidade	Se há uma estrutura de gestão da eficiência energética, com acesso direto à alta gerência e onde cada membro entende suas responsabilidades	Estrutura hierárquica clara
		Definição de responsabilidades para cada pessoa
Comprometimento organizacional	Se há incentivo/apoio interno para ações de gestão energética (ex. política energética, programas de premiação)	Política energética
		Planejamento estratégico
		Objetivos energéticos
		Meios de divulgação
Atendimento às regulamentações	Se a organização conhece e atende às regulamentações vigentes	Programas de reconhecimento
		Política energética
		Meios de divulgação
Priorização de ações energeticamente eficientes	Até que ponto há priorização da organização quanto a investimentos de aprimoramento da gestão energética	Treinamentos
		Programas de incentivo
		Ferramentas de priorização
		Estrutura das equipes de projeto
		Programas de reconhecimento
Acompanhamento do perfil energético	Se há avaliações de perfil de consumo e com certa periodicidade	Treinamentos
		Relatórios de acompanhamento
		Níveis de medição
		Uso da informação para melhoria contínua
		Objetivos energéticos
		Meios de divulgação
Definição de metas e planos de ação	Quão eficiente é o processo de definição de metas e planos de ação	Frequência de compartilhamento
		Planejamento estratégico
		Objetivos energéticos
		Processo de definição dos objetivos
Gerenciamento de riscos	Se há avaliações de risco nos projetos de gestão energética	Processo de desdobramento dos objetivos
		Ferramentas de gestão de risco
		Estrutura das equipes de projeto
Disposição de recursos	Se há clara definição dos recursos destinados aos projetos de gestão energética	Relatórios de acompanhamento
		Processo de alocação de recursos
		Planejamento estratégico
		Processo de requisição de recursos
Análises financeiras	Se há uma metodologia clara de avaliação da rentabilidade em projetos de gestão energética	Metodologia de análise e seleção de projetos
		Estrutura das equipes de projeto
		Ferramentas de análise
		Processo de avaliação financeira
Conscientização e engajamento	Se existem ações de encorajamento e treinamento para os colaboradores	Treinamentos
		Programas de reconhecimento
		Programas de incentivo
		Frequência das ações de encorajamento
		Treinamentos

Definição de KPIs relevantes	Se há um processo bem definido para definição dos KPIs	Objetivos energéticos
		Planejamento estratégico
		Processo de definição dos objetivos
		Níveis de acompanhamento dos objetivos de G.E.
Acompanhamento de ações	Se há monitoramento das ações de eficiência energética	Planos de monitoramento pós-ação
		Relatórios de acompanhamento
		Definição de responsabilidade
Gestão ativa	Se tecnologias que tornem a gestão energética proativa são adotadas pela organização	Ferramentas de gestão
		Software de análise
		Objetivos energéticos
		Relatórios de acompanhamento
Gestão de risco das ações	Até que ponto as ações são acompanhadas e mensurados seus impactos	Definição de responsabilidades para cada pessoa
		Ferramentas de gestão
		Análises relacionadas aos indicadores padrões
		Relatórios de acompanhamento
Definição apropriada dos dados de energia	Se há clara definição dos dados a serem coletados para gestão da energia	Objetivos energéticos
		Planejamento estratégico
		Processo de definição dos objetivos
		Processo de desdobramento de objetivos em requisitos de dados
Confiabilidade de dados	Se há garantia de confiabilidade dos dados coletados, para representarem a realidade	Relatórios de acompanhamento
		Ferramentas de medição
		Objetivos energéticos
		Tecnologias para análise de dados
Sistemas interoperáveis	Quão conectados e trocando informação estão os sistemas e dispositivos (ex. protocolo de comunicação padrão, interoperabilidade)	Tecnologias de comunicação
		Padrões de comunicação
		Ferramentas de gestão
Análises estatísticas	Se são realizadas análises estatísticas que permitam otimizações	Software de análise
		Uso da informação para melhoria contínua
		Nível de confiabilidade dos dados
Consolidação de conhecimento	Quão bem as informações e conhecimentos adquiridos são armazenados para uso futuro	Ferramentas de gestão da informação
		Ferramentas de comunicação
		Treinamentos
		Benchmarking
Simulação de cenários	Se há utilização de ferramentas de simulação para previsão de impactos	Software de análise
		Ferramentas de gestão de risco
		Nível de confiabilidade dos dados
		Planejamento estratégico
		Treinamentos
		Uso da informação para melhoria contínua
Ferramentas de visualização	Até que ponto são aplicadas ferramentas visuais para acompanhamento do desempenho energético	Ferramentas de gestão
		Objetivos energéticos
		Tecnologias de comunicação
		Treinamentos
		Uso da informação para melhoria contínua

Fonte: o autor, 2020.

Os pontos de análise orientaram a criação das perguntas do questionário, enquanto os requisitos de informação foram utilizados para fomentar as discussões durante as entrevistas. Assim, garantiu-se que as entrevistas fossem igualmente conduzidas. A escolha por entrevistas abertas deve-se à sua flexibilidade, que possibilita aos participantes revelar como pensam sobre determinadas situações, ao invés de apenas responder às questões (YIN, 2012).

O processo de realização das entrevistas começou com a formalização do convite aos responsáveis de cada área selecionada (subcasos). Após o aceite, as entrevistas foram realizadas na própria área, oferecendo ao pesquisador a oportunidade de observar o ambiente e visualizar ferramentas e métodos utilizados. As entrevistas começaram com uma breve explicação sobre o seu propósito e entendimento sobre o cargo e responsabilidades do entrevistado.

Para que o entrevistador se concentrasse no teor e qualidade das discussões durante a entrevista, todas foram gravadas em arquivos de áudio, possibilitando também uma análise posterior mais detalhada. A média de duração das entrevistas foi de uma hora.

Para que se pudesse garantir consistência e chegar à resultados mais confiáveis, utilizou-se da triangulação de dados como forma de análise dos casos. Ou seja, os conteúdos das entrevistas foram confrontados para que fossem diagnosticados os níveis de estruturação e implementação da gestão energética avançada dentro das áreas. Por fim, possibilitando a identificação de pontos fortes e oportunidades de melhoria para a organização.

2.5 CRONOGRAMA E PUBLICAÇÕES

O cronograma de atividades e prazos para atingimento dos objetivos é apresentado na figura 8. Nela são relacionadas as fases do trabalho e as atividades oriundas de cada uma.

Figura 8 - Cronograma

Fase do trabalho	Atividades macro	Tempo para realização
Preparação conceitual	Exploração inicial dos temas	Mar/17 - Ago/18
	Definição dos critérios de pesquisa	
	Identificação dos estudos relevantes	
	Codificação e agrupamento das informações	
Desenvolvimento do modelo e diretrizes	Estruturação do modelo	Ago/18 - Mar/19
	Embasamento teórico do modelo	
	Organização do conhecimento em diretrizes	
	Consolidação e estruturação das diretrizes primárias	
Refinamento das diretrizes	Planejamento das entrevistas	Mar/19 - Jul/19
	Convite à especialistas	
	Estruturar roteiro das entrevistas	
	Preparação dos materiais de apoio	
	Realização das entrevistas	
	Consolidação das entrevistas em relatórios	
Aplicação das diretrizes em sistemas reais	Estruturação do estudo de caso	Jul/19 - Fev/20
	Convite à empresas	
	Realização dos estudos	
	Consolidação dos estudos em relatórios	
-	Finalizar escrita da dissertação	

Fonte: o autor, 2020.

Alguns resultados parciais, oriundos destas ou de atividades complementares à dissertação, são comunicados mediante publicações. A tabela a seguir traz o plano de publicações, de forma que o status de cada um foi atualizado até a data de finalização deste documento.

Tabela 6 - Plano de publicações

	Título	Submissão	Status	Meio de publicação
Artigo 1	An investigation of Overall Line Effectiveness (OLE) indicator in the context of a powertrain manufacturing plant	2018	Publicado - 2018	ICPR Américas - congresso
Artigo 2	Application of MCDM Method for Technologies Selection to Support Energy Management	2019	Publicado - 2019	ICPR Américas - Procedia Manufacturing
Artigo 3	Proposal and evaluation of a model using discrete simulation for energy expenditure reduction	2019	Submetido	Energy Efficiency - Journal

Artigo 4	Advanced Energy Management: a review on Energy Management and I4.0	2020	A ser submetido	ICPR Américas - congresso
Artigo 5	Advanced energy management: a conceptual model	2020	A ser submetido	International journal of energy research
Artigo 6	Advanced energy management: development and discussion on guidelines	2020	A ser submetido	Applied Energy - Journal

Fonte: o autor, 2020.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão apresentados conceitos sobre os principais temas abordados neste trabalho. A intenção é proporcionar embasamento teórico para a continuação da pesquisa, por meio de um melhor entendimento sobre a evolução dos conceitos e indicação das principais definições propostas e consolidadas pela literatura. O capítulo se subdividirá em dois subtópicos principais: gestão energética e indústria 4.0, respectivamente.

3.1 GESTÃO ENERGÉTICA

A discussão sobre gerenciamento da energia utilizada pelo setor industrial é um assunto que começou a ganhar importância desde os anos 70, mediante a crise do petróleo, e fez com que o tema entrasse para a agenda política, forçando cientistas e decisores políticos a pensar e buscar alternativas para um futuro baseado em energias renováveis e consumos energéticos menores (De BEER, 2013).

Esta crescente preocupação, de âmbito mundial, que pressiona tanto políticos como o setor industrial, está baseada no fato de que o consumo energético global aumentou 25% nos últimos 20 anos, enquanto ainda se espera um aumento entre 15 e 35% até 2030 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2014).

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), o setor industrial, em 2008, era responsável por consumir 41,7% de toda a eletricidade produzida no mundo, respondendo também por 38% das emissões de CO₂ (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2010; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013). De forma complementar, o *energy yearbook* publicado pela administração de informações energéticas dos Estados Unidos atribuiu, em 2012, ao setor industrial, 31% do consumo elétrico (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2011). Enquanto que, segundo standard publicado pela *Sustainable Energy Authority Ireland*, o setor industrial europeu responde por um quarto da energia total consumida (SUSTAINABLE ENERGY AUTHORITY IRELAND, 2010).

Ainda que o setor industrial tenha tamanha representatividade, de acordo com Gupta (2005), a gestão de dados relacionados ao consumo energético em indústrias não é tipicamente considerada como parte integrante dos processos de

planejamento e otimização. Para Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011) e Saidur (2010), ainda que econômica e ambientalmente atrativas e de fácil implementação, tecnologias voltadas à eficiência energética não são adotadas dentro das empresas.

Entretanto, se bem gerenciadas, as indústrias de manufatura têm potencial para reduções entre 25 e 37 EJ, que representam 18 a 26% de todo o consumo industrial (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2008). E, segundo Anderberg *et al.* (2009), Enrico e Andrea (2013) e Trianni *et al.* (2014), problemas ambientais causados pela poluição e severas legislações, aliados ao aumento da demanda e preço da energia, influenciaram pesquisadores e empresas, de forma que dessem maior atenção aos problemas relacionados à eficiência energética dos processos de manufatura.

Neste movimento de mudança do comportamento das empresas, voltando-se para um pensamento mais sustentável, autores como Tanaka (2008) e Tanaka (2011) reforçam a grande influência das políticas públicas, pois tais medidas abordam a eficiência energética e incentivam grupos de alta performance. Tal influência pode ser vista, por exemplo, no ramo da construção civil europeia, onde o *European Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), através de regulamentações, encoraja as empresas a utilizar sistemas inteligentes de monitoramento e controle ativo, tanto em prédios novos como reformados (EUROPEAN COMMISSION, 2014).

Além das regulamentações, as organizações também são influenciadas pelo aumento nos custos e consumo de energia, pela exigência de seus clientes e pela poluição ambiental, que gera uma maior consciência (ZHOU *et al.*, 2016; MAY *et al.*, 2017). Também são mecanismos motivadores os projetos de pesquisa, como o eniPROD (Energy-efficient Product and Process Innovation in Production Engineering), o CO2PE, entre outros realizados pelo mundo (TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ; KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN).

Na visão de May *et al.* (2012), os ambientes acadêmico e industrial, guiados por este paradigma de mudança em direção à gestão energética, adquirem um novo tópico de interesse: a eficiência energética e seu potencial de redução dos impactos econômicos e ambientais relacionados ao consumo energético.

Adicionalmente, Romvall, Wiktorsson e Bellgran (2010), afirmam que práticas voltadas à sustentabilidade industrial não são mais caracterizadas apenas como “cumpridoras da lei”, mas sim oportunidades de melhorar a competitividade da

empresa no mercado global. E, para manterem-se líderes neste mercado durante o longo prazo, realizar o gerenciamento e operação do sistema de energia tem grande importância (SCHULZE *et al.*, 2016).

Desta forma, fica claro a urgência e importância em se dar mais atenção ao consumo energético das empresas, buscando reduzir tanto custo como impactos ambientais. Neste sentido, Schulze *et al.*, (2016), afirmam que um dos meios mais promissores é a implementação de um gerenciamento energético.

Tal gerenciamento proporciona uma avaliação do desempenho energético da empresa, além de garantir um bom entendimento dos potenciais de melhoria. Tais benefícios representam um passo em direção à uma fábrica com alta eficiência energética.

3.1.1 Gerenciamento da energia

Dado a importância do gerenciamento energético, fica evidente a necessidade de, primeiramente, entender sua definição, estrutura e objetivos. De acordo com Backlund *et al.* (2012), mesmo com o grande aumento nas atividades voltadas à gestão energética, ainda há distinções nas formas de definição. E, com isso, as definições possuem diferentes abordagens, tratando de uma ampla diversidade de aspectos e possíveis objetivos (SCHULZE *et al.*, 2016).

Dentre as definições encontradas na literatura, pode-se destacar algumas como a trazida pela *Association of German Engineers* (2007, p. 3):

A gestão de energia é a coordenação proativa, organizada e sistemática de aquisição, conversão, distribuição e uso de energia para atender aos requisitos, levando em conta objetivos ambientais e econômicos.

Para Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011), o gerenciamento energético trata da estratégia de atender as demandas por energia quando e onde elas forem necessárias, sendo que este objetivo pode ser atingido através da utilização de sistemas e procedimentos, que reduzirão a quantidade de energia necessária para produzir cada unidade de produto, além de gerar a possibilidade de até mesmo reduzir os custos totais de produção deste item. Por consequência, de acordo com Capehart, Turner e Kennedy (2008), garante à empresa posições competitivas no mercado. Assim, de forma resumida, Kannan e Boie (2003) colocam a gestão da energia como sendo seu uso efetivo e sensato, para maximizar lucros e garantir

posições competitivas, por meio de medidas organizacionais e de eficiência energética no processo.

O'Callaghan e Probert (1977) apontam para a aplicação da gestão de energia à recursos, assim como ao fornecimento, conversão e utilização da energia, envolvendo essencialmente atividades de monitoramento, gravação, análise, exame crítico, controle e redirecionamento do fluxo de materiais e energia. Além destas, Bunse *et al.* (2011) acrescentam atividades de melhoria.

Segundo Schulze *et al.* (2016), compõem a gestão energética as atividades, procedimentos e rotinas sistemáticas dentro de uma empresa, incluindo os elementos de estratégia e planejamento, implementação e operação, controle, organização e cultura, através do envolvimento tanto dos processos de produção como de suporte, reduzindo consumo de energia e seus custos relacionados.

Assim, para Ates e Durakbasa (2012), a gestão energética é a combinação entre atividades de eficiência energética, técnicas e gerenciamento de processos relacionados, reduzindo não apenas os custos com energia, como também as emissões de CO₂. Tais atividades devem ser, portanto, planejadas, para que garantam o uso mínimo de energia, dado um desempenho pré-definido (GERMAN FEDERAL ENVIRONMENT AGENCY, 2012).

Sabendo disso, o *Bureau of Energy Efficiency* (2010) coloca como objetivos da gestão energética a minimização dos custos com energia e dos impactos ambientais, sem que isso afete a produção e qualidade. Ou seja, reduzir as demandas energéticas dos produtos e serviços e eliminar desperdícios, mantendo a mesma quantidade de energia utilizada, porém com menor consumo (KONSTANTINOS e PETER, 2013). Então, olhando pela perspectiva da termodinâmica, é a razão entre o montante de entrada e saída de energia, avaliando o nível de conversão da energia (PATTERSON, 1996).

3.1.2 Barreiras à gestão energética efetiva

Conforme já citado anteriormente, autores como Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011), Saidur (2010) e Gupta (2005) informam sobre o fato de que, mesmo que econômica e ambientalmente viáveis, ainda há certa resistência e dificuldade em se investir e implementar programas de gestão energética dentro das empresas. Este desalinhamento, segundo Jaffe e Stavins (1994), é chamado de *energy-efficiency*

gap. Ou seja, a diferença entre o atual nível de eficiência energética e o que, teoricamente, pode ser atingido através da implementação de programa e tecnologias voltadas à eficiência energética (HIRST e BROWN, 1990).

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. Sendo que barreiras, no entendimento de Sorrell *et al.* (2004), são inibidores que impedem as organizações de adotar tais medidas, mesmo que econômica e ambientalmente eficientes.

Há um amplo número de trabalhos na literatura que tratam sobre barreiras à implementação em empresas, tratando desde o apontamento das barreiras até a classificação delas.

Como barreira, Cagno *et al.* (2013) apontam para o fato de que em algumas indústrias os gastos com energia não ultrapassam 5% dos custos da produção, fazendo com que investimentos nesta área não sejam apreciados. Portanto, para Peng e Xu (2014a), economia de energia não é o principal objetivo, uma vez que a maior parte das empresas buscam lucratividade e priorizarão os custos de maior impacto. Tendo, como consequência, a ausência de uma percepção estratégica para a área, de forma que suas características não são plenamente consideradas vantagens (COOREMANS, 2007; COOREMANS, 2012; FLEITER, HIRZEL e WORRELL, 2012). Segundo Caffal (1995), custos com energia, em muitos casos, são tratados como despesas gerais, não sendo atribuídos diretamente aos gerentes.

Desta forma, de acordo com Sorrell *et al.* (2000), melhoria da eficiência energética não é considerado um negócio essencial, mas uma questão periférica e secundária das empresas.

Uma barreira bem enfatizada na literatura é a ausência de uma cultura voltada à eficiência energética e que valorize ações neste âmbito, pois segundo Sa, Thollander e Cagno (2017), práticas de gestão da energia não são adotadas devido ao fato de não serem consideradas estratégicas e, para Cooremans (2007), ações de eficiência energética não são consideradas estratégicas pela ausência de uma cultura orientada à energia. Ou seja, uma vez que as decisões dentro das empresas não são apenas sobre fazer um investimento, mas dependem da estratégia e cultura adotadas por elas, uma importante tarefa neste processo de tornar energia um fator estratégico, é mudar a mentalidade de eficiência energética baseada em projetos para

um trabalho de longo prazo (PARAMONOVA e THOLLANDER, 2016; COOREMANS, 2007).

Além destas, outras barreiras que também impactam a implementação da gestão energética em empresas de pequeno, médio e grande porte, são: ausência de conhecimento e competência para identificar ineficiências, oportunidades e implementar medidas de eficiência energética, falta de informação, altos investimentos, poucos incentivos econômicos e políticos e ausência de apoio da alta gerência (TRIANNI e CAGNO, 2012; SHIPLEY e ELLIOT 2001; THOLLANDER, DANESTIG e ROHDIN, 2007; PARAMONOVA e THOLLANDER, 2016; BRUNKE, JOHANSSON e THOLLANDER, 2014).

Há também, na literatura, esforços para categorização e agrupamento das barreiras existentes. Na tabela a seguir é apresentada a classificação proposta por Cagno *et al.* (2013).

Tabela 7 - Classificação das barreiras, sua origem e área afetada

Origem	Área	Barreiras
Externo	Mercado	Distorção dos preços da energia
		Baixa difusão de tecnologias
	Governo / política	Baixa difusão de informação
		Riscos de mercado
	Tecnologia / serviços fornecedores	Dificuldade em adquirir habilidades externas
		Falta de regulamentação adequada
Designers e fabricantes	Distorção nas políticas fiscais	
	Falta de interesse em eficiência energética	
Interno	Economia	Tecnologia dos fornecedores não atualizadas
		Escassas habilidades de comunicação
	Comportamental	Características Técnicas inadequadas
		Custos iniciais altos
	Organizacional	Escassas habilidades de comunicação
		Distorção nas políticas energéticas
Externo	Mercado	Falta de interesse em eficiência energética
		Custo para investir a disponibilidade de capital
	Governo / política	Dificuldade em identificar a qualidade dos investimentos
		Baixa disponibilidade de capital
	Tecnologia / serviços fornecedores	Despesas ocultas
		Riscos relacionados à intervenção
Designers e fabricantes	Falta de interesse em eficiência energética	
	Intervenções	
Interno	Economia	Outras prioridades
		Inércia
	Comportamental	Critérios de avaliação imperfeitos
		Falta de compartilhamento dos objetivos
	Organizacional	Baixo status de eficiência energética
		Interesses divergentes
Externo	Mercado	Cadeia de decisão complexa
		Falta de tempo

			Falta de controle interno
Barreiras relacionadas com			Identificação das ineficiências Implementação das intervenções
Consciência			Falta de consciência ou ignorância

Fonte: Cagno *et al.* 2013.

Levando em consideração a categorização realizada por Sorrell, Mallett e Nye (2010) e adicionando a visão encontrada em outros trabalhos, os autores classificaram as barreiras de acordo com dois critérios: origem da barreira (interna/externa à organização) e área de impacto.

Outras formas de categorização foram apresentadas por Almeida *et al.*, (2003), Painuly e Reddy (1996), Blumstein *et al.*, (1980) e pelo *Intergovernmental Panel for Climate Change* (2001).

3.1.3 Requisitos à gestão energética

De forma oposta às barreiras, os impulsionadores/habilitadores (*drivers*) da gestão energética tem a capacidade de aumentar o foco da empresa em relação à melhoria do sistema energético e outras pressões externas (como legislações), superando, assim, as barreiras que impedem a implementação de medidas de eficiência energética (SA, THOLLANDER e CAGNO, 2017).

Segundo Saygin *et al.* (2011), significativos esforços estão sendo direcionados para um melhor entendimento dos potenciais ganhos que a eficiência energética pode trazer às empresas, entretanto, Sa, Thollander e Cagno (2017) alertam para um aproveitamento parcial do potencial gerado pelos programas de gestão energética, uma vez que ainda há falta de entendimento sobre como estes programas devem ser planejados. Além disso, conforme observado na seção anterior, existem diversas barreiras (econômicas, gerenciais, culturais, entre outras) que impedem a plena e correta adoção de programas de gestão energética.

Com isso, Schulze *et al.* (2016) e Sa, Thollander e Cagno (2017) propõem em seus trabalhos algumas etapas e elementos que precisam ser considerados quando deseja-se estabelecer um programa de gestão energética que seja apropriado. Estes itens são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 8 - Requisitos para estabelecimento de um programa de gestão energética

Requisito	Abordado por
Desenvolver e implementar um plano estratégico de longo prazo.	Turner (2007) Abdelaziz et al. (2011) Thollander e Ottosson (2010) Christoffersen et al. (2006) McKane et al. (2007) Ates e Durakbasa (2012)
Organizar as atividades, definindo responsabilidades e tarefas	Turner (2007) Christoffersen et al. (2006) Abdelaziz (2011)
Estabelecer um time de gerenciamento entre setores	Ates e Durakbasa (2012) Abdelaziz et al. (2011) Turner (2007) McKane et al. (2007)
Desenvolver políticas e procedimentos relevantes	Christoffersen et al. (2006) McKane et al. (2007) Ates e Durakbasa (2012)
Realizar uma auditoria inicial, para identificar oportunidades	Thollander e Ottosson (2010) Abdelaziz et al. (2011) Turner (2007) McKane et al. (2007)
Planejar e implementar projetos específicos de economia de energia	Christoffersen et al. (2006) McKane et al. (2007) Thollander e Ottosson (2010) Abdelaziz et al. (2011) Ates e Durakbasa (2012) Turner (2007)
Identificar indicadores-chave de performance, que sejam únicos e permitam acompanhamento	McKane et al. (2007)
Medir e monitorar o consumo energético de processos produtivos	Thollander e Ottosson (2010) Abdelaziz et al. (2011) Ates e Durakbasa (2012)
Reportar periodicamente o progresso à gestão	Turner (2007) McKane et al. (2007) Abdelaziz et al. (2011)
Garantir apoio da alta gerência	Thollander e Ottosson (2010) Turner (2007)
Envolver os funcionários no gerenciamento da energia	Christoffersen et al. (2006) Thollander e Ottosson (2010) Abdelaziz et al. (2011) Ates e Durakbasa (2012) Turner (2007)

Fonte: adaptado de Schulze *et al.*, 2016 e Sa, Thollander e Cagno, 2017.

A segunda coluna da tabela traz os autores que defendem cada um destes elementos. O detalhamento destes itens, seus benefícios e impactos dentro do processo de estabelecimento de programas de gestão energética são mais bem descritos nos trabalhos citados.

Reforçando alguns dos elementos citados e acrescentando outros, Petrecca (1992) e Kannan e Boie (2013) propõem, para uma maior efetividade dos programas de gestão energética, quatro principais etapas: análise do histórico de dados,

auditorias de energia, análises de engenharia e propostas de investimentos baseadas em estudos de viabilidade, treinamentos e compartilhamento de informação.

Também, de forma geral, Sa, Thollander e Cagno (2015) alertam para a necessidade em se ter conhecimento do escopo e objetivos de determinada prática de gestão energética, para que não haja sobreposição com as medidas de eficiência energética, resultando em falha durante a adoção da correta configuração para um programa de gestão energética.

3.1.4 Sistemas de gestão energética

Tendo conhecimento dos objetivos da gestão energética, suas barreiras e habilitadores, o próximo passo é entender como a implementar efetivamente. De acordo com Schulze *et al.* (2016), as ferramentas que suportam estas adoções são os sistemas de gestão energética. Definidos, pelo *International Organization of Standardization* (2011), como sendo um conjunto de elementos que se relacionam para estabelecer uma política energética e objetivos, além de processos e procedimentos que permitem o atingimento destes objetivos. Abrangendo estruturas organizacionais, de informação e ferramentas técnicas, necessárias à implementação de um gerenciamento energético (ASSOCIATION OF GERMAN ENGINEERS, 2007).

Também, de acordo com a *Sustainable Energy Authority Ireland* (SEAI), 2009 e Gordic *et al.* (2010), um sistema de gestão energético é uma estrutura que promove a melhoria contínua do desempenho energético de um local, podendo auxiliar empresas a reduzir seus custos com energia, além de melhorar seu desempenho e produtividade.

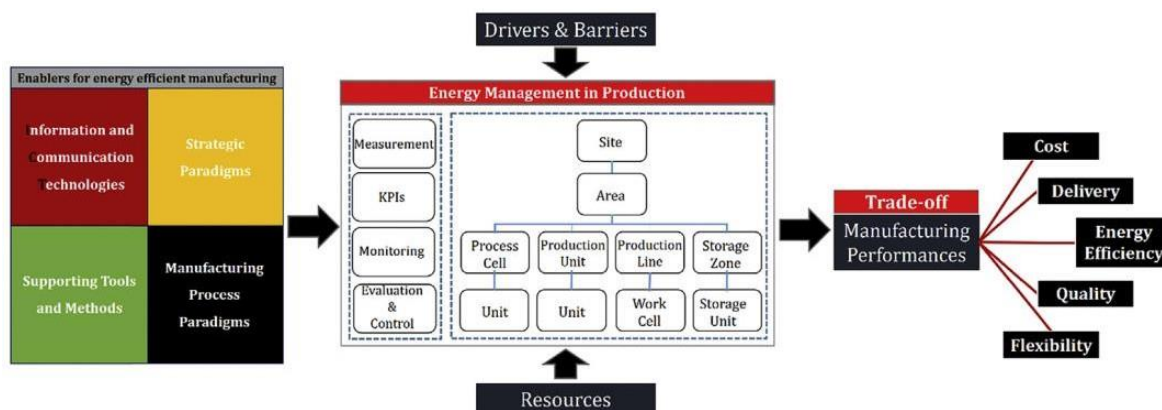
May *et al.* (2015) alertam para a importância em se projetar um sistema de gestão de energia que seja apropriado, de maneira que ele não apenas promova este gerenciamento na manufatura, mas também, após implementar medidas de eficiência energética, não comprometa os outros indicadores de desempenho em possíveis *trade-off*.

Baseado nestas premissas, May *et al.* (2017) propõem um *framework* conceitual (figura 9) que descreve a interação entre atividades e fatores-chave para

a gestão energética, tendo como propósito tomar a visão de gestor de empresa que busca implantar eficiência energética na manufatura.

O *framework* segue a estrutura dos diagramas IDEF0, com entradas, saídas, atividade principal e controle. Como elemento principal está o gerenciamento da manufatura, com seus componentes: medição, indicadores, monitoramento, avaliação e controle e os diferentes níveis operacionais da manufatura. Como entrada estão os facilitadores da gestão energética, enquanto as barreiras e impulsionadores atuam como controle e, o *framework*, utiliza recursos (exemplo, pessoas e máquinas) para funcionamento.

Figura 9 - Framework para gestão energética na manufatura



Fonte: May *et al.*, 2017.

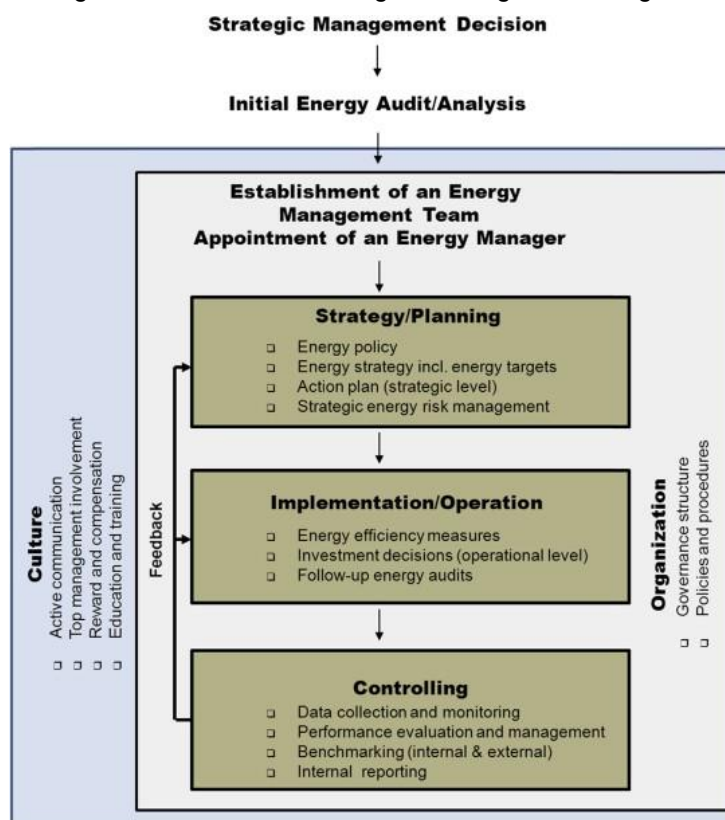
Como resultado, o *framework* traz o desempenho do sistema de manufatura, avaliando os *trade-off*, ou seja, confrontando e comparando os desempenhos obtidos em índices convencionais com os indicadores de eficiência energética.

De forma semelhante, por meio da consideração de barreiras, facilitadores e componentes para gestão energética nas empresas, Schulze *et al.* (2016) propõem um *framework* (figura 10) de gestão de energia na manufatura, porém com uma perspectiva de etapas/ações sequenciais, formando um ciclo de melhoria contínua que deve ser seguido pelas empresas.

A base, e etapa inicial, deste *framework* é a decisão estratégica de se estabelecer um programa de gestão da energia na empresa, seguido pela definição da equipe (multidisciplinar) que ficará responsável pela implementação do programa de gestão. Na sequência, realiza-se um programa de auditoria inicial, que visa identificar e quantificar o atual status da empresa quanto ao uso de energia e elencar oportunidades para melhoria da eficiência.

A etapa seguinte do processo é voltada ao desenvolvimento da estratégia energética da empresa, ou seja, políticas, objetivos para curto e longo prazo e gerenciamento dos riscos do projeto. Tendo cumprido esta etapa, inicia-se a fase de implementação das medidas e ações de eficiência energética, acompanhadas por auditorias de atualização.

Figura 10 - Framework integrador de gestão energética



Fonte: Schulze *et al.*, 2016.

O elemento de controle é responsável pela constante aquisição de dados, podendo ser financeiros ou não. Além disso, nesta etapa são definidos os indicadores, mede-se, avalia-se e compara com indicadores externos e internos.

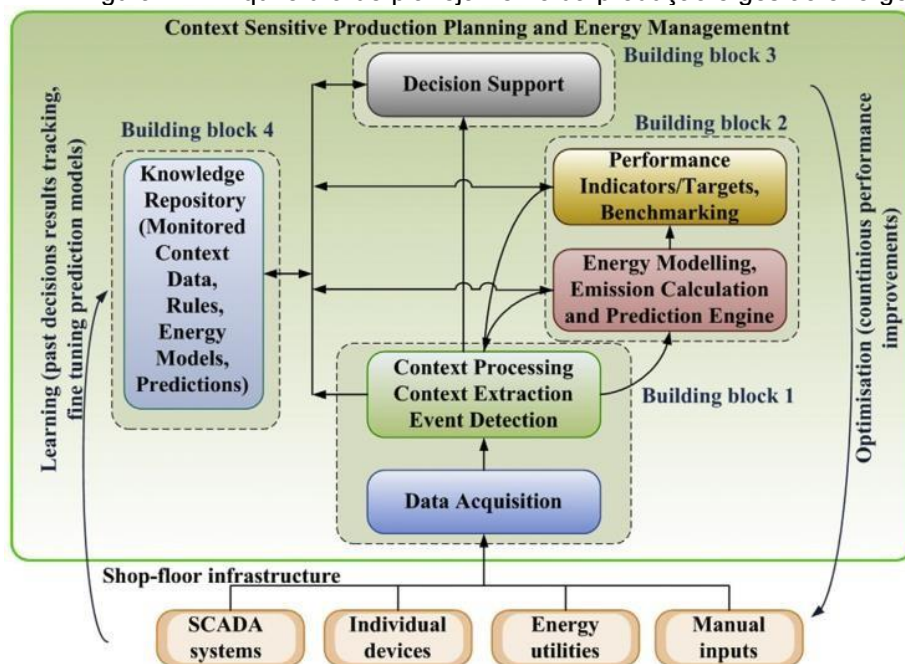
Este processo deve estar cercado por elementos organizacionais, como estrutura de governança e políticas e procedimentos, e elementos culturais, como comunicação ativa, envolvimento da alta gerência, premiação e treinamentos.

Portanto, tomando como base as seções anteriores e os dois *frameworks* apresentados, fica clara a necessidade de esforços interdisciplinares, em termos de barreiras, auditorias de energia, gestão energética, políticas e programas, para que

se possa obter melhoria na eficiência energética dos sistemas industriais (THOLLANDER e PALM, 2013).

Dando maior enfoque na transferência de informação e nos elementos que compõem o ciclo de otimização do consumo energético industrial, Sucic *et al.* (2015) propõem um framework de planejamento da produção e gestão da energia.

Figura 11 - Arquitetura de planejamento da produção e gestão energética

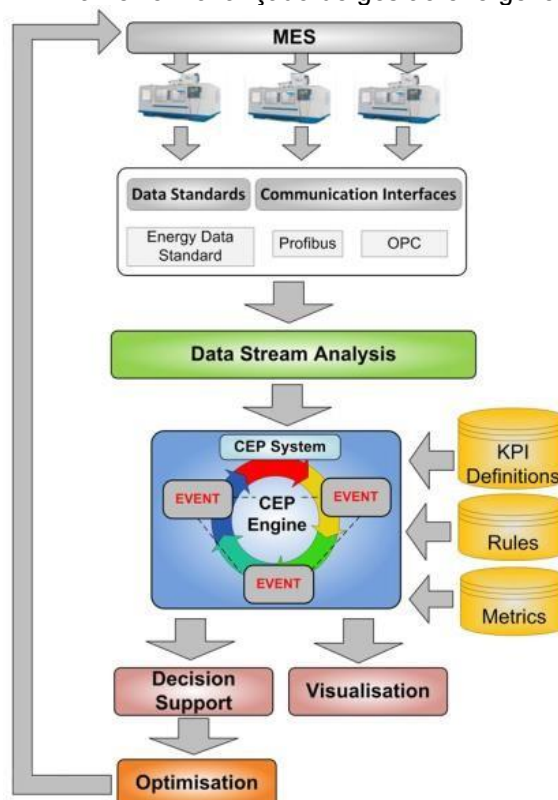


Fonte: Sucic *et al.*, 2015.

A arquitetura do sistema é composta por quatro (4) blocos principais, sendo o primeiro composto pela etapa de aquisição dos dados e o enriquecimento destes com informações relacionadas ao contexto. O segundo bloco utiliza os dados coletados, realizando a modelagem deles, cálculo de emissão e prevendo acontecimentos. Após tratados, os dados são apresentados em forma de indicadores de desempenho para controle do processo e análise benchmarking. O bloco de suporte à decisão, terceiro, é responsável por fornecer mecanismos que auxiliem nas ações reativas e de reconfiguração do processo. Por fim, o quarto bloco funciona como um repositório de conhecimento, armazenando e categorizando as informações, além de compartilhá-las com os outros blocos, para auxiliar em análises ou servir como elemento de entrada em processamentos.

Dentre os modelos encontrados na literatura com foco no fluxo de informação e elementos de auxílio à gestão energética, pode-se destacar também o proposto por Vikhorev, Greenough e Brown (2013), apresentado na figura a seguir.

Figura 12 - Framework avançado de gestão energética



Fonte: Vikhorev, Greenough e Brown, 2013.

Os autores propõem importantes características quanto à forma de aquisição de dados, pois reforçam a necessidade de padrões, para que se tenha uma mitigação nas inconsistências e falta de confiabilidade das informações. Além disso, consideram uma etapa de análise dos dados primários coletados, como forma de filtro, seguido por um processamento mais complexo de eventos, mediante a utilização de ferramentas e algoritmos. Este último processamento, baseado nas métricas, regras e indicadores de desempenho, fornecem informações que são apresentadas através de interfaces homem-máquina, auxiliando no entendimento dos padrões de consumo e acionando ações de emergência caso necessário.

3.2 INDÚSTRIA 4.0

O termo indústria 4.0 foi inicialmente proposto pela Alemanha (*“Industrie 4.0”*) como sendo um guia (*“white paper”*) para a inclusão da tecnologia de informação no setor de manufatura do país (OWL, 2014). Segundo Hermann, Pentek e Otto (2016), este conceito ficou publicamente conhecido em 2011, por meio de uma associação

entre representantes de empresas, políticos e acadêmicos, que o promoveu como uma abordagem voltada ao fortalecimento da competitividade das indústrias alemãs.

A indústria 4.0 tem sido defendida e considerada por pesquisadores e decisores políticos, como a quarta revolução industrial, uma vez que traz avanços disruptivos quando comparada à terceira (THOBEN, WIESNER e WUEST, 2017).

De acordo com Lukač (2015) e Bahrin *et al.* (2016), a terceira revolução industrial teve início nos anos 70 e foi caracterizada pela produção automática e automação digital, baseada em eletrônica e tecnologia da internet. Enquanto que a indústria 4.0, ou quarta revolução industrial, contempla as características dos sistemas cyber-físicos (CPS – *Cyber-Physical Systems*), é baseada em dados heterogêneos, integração de conhecimento, robôs autônomos, internet das coisas (IoT – *Internet of Things*) e internet dos serviços (IoS – *Internet of Services*).

Seguindo nesta linha de pensamento, MacDougall (2014) afirma que a indústria 4.0 é a fase seguinte à digitalização da manufatura, onde IoT tem importante papel de alimentar o sistema com informação e adicionar valor à indústria, para que seja possível produzir em baixo volume e alta variedade de produtos (mix de produção flexível), com a melhor relação entre custo e eficiência. Ou seja, os objetivos da I4.0 são alto nível de eficiência operacional e produtividade, com um alto nível de automação (THAMES e SCHAEFER, 2016). Assim, Bahrin *et al.* (2016) acrescentam que a I4.0 é uma nova era, na qual IoT e CPS se interconectam, de forma que a combinação entre software, sensor, processador e tecnologia da informação é o que alimenta e adiciona valor ao processo produtivo.

Para o governo alemão, a I4.0 representa uma estrutura nova e emergente, na qual os sistemas de manufatura e logística, na forma de um sistema produtivo cyber-físico (CPPS – *Cyber-Physical Production Systems*), utilizam da informação disponível e da rede de comunicações para uma ampla troca automática de informações e, assim, processos de negócio e produtivo se combinam (ADOLPH *et al.*, 2016). De forma estratégica, a I4.0 objetiva explorar a inovação e o potencial econômico gerado por este rápido avanço das tecnologias de informação e comunicação (ICT – *Information and Communication Technology*) (ANDERL, 2015).

Ainda, para MacDougall (2014), a definição de I4.0 é dada como um projeto de “fábrica inteligente” (*smart factory*), por meio da fusão entre os mundos virtual e físico, denominada CPS, e pela junção entre processos técnicos e de negócios. De forma complementar, Kagermann (2015) acredita que a I4.0 refere-se à relação

entre tecnologias, que facilita o aparecimento das fábricas inteligentes, melhorando ferramentas, processos e saídas (resultados). Para Lee, Kao e Yang (2014), as fábricas inteligentes são comunidades colaborativas, devido à interconexão entre as máquinas. Assim, segundo Cao, Zhang e Chen (2017), em um mundo onde máquinas inteligentes, sistemas e redes são capazes de trocarem informação de forma independente para gerenciamento do processo produtivo, estas fábricas inteligentes estão se tornando uma norma.

A I4.0 pode ser descrita como o aumento da digitalização e automação dos sistemas de manufatura, assim como a criação de uma cadeia de valor digital, na intenção de permitir a comunicação entre os produtos, seu ambiente produtivo e os parceiros do negócio (LASI *et al.*, 2014; SCHMIDT *et al.*, 2015). Desta forma, Lu (2017) resume I4.0 como um processo de manufatura integrado, adaptado, orientado à serviço e interoperável, correlacionando-se com algoritmos, *big data* e alta tecnologia.

Posada *et al.* (2015) e Roblek, Meško e Krapež (2016) pontuam como principais características da I4.0: digitalização, otimização e customização da produção, automação e adaptação, interação homem-máquina, criação de serviços e negócios de valor agregado e troca automática de informação. Complementarmente, Shafiq *et al.* (2015) e Shafiq *et al.* (2016) colocam como objetivos da I4.0: acompanhar peças e produtos, facilitar a comunicação entre peças, produtos e máquinas, possibilitar, por meio da interação na cadeia de valor, a criação de serviços e modelos de negócio. E, também, apontam benefícios como flexibilidade, redução no lead-time e redução de custos.

3.2.1 Investimentos em I4.0

Nos últimos anos, este cenário de quarta revolução industrial tornou-se um dos tópicos mais discutidos em conferências de manufatura, fóruns e exposições (LIAO *et al.*, 2017). O aumento nas pesquisas sobre o tema gerou interesse de governos e empresas, que buscaram se organizar para entender como poderiam se beneficiar deste novo cenário e tecnologias (RIDGWAY, CLEGG e WILLIAMS, 2013; SIEMIENIUCH, SINCLAIR e HENSHAW, 2015).

Diversos países intensificaram e criaram programas de incentivo às pesquisas e desenvolvimentos voltados à IoT e CPS, com a intensão de viabilizar e incentivar a implantação da I4.0, renomeada conforme cada país ou região.

Liao *et al.* (2017) apresentam, baseados em sua revisão de literatura, os planos traçados em diversos países. Nos Estados Unidos, a partir de 2011, iniciaram discussões, ações e recomendações em nível nacional, para que o país estivesse preparado para direcionar a manufatura para esta nova geração (REIF, SHIRLEY e LIVERIS, 2014). A criação do “*Smart Manufacturing Leadership Coalition*” trouxe investimentos público e privados de 140 milhões de dólares (PR Newswire, 2016). A Alemanha definiu em 2012 seu plano de ação denominado “*High-Tech Strategy 2020*”, que disponibiliza anualmente bilhões de euros para desenvolvimento de tecnologias de ponta (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013). Nomeada como “*La Nouvelle France Industrielle*”, o governo francês iniciou sua revisão estratégica em 2013, onde definiu 34 setores como prioridade da política industrial francesa (CONSEIL NATIONAL DE L’INDUSTRIE, 2013). Também em 2013, o Reino Unido apresentou um termo de longo prazo para seu setor manufatureiro, denominado “*Future of Manufacturing*”, que busca fornecer políticas que contribuam para o crescimento e resiliência da manufatura britânica para as próximas décadas (FORESIGHT, 2013).

Da mesma forma, os países orientais investiram fortemente em seus planos de ação para concretização da I4.0. O governo sul coreano, em 2014, anunciou o “*Innovation in Manufacturing 3.0*”, um programa de aceleração da manufatura no país (KANG *et al.* 2016). Neste programa, o governo investiu 16,75 bilhões de dólares, objetivando a construção de 10 mil fábricas inteligentes até 2020 (PTC, 2016). Na China, o governo apresentou dois planos em 2015, “*Made in China 2025*” e “*Internet Plus*”, que priorizam 10 campos de atuação da manufatura, na intenção de acelerar a informatização e industrialização do país (LI, 2015). Também em 2015, o Japão anunciou o plano quinta ciência e tecnologia, no qual o foco está na manufatura, com intenção de realizar a “*Super Smart Society*” japonesa (CABINET OFFICE, 2015). Com um investimento de 19 bilhões de dólares, Singapura cria seu plano de pesquisa e inovação, o “*RIE 2020 Plan*”, focado em oito setores-chave dos domínios de manufatura avançada e engenharia (NATIONAL RESEARCH FOUNDATION, 2016).

3.2.2 IoT – características e benefícios

Inicialmente apresentado nos laboratórios *Auto-ID* do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), o conceito IoT propõe que, de forma virtual, todos objetos sejam inteligentes e estejam conectados (ATZORI, IERA e MORABITO, 2010; MATTERN e FLOERKEMEIER, 2010). Para Wu, Sheng e Zeadally (2013), IoT pode ser considerada como uma rede física interconectada, onde cada objeto (*thing*) está conectado e pode ser controlado remotamente. Ainda, para eles, esta interação é permitida devido à crescente utilização de dispositivos equipados com RFID (*Radio-Frequency IDentification*) e sensores inteligentes.

Van Kranenburg (2007) afirma que a definição de maior aceitação apresenta IoT como uma infraestrutura de rede global e dinâmica, capaz de se autoconfigurar, uma vez que é baseada em protocolos padrões e interoperáveis, onde objetos físicos e virtuais possuem identidade, atributos físicos, personalidade virtual, utilizam interfaces inteligentes e estão integradas à rede.

Esta rede global torna-se possível graças aos CPS que, no contexto industrial, consiste em máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações produtivas que, de forma autônoma, trocam informação, tomam ações e controlam-se independentemente (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013).

Para a *German Academy of Science and Engineering* (2011), sistemas cyber-físicos são sistemas de entidades computacionais colaborativas que estão intensivamente conectadas com o mundo físico e seus processos, provendo e utilizando dos serviços de acesso e processamento de informação que estão disponíveis na internet. Assim, Trappey *et al.* (2016) afirmam que CPS auxiliam os sistemas mecânicos a perceber o mundo físico, processar estas percepções e realizar cálculos, para que possam informar a estes sistemas algumas ações de mudança. Desta forma, Hermann, Pentek e Otto (2016), afirmam que, por meio da IoT, CPS se comunicam e cooperam entre si e com humanos em tempo real.

Portanto, IoT pode ser visto como um sistema cyber-físicos de maior complexidade, uma vez que integra vários dispositivos habilitados e com capacidade de sensoriamento, identificação, processamento, comunicação e conexão em rede (XU, HE e LI, 2014).

Com estas características, espera-se que IoT possa promover soluções promissoras e, assim, transformar as operações e o papel dos sistemas industriais

existentes, como os sistemas logísticos e de manufatura (VAN KRANENBURG, 2007).

Para Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), a I4.0, pautada nos benefícios da IoT e CPS, permitirá à produção uma maior flexibilidade na sua configuração, além de otimização dos atuais processos baseados em TI (tecnologia da Informação), já que se torna possível uma rastreabilidade detalhada tanto do processo como de seus impactos em escala global. As fábricas inteligentes permitem maior adesão às necessidades individuais dos clientes, viabilizando economicamente produções unitárias. Enquanto que processos de negócios e engenharia dinâmicos possibilitam mudanças de última hora, flexibilizando o sistema com relação às falhas inesperadas. A transparência da informação por todo o processo produtivo facilita as tomadas de decisão. Também, a I4.0, resultará em novas formas de criação de valor e modelos de negócio.

Assim, de forma resumida, os benefícios potenciais apresentados por Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) são:

- a) Maior adesão às necessidades dos clientes;
- b) Flexibilidade do sistema produtivo;
- c) Tomadas de decisão otimizadas;
- d) Maior produtividade e eficiência na utilização dos recursos;
- e) Criação de oportunidades de valor por meio de novos serviços;
- f) Mudança demográfica no local de trabalho;
- g) Maior equilíbrio entre a vida profissional e pessoal para os trabalhadores;
- h) Economia em salários.

Thoben, Wiesner e Wuest (2017) apontam também para o fato de que a IoT e IoS, dentro do contexto industrial, permite que as fábricas inteligentes possuam sistemas de produção vertical e horizontalmente integrados. A integração vertical permite o fluxo de informação dos planejamentos corporativos e operacionais, além da área de desenvolvimento de produto, até o nível de execução da produção, enquanto a integração horizontal está relacionada à comunicação entre sistemas produtivos, até mesmo entre organizações (ANDERL, 2015). Com isso, o objetivo é melhorar as cadeias de processo de valor e as redes de valor agregado.

Como conclusão, Kagermann, Wahlster e Helbig afirmam que (2013, p. 14):

Em essência, a indústria 4.0 envolverá a integração tecnológica dos CPS na manufatura e logística e o uso da Internet das Coisas e Serviços nos processos industriais. Tendo implicações na criação de valor, nos modelos de negócio, serviços por toda a cadeia e organização do trabalho.

3.2.3 Desafios e perspectivas futuras

Autores como Xu, He e Li (2014) e Thoben, Wiesner e Wuest (2017) apresentam desafios e dificuldades existentes para uma boa implementação da I4.0. Em ambos trabalhos, os autores separam as dificuldades em grupos, que não são propriamente os mesmos, mas assemelham-se quanto aos itens propostos. De forma geral, destacam-se:

- f) *Standards*: a ausência de um *standard* globalmente abrangente e aceito dificulta uma das principais características da I4.0, a interoperabilidade entre os sistemas, dificultando a formação e operação de redes de manufatura e suprimentos inteligentes;
- g) *Data analytics* ou *big data*: com o aumento no nível de automação e a utilização de componentes que obtém dados em tempo real, os sistemas de monitoramento e controle necessitam de algoritmos que auxiliem nas tomadas de decisão. Relacionado a este item, chama-se atenção para os aspectos de qualidade das informações (integridade) e visualização dos dados (comunicação da informação);
- h) Segurança e privacidade da informação: o intensivo uso da internet e base de dados em nuvem motiva partes externas a cometer crimes cibernéticos. Outra questão está na privacidade de cada dado, uma vez que é necessário definir quem tem acesso a cada informação;
- i) Modelos de referência: a ausência de modelos de referência não possibilita uma avaliação das capacidades dos modelos de produção e, como consequência, não há como relacionar os resultados com as atividades realizadas;
- j) Engenharia de requisitos: uma das principais fontes de falha em projetos da I4.0 é a falta de clareza dos requisitos, pois ela leva à elevados custos, ausência de funcionalidades importantes e até mesmo finalização do projeto.

Complementarmente, Vogel-Heuser e Hess (2016) acreditam que tanto a indústria como a academia sabem da necessidade de se ter melhores práticas para estabelecer sistemas de I4.0 capazes. E, afirmam ainda, que principalmente as pequenas e médias empresas precisam identificar benefícios financeiros concretos, para que possam investir na I4.0. Também relacionado à questão financeira, o *Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China* (2015) traz a informação que a não compreensão dos *standards* aumenta os custos de produção, fato este que desencoraja as pequenas e médias empresas no momento de investir.

Com relação ao futuro da indústria 4.0, Xu, He e Li (2014) propõem alguns tópicos para futuras pesquisas. Dentre eles estão a integração entre as redes sociais e soluções IoT, desenvolvimento de tecnologias IoT que se preocupem com um desenvolvimento sustentável (tecnologias de melhor eficiência energética), desenvolvimento de soluções sensíveis ao contexto, aplicações de inteligência artificial e combinações de IoT e computação em nuvem.

Baseados nos desafios apresentados e no objetivo de implementar a I4.0 com sucesso, Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) apontam para oito áreas onde ações futuras são requeridas:

1. Padronização e arquiteturas de referência;
2. Gestão de sistemas complexos;
3. Banda larga para o setor industrial;
4. Segurança e proteção;
5. Organização do trabalho;
6. Treinamento e contínuo desenvolvimento profissional;
7. Estruturas regulatórias;
8. Eficiência de recursos.

3.3 INTEGRAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 À GESTÃO DE ENERGIA

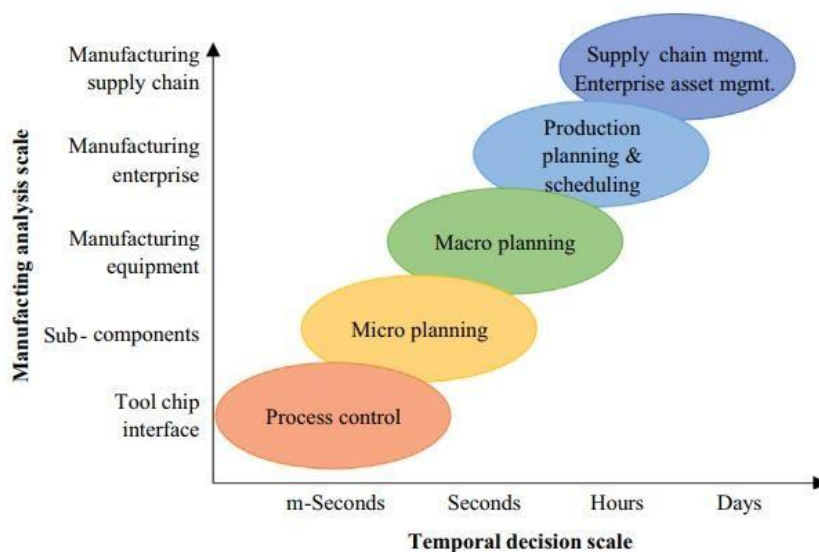
Nas subseções anteriores, as características, benefícios, dificuldades e oportunidades geradas por cada um dos temas (gestão da energia e indústria 4.0) foram evidenciadas separadamente. Assim, corroborando com o objetivo do trabalho, nesta subseção os dois temas serão abordados conjuntamente, possibilitando enxergar a relação e complementaridade existente entre os eles.

A necessidade de uma maior interação entre os temas vem sendo destacada na literatura, desde a simples utilização das tecnologias de informação, recomendada por Bunse *et al.* (2011), para melhoria tanto do controle das funções da produção como para aumento no entendimento das potenciais economias de energia até o alerta realizado por Lee e Cheng (2016), reforçando a ideia de que a principal função a ser desenvolvida pelos sistemas de gestão energética é a criação de fábricas inteligentes, uma vez que, por meio da combinação entre sensores, controladores e a gestão de operações, a máxima economia de energia pode ser atingida.

Entretanto, conforme alertado por O'Driscoll e O'Donnell (2013), para que a gestão do consumo energético seja eficiente, primeiro é necessário que ela seja quantificada corretamente, através de sistemas de monitoramento que possibilitam o entendimento de onde, por que e quanta energia está sendo consumida pelo sistema produtivo. Para Bunse *et al.*, (2011), o monitoramento da eficiência energética e análises constantes do consumo de energia são uma importante base a gestão energética, uma vez que permite aos gestores encontrar oportunidades de melhoria e acompanhar os efeitos de suas ações sobre o uso da energia.

Segundo May *et al.* (2017), para que se possa identificar as áreas de maior consumo energético da empresa, uma visão geral da planta é necessária. Além disso, os autores consideram essencial um sistema de indicadores, suportado pela utilização de *ICT*, que permita uma cobertura dos diferentes níveis de uma planta. Neste sentido, observa-se nos trabalhos de Gangolells *et al.* (2016) e Peng e Xu (2014b), que a utilização de ferramentas como *data mining*, *machine learning*, modelos estatísticos de consumo e otimização, entre outros, permite que decisões sejam tomadas em diferentes escalas temporais, que se relacionam com os diferentes níveis decisórios de uma planta, conforme ilustrado por Vijayaraghavan e Dornfeld (2010), na imagem a seguir.

Figura 13 - Nível de análise na manufatura com escalas temporais de decisão



Fonte: Vijayaraghavan e Dornfeld, 2010.

Entretanto, conforme exposto por Shrouf e Miragliotta (2015), o comportamento de consumo energético, no nível da produção, em muitas fábricas é desconhecido, prejudicando as práticas de gestão energética. Assim, espera-se que a economia de energia seja alcançada por meio de duas abordagens, melhoria da eficiência energética de processos produtivos e utilização de sistemas de monitoramento inovadores e abordagens de gestão (WEINERT, CHIOTELLIS e SELIGER, 2011).

Desta forma, os sistemas de gestão energética suportados pelas tecnologias de informação e baseados em uma avançada análise de dados (*big data analysis*) são de suma importância, já que possibilitam não apenas reduções no consumo, mas também facilitam a gestão da planta. Esta combinação entre *big data analysis* e *IoT* habilita uma mudança na forma de controle do consumo energético, passando de diagnóstico para prognóstico, auxiliando na redução dos custos com energia na manufatura (MAY *et al.*, 2017).

Por meio de uma análise da literatura e aquisição informações sobre aplicações empresariais, Shrouf e Miragliotta (2015) apontam para os seguintes benefícios em se adotar *IoT* no gerenciamento energético:

- a) Auxílio na busca e redução das fontes de desperdício;
- b) Conscientização quanto à relação entre energia e programação da produção;
- c) Redução dos custos de energia;

- d) Permite uma gestão da manutenção mais eficiente;
- e) Melhora a reputação da empresa;
- f) Auxilia na descentralização das decisões no nível de fábrica.

Assim, considerando a complexidade da eficiência energética nas empresas e os benefícios em se adotar os diferentes elementos que compõem a indústria 4.0, Schulze *et al.* (2016) apontam a necessidade de abordagens sistemáticas de gerenciamento do uso da energia no setor industrial. Enquanto que, de forma complementar, May *et al.* (2017) afirmam que o uso de sistemas de controle e automação, desenvolvimento e otimização de processos, modelagem em *softwares*, ferramentas *CAX (computer aided tools)*, entre outros, auxiliam na redução da complexidade dos processos industriais, através da obtenção de medições de energia em tempo real e facilitação das tomadas de decisão em investimentos voltados à eficiência energética, além de gerar resultados positivos tanto no quesito ambiental como financeiro.

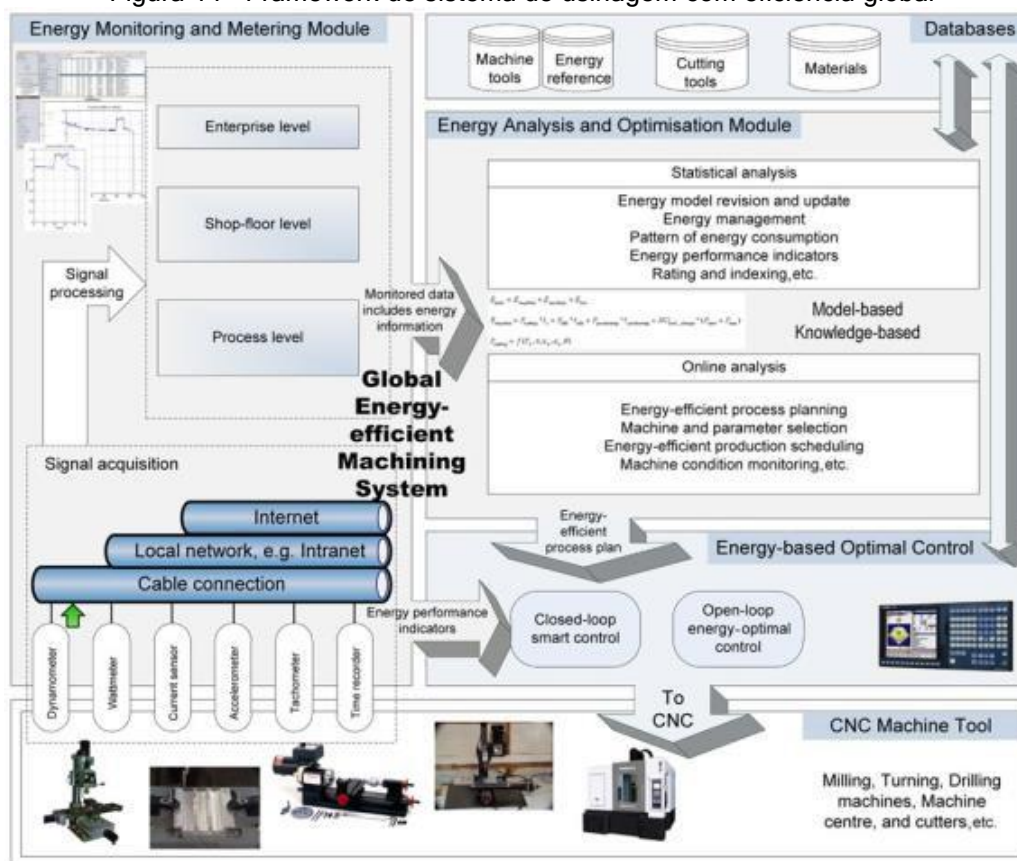
A revisão da literatura realizada neste trabalho encontrou alguns modelos de gestão energética baseados na indústria 4.0, embora ainda sejam poucos. Os modelos desenvolvidos por Peng e Xu (2014b) e Shrouf e Miragliotta (2015) recebem destaque e serão apresentados na seção seguinte.

3.3.1 Modelos de gestão 4.0 da literatura

As estruturas de gerenciamento propostas tanto por Peng e Xu (2014b) como por Shrouf e Miragliotta (2015) dão enfoque no fluxo de informação e diferentes possibilidades de decisão, além disso, os autores proporcionam análises desde o nível mais baixo (máquina) até a alta gerência (planta), uma vez que o nível de aquisição e agregação dos dados é variado, sendo definido conforme objetivos e estratégias da organização.

O modelo proposto por Peng e Xu (2014b) (figura 14) foi desenvolvido para atender aos processos de usinagem e é composto por quatro módulos: medição e monitoramento da energia, análise e otimização da energia, controles baseados em energia e base de dados.

Figura 14 - Framework de sistema de usinagem com eficiência global



Fonte: Peng e Xu, 2014b.

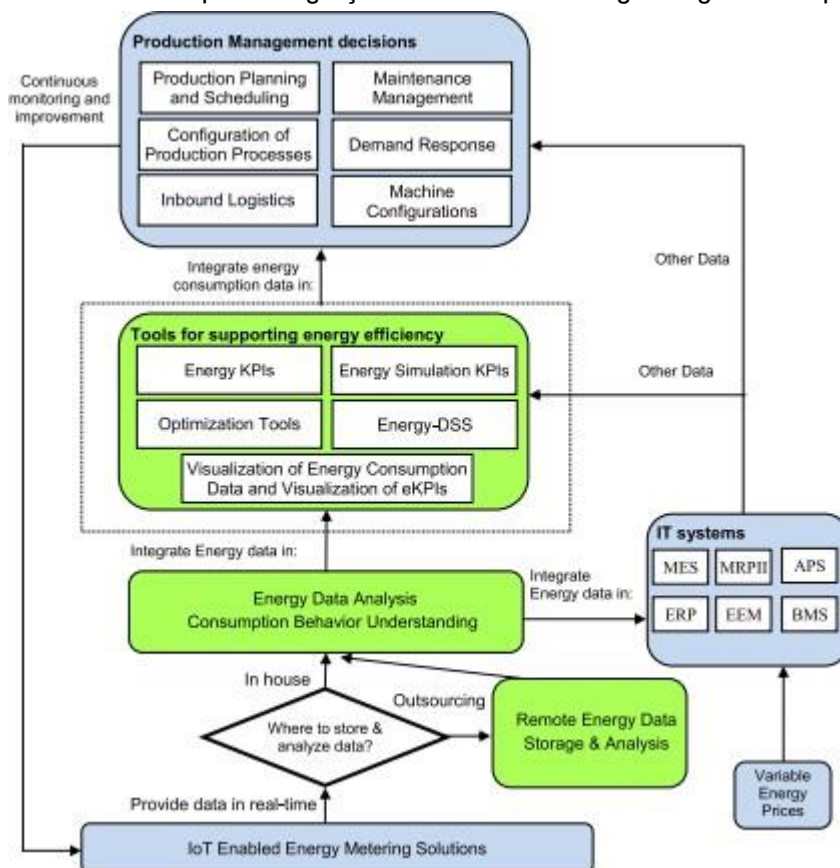
O módulo de monitoramento é responsável pela aquisição dos dados de energia, que são armazenados e formatados, para então serem transferidos via internet. No módulo seguinte, os dados capturados são analisados online e através de modelos estatísticos. O resultado destas análises gera planos voltados à eficiência energética do processo, otimização dos parâmetros de usinagem e programação da produção, além disso, as análises do histórico de consumo geram informações que podem ser utilizadas em ferramentas com ERP (*Enterprise Resource Planning*) e CAx.

No módulo de controle, é baseado em controladores numéricos inteligentes que, por meio da informação vinda do módulo anterior, reorganizam suas configurações de forma autônoma. Por fim, diferentes bases de dados foram criadas, para que se possa armazenar dados de ferramentas, máquinas, materiais e perfis de consumo, que podem utilizados no futuro.

Já o modelo desenvolvido por Shrouf e Miragliotta (2015), figura 15, tem o objetivo de orientar os tomadores de decisão quanto à forma de integração dos

dados de energia no processo de gerenciamento da produção. O modelo estruturase em três níveis.

Figura 15 - Framework para integração dos dados de energia na gestão da produção



Fonte: Shrouf e Miragliotta, 2015.

O primeiro nível refere-se à etapa de monitoramento e análise. O monitoramento é baseado na utilização de sensores e medidores inteligentes, que capturam os dados em tempo real, enquanto que a análise destes dados é responsável pela tradução destes dados em informações como padrões de consumo e fontes de desperdício.

O nível seguinte propõe a integração dos dados de energia nos sistemas de gerenciamento da produção disponíveis e nas ferramentas de suporte à eficiência energética, como ferramentas de simulação, algoritmos de otimização e ferramentas de visualização. Enquanto o último nível, mostra as decisões relacionadas à gestão da produção que precisam ser adaptadas.

Confrontando os modelos de Peng e Xu (2014b) e Shrouf e Miragliotta (2015), percebe-se que o primeiro tem enfoque na eficiência energética de máquinas,

trabalhando principalmente com as possibilidades de gestão neste nível. Já o segundo, aumenta seu campo de atuação e trabalho, buscando soluções que permitem melhorias de eficiência energética no nível máquina, mas também trabalha com a integração em níveis superiores, tendo enfoque na gestão energética do sistema produtivo como um todo.

Esta diferença nas tratativas mostra a delimitação de duas áreas de estudo diferentes, mas também pode ser vista como uma forma de exemplificar a evolução ocorrida no campo da gestão energética suportada pelas tecnologias de informação avançadas. Pois, conforme apresentado por May *et al.* (2017), a origem das tecnologias de informação está no chão de fábrica, o que faz com que as soluções e estudos primários da gestão de energia, quando somada à *ICT*, estejam concentrados neste nível de atuação.

4 RESULTADOS INICIAIS

Com base no conteúdo apresentado até este momento, a proposta deste capítulo é propor um conjunto de diretrizes que auxiliem as organizações durante o seu processo de estruturação para adoção de um sistema de gestão de energia industrial suportado pelas tecnologias de informação avançadas, representadas aqui por meio dos conceitos de *Internet of Things* e Indústria 4.0.

O método de análise de conteúdo e processo adotados para a proposição do conjunto de diretrizes pode ser visualizado, de forma esquemática, na figura 4 apresentada no capítulo de procedimentos metodológicos.

As fases do método são preparação, organização e relatório dos resultados. A fase preparação já foi cumprida por meio da definição da unidade de análise (integração da gestão energética e indústria 4.0) e através da exploração do conteúdo dos trabalhos da RSL, que foram apresentados na seção “Referencial teórico”. Na presente seção, serão abordadas as fases de organização e relatório de resultados, que serão detalhadas nos subcapítulos seguintes.

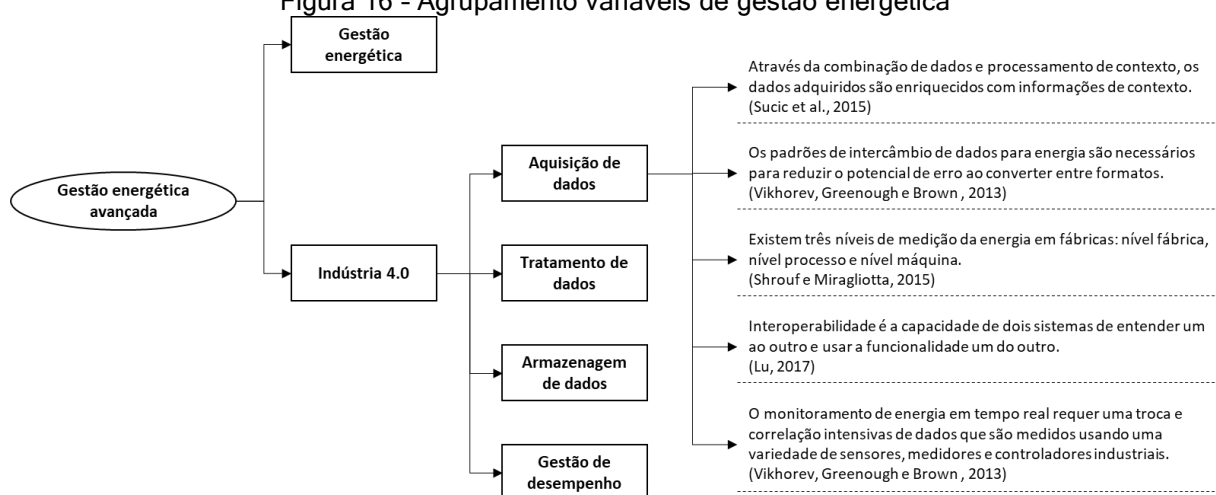
4.1 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

O objetivo desta fase é organizar os dados encontrados na etapa anterior, exploração do conteúdo. Para isso, propõem-se codificação, agrupamento e categorização das informações.

As informações coletadas nos trabalhos da RSL foram categorizadas com base tanto na sua similaridade e proximidade, como também de acordo com as classificações já existentes na literatura. Assim, pode-se dizer que o agrupamento das informações está suportado nos modelos expostos na seção “Referencial teórico”. Outra base de conhecimento utilizada para embasar o agrupamento dos dados foi a norma brasileira ISO 50001.

A figura 16 exemplifica a forma de codificação utilizada neste trabalho. As informações encontradas na literatura, sejam elas citações, resultados de estudos de caso ou qualquer outra fonte de dados provenientes dos artigos selecionados, foram categorizadas primeiramente de forma macro, seguindo frameworks e estruturas já existentes na literatura.

Figura 16 - Agrupamento variáveis de gestão energética

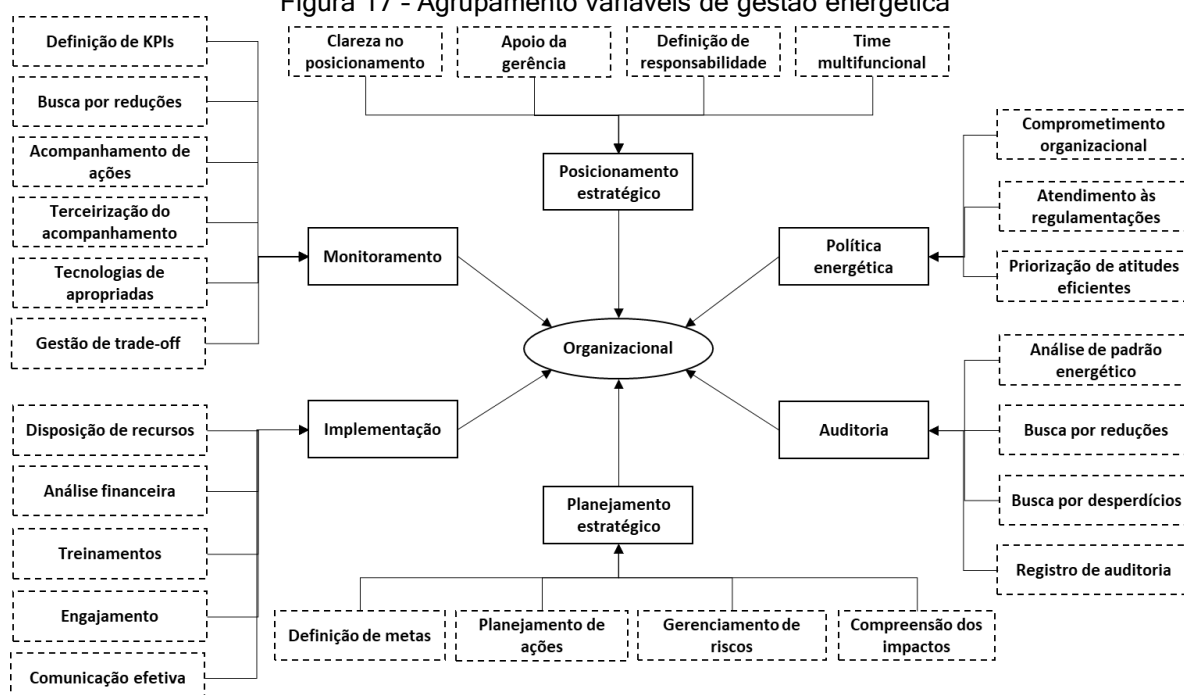


Fonte: o autor, 2020.

Após esta categorização, as informações foram revisadas para que fosse possível agrupa-las novamente, consolidando o conhecimento em declarações menores, que neste trabalho foram chamadas de variáveis, pois são fatores essenciais para que a gestão da energia e da informação sejam realizadas de forma eficiente.

As figuras 17 e 18, a seguir, apresentam o agrupamento das informações em variáveis relacionadas respectivamente à gestão de energia e gestão da informação em sistemas de produção.

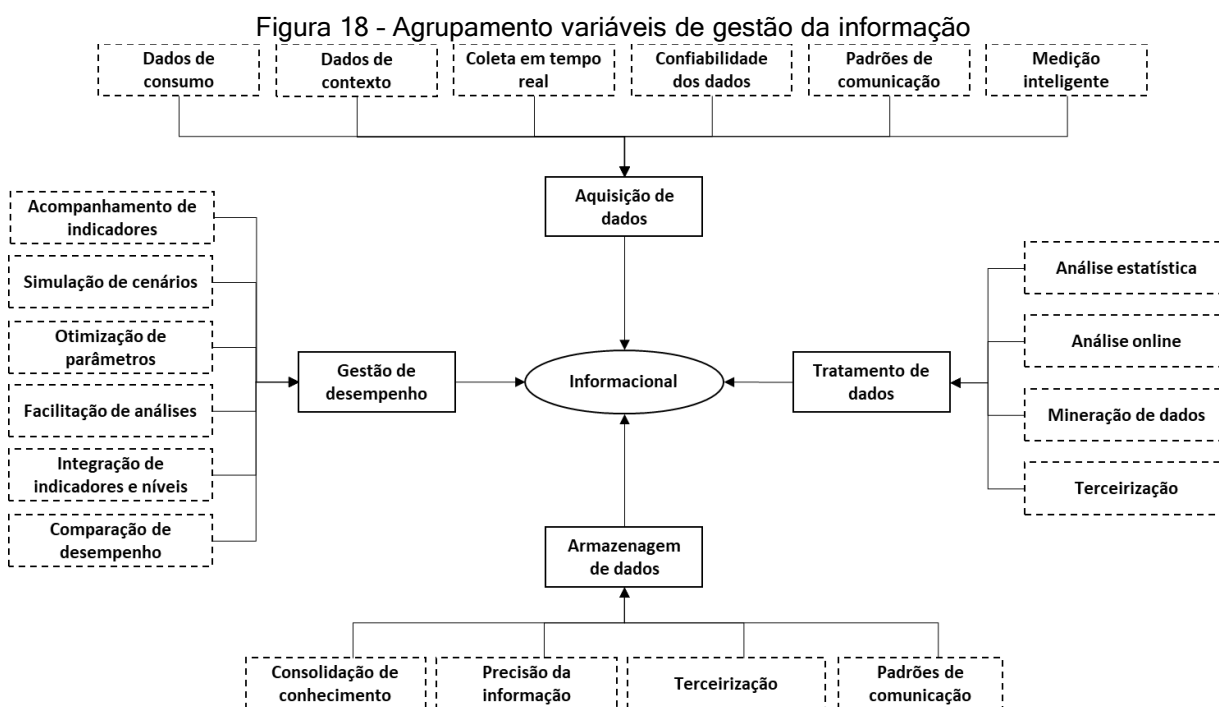
Figura 17 - Agrupamento variáveis de gestão energética



Fonte: o autor, 2020.

Como dito anteriormente, as origens das variáveis são diversas, mas a razão principal que coloca todas elas no mesmo panorama de análise é o fato de serem tratadas na literatura como recomendações e/ou boas práticas, que auxiliam, facilitam e suportam a implementação da gestão energética nas organizações.

Conforme observa-se no diagrama, são três os níveis de abstração das variáveis. O primeiro nível, agrupamento macro, é declarado “organizacional”, devido à sua amplitude de abrangência e característica de organização do sistema de gestão energético para que o mesmo seja eficiente. Este nível é expandido e divide-se em seis tópicos: posicionamento estratégico, política energética, auditoria, planejamento estratégico, implementação e monitoramento. Por fim, há uma última divisão, nível 3, que contempla as variáveis encontradas e discutidas pela literatura.



Fonte: o autor, 2020.

Assim como as variáveis de gestão energética, as relacionadas à gestão da informação são também recomendações, mas com foco no eficiente uso dos dados disponíveis nos sistemas produtivos. Estas variáveis abrangem desde a coleta de dados até o uso e gestão deles.

O agrupamento destas variáveis também ficou em três níveis, sendo o mais abrangente denominado “Informacional”, devido ao fato de todo o sistema tratar da gestão de dados e informações. O nível seguinte é composto por quatro tópicos: aquisição de dados, tratamento de dados, armazenagem de dados e gestão de desempenho. O último nível é composto pelas variáveis encontradas na literatura.

Esta etapa foi importante para organizar todo os dados encontrados na literatura, de forma que foi possível filtrá-los e classificá-los conforme sua relevância e similaridade. Assim, após os devidos agrupamentos, foi possível realizar inferências sobre o conhecimento presente na literatura.

4.2 RELATÓRIO DE RESULTADOS

A fase seguinte à etapa de “organização” constitui a apresentação tanto dos resultados adquiridos como das análises que levaram àqueles resultados. Os produtos resultantes da análise são o modelo conceitual de gestão de energia, suportado pelas tecnologias avançadas de gestão da informação e o conjunto de diretrizes propostas. Já o relatório sobre as análises que culminaram nos resultados, caracteriza-se, neste trabalho, pela detalhada explicação sobre a construção do modelo e diretrizes, assim como a exposição dos trabalhos que serviram de base para gerar cada diretriz.

4.2.1 Modelo conceitual de gestão energética avançada

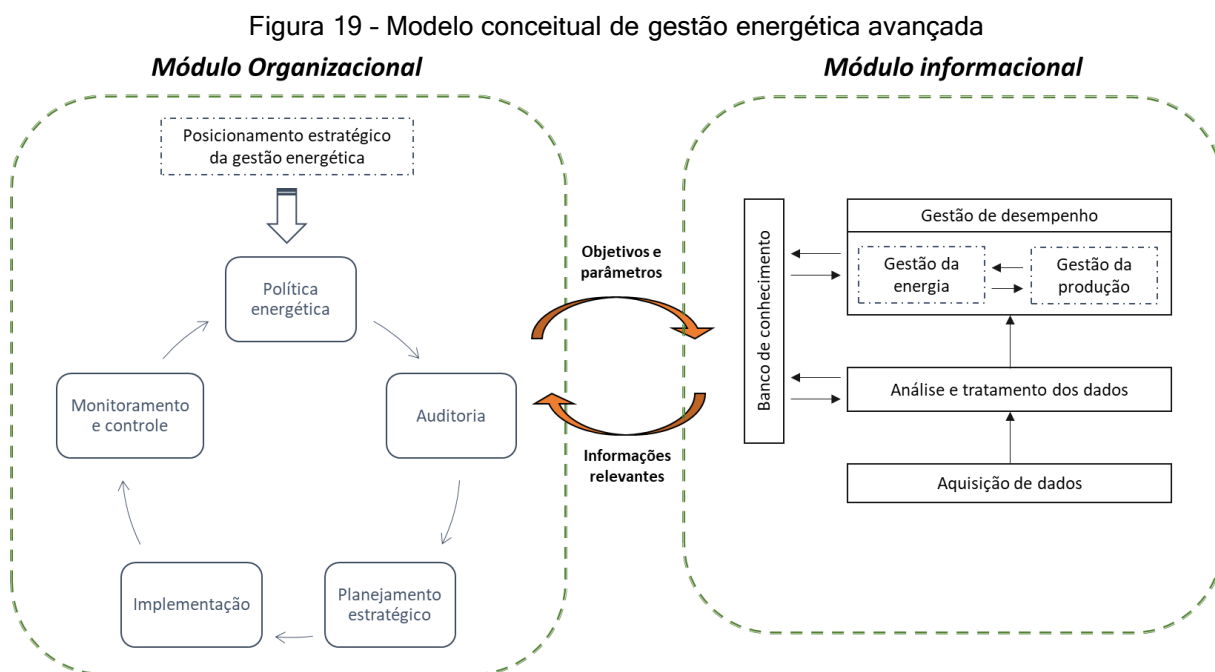
Segundo a definição proposta pela *International Organization of Standardization* (2011), um sistema de gestão da energia “é um conjunto de elementos inter-relacionados ou interativos para estabelecer uma política e objetivos de energia, assim como processos e procedimentos para alcançar esses objetivos”, englobando estruturas organizacionais, informacionais e ferramentas técnicas (ASSOCIATION of GERMAN ENGINEERS, 2007).

Alinhado a esta definição, a intenção do modelo proposto é abordar os elementos que promovem e garantem um bom funcionamento de um sistema de gestão energética, contemplando questões organizacionais e culturais, políticas e de planejamento estratégico, assim como as ferramentas técnicas e os aspectos de transferência de dados e informações. Com isso, o modelo permite análises em

todos os níveis de uma empresa, em diferentes escalas temporais e integrando as diversas áreas funcionais de uma organização.

O modelo proposto, figura 19, tem como base o agrupamento de variáveis apresentado anteriormente, sendo importante ressaltar que este agrupamento levou em consideração os modelos encontrados na revisão de literatura e a norma brasileira ISO 50001.

Ainda, a proposição do modelo baseia-se no argumento trazido por Weinert, Chiotellis e Seliger (2011), onde os autores defendem que as reduções no consumo energético são esperadas não apenas por meio de melhorias na eficiência energética de processos específicos de produção, mas também por meio da utilização de inovadores sistemas de monitoramento e abordagens de gestão.



Fonte: o autor, 2020.

O modelo é, inicialmente, dividido em dois grandes módulos: organizacional e informacional. O primeiro, à esquerda, caracteriza-se pelas estruturas organizacionais e estratégicas, enquanto que o segundo aprofunda-se nos aspectos técnicos e de aplicação das ferramentas de aquisição, tratamento e gestão dos dados e informações sobre consumo energético.

Os módulos possuem interações devido à constante e necessária troca de informações entre eles. O módulo organizacional é responsável pelo fornecimento dos objetivos traçados para a gestão energética, assim como os parâmetros de

controle que serão necessários para atingimento do objetivo. Com informações destas naturezas, o módulo organizacional se estruturará e, posteriormente, suprirá as etapas do módulo organizacional com informações relevantes à gestão da energia, auxiliando nas decisões. Assim, conforme sugerido por Karnouskos *et al.* (2009), as informações coletadas em todos os níveis da organização são correlacionadas e avaliadas conjuntamente, para que se possa desenvolver estratégias holísticas de eficiência energética.

Por meio deste modelo, acredita-se que as organizações, independente do seu tamanho, são capazes de compreender como os sistemas de gestão energética, suportados pelas tecnologias de informação avançadas, podem se estruturar para atender às necessidades da organização. Também, ainda que de forma macro, podem identificar quais elementos compõem e influenciam um sistema de gestão energética, além de entender como os diversos elementos estão conectados e interagindo para que, no final, as decisões nos diversos níveis da empresa possam ser tomadas com assertividade, maior agilidade e baseadas em dados confiáveis, aumentando a competitividade da organização.

4.2.1.1 Aspectos organizacionais

O módulo organizacional propõe as etapas e ações estratégicas a serem adotadas pelas organizações que pretendem implementar e manter um sistema de gerenciamento energético bem-sucedido. De forma similar aos modelos propostos por Schulze *et al.* (2016) e a norma brasileira ISO 50001, a estruturação do módulo organizacional coloca-se em formato de um ciclo de aperfeiçoamento contínuo do sistema de gestão, uma vez que o monitoramento do sistema permite ajustes contínuos para que se tenha um melhor desempenho.

A primeira etapa é posicionar a gestão da energia estrategicamente dentro da organização, ou seja, deixar claro a intenção da organização em melhorar seu desempenho nesta área. Para tanto, a alta gerência tem papel primordial, sendo responsável por demonstrar seu comprometimento em apoiar o sistema de gestão de energia e melhorá-lo continuamente (NBR ISO 50001, 2011). Além disso, deve-se definir um encarregado (gestor de energia) que tenha ligação direta com a alta gerência, assim como uma equipe multifuncional que o mantenha informado (SCHULZE *et al.*, 2016).

Após esta decisão estratégica de gestão da energia, a etapa seguinte refere-se à declaração de uma política energética, que visa afirmar o comprometimento da organização com uma melhoria em seu desempenho energético. Conforme apresentado na NBR ISO 50001, a política energética deve ser documentada e comunicada em todos os níveis da organização, além de mostrar o comprometimento da organização em garantir os recursos necessários, cumprir com os requisitos legais existentes e aquisição de produtos e serviços energeticamente eficientes.

Para garantir que as estratégias adotadas pela organização sejam coerentes com o histórico e atual situação da organização, propõe-se uma etapa de auditoria. Segundo Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011), auditoria energética é uma abordagem confiável e sistemática, que auxilia as organizações na análise do seu consumo energético, possibilitando encontrar áreas com oportunidade de redução, além de evidenciar desperdícios. Com isso, organizações podem adotar métodos de conservação de energia mais factíveis. A NBR ISO 50001 aponta também para o benefício de registro e priorização das oportunidades de melhoria.

Tendo apoio da alta gerência e conhecimento sobre o ambiente de atuação do sistema de gestão da energia, a etapa seguinte é realizar um planejamento estratégico. Nesta etapa são definidos os objetivos e metas para a organização em cada nível (planta, área funcional, equipamento, ...), conforme necessidade. Para esta tarefa, recomenda-se a utilização de objetivos SMART (específico, mensurável, alcançável, relevante e oportuno), além de estarem alinhados com a política energética (ISO 50001, 2001; SCHULZE *et al.*, 2016). Após definição dos objetivos, deve-se especificar planos de ação para atingimento dos mesmos, contemplando ações de curto e longo prazo. Como principal atividade, tem-se a definição de um plano estratégico de longo prazo para a gestão energética, uma vez que Schulze *et al.* (2016) mostram, por meio de sua revisão de literatura, que a ausência de um plano de longo prazo indica que a gestão da energia não é uma questão estratégica para a organização.

Propõe-se, não apenas, mas principalmente na etapa de planejamento, que as empresas estejam cientes dos impulsionadores e barreiras à gestão energética, apresentadas nos trabalhos de Cagno *et al.* (2013) e May *et al.* (2017), para que possam melhor adequar suas estratégias e objetivos. Neste mesmo sentido,

Vasudevan e Higgins (2004), propõem para esta etapa, uma gestão estratégica de riscos.

Após definir objetivos, metas e planos de ação, a fase subsequente é a de implementação, ou seja, baseado no planejamento anterior, medidas e ações de eficiência energética serão aplicadas. Esta etapa caracteriza-se por uma perspectiva técnica, sendo um momento onde definem-se as ações que melhor se adequam às necessidades da organização.

Nesta etapa serão tomadas decisões de cunho operacional, que passarão por decisões referentes à aquisição, alocação, utilização e disposição de recursos, principalmente relacionadas à investimentos financeiros (PETERSON e BELT, 2009; SANDBERG e SODERSTR, 2003). Esta relação traz algumas preocupações e alertas que as organizações precisam estar atentas. Na revisão de Schulze *et al.* (2016), fica claro a influência que o período de *payback* estabelecido pelas empresas gera nos investimentos voltados à eficiência energética. Associado a este fator, a literatura aponta para a falta de conhecimento das organizações no momento de decidir entre ações, fazendo com que projetos rentáveis deixem de ser implementados (AFLAKI *et al.*, 2013). Com isso, propõe-se que as empresas deem enfoque em quatro fatores: correta medição da linha base de consumo, clareza nas responsabilidades, utilizar tecnologias confiáveis e ter conhecimento técnico e financeiro para avaliação de projetos de eficiência energética. Pye e McKane (2000) apontam para a necessidade de se incluir os benefícios não energéticos dentro dos cálculos de rentabilidade e investimentos.

Na etapa de implementação, conforme apontado pela NBR ISO 50001, consideram-se também os esforços de engajamento e criação de uma cultura organizacional voltada à gestão da energia. Dentre as necessidades, aponta-se para a aplicação de cursos e treinamentos sobre eficiência energética, medidas de conscientização e encorajamento das pessoas para que participem ativamente e uma comunicação efetiva, podendo ser apenas interna ou abranger ao público externo (ABDELAZIZ, SAIDUR E MEKHILEF, 2011; ISO 50001 (2011); SCHULZE *et al.*, 2016).

Por fim, antes de realimentar o sistema com informações sobre seu desempenho, tem-se a fase de controle, que constitui o processo de monitoramento do sistema, verificando a eficiência das ações realizadas e os resultados gerados. Monitoramento e análises constantes do consumo energético do sistema são uma

base importante para a gestão da energia, uma vez que auxilia gestores a identificar oportunidades de melhoria e acompanhar os efeitos de suas decisões (BUNSE *et al.*, 2011).

Um fator importante para uma eficiente medição de desempenho é a definição e aplicação de indicadores (*KPIs*) que sejam apropriados, podendo monitorar desde o nível da companhia até o nível de processo, conforme objetivo da organização (BUNSE *et al.*, 2011). Dobes (2013) estudou a subcontratação de empresas de serviços para realização do monitoramento energético, uma vez que raramente organizações realizam esta atividade de forma eficiente. O resultado mostrou ser uma prática benéfica, já que o feedback era em tempo real e facilitava a aprendizagem organizacional.

Bunse *et al.* (2011) e May *et al.* (2017), destacam também o uso de *ICT*, como suporte para melhorar o monitoramento e controle dos *KPIs*, tornando-os mais ajustados às necessidades dos gestores, facilitando assim as tomadas de decisão. Ainda, para os últimos autores, a combinação de *data analytics* e *IoT* permite uma mudança bem-sucedida de um estado de diagnóstico para prognóstico no controle do consumo e custo energético. Porém, conforme alerta Xu, He e Li (2014), como *IoT* é normalmente desenvolvido baseado em um ambiente tradicional *ICT*, sua integração ao atual sistema de tecnologia requer um esforço considerável.

Conforme apontado por May *et al.* (2017), a principal preocupação é com o impacto gerado pela integração da gestão energética como uma dimensão de desempenho, frente aos indicadores convencionais (qualidade, custo, flexibilidade, ...). Desta forma, é importante que se tenha uma noção clara da relação entre estes indicadores com o controle energético, para que os gestores possam tomar decisões assertivas nas etapas de planejamento e implementação.

O monitoramento do sistema, além dos benefícios anteriormente citados, também permite a realização de benchmarking, que se caracteriza por ser uma ferramenta útil para entendimento e otimização dos padrões de consumo das organizações (WORRELL e PRICE, 2006).

Os dados coletados na fase de monitoramento serão utilizados para aprimoramento do sistema como um todo, formando o ciclo de melhoria contínua, pois conforme já mencionado, as organizações precisam estar constantemente atualizando e revisando sua política energética e planejamentos.

Embora tenham sido abordados nas etapas de posicionamento estratégico da gestão energética e implementação, deve-se ressaltar a importância em se ter amplo apoio da alta gerência e criação de uma cultura organizacional que estimule ações de eficiência energética. Além destes fatores, organizacionalmente também se propõe que as empresas integrem a gestão de energia à ambiental, evitando gerenciamentos paralelos e possibilitando maiores economias e melhor desempenho ambiental (AMUNDSEN, 2000).

4.2.1.2 Aspectos informacionais

O segundo módulo que compõe o sistema de gestão energética proposto neste trabalho é denominado informacional e trata do fluxo e processos de gestão das informações. Este módulo está diretamente relacionado à etapa de monitoramento e controle, presente no módulo organizacional, pois garante o acompanhamento do desempenho energético da organização e suporta as decisões estratégicas que são realizadas no primeiro módulo. Desta forma, seu objetivo é garantir a “consciência energética”, ou seja, permitir que todos os envolvidos na gestão da energia estejam cientes dos impactos de suas ações de eficiência energética, das melhorias alcançadas, da relação entre consumo energético e os outros indicadores da organização, assim como auxiliar na compreensão dos padrões de consumo.

Além da relação com a etapa de monitoramento e controle, é importante frisar que há grande dependência e, conseqüentemente, relação direta com a etapa de planejamento do módulo organizacional. Isso ocorre pelo fato de que o módulo informacional começa com a etapa de aquisição dos dados, onde, de acordo com os objetivos e *KPIs* definidos na etapa de planejamento, aplicam-se tecnologias de coleta de dados, como sensores, medidores e controladores, para obtenção de informações que sejam relevantes às análises. Conforme lembrado por Vikhorev, Greenough e Brown (2013), o que não se mede, não pode ser gerenciado, evidenciando que esta etapa é fundamental para o sistema de gestão energética.

Dados de energia podem ser coletados em diversos níveis (planta, processo, equipamento) e escalas temporais (milissegundos, horas, dias), dependendo dos objetivos da organização. Além disso, autores como Sucic *et al.* (2015), defendem o enriquecimento dos dados de energia através da combinação destes com

informações do contexto no qual o elemento (processo, equipamento, ...) a ser analisado está incluído. Por exemplo, Vikhorev, Greenough e Brown (2013) apontam para a programação de tarefas com alto consumo energético fora dos períodos de pico de carga ou, até mesmo, aproveitar fontes intermitentes, como a solar.

Outra importante característica atribuída a esta etapa é a possibilidade de monitoramento em tempo real, o que realça a importância dos formatos padrões de dados. Vikhorev, Greenough e Brown (2013) apontam para o fato de que tais padrões reduzem os potenciais erros durante conversões, aumentando a qualidade e confiabilidade dos dados coletados. Dentre estes padrões, Peng e Xu (2014b) destacam o MTConnect, que busca favorecer a interoperabilidade entre os níveis de aquisição de dados e as ferramentas de monitoramento. Desta forma, aponta-se então a interoperabilidade – habilidade de dois sistemas se entenderem e utilizarem as funcionalidades de cada um – como fator chave ao bom funcionamento do sistema de gestão.

Por fim, cita-se a recente utilização de sensores e medidores inteligentes, que, de acordo com Shrouf e Miragliotta (2015), são dispositivos que possuem funcionalidades adicionais às atividades comumente realizadas, como interação com o ambiente e processamento inicial dos dados. Os autores também evidenciam a flexibilidade trazida pela utilização destes dispositivos, podendo ser ainda maior se utilizada rede sem fio para comunicação.

A segunda etapa deste módulo é denominada análise e tratamento dos dados, pois como o próprio nome sugere, os dados são organizados, filtrados e analisados, transformando-se em informações relevantes para as decisões organizacionais. Assim, a importância desta etapa se dá pelo fato de que o objetivo de sistema de gestão energética é reduzir e otimizar, e não apenas ter conhecimento sobre os padrões de consumo (PENG e XU, 2014a).

Conforme proposto por Peng e Xu (2014b), as análises podem ser realizadas de forma estatística ou online. Análises estatísticas baseiam-se em ampla quantidade de dados e se estendem historicamente. Para tais, utilizam-se modelos matemáticos que estabelecem padrões de consumo, analisam otimizações e realizam previsões. Importante ressaltar que o escopo e metodologia adotada em cada modelo deve estar alinhada com a política e planejamento energético que a organização definiu (OLANREWAJU e JIMOH, 2014). Em resumo, estes modelos de energia baseiam-se em uma contínua medição de dados de consumo, sendo

derivações de acontecimentos do passado, que podem ser utilizados para prever comportamentos futuros (SUCIC *et al.*, 2015). Os autores ainda afirmam que existem modelos que melhor se enquadram em análises de curtos períodos, enquanto outros tem desempenho efetivo quando aplicado à longos períodos.

Por outro lado, tem-se também a possibilidade de utilizar técnicas avançadas para análises online do fluxo de dados, que auxiliam, dentre outras formas, no controle de máquinas em tempo real, no planejamento de processos energeticamente eficientes, na otimização de parâmetros de máquina, programação da produção (PENG e XU, 2014b). Um exemplo de utilização destas técnicas se dá pela combinação entre algoritmos de correspondência de padrões e processamento de eventos complexos (CEP), de forma que, softwares utilizando CEP agregam dados vindos de diversas fontes e aplicam lógicas para identificar padrões e tendências que poderiam passar despercebidas por humanos (VIKHOREV, GREENOUGH e BROWN, 2013). Outro benefício das análises online, proposto no modelo de Peng e Xu (2014b), é o ajuste autônomo dos parâmetros de um equipamento, gerenciado por um controlador CNC inteligente e baseado em dados de consumo.

Embora a contínua análise do fluxo de dados permita decisões temporalmente mais precisas, ela resulta em uma grande quantidade de dados gerados. Desta forma, ressalta-se a importância de métodos como o *big data analytics*, que auxilia na análise destes dados, de forma a reduzi-los e extrair eventos-chave, que fornecerão informações sobre o desempenho energético (VIKHOREV, GREENOUGH e BROWN, 2013; XU, HE e LI, 2014).

Por fim, uma característica importante desta etapa é que tanto o armazenamento quanto a análise dos dados podem ser realizados interna ou externamente (*cloud*) à organização. Desta forma, os resultados das análises são enviados, ou publicados online, regularmente à organização, podendo até mesmo ser instantaneamente em casos de consumos fora da normalidade (SHROUF e MIRAGLIOTTA, 2015).

Quando o armazenamento dos dados fica na organização, leva-nos ao terceiro elemento do módulo informacional, denominado banco de conhecimento. Este elemento tem como características ser de transição e servir de suporte às etapas de análise de dados e gestão de desempenho.

Conforme exposto por Sucic *et al.* (2015), este elemento é conhecido como repositório de conhecimento, uma vez que serve como ferramenta de coesão entre as outras etapas (análise de dados e gestão de desempenho), categorizando e compartilhando informações baseadas em conhecimento. Assim, a função deste elemento é armazenar as informações necessárias às análises e controle da energia, consolidando as experiências organizacionais e auxiliando nas análises de desempenho futuro (PENG e XU, 2014b).

Alguns requisitos, segundo Sucic *et al.* (2015), são necessários para o correto e efetivo funcionamento do banco de conhecimento: padrões comuns de comunicação tanto na entrada como saída de dados, métodos comuns de acesso a dados para recuperação e atualização deles e permitir que os elementos do sistema possam utilizar as funcionalidades do banco de conhecimento.

Como última etapa do módulo informacional, propõe-se a gestão de desempenho, que consiste na análise das informações adquiridas pelas etapas anteriores. Neste momento, os filtros e ajustes finos já foram realizados, assim as informações de entrada são relevantes, de alto valor agregado e estão relacionadas com os indicadores de desempenho da organização, de forma que os usuários conseguem obter informações privilegiadas e ajustadas às necessidades da empresa, para que possam tomar decisões assertivas e coerentes com a realidade e objetivos da organização. Nesta etapa realizam-se desde análises mais básicas, como acompanhamento e otimização direta dos indicadores de consumo energético, até avançadas integrações entre os índices energéticos e os já consolidados indicadores da produção, como qualidade.

Algumas das ferramentas que podem ser aplicadas para melhoria da eficiência energética são simuladores, algoritmos de otimização, sistemas de suporte à decisão energética (*e-DSS*), gestão de indicadores de energia (*e-KPI*) e ferramentas de visualização (SHROUF e MIRAGLIOTTA, 2015).

A integração dos dados de energia com decisões de gestão da produção tem sido amplamente defendida e apoiada nos últimos anos, portanto, esta integração é apontada como outra funcionalidade e característica da etapa de gestão de desempenho (SHROUF e MIRAGLIOTTA, 2015; BUNSE *et al.*, 2011; VIKHOREV, GREENOUGH e BROWN, 2013). Os sistemas de tecnologias da informação desempenham papel essencial nesta integração, uma vez que se propõe a utilização

dos dados de consumo energético dentro dos atuais sistemas de gestão da produção, como ERP, SCADA, MRPII, MES, entre outros (MAY *et al.*, 2017).

Embora esta integração seja complexa, Shrouf e Miragliotta (2015) argumentam em favor dos benefícios trazidos pela utilização das tecnologias *IoT*, que fornecem medidores inteligentes com ampla diversidade de formatos para troca de informação, além dos esforços realizados pelos fornecedores de software que buscam soluções para aprimoramento das capacidades atuais e redução dos problemas advindos da fase de implementação destes softwares.

Shrouf e Miragliotta (2015) também apontam para benefícios obtidos com esta integração, que passam por melhora no planejamento e programação da produção, resposta à demanda, configuração de equipamentos (exemplo, para redução do tempo ocioso), configuração de processos produtivos, gestão da manutenção e logística de entrada. Assim, criam-se processos com menor consumo energético e custos.

Outra forma de análise realizada na etapa de gestão de desempenho, possibilitada pela ampla disponibilidade de dados (de energia e contextuais), é o benchmarking. Além das comparações usualmente realizadas entre empresas e processos, análises mais complexas entre turnos de produção e cenários específicos de uso de energia, facilitam as investigações de variações nos desempenhos energéticos (SUCIC *et al.*, 2015).

Ainda, cita-se, como elemento essencial à etapa de gestão de desempenho, as ferramentas de visualização e comunicação das informações aos gestores. A comunicação das métricas de desempenho, dos diagnósticos de problema, das melhorias e demais informações relevantes aos tomadores de decisão, precisa ser realizada de forma eficiente, reduzindo cargas cognitivas e melhorando a compreensão da situação (VIKHOREV, GREENOUGH e BROWN, 2013).

Outros fatores, que mostram a necessidade em se dar atenção às ferramentas de visualização durante o desenvolvimento e aplicação de um sistema de gestão, são as implicações (desperdícios) financeiras e em equipamentos resultantes de uma má compreensão do padrão de consumo energético.

Desta forma, argumenta-se a favor da utilização de mecanismos como interfaces de interação homem-máquina e painéis visuais, que não apresentem apenas dados numéricos, pois estes dificultam as interpretações (VIKHOREV, GREENOUGH e BROWN, 2013; SHROUF e MIRAGLIOTTA, 2015).

4.2.2 Diretrizes à gestão energética avançada

Com o agrupamento das variáveis e concepção do modelo conceitual, foi possível elaborar um conjunto de diretrizes, que buscam auxiliar as organizações durante a etapa de estruturação do sistema de gestão energética avançada. O objetivo das diretrizes é servir como uma recomendação universal, ou seja, não focada em ferramentas e procedimentos, mas sim em boas práticas que possam ser utilizadas pelas organizações independentemente de seu porte e setor de atuação.

Devido ao fato de as diretrizes serem uma consequência das etapas anteriores e, portanto, estarem alinhadas com as estruturas das variáveis e modelo, o agrupamento das diretrizes seguiu a organização do modelo conceitual. Com isso, a relação entre diretrizes e modelo fica clara, reduzindo-se os esforços de esforços e facilitando o entendimento por parte dos usuários.

As tabelas 9 e 10 trazem, respectivamente, as diretrizes provenientes do módulo organizacional e módulo informacional.

Tabela 9 - Diretrizes organizacionais

	Diretriz	Descrição	Abordado por
	#DO01 Clareza no posicionamento	Deixar claro para funcionários, stakeholders e demais membros interessados que a empresa seguirá em busca de reduções de consumo	ISO 50001;
	#DO02 Apoio da gerência	A alta gerência deve demonstrar seu apoio e comprometimento com a gestão energética	ISO 50001; May et al., (2017); Thollander e Ottosson (2010); Turner e Doty (2007)
Posicionamento estratégico	#DO03 Definição de responsabilidade e time multifuncional	Deve-se definir um responsável (gestor de energia), que esteja diretamente ligado à alta gerência, para facilitar e potencializar as ações de gestão energética, assim como criação de um time multifuncional, que forme uma base de informação à este gestor de energia, mantendo-o informado quanto às evoluções e dificuldades do projeto	SCHULZE et al. (2016); Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011); Ates e Durakbasa (2012); Turner e Doty (2007); McKane et al. (2007)
Política energética	#DO04 Comprometimento organizacional	A política energética deve reforçar o comprometimento da organização em garantir os recursos necessários à gestão energética	ISO 50001;

	#DO05	Atendimento às regulamentações	A organização deve demonstrar seu compromisso em cumprir com os requisitos legais existentes	ISO 50001;
	#DO06	Priorização de atitudes energeticamente eficientes	Organização deixa claro a priorização por produtos e serviços energeticamente eficientes	ISO 50001;
Auditoria	#DO07	Análise do padrão energético	Realização de auditorias periódicas para análise e entendimento do padrão de consumo energético da organização	Rohdin e Thollander (2006); Kannan e Boie (2003)
	#DO08	Registro de auditoria	Registrar resultados da auditoria, possibilitando priorizar as ações de melhoria	ISO 50001
	#DO09	Identificação de melhorias	Constante busca por oportunidades de redução/melhoria do consumo e fontes de desperdícios do sistema	Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011); ISO 50001; Thollander e Ottosson (2010); Turner e Doty (2007); McKane et al. (2007)
Planejamento estratégico	#DO10	Definição de metas e ações claras	Definir metas e objetivos energéticos que estejam alinhados com os objetivos corporativos e especificar planos de ação para atingimento dos objetivos	May et al., (2017); SCHULZE et al. (2016); ISO 50001
	#DO11	Gerenciamento de riscos e impactos	Gerenciar os riscos inerentes à estratégia energética adotada, além de compreender e estar ciente dos fatores que podem tanto impulsionar como servir de barreira à gestão energética	SCHULZE et al. (2016); Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011); Vasudevan e Higgins (2004); May et al., (2017); Cagno et al. (2013);
Implementação	#DO12	Disposição de recursos	Tomar decisões referentes à aquisição, alocação, utilização e disposição de recursos da organização	Peterson e Belt (2009); Sandberg e Söderström (2003)
	#DO13	Análises financeiras confiáveis	Possuir clareza nas responsabilidades de cada membro, utilizar tecnologias confiáveis e ter conhecimento técnico e financeiro para avaliação de projetos de eficiência energética. Garantir coerência entre as análises financeiras de <i>payback</i> , para garantir que projetos rentáveis não deixem de ser realizados.	Sandberg e Söderström (2003); Aflaki, Kleindorfer e de Miera Polvorinos (2013); SCHULZE et al. (2016); Pye e McKane (2000)
	#DO14	Treinamentos	Deve-se disponibilizar cursos e treinamentos sobre gestão de energia para os diversos membros da organização	Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011); SCHULZE et al. (2016);
	#DO15	Manter as pessoas engajadas	Realizar ações de conscientização e encorajamento, para que as pessoas participem mais	SCHULZE et al. (2016); ISO 50001; Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011);

		ativamente e se engajem na gestão da energia. Para isso, deve-se manter uma comunicação efetiva quanto às ações, avanços e perspectivas da gestão energética na organização	Christoffersen et al. (2006); Thollander e Ottosson (2010); Ates e Durakbasa (2012); Turner e Doty (2007)	
	#DO16	Definição de <i>KPIs</i> relevantes	Aplicação de indicadores (<i>KPIs</i>) que sejam adequados e alinhados com as necessidades e objetivos da organização	SCHULZE et al. (2016); Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011); May et al., (2017); Bunse et al. (2011); McKane et al. (2007)
	#DO17	Acompanhamento de ações	Garantir constante acompanhamento quanto à eficiência das ações de melhoria realizadas. Pode-se avaliar a possibilidade de terceirização da medição e controle da energia, como forma de potencializar as análises	Bunse et al. (2011); Vikhorev, Greenough e Brown (2013); SCHULZE et al. (2016); Dobes (2013);
Monitoramento	#DO18	Tecnologias apropriadas	Compreender e especificar as tecnologias de informação que se fazem apropriadas à gestão da energia. Buscar tecnologias e meios que permitam à organização passar de um estado reativo para proativo no controle do consumo e custo energético	May et al., (2017); SCHULZE et al. (2016); Bunse et al. (2011); Weinert, Chiotellis e Seliger (2011)
	#DO19	Gestão de <i>trade-off</i>	Ter uma visão clara e entendimento sobre a relação entre os indicadores energéticos e os convencionais (qualidade, custo, flexibilidade, ...), para que ações de gestão energética não impactem negativamente em outros indicadores.	May et al., (2017);

Fonte: autor, 2020.

A primeira coluna das tabelas faz relação da variável com a macro etapa do módulo organizacional ou informacional. Na segunda coluna as diretrizes são enumeradas, para facilitar sua identificação. A denominação (título) atribuído a cada diretriz está na terceira coluna, enquanto a quarta apresenta uma definição (descrição detalhada) da diretriz, de acordo com as descrições e abordagens da literatura. A última coluna das tabelas fornece a fonte de informação, ou seja, os autores e trabalhos que abordaram cada critério. Segundo Elo e Kyngäs (2008), esta relação com as fontes é importante para demonstrar a validade do estudo.

Tabela 10 - Diretrizes informacionais

Diretriz	Descrição	Abordado por
----------	-----------	--------------

Aquisição de dados	#DI01	Definição apropriada dos dados de consumo a serem coletados	Definir os dados de energia a serem coletados, de forma que sejam relevantes para o acompanhamento dos <i>KPIs</i> nos diversos níveis da organização	Vikhorev, Greenough e Brown (2013); Sucic et al. (2015); Kara, Bogdanski e Li (2011); O'Driscoll e O'Donnell (2013)
	#DI02	Ponderação sobre dados de contexto	Avaliar necessidade de coletar dados do contexto para enriquecimento das análises e ações de gestão (ex. acompanhamento do preço da energia)	Sucic et al. (2015), Vikhorev, Greenough e Brown (2013)
	#DI03	Coleta de dados em tempo real	Avaliar necessidade da coleta e transmissão de dados em tempo real	Vikhorev, Greenough e Brown (2013); Shrouf e Miragliotta (2015)
	#DI04	Confiabilidade de dados	Deve-se garantir a confiabilidade dos dados coletados	Vikhorev, Greenough e Brown (2013)
	#DI05	Sistemas interoperáveis	Garantir padrões de dados e comunicação para facilitar troca de informação entre sistemas (interoperabilidade)	Vikhorev, Greenough e Brown (2013); Brown et al. (2010); Lee et al. (2010); Mani et al. (2010); Peng e Xu (2014b)
	#DI06	Medição inteligente	Ponderações quanto à viabilidade e necessidade de aquisição e instalação de medidores inteligentes (interação com o ambiente, pré-processamento da informação, ...)	Shrouf e Miragliotta (2015);
Tratamento dos dados	#DI07	Análises estatísticas e online	Deve-se avaliar e definir as análises a serem aplicadas, podendo ser estatísticas ou online, conforme objetivos traçados pela organização	Sucic et al. (2015); Vijayaraghavan e Dornfeld (2010); Seem (2007); Peng e Xu (2014b); Shrouf e Miragliotta (2015); Vikhorev, Greenough e Brown (2013)
	#DI08	Mineração de dados	Devido à alta quantidade de dados gerados pela etapa de coleta, deve-se utilizar ferramentas de mineração de dados, podendo ser escolhidos métodos como <i>big data analytics</i>	Sakurai, Faloutsos e Yamamuro (2007); Assent et al. (2009); Argyros e Ermopoulos (2003); Wei et al. (2005); Xu, He e Li (2014); Vikhorev, Greenough e Brown (2013)
	#DI09	Terceirização de serviços	Deve-se avaliar a viabilidade de terceirização do armazenamento e tratamento dos dados, de forma que relatórios sejam enviados à organização, que pode focar na gestão energética propriamente dita.	Monostori (2015); Shrouf e Miragliotta (2015); Fawkes (2007);

Banco de conhecimento	#DI10	Consolidação de conhecimento	A consolidação do conhecimento energético adquirido pela organização por meio da coleta e tratamento dos dados precisa ser assegurada com base de dados robustas	Sucic et al. (2015); Peng e Xu (2014b)
	#DI11	Simulação de cenários	Ferramentas de simulação podem ser utilizadas para prever impactos de ações, antes que elas sejam implementadas	Larek et al. (2011); Shrouf e Miragliotta (2015)
	#DI12	Otimização de parâmetros	De acordo com a complexidade e necessidade de cada sistema de gestão energética, deve-se avaliar a possibilidade de utilizar algoritmos de otimização para controle online de parâmetros de máquina e autorregularem	Vikhorev, Greenough e Brown (2013); Peng e Xu (2014b); Shrouf e Miragliotta (2015)
Gestão de desempenho	#DI13	Adoção de ferramentas de visualização	Faz-se necessário a adoção de ferramentas de visualização (<i>dashboards</i> , IHM), para facilitar o acompanhamento, entendimento e gestão dos indicadores de consumo energético	Vikhorev, Greenough e Brown (2013); Bunse et al. (2011)
	#DI14	Integração de indicadores e níveis	Deve-se integrar os indicadores de energia com os tradicionais (custo, qualidade, flexibilidade), para que se potencialize as ações de melhoria. Assim, orienta-se a integração dos sistemas de gestão energética aos atuais sistemas de gestão da manufatura (MES, ERP, SCADA).	Karnouskos et al. (2009); Vikhorev, Greenough e Brown (2013); Vijayaraghavan e Dornfeld, 2010; Bunse et al. (2011); Shrouf e Miragliotta (2015)

Fonte: autor, 2020.

Foram definidos, no total, trinta e três (33) diretrizes que devem ser seguidas pelos gestores e organizações. A maior parte delas, dezenove (19), está relacionada ao módulo organizacional, enquanto o restante se correlaciona com o módulo informacional.

Além do descritivo realizado nos capítulos anteriores e das breves definições apresentadas nas tabelas, um maior aprofundamento de cada diretriz pode ser alcançado por meio de consulta aos trabalhos que serviram de base à construção destas diretrizes.

5 REFINAMENTO DOS RESULTADOS

A proposta deste capítulo é apresentar o resultado do processo de refinamento das diretrizes anteriormente citadas. Como já mencionado, o objetivo deste refinamento, via entrevista com especialistas, é assegurar e incrementar a abordagem prática das diretrizes.

O refinamento das diretrizes levou em consideração o nível de concordância entre os especialistas. O nível de concordância foi avaliado de acordo com as avaliações realizadas por cada especialista.

As formas de avaliação das diretrizes – simplificação [S], refinamento [R], eliminação [E], alteração de foco [F] e sem alteração [I], estão descritas no capítulo “Projeto de pesquisa”.

O nível de concordância foi medido de acordo com intensidade de cada avaliação, sendo que avaliações referentes à refinamento, simplificação ou manutenção da diretriz foram considerados de baixa intensidade, ou seja, não indicam grau de discordância entre os especialistas. Isso se dá pelo fato destes tipos de avaliações manterem o descritivo da diretriz intacta ou fazer apenas modificações que as simplificam e melhoram sua sintaxe e entendimento. Assim, uma sequência de avaliações I, R e S indicam concordância entre os especialistas.

Por outro lado, avaliações que buscam eliminar a diretriz ou mudar seu foco de atuação indicam discordância entre os especialistas. Assim, avaliações do tipo E e F impactam o índice de convergência. Com isso, sequências de avaliações E ou F mostram a necessidade de novas rodadas de entrevista, até que haja um bom nível de concordância entre os especialistas.

Para possibilitar uma identificação visual da evolução das diretrizes adotou-se uma escala de cinza para as avaliações – figura 20, onde as cores mais escuras representam avaliações que impactam no índice de convergência e as cores mais claras indicam avaliações com maior grau de concordância entre os especialistas.

Figura 20 - Classificações e escala visual

R	<i>Refinamento da diretriz</i>
I	<i>Diretriz segue inalterada</i>
S	<i>Simplificação da diretriz</i>
E	<i>Exclusão da diretriz</i>
F	<i>Mudança de foco da diretriz</i>

Fonte: o autor, 2020.

Tomando isso em conta, algumas observações devem ser feitas. Se tomarmos como primeiro exemplo a terceira diretriz organizacional (#DO03), representada na figura 21, o primeiro especialista a classificou como F, ou seja, ele propôs uma alteração em seu foco. Na sequência, todos os especialistas indicaram que a diretriz deveria seguir ser alterações, ou seja, mostraram concordar com a opinião do primeiro especialista.

Figura 21 - Evolução no refinamento das diretrizes organizacionais

	#EE01	#EE02	#EE03	#EE04	#EE05
#DO01	I	I	F	I	I
#DO02	I	I	I	I	I
#DO03	F	I	I	I	I
#DO04	S	I	S	S	I
#DO05	I	R	I	I	I
#DO06	S	I	R	I	R
#DO07	S	I	F	R	I
#DO08	S	I	I	I	I
#DO09	I	I	I	S	I
#DO10	I	S	I	I	I
#DO11	I	I	I	I	R
#DO12	I	I	S	I	I
#DO13	R	I	I	I	I
#DO14	I	S	I	I	I
#DO15	I	S	I	I	I
#DO16	I	S	I	I	R
#DO17	R	F	F	I	R
#DO18	I	I	I	I	R
#DO19	I	F	I	I	I
Convergência da iteração	94,7%	89,5%	84,2%	100,0%	100,0%
Convergência acumulativa	94,7%	92,1%	89,5%	92,1%	93,7%

Fonte: o autor, 2020.

Também se percebe certo grau de concordância em diretrizes como a #DO04, onde mesmo com uma sequência de sugestões de mudança em sua escrita, nenhuma sugere mudança de foco ou eliminação, apenas simplificação.

Entretanto, na diretriz 17 é possível identificar que os primeiros especialistas tiveram alguma discordância sobre a forma de apresentação da diretriz e seu foco de atuação. Contudo, posteriormente, a diretriz se estabiliza novamente, com apenas uma sugestão final para refinamento da escrita.

Considerando o histórico de refinamento das diretrizes informacionais, na figura 22, outras observações podem ser feitas. A #DI09 mostra alto grau de instabilidade, ou seja, constante discordância entre os especialistas, principalmente sobre sua permanência ou eliminação. Metade dos especialistas entrevistados acreditam na possibilidade de reformulação e permanência da diretriz, enquanto o restante prefere que a mesma seja retirada da lista.

Figura 22 - Evolução no refinamento das diretrizes informacionais

	#EI01	#EI02	#EI03	#EI04	#EI05	#EI06
#DI01	I	I	F	I	I	I
#DI02	R	I	I	I	I	S
#DI03	E	I	R	I	E	I
#DI04	I	I	I	R	I	I
#DI05	I	I	I	I	I	I
#DI06	E	S	S	E	I	I
#DI07	R	R	S	S	I	R
#DI08	S	R	S	I	I	I
#DI09	E	I	F	I	E	F
#DI10	I	I	S	R	I	I
#DI11	I	F	R	I	I	I
#DI12	R	I	R	R	I	I
#DI13	I	I	I	I	I	I
#DI14	E	I	I	I	I	I
Convergência da iteração	71,4%	92,9%	85,7%	92,9%	85,7%	92,9%
Convergência acumulativa	71,4%	82,1%	83,3%	85,7%	85,7%	90,0%

Fonte: o autor, 2020.

De forma oposta, diretrizes como a #DI05 permaneceram inalteradas durante todo o processo de refinamento, demonstrando alto grau de concordância entre os especialistas.

Outro ponto importante a ressaltar é o fato de que para propostas de união entre diretrizes a classificação adotada foi S, pois o especialista acredita na possibilidade de simplificar ambas diretrizes para que sejam mutuamente abordadas em uma única diretriz. Assim, classificações E foram dadas somente a propostas de eliminação total da diretriz.

Para o acompanhamento da convergência entre os especialistas foi criada também uma escala numérica, que demonstra tanto o grau de concordância em cada iteração (especialista) como a convergência acumulativa. Ou seja, esta última escala avalia o grau de concordância após cada iteração, levando em consideração

as anteriores. Desta forma, é possível entender se as classificações dos especialistas estão convergindo para um acordo, mostrando uma definição final das diretrizes.

As classificações que impactam negativamente nestas escalas são as relacionadas às mudanças de foco ou eliminação da diretriz. Assim, como já dito, avaliações do tipo R, I e S não são consideradas discordâncias.

A título de exemplo podemos olhar para a evolução das diretrizes informacionais. Se pegarmos o primeiro especialista temos quatro (4) classificações do tipo E ou F, em um total de quatorze (14) classificações. Assim, o índice de convergência desta iteração é a divisão do número de classificações do tipo R, I e S pelo número total de classificações, levando a um índice igual a 71,4%.

Para o cálculo da convergência acumulativa, pegamos a soma de todas as convergências por iteração até o momento e dividimos pelo total de iterações ocorridas. Então, se voltarmos à tabela de evolução das diretrizes informacionais, temos no final um índice de convergência acumulativa igual a 90,0%. Este valor foi obtido por meio da soma de todas as seis (6) iterações (71,4%, 92,9%, 85,7%, ...) e divididos pelo número de iterações (seis).

5.1 EVOLUÇÃO DAS DIRETRIZES

Utilizando tanto a escala visual como a numérica, foi possível identificar a evolução ocorrida no tratamento das diretrizes, assim como o entendimento dos especialistas com relação à diretriz e a opinião dos especialistas anteriores.

Observando a evolução das diretrizes organizações nota-se uma baixa presença de avaliações tipo E ou F, como também o mantimento de um alto índice de concordância entre os especialistas. Se olharmos especificamente para as últimas duas iterações, veremos que não houve solicitações de mudanças em foco nem eliminação, o que atribuiu a estas iterações um índice de convergência de 100%. Dado este cenário, que mostra uma estabilidade e concordância entre os especialistas, decidiu-se parar as entrevistas no quinto especialista, uma vez que novas iterações dificilmente trariam resultados muito distintos.

Acredita-se que esta estabilidade nas avaliações esteja relacionada à maturidade do assunto – gestão energética. A ampla disponibilidade de trabalhos na literatura, assim como a existência de normas como a ISO 50001, reafirma esta

posição de maturidade. Uma vez que as diretrizes propostas estão diretamente ligadas às propostas da literatura e a norma, pouco foi sugerido como mudança, sendo na sua maior parte sugestões de aperfeiçoamento na escrita e refinamento na descrição e apresentação da diretriz.

Entretanto, quando observamos a tabela de evolução das diretrizes informacionais percebemos uma maior presença de avaliações do tipo E ou F, que indicam certo nível de discordância entre os especialistas.

As entrevistas relacionadas às diretrizes informacionais foram finalizadas no sexto especialista. Esta decisão foi tomada mediante algumas ponderações. A primeira refere-se aos índices de convergência, que embora estejam inferiores aos alcançados nas diretrizes organizacionais, ainda possuem um nível considerado aceitável, pois atingiram nas três últimas iterações valores de convergência acumulativa acima de 85%. O segundo fator considerado foi a estabilidade das diretrizes. Com exceção das diretrizes #DI03, #DI06# DI09, que responderam pelos principais impactos na convergência, as demais diretrizes tiveram avaliações que sugeriram apenas pequenos ajustes ou, como as diretrizes #DI01, #DI11 e #DI14, recebendo avaliações tipo E ou F, mas com seguidas avaliações que corroboraram com a mudança proposta.

Tomando como exemplo as diretrizes #DI03 e #DI06, percebe-se que elas receberam inicialmente sugestões de exclusão, seguidas por especialistas que concordavam, depois houve a solicitação de mantimento e, por fim, novas avaliações que definiram a exclusão. Assim, observando a evolução destas diretrizes, vê-se que embora haja certo grau de discordância, a maior parte dos especialistas, para cada diretriz, acredita que a melhor alternativa seja a exclusão. Assim, a decisão final foi excluí-las, sem necessidade de novas iterações.

Dentre as diretrizes informacionais, o principal ponto de discordância está na diretriz #DI09. Mesmo após as diversas iterações realizadas, foi difícil chegar em um consenso sobre sua permanência. Mas, dado o grau de convergência acumulativa atingido na iteração 6 (seis), decidiu-se que não era necessário realizar novas rodadas de entrevistas. Portanto, com base na literatura e nas discussões com os especialistas, a decisão de manter ou excluir a diretriz foi realizada pelo pesquisador.

Com isso, a configuração final das diretrizes é apresentada nas tabelas a seguir. Elas trazem também as versões iniciais, permitindo comparações para melhor entender as modificações ocorridas.

Tabela 11 - Diretrizes organizacionais refinadas

	Diretriz	Descrição	
		Versão inicial	Versão pós-refinamento
#DO01	Compartilhamento de objetivos	Deixar claro para funcionários, stakeholders e demais membros interessados que a empresa seguirá em busca de reduções de consumo	Empresa deve deixar claro a seus funcionários, stakeholders e demais membros interessados, o objetivo da organização em melhorar sua eficiência energética
#DO02	Apoio da gerência	A alta gerência deve demonstrar seu apoio e comprometimento com a gestão energética	A alta direção deve demonstrar seu apoio e comprometimento com a gestão de energia
#DO03	Definição de responsabilidade	Deve-se definir um responsável (gestor de energia), que esteja diretamente ligado à alta gerência, para facilitar e potencializar as ações de gestão energética, assim como criação de um time multifuncional, que forme uma base de informação a este gestor de energia, mantendo-o informado quanto às evoluções e dificuldades do projeto	Deve-se definir um responsável (gestor de energia), que esteja diretamente ligado à alta gerência, para facilitar e potencializar as ações de gestão energética, assim como garantir fontes de informação confiáveis a este gestor de energia
#DO04	Comprometimento organizacional	A política energética deve reforçar o comprometimento da organização em garantir os recursos necessários à gestão energética	É necessário reforçar o comprometimento da organização com a gestão energética, por meio de uma política energética que garanta a disponibilidade dos recursos necessários à gestão da energia
#DO05	Atendimento às regulamentações	A organização deve demonstrar seu compromisso em cumprir com os requisitos legais existentes	A organização precisa demonstrar seu compromisso em cumprir com as regulamentações vigentes
#DO06	Priorização de ações energeticamente eficientes	Organização deixa claro a priorização por produtos e serviços energeticamente eficientes	Deve estar claro aos colaboradores da organização que a empresa prioriza e valoriza ações, atitudes e tecnologias que favoreçam a eficiência energética da organização
#DO07	Análise do padrão energético	Realização de auditorias periódicas para análise e entendimento do padrão de consumo energético da organização	Deve-se realizar avaliações periódicas, com correto registro dos resultados, para análise e acompanhamento da linha de base energética do sistema, dando suporte à uma contínua busca por oportunidades de redução e auxiliando na priorização de ações de melhoria.

#DO08	Registro de auditoria	Registrar resultados da auditoria, possibilitando priorizar as ações de melhoria	COMTEMPLADA NA DIRETRIZ #DO07
#DO09	Identificação de melhorias	Constante busca por oportunidades de redução/melhoria do consumo e fontes de desperdícios do sistema	COMTEMPLADA NA DIRETRIZ #DO07
#DO10	Definição de metas e planos de ação	Definir metas e objetivos energéticos que estejam alinhados com os objetivos corporativos e especificar planos de ação para atingimento dos objetivos	Metas e objetivos energéticos precisam estar alinhados com os objetivos corporativos, assim como os planos de ação devem ser claros
#DO11	Gerenciamento de riscos	Gerenciar os riscos inerentes à estratégia energética adotada, além de compreender e estar ciente dos fatores que podem tanto impulsionar como servir de barreira à gestão energética	É preciso estar ciente dos fatores que podem tanto impulsionar como servir de barreira à implantação da gestão energética na organização
#DO12	Disposição de recursos	Tomar decisões referentes à aquisição, alocação, utilização e disposição de recursos da organização	Deve-se definir quais recursos (humano, financeiro, bens físicos, ...) estarão disponíveis para que as ações de gestão energética sejam realizadas
#DO13	Análises financeiras	Possuir clareza nas responsabilidades de cada membro, utilizar tecnologias confiáveis e ter conhecimento técnico e financeiro para avaliação de projetos de eficiência energética. Garantir coerência entre as análises financeiras de <i>payback</i> , para garantir que projetos rentáveis não deixem de ser realizados.	Análises financeiras para avaliação de projetos de eficiência energética precisam ser avaliados por pessoas com conhecimento técnico e financeiro
#DO14	Treinamentos	Deve-se disponibilizar cursos e treinamentos sobre gestão de energia para os diversos membros da organização	COMTEMPLADA NA DIRETRIZ #DO15
#DO15	Conscientização e engajamento	Realizar ações de conscientização e encorajamento, para que as pessoas participem mais ativamente e se engajem na gestão da energia. Para isso, deve-se manter uma comunicação efetiva quanto às ações, avanços e perspectivas da gestão energética na organização	Deve-se realizar treinamentos e ações de encorajamento, para que as pessoas estejam conscientes do seu papel e das formas de participação e contribuição com a gestão de energia, tornando-se mais participativas
#DO16	Definição de <i>KPIs</i> relevantes	Aplicação de indicadores (<i>KPIs</i>) que sejam adequados e alinhados com as necessidades e objetivos da organização	Deve-se criar e aplicar indicadores (<i>KPIs</i>) que sejam adequados e relevantes ao acompanhamento dos objetivos e metas da organização
#DO17	Acompanhamento de ações	Garantir constante acompanhamento quanto à eficiência das ações de melhoria	Deve-se garantir constante acompanhamento da eficiência e eficácia das ações de melhoria

		realizadas. Pode-se avaliar a possibilidade de terceirização da medição e controle da energia, como forma de potencializar as análises	realizadas
#DO18	Gestão ativa	Compreender e especificar as tecnologias de informação que se fazem apropriadas à gestão da energia. Buscar tecnologias e meios que permitam à organização passar de um estado reativo para proativo no controle do consumo e custo energético	A organização precisa buscar e aplicar tecnologias que lhe permita passar de um estado reativo para proativo no controle do consumo e gastos energéticos
#DO19	Gestão de risco das ações	Ter uma visão clara e entendimento sobre a relação entre os indicadores energéticos e os convencionais (qualidade, custo, flexibilidade, ...), para que ações de gestão energética não impactem negativamente em outros indicadores.	É necessário ter uma visão clara dos impactos que uma ação de gestão energética causará nos indicadores convencionais (qualidade, custo, flexibilidade, ...)

Fonte: autor, 2020.

As tabelas contêm quatro colunas, onde a primeira traz a identificação numérica da diretriz, a segunda apresenta a versão final do título da diretriz, seguido pela descrição inicialmente criada e, por fim, a descrição final da diretriz após entrevistas com especialistas.

Tabela 12 - Diretrizes informacionais refinadas

Diretriz		Descrição	
		Versão inicial	Versão pós refinamento
#DI01	Definição apropriada dos dados de energia	Definir os dados de energia a serem coletados, de forma que sejam relevantes para o acompanhamento dos <i>KPIs</i> nos diversos níveis da organização	A escolha dos dados de energia a serem coletados deve estar alinhada com os objetivos da empresa, para que suportem as atividades de monitoramento
#DI02	Utilização de dados de contexto	Avaliar necessidade de coletar dados do contexto para enriquecimento das análises e ações de gestão (ex. acompanhamento do preço da energia)	COMTEMPLADA NA DIRETRIZ #DI01
#DI03	Coleta de dados em tempo real	Avaliar necessidade da coleta e transmissão de dados em tempo real	EXCLUÍDA
#DI04	Confiabilidade de dados	Deve-se garantir a confiabilidade dos dados coletados	Deve-se garantir a repetibilidade e confiabilidade dos dados coletados, para que as análises e seus resultados sejam coerentes com a realidade
#DI05	Sistemas interoperáveis	Garantir padrões de dados e comunicação para facilitar troca de informação entre sistemas (interoperabilidade)	Deve-se garantir padrões de dados e comunicação para facilitar troca de informação entre sistemas (interoperabilidade)

#DI06	Medição inteligente	Ponderações quanto à viabilidade e necessidade de aquisição e instalação de medidores inteligentes (interação com o ambiente, pré-processamento da informação, ...)	EXCLUÍDA
#DI07	Análises estatísticas	Deve-se avaliar e definir as análises a serem aplicadas, podendo ser estatísticas ou online, conforme objetivos traçados pela organização	Deve-se estruturar o sistema para realização de análises estatísticas, suportadas pela mineração de dados e que permitam otimizações no sistema produtivo
#DI08	Mineração de dados	Devido à alta quantidade de dados gerados pela etapa de coleta, deve-se utilizar ferramentas de mineração de dados, podendo ser escolhidos métodos como <i>big data analytics</i>	CONTEMPLADA NA DIRETRIZ #DI07
#DI09	Terceirização de serviços	Deve-se avaliar a viabilidade de terceirização do armazenamento e tratamento dos dados, de forma que relatórios sejam enviados à organização, que pode focar na gestão energética propriamente dita.	EXCLUÍDA
#DI10	Consolidação de conhecimento	A consolidação do conhecimento energético adquirido pela organização por meio da coleta e tratamento dos dados precisa ser assegurada com base de dados robustas	Deve-se criar uma base sólida de conhecimento energético, que permita utilizações futuras e auxilie na identificação de discrepâncias e oportunidades
#DI11	Simulação de cenários	Ferramentas de simulação podem ser utilizadas para prever impactos de ações, antes que elas sejam implementadas	Ferramentas de simulação devem ser utilizadas para prever impactos de ações e decisão entre investimentos, antes que elas sejam implementadas, evitando problemas no momento da aplicação
#DI12	Otimização de parâmetros	De acordo com a complexidade e necessidade de cada sistema de gestão energética, deve-se avaliar a possibilidade de utilizar algoritmos de otimização para controle online de parâmetros de máquina e autorregularem	CONTEMPLADA NA DIRETRIZ #DI07
#DI13	Ferramentas de visualização	Faz-se necessário a adoção de ferramentas de visualização (<i>dashboards</i> , IHM), para facilitar o acompanhamento, entendimento e gestão dos indicadores de consumo energético	Devem-se adotar ferramentas de visualização (<i>dashboards</i> , IHMs), para facilitar o acompanhamento, entendimento e gestão dos indicadores de consumo energético
#DI14	Integração de indicadores e níveis	Deve-se integrar os indicadores de energia com os tradicionais (custo, qualidade, flexibilidade), para que se potencialize as	EXCLUÍDA

ações de melhoria. Assim, orienta-se a integração dos sistemas de gestão energética aos atuais sistemas de gestão da manufatura (MES, ERP, SCADA).

Fonte: autor, 2020.

Como pode ser observado nas tabelas, algumas diretrizes foram unidas à outras já existentes. Para estas diretrizes não se definiu como “excluída” pois seu foco de atuação ainda permanece dentro das diretrizes, mas não de forma dedicada e apresentada como uma diretriz própria. Ou seja, dentro da configuração final das diretrizes propostas, os objetivos destas diretrizes permanecerão representados através de diretrizes mais abrangentes.

Já as diretrizes classificadas como “excluída” foram retiradas da lista, uma vez que seu foco de atuação não se encaixava, segundo os especialistas, dentro dos moldes de uma diretriz.

5.2 CONFIGURAÇÃO FINAL DAS DIRETRIZES

Desta forma, chegou-se à configuração final do conjunto de diretrizes propostas neste trabalho. A tabela 13 traz tanto as diretrizes organizacionais como as informacionais. Conforme anteriormente proposto no modelo conceitual, as dimensões, aqui denominadas organizacional e informacional, são complementares, para que ao final possam gerar um sistema de gestão energética avançado e eficiente. Por isso, nesta tabela final, as diretrizes serão apresentadas como um conjunto único.

Tabela 13 - Conjunto de diretrizes para uma gestão de energia avançada

Diretriz	Descrição
Compartilhamento de objetivos	Empresa deve deixar claro a seus funcionários, <i>stakeholders</i> e demais membros interessados, o objetivo da organização em melhorar sua eficiência energética
Apoio da gerência	A alta direção deve demonstrar seu apoio e comprometimento com a gestão de energia
Definição de responsabilidade	Deve-se definir um responsável (gestor de energia), que esteja diretamente ligado à alta gerência, para facilitar e potencializar as ações de gestão energética, assim como garantir fontes de informação confiáveis a este gestor de energia
Comprometimento organizacional	É necessário reforçar o comprometimento da organização com a gestão energética, por meio de uma política energética que garanta a disponibilidade dos recursos necessários à gestão da energia

Atendimento às regulamentações	A organização precisa demonstrar seu compromisso em cumprir com as regulamentações vigentes
Priorização de ações energeticamente eficientes	Deve estar claro aos colaboradores da organização que a empresa prioriza e valoriza ações, atitudes e tecnologias que favoreçam a eficiência energética da organização
Acompanhamento do perfil energético	Deve-se realizar avaliações periódicas, com correto registro dos resultados, para análise e acompanhamento da linha de base energética do sistema, dando suporte à uma contínua busca por oportunidades de redução e auxiliando na priorização de ações de melhoria.
Definição de metas e planos de ação	Metas e objetivos energéticos precisam estar alinhados com os objetivos corporativos, assim como os planos de ação devem ser claros
Gerenciamento de riscos	É preciso estar ciente dos fatores que podem tanto impulsionar como servir de barreira à implantação da gestão energética na organização
Disposição de recursos	Deve-se definir quais recursos (humano, financeiro, bens físicos, ...) estarão disponíveis para que as ações de gestão energética sejam realizadas
Análises financeiras	Análises financeiras para avaliação de projetos de eficiência energética precisam ser avaliados por pessoas com conhecimento técnico e financeiro
Conscientização e engajamento	Deve-se realizar treinamentos e ações de encorajamento, para que as pessoas estejam conscientes do seu papel e das formas de participação e contribuição com a gestão de energia, tornando-se mais participativas
Definição de KPIs relevantes	Deve-se criar e aplicar indicadores (KPIs) que sejam adequados e relevantes ao acompanhamento dos objetivos e metas da organização
Acompanhamento de ações	Deve-se garantir constante acompanhamento da eficiência e eficácia das ações de melhoria realizadas
Gestão ativa	A organização precisa buscar e aplicar tecnologias que lhe permita passar de um estado reativo para proativo no controle do consumo e gastos energéticos
Gestão de risco das ações	É necessário ter uma visão clara dos impactos que uma ação de gestão energética causará nos indicadores convencionais (qualidade, custo, flexibilidade, ...)
Definição apropriada dos dados de energia	A escolha dos dados de energia a serem coletados deve estar alinhada com os objetivos da empresa, para que suportem as atividades de monitoramento
Confiabilidade de dados	Deve-se garantir a repetibilidade e confiabilidade dos dados coletados, para que as análises e seus resultados sejam coerentes com a realidade
Sistemas interoperáveis	Deve-se garantir padrões de dados e comunicação para facilitar troca de informação entre sistemas (interoperabilidade)
Análises estatísticas	Deve-se estruturar o sistema para realização de análises estatísticas, suportadas pela mineração de dados e que permitam otimizações no sistema produtivo
Consolidação de conhecimento	Deve-se criar uma base sólida de conhecimento energético, que permita utilizações futuras e auxilie na identificação de discrepâncias e oportunidades
Simulação de cenários	Ferramentas de simulação devem ser utilizadas para prever impactos de ações e decisão entre investimentos, antes que elas sejam implementadas, evitando problemas no momento da aplicação
Ferramentas de visualização	Devem-se adotar ferramentas de visualização (<i>dashboards</i> , <i>IHMs</i>), para facilitar o acompanhamento, entendimento e gestão dos indicadores de consumo energético

Fonte: autor, 2020.

A seguir, alguns comentários pertinentes à etapa de refinamento e as características das diretrizes serão apresentadas. Não há a intenção, neste momento, de discutir o embasamento teórico e premissas das diretrizes, mas sim trazer comentários gerais sobre elas e compartilhar alguns dos resultados das entrevistas.

5.2.1 Compartilhamento de objetivos: inicialmente intitulada clareza no posicionamento, esta diretriz propõe que a organização consiga deixar claro a todos os interessados que ela seguirá em busca de melhoria na sua eficiência energética. E, conforme indicado pelos especialistas, a principal forma de comunicar seu posicionamento é através de seus objetivos.

5.2.2 Apoio da gerência: a necessidade de apoio das pessoas da alta direção é uma diretriz de ampla concordância. Este apoio impacta diretamente no desempenho e engajamento dos demais membros da organização.

5.2.3 Definição de responsabilidade: esta diretriz aponta para a necessidade de definição de um gestor de energia, ou seja, uma pessoa responsável por acompanhar a evolução do programa de gestão energética, tendo o papel de reportar à alta direção e, principalmente, utilizar este contato com a alta direção para facilitar o progresso e aplicação das ações voltadas à eficiência energética. Embora a literatura proponha a construção de um time multifuncional que suporte este gestor com informações precisas, durante as entrevistas com especialistas foi sugerido a mudança de time multifuncional para fonte de informação, uma vez que o objetivo deste time é compartilhar informações precisas com este gestor. Assim, esta mudança abre espaço para a inclusão de, por exemplo, empresas que prestem serviços de suporte à gestão da energia, como compilação de relatórios de avanço, pontos de dificuldades, entre outras informações relevantes, deixando para a organização a função de realizar a gestão da energia propriamente dita (decisões sobre investimentos, implementação de tecnologias eficientes, tratamento de desperdícios, ...).

5.2.4 Comprometimento organizacional: esta diretriz reforça a necessidade de a organização demonstrar seu comprometimento por meio da elaboração e desdobramento de uma política energética. Embora o título da diretriz possa se assemelhar com os objetivos das diretrizes #DO01 e DO02, a diferença está no fato de que esta diretriz está mais relacionada ao apoio e garantia da organização em prover os recursos necessários para que seus colaboradores possam trabalhar efetivamente nas ações de eficiência energética.

5.2.5 Atendimento às regulamentações: é importante que a organização proporcione a seus colaboradores os meios necessários para que tenham conhecimento sobre as regulamentações vigentes, assim como oriente-os ao cumprimento delas. Vale ressaltar, conforme destacado por um especialista, que em alguns países, o atendimento às regulamentações é condição necessária para que a organização esteja concorrendo com os demais participantes do mercado, mas não se caracteriza como suficiente para que estas organizações se destaquem frente a seus concorrentes.

5.2.6 Priorização de ações energeticamente eficientes: a organização precisa deixar claro a seus colaboradores que ações, atitudes, investimentos e qualquer outra decisão da organização deve estar baseado na busca por uma maior eficiência energética. Assim, por exemplo, decisões sobre aquisição de novos equipamentos em projetos devem estar pautados não apenas no atendimento aos requisitos técnicos necessários, mas deve-se também priorizar equipamentos que trarão maior eficiência energética.

5.2.7 Acompanhamento do perfil energético: esta diretriz reforça a necessidade de a organização estar periodicamente avaliando sua linha de base energética, ou seja, acompanhando seu perfil de consumo. Este acompanhamento se dá no formato de auditorias, que buscam encontrar oportunidades de melhoria no sistema. É importante que os resultados destes acompanhamentos sejam devidamente registrados e armazenados, possibilitando consultas posteriores, assim como análises de benchmarking.

5.2.8 Definição de metas e planos de ação: o objetivo desta diretriz é lembrar a necessidade de saber onde as organizações querem chegar e como elas alcançarão tal desempenho. Vale ressaltar que a definição de metas e planos de ação faz parte do desdobramento da política energética, ou seja, precisam estar diretamente relacionados.

5.2.9 Gerenciamento de riscos: esta diretriz aborda a importância de conhecer as barreiras e incentivos à gestão energética, dentro e fora da organização. Para que haja sucesso na implementação e manutenção da gestão energética é preciso conhecer os fatores que podem acelerar a atividade, como novas tecnologias. Mas é necessário estar atento também às possíveis dificuldades e barreiras que podem atrapalhar, como legislações mais brandas.

5.2.10 Disposição de recursos: a organização precisa tomar decisões quanto à alocação de recursos para a gestão da energia. Isso implica em decisões sobre investimentos, organização de pessoas e equipes, dedicação de equipamentos, entre outras decisões. É importante que a organização tenha definido quais recursos serão disponibilizados e como eles serão utilizados, para que as ações de eficiência energética possam ser planejadas e organizadas de acordo com os recursos disponíveis.

5.2.11 Análises financeiras: esta diretriz ressalta a importância de a organização possuir tecnologias confiáveis e conhecimento técnico, para que avaliações financeiras sobre projetos voltados à gestão de energia sejam realizadas de forma apropriada, evitando que ideias rentáveis deixem de ser implementadas. Outro ponto de destaque é a orientação para inclusão dos ganhos não energéticos dentro dos cálculos de rentabilidade, por exemplo melhora na visibilidade da organização frente a seus clientes. Pois, a principal dificuldade reportada pelos especialistas são as regras corporativas de *payback*, que muitas vezes desfavorecem os investimentos em gestão de energia, dado o fato de alguns exigirem tempos de retorno maiores, frente a investimentos com maquinário produtivo. Por isso, orienta-se a realização de ajustes nas metodologias das análises financeiras voltadas às ações de gestão energética.

5.2.12 Conscientização e engajamento: a obrigatoriedade de ações que favoreçam a participação ativa dos diversos membros da organização é uma diretriz sem questionamentos. As ações recomendadas passam por treinamentos, ações de encorajamento (atividades que aumentem a participação dos colaboradores), comunicação constante e efetiva, para que todos saibam sobre o status e avanços da gestão energética.

5.2.13 Definição de KPIs relevantes: é primordial que os indicadores pensados para a gestão energética sejam relevantes ao acompanhamento dos objetivos e metas inicialmente traçados pela organização. KPIs adequados permitem, além do entendimento sobre as evoluções, que atividades de benchmarking sejam realizadas interna e externa à empresa. Orienta-se para a correlação do consumo energético e a atividade fim da organização, ou seja, relacionar, por exemplo, o consumo com a quantidade de peças produzidas. Além disso, os KPIs devem ser criados e ajustados para todos os níveis da organização, proporcionando um controle completo do sistema.

5.2.14 Acompanhamento de ações: a organização precisa estar constantemente monitorando a eficiência e eficácia das ações de gestão energética, para que aprenda continuamente sobre seu sistema de gestão, assim como o seu comportamento frente a mudanças. Há recomendações sobre a contratação de empresas que realizam este tipo de acompanhamento, principalmente por meio de medições mais precisas e ajustadas à necessidade da organização, sem que ela tenha que investir em determinadas tecnologias que não competem à gestão da energia propriamente dita.

5.2.15 Gestão ativa: a principal preocupação trazida por esta diretriz é a mudança de comportamento das organizações frente a gestão de energia. O objetivo é sair de um estado reativo, onde as mudanças ocorrem somente mediante acontecimentos, como o surgimento de uma nova legislação, para uma organização proativa, que busque continuamente melhorar e encontrar as fontes de desperdício do sistema. Com relação a esta mudança, a adoção de tecnologias de medição e monitoramento podem auxiliar na identificação de oportunidades, assim como alertar em casos de riscos.

5.2.16 Gestão de risco das ações: alinhado com a necessidade de constante acompanhamento das ações de gestão energética, as organizações precisam compreender de forma mais ampla os possíveis impactos trazidos por cada ação. A principal orientação é para que as organizações avaliem suas ações antes de implementá-las, evitando que possíveis interferências negativas possam ocorrer nos indicadores tradicionais, como qualidade, flexibilidade, custo, entre outros.

5.2.17 Definição apropriada dos dados de energia: a preocupação desta diretriz está voltada para a correta definição dos dados que serão importantes para o acompanhamento dos KPIs, ou seja, antes de definir quais serão as tecnologias que coletarão os dados, é essencial que a empresa tenha claro quais seus KPIs e quais dados de energia são necessários para construção e gestão destes indicadores. Assim, garante-se que as escolhas de tecnologias de medição e monitoramento estarão alinhadas com os objetivos organizacionais. A escolha dos dados de energia definirá qual nível de acompanhamento que a organização tem, ou seja, se avaliam seu desempenho energético desde o consumo máquina ou de forma macro, considerando, por exemplo, apenas o consumo de uma planta produtiva.

5.2.18 Confiabilidade de dados: as análises de consumo e desempenho energético das organizações somente será válida se refletir a realidade dela, ou seja, é necessário que a confiabilidade das análises seja garantida por meio da correta medição dos dados. Assim, a organização precisa garantir que a coleta de dados respeite os limites de erro aceitáveis. Um ponto de discussão levantado nas entrevistas é com relação ao nível de desvios (“erros de medição”) aceitável pela organização. A opinião geral dos especialistas é que cada organização, dependendo da criticidade que a gestão da energia tem na sua empresa, deverá definir no início do projeto qual o nível que é aceitável, pois isso impactará no resultado da análise e nos custos financeiros do projeto. Entretanto, ficou claro que, independentemente do nível de desvio, ele não deve impactar nos resultados das análises,

garantindo que elas tragam direcionamentos coerentes com a realidade e necessidade da organização.

5.2.19 Sistemas interoperáveis: a utilização de sistemas interoperáveis torna-se cada vez mais necessária, principalmente quando as evoluções das análises energéticas demandam que os antigos sistemas (ERP, SCADA, ...) sejam interligados com os dados de energia. Outro fator que reforça a necessidade destes sistemas, é a liberdade para mudanças entre fornecedores de serviços, não havendo relação de dependência. Os conceitos da indústria 4.0 e *IoT* demandam esta ampla conexão, logo torna-se importante a adoção destes sistemas para que a organização tenha facilidade em suas mudanças e aprimoramentos da gestão energética. Ainda que as empresas fornecedoras de *hardwares* e *softwares* tenham disponível soluções interoperáveis, vale ressaltar que os custos acabam sendo maiores quando a organização opta por esta escolha.

5.2.20 Análises estatísticas: o sistema de gestão energética deve ser estruturado para que permita constantes otimizações do sistema, ou seja, gere informações que orientem os tomadores de decisão na direção correta. Para isso, faz-se necessário a aplicação de análises estatísticas de dados, que podem ser realizadas por softwares off-line ou em nuvem. Para suportar estas análises, ferramentas de mineração de dados podem ser utilizadas, facilitando na organização dos dados, buscando padrões e eliminando informações incoerentes. Além de otimizações na eficiência energética do sistema, esta utilização aprimorada dos dados permite que alertas sejam gerados, evitando perdas e agilizando as ações.

5.2.21 Consolidação de conhecimento: todo conhecimento gerado durante a gestão de energia deve ser devidamente armazenado, para que esteja disponível quando necessário e de fácil acesso. Mais do que uma base de dados de consumo, a consolidação de conhecimento passa pelo registro de boas práticas, históricos de alerta, padrões de consumo (para previsões futuras e geração de alarmes), histórico dos impactos de ações, entre outros dados e informações que sejam relevantes para a gestão do sistema. Este conhecimento deve estar

disponível para ser acessado por sistemas de monitoramento e tratamento de dados, colaboradores, gestores e demais serviços ou pessoas que estejam ligadas à gestão da energia.

5.2.22 Simulação de cenários: As ferramentas de simulação de cenários são essenciais para auxiliar na tomada de decisão, sejam elas para prever possíveis impactos ou para escolher entre alternativas de investimento. O objetivo desta diretriz não é definir quais ferramentas utilizar, mas reforçar a necessidade de as organizações adotarem esta metodologia para auxiliar em suas tomadas de decisão.

5.2.23 Ferramentas de visualização: Ainda que a organização aplique análises estatísticas e simulação de cenários, para que obtenham informações precisas e alinhadas com a necessidade da organização, é essencial que tecnologias de visualização de dados e informações sejam utilizadas. A importância desta adoção está na rapidez de entendimento sobre as informações geradas pelo sistema de monitoramento dos dados de energia. As diversas ferramentas disponíveis, desde simples sinais luminosos até amplos painéis de informação (*dashboards*), têm o papel de proporcionar um entendimento facilitado aos usuários, tornando as ações mais rápidas e no momento necessário. Os sistemas de visualização são as interfaces entre os usuários (colaboradores, gestores) e os demais sistemas de auxílio à decisão (simulações, análises estatísticas, ...), ou seja, são os responsáveis por transmitir ao tomador de decisão as informações relevantes. Assim, a escolha apropriada de cada sistema de visualização é essencial para o sucesso de todo o sistema de gestão.

Comentários também devem ser feitos para as diretrizes que foram excluídas do painel principal ou unidas à outras diretrizes. A primeira delas é a diretriz #DO08, que tratava do registro de auditorias. A união com a diretriz #DO07 ocorreu devido ao fato de que para os especialistas, embora seja essencial manter o histórico e registro das auditorias, esta atividade é parte integrante e não deve ser separada da etapa de realização das auditorias, consideradas neste estudo como “Acompanhamento do perfil energético”. Assim, estas diretrizes foram consideradas, juntamente com a #DO09, uma única diretriz, que trata desde a realização do acompanhamento até identificação das oportunidades. A diretriz #DO09 foi incluída

neste grupo pois, segundo especialistas, ela é resultado das análises do perfil energético.

A diretriz #DO14 foi unida à #D015, pois os especialistas classificam o treinamento uma forma de engajamento das pessoas. Para eles, uma vez conscientes das razões e informadas sobre o significado da gestão de energia, assim como das melhorias e benefícios, as pessoas tornam-se mais ativas na busca por reduções, ou seja, engajam-se na gestão de energia.

Com relação às diretrizes informacionais, a primeira mudança foi a inclusão da diretriz #DI02 na #DI01. O motivo da união é que, para os especialistas, quando se definem os dados de energia a serem coletados, também deve-se definir se dados de contexto serão considerados na coleta. Além disso, para alguns especialistas, a inclusão de dados de contexto na análise energética não é obrigatória, e pode ser vista como uma boa prática ou um incremento que potencializa a gestão energética.

Embora importante para alguns especialistas, a coleta de dados em tempo real foi excluída do painel de diretrizes, pois foi considerada por outros como sendo opcional e que deve ser avaliada conforme necessidade do sistema. Para algumas organizações, onde um aumento abrupto de energia pode gerar multas ou em sistemas com equipamentos autorreguláveis, faz-se necessário acompanhamento em tempo real. Entretanto, esta condição não atinge a todas as empresas, que podem adotar controles e medições periódicas, com espaçamentos de tempo maiores.

Outra diretriz excluída foi a #DI06, que propunha a aplicação de medidores inteligentes. O principal argumento que contraria esta diretriz é o que sugere um sistema inteligente, ou seja, não se deve ter sensores inteligentes, mas sistemas, que possam alertar previamente, analisar padrões de consumo e propor melhorias, de forma que sirvam de auxílio ao tomador de decisão. Assim, a “inteligência” não deve estar nos hardwares de medição, mas sim nos softwares de análise e controle.

As diretrizes #DI08 e #DI12 foram incluídas à #DI07 pois, seguindo a lógica de um sistema inteligente, estas três diretrizes foram uma única, que visa criar este sistema, capaz de gerar informação e conhecimento através de análises estatísticas que, suportadas por ferramentas de mineração, possibilitam ações de otimização da eficiência energética.

Diante da grande divergência entre os especialistas, a diretriz #DI09 foi excluída mediante decisão do pesquisador, baseando-se tanto na literatura como nas

discussões geradas nas entrevistas. Para a exclusão, assumiu-se que a terceirização de serviços não é uma diretriz, mas um possível meio/ferramenta para alcançar melhores resultados na gestão energética, uma vez que a organização delega a função de medição e monitoramento para empresas especializadas e, assim, consegue concentrar seus esforços na aplicação e gerenciamento das ações de melhoria da eficiência energética, ao invés de investir e estruturar-se com foco na medição e monitoramento.

Por fim, a diretriz #DI14 foi excluída por ser considerada um incremento/aperfeiçoamento da gestão de energia, ou seja, uma forma de potencializar as análises energéticas por meio da integração dos dados de energia com os atuais sistemas MES, SCADA e ERP. Para os analistas, não é necessário que a organização chegue neste nível de integração para que tenha sucesso com a gestão energética.

Desta forma, o conjunto final está composto com 23 diretrizes, que formam uma extensa lista de recomendações às organizações que desejam seguir com a implementação de um sistema de gestão energética avançado.

É importante ressaltar que as diretrizes informacionais excluídas não devem ser consideradas como abordagens sem valor ou desnecessárias. Elas foram retiradas da lista por razões comentadas anteriormente, mas devem ser mantidas como possibilidades de constante aprimoramento do sistema de gestão energética avançado.

6 APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES COMO FERRAMENTA DIAGNÓSTICA

Esta seção do trabalho descreve o estudo de caso realizado para que se pudesse identificar o potencial das diretrizes como ferramenta diagnóstica. Serão apresentadas descrições das três unidades de análise (subcasos), a empresa (caso), os entrevistados, resultados e propostas de melhoria. Devido à confidencialidade, algumas informações serão codificadas e, assim, serão descritas de maneira genérica.

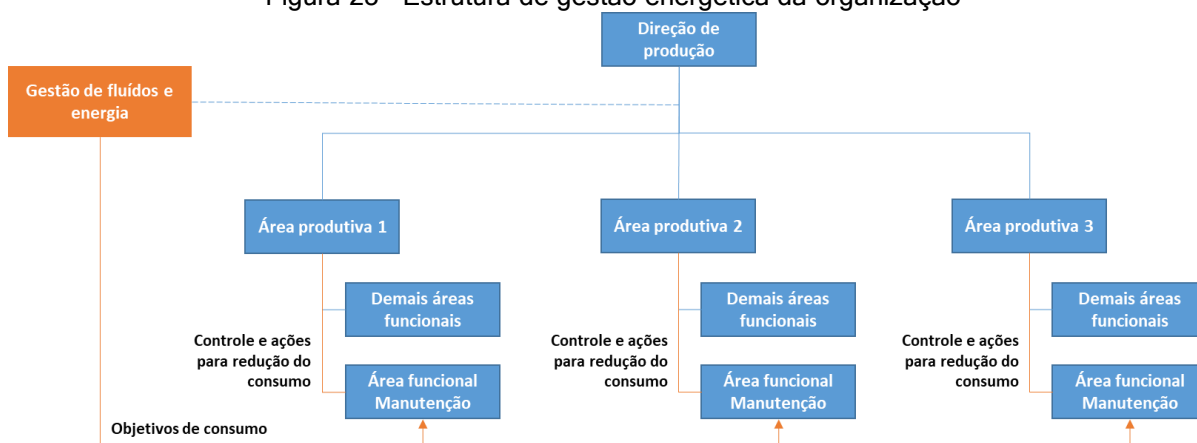
Primeiramente, serão apresentadas as informações da organização e seus departamentos analisados, bem como uma estrutura que retrate a relação entre eles. Após esta contextualização, apresentam-se os resultados do estudo de caso, relacionando as diretrizes com os dados coletados nas entrevistas. Por fim, com base nos resultados, propõem-se práticas e ações de melhoria que aumentem o alinhamento da organização com as diretrizes.

6.1 DESCRIÇÃO DO CASO

O estudo de caso foi aplicado à uma empresa montadora de automóveis, localizada na região sul do Brasil. Com matriz localizada na Europa e diversas subsidiárias espalhadas pelo mundo, incluindo a planta sob estudo, que têm suas operações há pouco mais de 20 anos, é uma empresa de grande porte e de grande relevância econômica para a região onde está instalada.

As unidades de análise são os departamentos de manutenção industrial e gestão de fluídos. De forma geral, a gestão da energia elétrica nas áreas produtivas é realizada por responsáveis locais, geralmente membros da equipe de manutenção. Assim, a equipe de gestão de fluídos e energia controla o consumo e os indicadores globais da planta, enquanto a equipe de manutenção é responsável pela aplicação dos projetos e controle do consumo localmente. Além destas, há uma área suporte que trabalha especificamente com projetos de eficiência energética (não contemplada neste estudo). A figura 23 retrata, de forma ilustrativa, a estrutura de gestão energética da organização.

Figura 23 - Estrutura de gestão energética da organização



Fonte: o autor, 2020.

Dado o objetivo do estudo e também devido às restrições de disponibilidade, os participantes das entrevistas foram funcionários de níveis operacionais, de forma que não foi possível contar com a participação de funcionários de nível estratégico. Ainda assim, foi possível avaliar o alinhamento entre as diretrizes e o sistema de gestão energética da organização por meio da percepção dos funcionários que vivenciam a dinâmica do sistema e as consequências e resultados gerados com políticas, estratégias e práticas adotadas pela organização.

Todos os entrevistados possuem mais de 2 anos de experiência no controle e gestão do consumo energético industrial. O entrevistado 1 trabalha na equipe de manutenção de umas das áreas produtivas da planta em estudo e já desempenhou a mesma função do entrevistado 2, que trabalha na equipe de gestão de fluidos. O entrevistado 3 também trabalha na equipe manutenção, porém em outra área produtiva da planta, composta por processos e atividades de alto consumo energético.

Assim denominam-se as três unidades de análise: departamento de manutenção industrial de um processo produtivo não energo-intensivo; departamento de gestão de fluidos e energia industrial; departamento de manutenção industrial de um processo produtivo energo-intensivo.

6.2 ANÁLISE DO CASO

Com base nos dados coletados nas entrevistas foi possível correlacionar as diretrizes de gestão energética avançada com as práticas da organização. O quadro 2 traz as percepções de cada funcionário entrevistado. Assim, confrontando-as com

as proposições de cada diretriz, caracterizou-se a empresa quanto ao seu alinhamento e atendimento às diretrizes.

As diretrizes no quadro 2 foram substituídas por uma identificação numérica, que acompanha a ordem de apresentação das diretrizes na tabela da seção 5.2. Portanto, tomando-se como exemplo a diretriz identificada com o número 1, sabe-se que a mesma se refere à “compartilhamento de objetivos”.

Quadro 2 - Percepção dos funcionários quanto à aplicação das diretrizes

Diretriz	Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3
1	O conhecimento dos objetivos energéticos foi adquirido por trabalhar diretamente com a gestão dos mesmos, porém são poucos e raros os esforços de divulgação dos objetivos a todos os funcionários da organização.	A atual função permitiu conhecer os objetivos da organização, mas admite que para outros funcionários, até mesmo do setor, os objetivos energéticos não são claros	Conhece apenas os objetivos da própria área. Devido ao alto consumo das atividades desta área, os indicadores são expostos em painéis de comunicação no chão de fábrica, para que os funcionários tenham conhecimento.
2	O suporte da alta gerência às ações de redução de custos é intensivo, porém a cobrança de ações e seguimentos quanto aos objetivos precisa de mais atenção dos gestores, principalmente aos diretamente relacionados às linhas de produção.	Há um bom suporte da alta gerência, principalmente em função do controle de gastos da planta. Os gestores são bons impulsionadores e apoiadores das ações de redução de custo em energia.	Percebe-se um alto grau de apoio e suporte às ações de gestão energética. Os objetivos de consumo são acompanhados de perto pelos gestores.
3	A estrutura de controle e gestão da energia é clara. Não há relação de hierarquia entre os membros e os relatórios são informados à alta gerência.	A gestão energética na empresa tem três atores principais: controle de consumo, disponibilidade de equipamentos e recursos e projetos de eficiência energética. A estrutura é clara e a relação com os níveis superiores é direta.	A estrutura e membros da gestão energética é clara, de forma que fica fácil identificar quem são os responsáveis e quais pessoas devem ser acionadas em cada situação.
4	Hoje a empresa possui uma política de meio ambiente que reforça o controle e redução do consumo energético, porém a organização ainda não conta com políticas mais específicas, como certificado da ISO 50001.	A organização tem, recentemente, dado enfoque nos projetos e ações de maior porte, isso fez com que atividades de melhoria contínua perdessem força.	O controle de consumo energético está destacado na política de meio ambiente da empresa, mas não encontra uma política dedicada e mais ampla de tratamento da energia.
5	A organização atende às legislações ambientais vigentes, principalmente em função da certificação ISO 14001 que possui.	Há uma empresa de consultoria em gestão energética que auxilia a organização com regulamentações e assuntos relacionados à normas.	Não possui conhecimento sobre o assunto, mas devido à política de meio ambiente que existe acredita que todas as legislações são atendidas.
6	Projetos e ações de eficiência energética são	Há recursos financeiros disponíveis para aplicação de	A organização busca reduzir o consumo energético, seja

	bem recebidos pela diretoria, porém esbarram em aprovações financeiras.	ações de eficiência energética, ou seja, a organizar valoriza estas atitudes, porém há dificuldades de aprovação dos projetos e ações.	por meio de projetos de eficiência energética ou controle do consumo e, assim, mostra que está preocupada com a gestão da energia. A eficiência energética ainda não é fator decisório em investimentos.
7	O sistema de acompanhamento do consumo é diário, com envio de relatórios às áreas para que possam tomar conhecimento e ação. Precisa-se dar atenção ao acompanhamento das ações de correção.	Os relatórios são fonte de informação para que as áreas possam entender seu consumo e planejar melhorias, principalmente quando o indicador não é atendido.	Até o momento, os indicadores são utilizados para entender o consumo da área, mas ações de melhoria só ocorrem se necessário, ou seja, são ações de correção.
8	As metas de redução no consumo energético são informadas pela Matriz e a equipe de Meio Ambiente faz o desdobramento para as áreas produtivas.	Com base no consumo passado e projetando ações de redução, a Matriz define e disponibiliza os orçamentos de consumo da planta. Com base nos objetivos, cada área deve buscar formas de redução para atendimento das metas.	Os objetivos são repassados para a área que precisa buscar alternativas de redução. Os planos de ação para redução são construídos ao longo do ano.
9	Não há um formulário ou processo padrão de análise de risco em projetos de eficiência energética, ficando a cargo do responsável pelo projeto identificar os possíveis impactos da mudança e informar as áreas impactadas.	As análises de risco são feitas junto com as equipes das áreas impactadas, assim tem-se um melhor entendimento sobre os possíveis impactos da mudança.	As áreas impactadas são consultadas pontualmente quando há dúvidas sobre possíveis impactos, mas não há criação de times multifuncionais.
10	A disponibilidade de recursos financeiros é definida no início de cada ano, conforme demanda das áreas e análise de viabilidade dos projetos.	Existem recursos disponíveis para as atividades planejadas para o ano, porém também há flexibilidade para demandas não programadas, que serão avaliadas pela diretoria e, se aprovadas, os recursos são liberados.	Os recursos são solicitados à diretoria conforme necessidade. Eles conhecem a disponibilidade de recursos financeiros e definem quais projetos serão contemplados.
11	As análises de viabilidade em projetos e ações de melhoria levam em consideração apenas o <i>payback</i> .	Existem projetos onde as análises de viabilidade consideram outros fatores além do <i>payback</i> , porém para projetos menores o <i>payback</i> é o item que define os investimentos.	As ações e projetos são avaliados pelo tempo de retorno do investimento, este é o indicador.
12	Atualmente não existem treinamentos e atividades de conscientização para os colaboradores. Algumas atividades eram realizadas em anos anteriores.	Não se observam ações de divulgação da gestão energética na organização e que incentivem as pessoas a buscar oportunidades de melhoria. O encorajamento fica a cargo dos responsáveis	Não existem investimentos em ações de encorajamento dos colaboradores. Uma futura adequação à ISO 50001 poderia acelerar ações com este objetivo.

		de cada área, que precisam identificar melhorias para atender aos KPIs de consumo.	
13	Os indicadores utilizados pela organização estão alinhados com os objetivos e metas.	Há um total alinhamento entre KPIs e objetivos organizacionais. Estas metas e KPIs passam por revisão a cada 6 meses.	Os KPIs permitem que seja avaliado a evolução da organização conforme os objetivos e metas traçados no início do ano
14	Os impactos de cada ação são seguidos via indicadores existentes, até que haja confirmação da ausência de impactos negativos.	É realizado acompanhamento das ações, para que verifique se há impactos positivos ou negativos com suas aplicações.	Para que uma ação seja definida com concluída, deve-se demonstrar, via indicadores, que não houve impactos negativos.
15	Os mecanismos de controle de consumo ainda acontecem via Excel®. As ações ainda são reativas, pois os mecanismos de controle não permitem antecipação dos acontecimentos.	Os relatórios diários e mensais ainda estão sendo controlados via Excel®, porém tecnologias de acompanhamento já estão em fase de teste. Porém, ainda se tem um perfil reativo.	As tecnologias utilizadas atualmente atendem à necessidade de controle e acompanhamento dos KPIs da organização, mas não permitem uma ação proativa.
16	As equipes de implementação dos projetos para aumento da eficiência fazem os devidos estudos de impacto. São realizados acompanhamentos durante alguns períodos após implementação do projeto.	Para as atividades e projetos definidos no início de cada ano, são realizados comitês de acompanhamento, para não apenas garantir a execução, mais também entender resultados alcançados.	Antes de implementar as ações de melhoria, são identificados possíveis impactos e são feitos acompanhamentos posteriores.
17	Os dados coletados são úteis tanto para o acompanhamento dos indicadores como também para possibilitar comparações entre as plantas produtivas da companhia.	As ações de correção e melhoria baseiam-se nos dados coletados, o que mostra a sua utilidade. Além de alimentarem os indicadores das áreas.	Os dados atendem às atuais necessidades de controle e permitem que ações corretivas sejam tomadas.
18	É possível classificar os dados como razoavelmente confiáveis, pois identificam grandes variações, porém não possuem capacidade de captar pequenos desvios.	Os dados são confiáveis para atender nossas necessidades, mas os erros de medição estão em torno de 10%.	Nesta área não há conferência de confiabilidade de medição, mas elas precisam estar coerentes, pois as análises de cenários atuais e futuros são feitas com base nestes dados.
19	Os dados coletados estão ligados de forma automática ao sistema de armazenamento e consolidação da informação. Com a nova plataforma, teremos maior acesso à informação.	Embora o armazenamento e consolidação do consumo sejam realizados em planilhas Excel®, os dados são importados automaticamente.	Da mesma forma como o atual sistema de consolidação de dados (Excel®), o sistema online de apresentação dos dados (em desenvolvimento) têm como sua fonte os medidores instalados na fábrica, logo entende-se que os sistemas estão se comunicando bem.
20	Com os dados de consumo pouco há pouca análise	Não são realizadas análises estatísticas mais detalhas do	Os dados de consumo são utilizados apenas para

	estatística. Hoje a organização concentra-se em monitorar o consumo e tratar grandes divergências.	consumo, porém utiliza-se dos históricos de consumo para prever o consumo do ano seguinte ou impactos causados por introdução de novos equipamentos e linhas de produção.	estimar consumos futuros. Não há outros tipos de análise estatística na área para energia.
21	Anualmente, com os pilotos de cada área, é realizado um <i>workshop</i> para incentivar a proposta de ideias de redução e a lista resultante é seguida durante o ano. Além disso, são realizadas reuniões com a pilotos de todo o mundo, para compartilhamento de melhores práticas.	As ideias e ações já aplicadas de redução são compartilhadas entre os pilotos de cada área. Também existem reuniões específicas para troca de informação com a Matriz.	Existem estas trocas de informação com a Matriz e estes workshops anteriormente mencionados, porém há falha de comunicação para as áreas. Como exemplo, pode ser citado a ausência de um arquivo eletrônico com as melhores práticas consolidadas.
22	As simulações praticadas pela área são financeiras, para entender se os projetos e ideias são rentáveis e podem ser propostas à diretoria.	Utilizam-se projeções baseadas em dados passados para estimar impactos futuros, mas não há ferramentas específicas de simulação.	Não são aplicadas ferramentas nem software de simulação na área.
23	Os relatórios diários repassam às áreas o resumo, por meio de dados numéricos e gráficos, dos indicadores de gestão energética.	A ferramenta visual sobre desempenho energético da organização é o relatório diário enviado às áreas, que podem compartilhar internamente conforme necessidade.	Os relatórios diários são as formas gráficas de visualização do consumo e perfil energético do setor. A nova plataforma online, permitirá o acesso, quase em tempo real, aos dados de consumo da área.

Fonte: o autor, 2020.

Compartilhamento de objetivos

Entende-se pelas percepções coletadas, que os colaboradores limitam seu conhecimento sobre os objetivos energéticos da organização aos objetivos do seu departamento. Ou seja, de forma contrária à proposta pela diretriz, a organização tem limitações no compartilhamento dos objetivos, não fornecendo aos seus funcionários de nível operacional uma visão mais ampla sobre o posicionamento da organização e seus objetivos. As exceções são os colaboradores que trabalham diretamente no controle e desenvolvimento destes indicadores.

A área produtiva do entrevistado 3, por ter como característica o alto consumo energético, faz o desdobramento dos indicadores a todos os funcionários e mantém atualizado os painéis de comunicação. Tais ações não são enxergadas na outra área analisada.

Além disso, todos os participantes, quando perguntados sobre objetivos, focaram apenas nos objetivos de curto prazo, pois não tinham conhecimento sobre os planos de médio e longo prazo da organização.

Baseado neste entendimento, são propostas algumas ações de melhoria para que o sistema de gestão energético esteja mais alinhado com a diretriz “Compartilhamento de objetivos”. Dentre elas, temos a intensificação da comunicação com os funcionários da organização, aumentar a exposição dos objetivos energéticos e divulgar os objetivos de curto, médio e longo prazo com os demais funcionários da organização.

Apoio da gerência

A alta gerência é vista como apoiadora e impulsionadora dos projetos de redução de consumo e custos energéticos. Há suporte e incentivo para criação de comitês e grupos de trabalho multidisciplinares focados em redução de custos.

Entretanto, novamente enxerga-se uma diferença de gestão entre a área de alto consumo energético e as demais. Além dos projetos de redução de custo e eficiência energética, os gestores na área de alto consumo fazem um acompanhamento mais próximo dos objetivos energéticos, de forma que não apoiam somente projetos, mas também ações de menor escala e melhoria contínua. Já nas áreas de menor consumo, o entrevistado 1 destaca o baixo engajamento de alguns gestores quanto ao acompanhamento de *KPIs* relacionados à gestão energética, por exemplo, não cobrando planos de ação detalhados quando há irregularidades identificadas no consumo e ou indicadores.

Portanto, propõe-se à organização que intensifique o seguimento e cobrança quanto aos objetivos energéticos e ações de melhoria para as áreas de menor consumo energético.

Definição de responsabilidade

A gestão da energia na organização está dividida principalmente em dois pilares: gestão do consumo (que se subdivide em equipes de controle do consumo e equipes de manutenção da disponibilidade/confiabilidade de equipamentos de medição) e projetos de eficiência energética. Nos dois pilares percebeu-se que a relação com a diretoria é direta.

Para os entrevistados, a estrutura das equipes e as responsabilidades de cada membro são claras. Além disso, em cada pilar há um responsável por relatar os avanços à alta gerência.

Nos projetos de eficiência energética as fontes de informação do gestor são equipes multidisciplinares, acionadas conforme a necessidade do projeto. Já o gestor de controle do consumo, têm suas fontes de informação nos responsáveis locais de cada área e nos sistemas de medição e acompanhamento de indicadores.

Com base neste contexto, entende-se que a organização segue a proposta da diretriz, logo não são sugeridas oportunidades de melhoria.

Comprometimento organizacional

Com relação à definição de uma política energética, os entrevistados destacam que não há uma política dedicada à gestão da energia. O engajamento da organização para redução do consumo energético é informado por meio de sua política de meio ambiente e certificação ISO 14001. A organização tem a intenção de adotar a ISO 50001 nos próximos anos, mas ainda não conta com esta certificação.

Quanto ao incentivo da organização às ações de gestão energética, o entrevistado 2 comenta que a organização tem dado enfoque nas ações de grande porte, ou seja, a alocação de recursos prioriza os projetos de eficiência energética. A quantidade de ações de melhoria contínua e programas de incentivo e conscientização à gestão diária do consumo reduziram-se nos últimos anos.

Desta forma, existem oportunidades de melhoria que a organização pode buscar para aumentar seu alinhamento à diretriz. Dentre as sugestões, encoraja-se a organização a adotar a ISO 50001 e criar uma política dedicada à gestão energética. Além desta, pode ser intensificado o apoio e direcionamento de recursos para atividades de melhoria contínua;

Atendimento às regulamentações

Devido ao nível mais operacional dos entrevistados, pouco foi coletado de informação sobre este item. Porém, pelo baixo conhecimento deles sobre o assunto, entende-se que a organização divulga pouco as legislações vigentes a seus colaboradores.

O entrevistado 2 informa que a organização contrata os serviços de uma empresa de consultoria em gestão energética industrial, que fornece todo o suporte quanto ao atendimento de legislações vigentes e normas.

Para aumentar seu alinhamento à diretriz proposta neste trabalho, a organização pode, conforme já mencionado, se adequar à ISO 50001 para garantir que esteja sempre atualizada e respeitando às legislações vigentes. Também, aconselha-se que a organização divulgue, com certa frequência, as legislações e normas vigentes aos colaboradores.

Priorização de ações energeticamente eficientes

Os entrevistados entendem que a organização se preocupa com a redução do seu impacto ambiental e do consumo energético, de forma que incentiva ações, atitudes e projetos de eficiência energética. Entretanto, tais iniciativas esbarram em avaliações de rentabilidade restritivas, que buscam projetos de rápido retorno financeiro (baixo *payback*).

Quando questionados sobre a priorização da eficiência energética em novos projetos, o entrevistado 3 ressalta que sua área produtiva foi concebida com conceitos e maquinários energeticamente eficientes, porém, para novos projetos, os entrevistados entendem que o fator decisório é o custo da solução técnica.

Assim, como proposta de melhoria, acredita-se que a organização possa incluir a eficiência energética como parâmetros de decisão em projetos, deixando claro aos colaboradores seu objetivo de melhorar a eficiência energética, além de manter a rentabilidade.

Acompanhamento do perfil energético

As avaliações de consumo energético são realizadas diariamente e relatórios são fornecidos aos responsáveis de cada área, para que possam adotar medidas de correção e/ou melhoria caso necessitem. Os consumos mensais são comparados às projeções realizadas no início do ano e, assim, é controlado o consumo da empresa.

Os níveis de medição e acompanhamento variam conforme a área. Algumas possuem medidores globais da área, ou seja, contabiliza-se apenas o consumo total da área, sem estratificações por máquinas ou células de produção. Para a área de alto consumo energético, por exemplo, os sistemas de medição fazem o controle de acordo com macro etapas do processo.

Para o entrevistado 1, embora haja um controle periódico e registro de dados, pouco é feito pelas áreas para melhorarem seu desempenho. O entrevistado 3 reforça esta afirmação, pois declara que os relatórios são apenas utilizados para acompanhamento, ao invés de impulsionarem ações de melhoria. Os relatórios geram ações quando o indicador de consumo não fica dentro do planejado, nestes casos as áreas buscam respostas e fazem análises para entender as causas do problema.

Assim, para atender à diretriz proposta, segure-se que a organização incentive o uso dos dados de consumo para busca de melhorias, ao invés de apenas acompanhar o consumo ou identificar distorções nas medições.

Definição de metas e planos de ação

As metas da organização são definidas pela matriz que, de acordo com o consumo do último ano e projetando percentuais de redução, define os orçamentos disponíveis para consumo de energia. As metas globais são redistribuídas para as áreas.

Os planos de ação para atingimento destas metas são elaborados pelas áreas, conforme necessidade. Ao longo do ano, as oportunidades de redução são encontradas e os responsáveis locais definem os planos de ação.

Assim, embora em um nível mais estratégico, entende-se que as metas estão alinhadas com os objetivos corporativos e, por este motivo, acredita-se que a organização está alinhada com a diretriz proposta.

Gerenciamento de riscos

Conforme mencionado anteriormente, a empresa tem uma distinção entre os responsáveis por projetos de eficiência energética e controle do consumo. Embora não consultado, percebeu-se pelas respostas dos entrevistados que os projetos de eficiência energética possuem uma maior organização e padronização para aplicação, enquanto os projetos menores e de melhoria contínua, executados pelos próprios responsáveis das áreas produtivas, não apresentam alto nível de padronização. Estas estruturas refletem no gerenciamento de risco antes de aplicações. Com isso, projetos maiores envolvem diferentes funcionários da organização, criando times multifuncionais. Quanto às implementações de menor porte, estas são realizadas sem a definição de um time multifuncional ou até mesmo

envolvimento das áreas impactadas, sendo em sua maioria apenas consultadas caso haja necessidade ou dúvidas dos responsáveis pelo projeto.

Desta forma, entende-se que ferramentas de padronização (formulários, *checklist*, lista de participantes) devem ser aplicadas em projetos menores e de melhoria contínua, para auxiliar os responsáveis na gestão de risco. Tais ferramentas reduziram as possibilidades de impactos negativos das ações de gestão energética, uma vez que incentivaria a criação de grupos de trabalho multifuncionais e aumentaria a capacidade analítica.

Disposição de recursos

Pelas entrevistas, entende-se que os recursos, principalmente financeiros, são definidos no início de cada ano. O controle e conhecimento do montante disponível fica a cargo dos gestores de mais alto nível, que são solicitados via demanda por projetos. Quando o projeto apresenta viabilidade financeira e técnica frente às demais propostas, os recursos são liberados. Assim, percebe-se que os recursos disponíveis para a gestão de energia são claros, mas permanecem sob o controle dos gestores, ou seja, a clareza para os responsáveis de cada área está nos projetos aprovados e não nos recursos disponíveis.

Embora os principais projetos sejam definidos previamente no início do ano, há também flexibilidade para propostas e aprovações de projetos durante o ano, caso estes se enquadrem nos requisitos de viabilidade técnica e financeira.

A estrutura de definição de projetos e recursos disponíveis identificada na organização está alinhada com a diretriz proposta, que preconiza clareza da disponibilidade destes recursos. A estratificação dos níveis de informação para cada pessoa envolvida no processo segue padrões de segurança da informação. Assim, não foram indicadas melhorias para o processo.

Análises financeiras

A organização tem como elemento principal nas análises de viabilidade de projetos e ações de gestão energética o tempo de retorno. O entendimento de todos os entrevistados é que a organização leva em consideração apenas o tempo de retorno do valor investido. As exceções são projetos de grande porte que impactem todas as áreas produtivas e a organização como um todo.

As decisões de investimento são feitas por gestores dos níveis mais altos, logo não foi possível confirmar que os projetos são avaliados unicamente por seu retorno financeiro. Porém, fica claro pelas entrevistas que os funcionários da organização acreditam que propostas com grandes períodos de payback não serão aprovadas, desencorajando-os a propor tais projetos. Ou seja, há um pensamento comum entre os funcionários que, de alguma forma, molda a cultura da empresa.

Baseado nesta percepção, propõe-se que a organização flexibilize as decisões de rentabilidade, incluindo outros indicadores além do financeiro. Na literatura, autores reforçam a importância de se considerar, por exemplo, indicadores mais abstratos como melhora da imagem da organização frente a seus clientes. Também podem ser considerados os indicadores tradicionalmente avaliados na indústria, como qualidade, tempo de processamento e flexibilidade.

Adicionalmente, é aconselhável à organização reforçar seu apoio à proposição de ideias de melhoria, mesmo que não atendam aos requisitos financeiros, para que encoraje os funcionários a buscar oportunidades de melhoria.

Conscientização e engajamento

Segundo os entrevistados, não existem, atualmente, ações de divulgação e/ou encorajamento à busca por melhoria da eficiência energética da organização. É responsabilidade dos encarregados locais incentivar seus colaboradores a encontrar e propor melhorias.

Workshops e atividades de brainstorming entre os responsáveis de cada área são realizados no início do ano, para que possam ser elencadas oportunidades de redução do consumo para atender aos objetivos traçados pela organização. Porém, tais atividades não são incentivadas e/ou realizadas com todos os funcionários da organização, a menos que o responsável local adote tais estratégias em sua área.

Portanto, recomenda-se à organização que invista em treinamentos e ações de encorajamento, para que todos os funcionários da organização entendam seu papel na gestão da energia e sejam mais participativos, contribuindo para a redução do consumo e aumento da eficiência energética da organização.

Definição de KPIs relevantes

Todos os entrevistados avaliam que os KPIs definidos pela organização são relevantes ao acompanhamento dos objetivos e metas traçados no início do ano. Há

uma revisão tanto dos objetivos e metas como dos KPIs a cada 6 meses, para confirmar que os eles foram traçados de forma correta e estão de acordo com a realidade da organização. O processo de concepção destes KPIs não foi avaliado no estudo.

Para este item, entende-se que a organização está alinhada com a diretriz proposta e, assim, não há proposições de melhoria.

Acompanhamento de ações

O acompanhamento das ações é realizado por meio do monitoramento dos indicadores existentes, após aplicação das ações. Conforme comentado pelo entrevistado 3, as ações são definidas como finalizadas somente após comprovação de sua eficácia e/ou ausência de impactos negativos aos indicadores de controle.

O departamento que propõe a ação define um responsável por ela, de forma que esta pessoa também fica encarregada de garantir e demonstrar a eficiência das ações.

Portanto, entende-se que a organização está alinhada com a diretriz, uma vez que tem um responsável pela ação e realiza o monitoramento da mesma até que seja comprovada sua eficiência.

Gestão ativa

O atual sistema de controle do consumo energético da organização utiliza como software de geração dos relatórios e visualização dos dados o Excel®. Tal sistema permite medições a cada 15 minutos e os dados são compilados pela equipe de manutenção, que envia ao final do dia o relatório para as áreas.

Conforme exposto pelos entrevistados, este sistema não permite ações proativas, apenas controle e acompanhamento do consumo. Assim, as ações de gestão limitam-se a correções quando há discrepâncias no consumo identificadas pelo sistema.

Novas tecnologias de controle estão sendo adotadas pela organização. Tais tecnologias permitem a identificação de comportamentos atípicos de forma mais rápida e disponibilizam as informações online para as áreas. Entretanto, ainda não permitem ações preventivas.

O terceiro entrevistado acrescenta ainda que as medições de energia são realizadas em níveis macro, ou seja, mede-se o consumo, por exemplo da planta

produtiva ou de grandes células de produção, o que dificulta a execução de ações proativas. Para ele, tais ações são possíveis com medições em nível máquina ou semelhantes.

Assim, propõe-se à organização que invista em ferramentas e softwares que auxiliem as equipes a atuar de maneira proativa, evitando problemas futuros.

Gestão de risco das ações

Conforme anteriormente constatado na diretriz 9, não há processos padrões de análise de risco. Com isso, não há meios de garantir que as ações avaliaram com antecedência os possíveis impactos em indicadores convencionais. Porém, os entrevistados afirmam que, por meio de consultas às áreas impactadas ou integração de equipes, são elencados possíveis impactos.

Outra característica é o acompanhamento posterior à implementação das ações de melhoria, que podem ser realizadas pelos responsáveis da ação ou até mesmo em comitês de acompanhamento específicos, o que garante que as ações não impactaram outros indicadores.

Assim, mesmo que já praticadas atualmente, recomenda-se à organização que padronize os processos de análise de risco e acompanhamento pós implementação, para garantir que os indicadores convencionais foram contemplados na análise e que não estão sendo afetados após a implementação.

Definição apropriada dos dados de consumo

De acordo com os entrevistados, os dados coletados atualmente são suficientes para alimentar os indicadores e para identificar inconsistências no sistema, permitindo o acompanhamento do perfil energético da organização. O entrevistado 1 acrescenta que os dados coletados são úteis e constantemente utilizados para atividades de benchmarking entre as plantas produtivas do grupo.

Vale lembrar que durante a discussão da diretriz 14, o entrevistado 3 comenta sobre a falta de medições em nível máquina, por exemplo, para permitir ações preventivas. Entretanto, ele ressalta que para as atuais atividades e demandas, as informações disponíveis são suficientes.

Dado o objetivo desta diretriz, não foram propostas ações de melhoria para a organização, pois os dados atualmente coletados suportam as atividades de monitoramento realizadas pela organização. Entretanto, reforça-se a necessidade de

ferramentas, softwares e medições mais detalhas para que a organização passe de um estado reativo para proativo, de forma que os dados contribuam não apenas para controle e acompanhamento do perfil energético, mas também possibilite ações de melhoria contínua.

Confiabilidade dos dados

Os entrevistados que possuem maior informação quanto à confiabilidade dos dados coletados são os dois primeiros, pois trabalham ou já desempenharam função relacionada a esta avaliação. Eles comentaram que existe uma divergência entre os valores passados pela companhia fornecedora de energia e a somatória de todos os medidores da empresa, que totaliza uma diferença de 10%. Tal variação, segundo eles, limita a capacidade da organização em identificar pequenas variações em seu consumo, que podem significar problemas no sistema. Por outro lado, eles entendem que essa diferença não impacta as atividades de controle de consumo das áreas e acompanhamento da eficiência de atividades de melhoria.

Tal variação existe, principalmente, pois os custos de calibração de medidores são altos e o número de medidores existentes nas diversas áreas produtivas também é grande, o que dificulta um controle contínuo da confiabilidade de medição. Por não executar atividades de controle da confiabilidade de medição, entrevistado 3 apenas comentou que não se sente prejudicado pelos dados coletados, uma vez que suas análises não foram impactadas por tais variações.

Assim, propõe-se à organização que avalie os níveis de confiabilidade requeridos por cada área produtiva e faça os ajustes necessários. Entende-se que as avaliações de eficiência energética do sistema não podem ser prejudicadas pela confiabilidade dos dados, mas não há um consenso sobre um valor aceitável de desvio das medições. Por isso, é importante que avaliações contínuas de confiabilidade e repetibilidade dos dados sejam executadas pela organização.

Sistemas interoperáveis

A organização, atualmente, ainda dispõe de poucos sistemas automáticos de armazenamento e consolidação das informações de energia. As planilhas de Excel® ainda são as principais ferramentas de análise e visualização dos dados de energia. Porém, os dados coletados pelos medidores estão diretamente conectados à

planilha de controle principal, que armazena os dados e cria relatórios que serão repassados diariamente às áreas produtivas.

A organização está trabalhando em um projeto para monitoramento e visualização online dos dados de energia. Tal sistema permitirá que as áreas tenham acesso direto aos dados e com um pequeno atraso (medições a cada 15 min). A base de dados deste novo sistema continua sendo os atuais medidores, ou seja, não há problema de comunicação entre os recursos disponíveis e a nova plataforma.

Desta forma, entende-se que a organização não possui problemas de comunicação entre seus sistemas, o que garante uma eficiente troca de informação entre eles. Portanto, a organização está alinhada com a diretriz proposta e não são sugeridas ações de melhoria. Fica apenas o alerta para que a organização mantenha o padrão de comunicação dos sistemas futuros, para garantir esta constante troca de informação.

Análises estatísticas

Pela experiência e conhecimento dos entrevistados, avalia-se que a organização ainda não possui um sistema robusto de análise dos dados de energia, pois estes são utilizados principalmente para acompanhamento do perfil energético e estimativa de consumos futuros.

Entende-se que tal situação é proveniente do nível de medição adotado pela organização (avaliação do consumo por área e não por máquina, por exemplo), algumas restrições técnicas e a característica de seu processo produtivo que, na maioria das áreas, não é de consumo intensivo e, de certa forma, não requer um acompanhamento mais detalhado.

Portanto, propõe-se à organização que adote ferramentas e software de análise estatística. Tal recomendação está alinhada e, até certo ponto, dependente da proposta feita para a diretriz 14, pois com informações mais completas, as análises estatísticas tornam-se mais robustas e contribuem para a organização antecipar problemas.

Consolidação de conhecimento

A organização possui fórum específicos para compartilhamento de informações entre os pilotos das áreas e as outras plantas produtivas da

organização. Estas atividades concentram-se no piloto de projetos de eficiência energética, que organiza um *workshop* anual com os pilotos das áreas para incentivar a geração de ideias e listar oportunidades de melhoria que podem ser implementadas durante o ano. Além deste fórum, o piloto de projetos também participa de reuniões com a Matriz e os responsáveis de outras plantas pelo mundo, para compartilhar as melhores práticas adotadas.

Estas diferentes formas de compartilhamento de informação mostram que a organização busca manter os principais responsáveis por gestão energética informados. Entretanto, o entrevistado 3 comenta sobre dificuldades de acesso à tais informações. Mesmo participando do *workshop* anual, ele não possui outras formas de acesso a estes dados, ou seja, faltam ferramentas de consolidação do conhecimento adquirido pela organização.

Desta forma, torna-se necessário reforçar a importância destes diferentes fóruns para compartilhamento de conhecimento e incentivar que novos sejam realizados. Mas também se sugere que a organização adote ferramentas, como plataformas de armazenamento em nuvem, para facilitar o acesso das áreas às informações, como melhores práticas e/ou lições apreendidas em projetos, além de incentivar a interação entre as áreas produtivas.

Simulação de cenários

Conforme comentado pelos entrevistados, não são aplicadas ferramentas nem software de simulação para tentar prever ou estimar impactos de ações futuras. As simulações realizadas pelas áreas são predominantemente financeiras, para estimar os ganhos e entender se há rentabilidade.

Quando precisa-se entender os impactos no consumo de um determinado projeto ou ação de melhoria, o entrevistado 2 comenta novamente que são realizadas projeções baseadas em dados passados, porém sem auxílio de ferramentas ou software específicos de simulação.

Portanto, aconselha-se à organização que adote software de simulação para auxiliar na tomada de decisão. São recomendados software, por exemplo *Plant Simulation*®, que são especializados em análises voltadas à gestão energética.

Ferramentas de visualização

A ferramenta visualização gráfica dos resultados utilizada pela organização é o relatório diário enviado aos responsáveis de cada área. Assim, as áreas podem acompanhar seu desempenho em cada indicador, identificar problemas e buscar oportunidades de redução. Desta forma, a informação fica concentrada nos responsáveis por gestão energética da organização, que podem divulgar para os demais colaboradores de sua área.

A nova plataforma de consolidação dos dados, que disponibilizará a informação às áreas de forma online e quase em tempo real, constituirá a nova ferramenta de visualização da organização. Porém, continua concentrada nas pessoas responsáveis pela gestão energética de cada área.

Assim, entende-se que a organização utiliza ferramentas de visualização dos dados de energia da organização, facilitando o acompanhamento e entendimento da evolução dos indicadores, além de possibilitar a identificação de problemas e possibilidades de melhoria. Desta forma, tanto a atual como a futura estrutura de visualização dos dados energéticos da organização está alinhada com a diretriz proposta. Uma possível proposta de mudança seria expandir o acesso dos dados aos demais colaboradores das áreas, para que estejam conscientes sobre os objetivos energéticos.

Com base na descrição apresentada acima, o quadro 3 resume as características da organização. Cada característica foi classificada com base na proposta da diretriz, desta forma, as características que se alinham à diretriz foram representadas com um sinal positivo ([+]), enquanto as características divergentes à orientação da diretriz e que exigem atenção da organização estão simbolizadas com sinal negativo ([-]).

Quadro 3 - Características da organização

Diretriz	Caracterização da organização
1	[+] A organização, no processo de alto consumo energético, deixa claro seus objetivos à todos os funcionários [-] Em processos de menor consumo, a clareza nos objetivos energéticos limita-se aos responsáveis por sua gestão [-] Funcionários com conhecimento limitado aos objetivos de curto prazo

2	<p>[+] Alta gerência apoia projetos de eficiência energética</p> <p>[+] Existe incentivo para criação de grupos de trabalhos focados em redução de custos</p> <p>[+] Gestores dos processos de alto consumo energético acompanham os indicadores e apoiam ações de melhoria contínua</p> <p>[-] Menor engajamento dos gestores das demais áreas quanto ao seguimento de indicadores e ações de menor escala</p>
3	<p>[+] Clareza quanto aos responsáveis e estrutura das equipes</p> <p>[+] Equipes multidisciplinares em projetos de eficiência energética</p> <p>[+] As áreas produtivas tem responsáveis locais de gestão da energia</p>
4	<p>[+] Gestão da energia é retratada na política ambiental (ISO 14001)</p> <p>[-] Ausência de uma política energética dedicada</p> <p>[+] Há direcionamento de recursos para iniciar adoção da ISO 50001</p> <p>[-] Redução dos incentivos e medida de melhoria contínua</p>
5	<p>[+] Organização se preocupa com o atendimento às legislações</p> <p>[-] Baixo nível de compartilhamento de informações relacionadas às legislações</p>
6	<p>[+] Incentivo à ações e projetos de eficiência energética</p> <p>[-] <i>Payback</i> é a variável de maior importância para definição de viabilidade</p>
7	<p>[+] Acompanhamento diário com geração de relatórios</p> <p>[-] Mesmo para áreas de alto consumo as medições de consumo são feitas em níveis macro</p> <p>[-] Relatórios de consumo não impulsionam ações de melhoria contínua</p>
8	<p>[+] Planos de ação alinhados com os objetivos</p> <p>[+] Revisões periódicas dos objetivos e metas</p>
9	<p>[+] Projetos de eficiência energética com boa estruturação</p> <p>[-] Ações de melhoria contínua com padronização e estruturação limitadas</p>
10	<p>[+] Clareza no processo de liberação e disposição de recursos</p> <p>[+] Recursos disponibilizados e bem definidos mediante aprovação de projetos</p> <p>[+] Flexibilidade para inclusão de novos projetos durante o ano</p>
11	<p>[+] Processo de análise financeira bem definidos</p> <p>[-] Foco em <i>payback</i></p>
12	<p>[+] Workshops e atividades de brainstorming entre responsáveis de cada área</p> <p>[-] Baixa alocação de esforços e recursos para encorajamento de atividades de melhoria contínua</p>
13	<p>[+] Indicadores são relevantes à gestão</p> <p>[-] Revisão periódica de indicadores</p>
14	<p>[+] Definição de responsáveis por cada ação</p> <p>[+] Monitoramento dos indicadores para comprovação de eficiência da ação</p>
15	<p>[+] Disponibilização de informação a cada 15 minutos</p> <p>[-] Ações são reativas e de correção</p> <p>[-] Medições em níveis macro</p>
16	<p>[+] Cultura orientada à consulta das áreas que podem ser impactadas</p> <p>[-] Ausência de processos padronizados de análise de risco para ações de melhoria contínua</p>
17	<p>[+] Dados coletados atendem às necessidades de controle</p> <p>[+] Utilização dos dados para análises de benchmarking</p>
18	<p>[+] Nível de confiabilidade aceitável</p> <p>[+] Variação na medição não impacta gestão das áreas</p> <p>[-] Limitação de calibração devido à altos custos</p>

19	[+] Sistemas de medição e atual ferramenta de gestão são interligados [+] Empresa mantém padrões de comunicação com novos sistemas de gestão
20	[-] Baixo nível de análise de dados (foco no acompanhamento de indicadores) [-] Organização trabalha de forma reativa, sem utilizar análises estatísticas para antecipar problemas
21	[+] Realização de workshops anuais para compartilhamento de ideias e informações [+] Discussões e compartilhamento de informações com as demais plantas produtivas do mundo [-] Dificuldade de acesso à base de ideias e informações [-] Troca de informação com outras plantas fica concentrada no responsável por projetos de eficiência energética
22	[-] Organização não utiliza ferramentas de simulação de cenários [-] As simulações estão restritas a estimativas financeiras
23	[+] Acompanhamento gráfico e por meio de relatórios [+] Nova plataforma de visualização de dados está sendo implementada [-] Acesso a dados gráficos e visuais limitados aos responsáveis pela gestão da energia

Fonte: o autor, 2020.

Também, com base na percepção dos entrevistados e contrapondo com a literatura, apresenta-se na sequência o quadro 4, que resume as propostas de melhorias sugeridas à organização. Tais propostas buscam aumentar o grau de alinhamento entre a organização, caracterizada anteriormente, e as diretrizes de gestão energética avançada. Assume-se para isso que as diretrizes propostas neste trabalho e validadas com especialistas são importantes indicadores de atendimento à gestão energética. Caracterizando-se, desta forma, como uma ferramenta relevante para identificação de oportunidades de melhoria e direcionamento de ações futuras.

Quadro 4 - Ações propostas para melhoria do sistema

Diretriz	Recomendações
1	Intensificar a comunicação com todos os funcionários; Expor objetivos energéticos, da mesma forma como os convencionais; Comunicar não apenas os objetivos de curto prazo, mas também planos de médio e longo prazo para que as pessoas possam entender o direcionamento da organização;
2	Intensificar, para áreas produtivas de menor consumo energético, o seguimento e cobrança quanto aos objetivos energéticos e ações de melhoria;
3	-
4	Adotar a ISO 50001; Intensificar o apoio e direcionar recursos para atividades de melhoria contínua;
5	Adotar ISO 50001; Divulgar legislações e normas vigentes aos colaboradores;
6	Incluir a eficiência energética como parâmetros de decisão em projetos;
7	Incentivar o uso dos dados de consumo para busca de melhorias;
8	-
9	Criar ferramentas de padronização para projetos de menor escala
10	-

11	Expandir as análises de rentabilidade e agregar diferentes indicadores Encorajar funcionários a propor ações de melhoria
12	Criar ações de divulgação e incentivo à gestão energética na empresa
13	-
14	-
15	Investir em ferramentas ou software que permitam ações preventivas
16	Padronizar os processos de análise de risco e impacto à indicadores convencionais
17	-
18	Entender as necessidades de precisão de cada área, para que sejam ajustados os níveis de confiabilidade
19	-
20	Adotar ferramentas e software de análise estatística
21	Facilitar o acesso das áreas às melhores práticas da organização
22	Adotar software de simulação para auxiliar na tomada de decisões
23	-

Fonte: o autor, 2020.

6.3 DISCUSSÃO DO CASO

Com base no conjunto de diretrizes anteriormente validadas e propostas, o objetivo deste estudo de caso foi visualizar a aplicação destas diretrizes como ferramenta diagnóstica, ou seja, avaliar sua capacidade de caracterizar um sistema de gestão energética. E, desta forma, possibilitar a identificação de pontos fortes e oportunidades de melhoria, para que a organização atinja bons resultados e consiga adotar de forma robusta um sistema de gestão energética avançado.

Guiando-se pelas diretrizes, o sistema foi diagnosticado por meio de entrevistas com colaboradores de três áreas da organização. A tabela comparativa com as percepções de cada entrevistado auxiliou no processo de triangulação das informações, que potencializou a análise e contribuiu para a caracterização do sistema de gestão energética da empresa.

O conceito proposto por cada diretriz foi confrontado com as percepções dos entrevistados e, assim, foi possível identificar os pontos fortes da organização e propor melhorias.

Por meio deste caso, ficou claro que a organização está em um contínuo processo de estruturação do seu sistema de gestão. Além de alguns esforços de adequação à ISO 50001, a organização está investindo em novos sistemas de monitoramento e visualização de dados de energia. Há um movimento de migração para plataformas online que permitam às áreas produtivas acompanharem, em pequenos intervalos de tempo, seu desempenho em relação aos indicadores de

eficiência energética. Assim, com informações mais precisas e no tempo correto, a organização é capaz de identificar ineficiências no processo e reduzir desperdícios (SHROUF e MIRAGLIOTTA, 2015).

Também, alinhado ao trabalho de May *et al.* (2017) e à ISO 50001, percebe-se que objetivos, metas e indicadores estão não somente alinhados entre si, mas também com a estratégia corporativa. Da mesma forma, a organização possui clareza quanto aos dados que precisam ser coletados para acompanhamento e atingimento de seus objetivos.

Assim como seus esforços de modernização dos sistemas de monitoramento e visualização de dados, merecem destaque seu comprometimento com a manutenção dos padrões de comunicação entre os sistemas de informação, garantindo uma troca de informação efetiva e sem erros (VIKHOREV, GREENOUGH e BROWN, 2013). Além disso, é importante destacar a utilização de dados gráficos para facilitar o gerenciamento energético.

Contudo, algumas oportunidades de melhoria foram encontradas. A organização pode intensificar sua comunicação com os colaboradores, para fique claro a todos seus objetivos energéticos de curto, médio e longo prazo. Também é importante que a alta gerência reforce seu compromisso com a melhoria da eficiência energética da organização, por meio de cobranças por contínua busca por melhoria de todas as áreas, sem distinção entre seu potencial de consumo. Demonstrar o comprometimento da alta gerência e ser claro em seu posicionamento são atitudes defendidas não apenas nos trabalhos de Thollander e Ottosson (2010) e Turner (2007) como também na ISO 50001.

A busca por eficiência energética precisa ser reforçada dentro das equipes de projeto, para que decisões de investimento não se baseiem apenas em dados financeiros e desempenho técnico, mas também esteja alinhado com as metas e objetos energéticos da organização (SANDBERG e SÖDERSTRÖM, 2003). Além disso, as ações de menor escala, como atividades de melhoria contínua, precisam ser padronizadas para que todos os fatores de decisão sejam abordados e análises de risco sejam realizadas. Adicionalmente, como proposto por Ates e Durakbasa (2012) e Abdelaziz *et al.* (2011), faz-se importante a criação times multifuncionais que aumentem o conhecimento técnico e reduzam as possibilidades de impactos negativos.

Por fim, a organização tem a possibilidade de aprimorar suas ferramentas e investir em software que mudem o perfil da organização, passando de reativa para proativa (MAY et al., 2017). Para tanto, propõe-se que a organização garanta dados de energia confiáveis e utilize ferramentas de análise estatística e simulação. O compartilhamento e acesso à informação, como lições apreendidas e práticas de excelência, precisa ser eficiente e facilitado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão da energia nas empresas tem se tornado cada vez mais importante, visto os impactos ambientais, as pressões de legislações e até mesmo a mudança nos hábitos dos consumidores, que se tornaram mais exigentes em relação à forma de produção dos produtos que consomem. Entretanto, a gestão de energia não está bem difundida e compreendida pelas organizações, uma vez que existem muitas oportunidades de melhoria ainda não exploradas e dificuldades no entendimento quanto ao perfil de consumo dos processos. Além disso, novas tecnologias da informação e comunicação são constantemente criadas para auxiliar os sistemas de gestão a atingir seu potencial máximo.

Assim, com a intenção de potencializar a efetividade dos sistemas de gestão energética, este trabalho contribui com a proposição de um modelo conceitual de gestão energética avançado e um conjunto de diretrizes que auxiliam gestores e organizações na efetiva estruturação destes sistemas. De forma que, compreende-se por um sistema de gestão energética avançado um conjunto de conceitos e práticas de gestão da energia suportadas pelas tecnologias provenientes da Indústria 4.0.

Com base na literatura, o modelo conceitual proposto traz uma abordagem abrangente em relação a gestão de energia em processos industriais, fornecendo orientação à gestores e auxiliando-os no direcionamento de suas forças e recursos. O modelo se fortalece com a utilização dos conceitos e elementos da indústria 4.0, que proporciona uma análise mais detalhada dos dados, facilita o compartilhamento de conhecimento e agiliza processos decisórios.

Desta forma, a importância do modelo se constrói pelo fato do mesmo colocar a gestão energética como um elemento estratégico para a organização, demonstrando a estrutura e elementos necessários para que se possa realizar um acompanhamento do perfil energético da organização, criar base de comparação com benchmarks, garantir envolvimento e utilizar dos recursos tecnológicos disponíveis para que se possa otimizar não apenas a comunicação, mas também a velocidade com que as decisões são tomadas. Além de posicionar a gestão da energia como elemento estratégico, cria-se uma relação desta com as demais áreas estratégicas da organização, integrando os dados de consumo e seus respectivos

indicadores às demais áreas funcionais, podendo citar qualidade, logística e planejamento da produção.

Com base no modelo, propôs-se também o conjunto de diretrizes para auxiliar organizações e seus gestores no momento de estruturação dos sistemas de gestão energética avançados. Como forma de comprovar sua validade, o conjunto passou por processo de refinamento, que consistiu em avaliações sequenciais realizadas por especialistas das áreas de gestão energética e tecnologias da informação. E, assim, o conjunto final de diretrizes foi consolidado.

Por fim, através de um estudo de caso, apresentou-se a aplicação das diretrizes como ferramenta diagnóstica de sistemas de gestão energética. Como resultados do estudo, entende-se que o conjunto de diretrizes tem a capacidade de identificar pontos fortes e oportunidades de melhoria nas organizações, de forma que se caracteriza uma ferramenta útil para gestores e organizações que buscam compreender seus sistemas e identificar possíveis melhorias. Desta forma, o conjunto auxilia na alocação de recursos e direciona ações de correção.

Portanto, este trabalho atinge seu objetivo, uma vez que propôs e testou um conjunto de diretrizes que devem ser seguidas por empresas que pretendem adotar sistemas de gestão energética suportados pela indústria 4.0.

7.1 LIMITAÇÕES E CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Algumas limitações podem ser citadas, dentre elas a subjetividade da análise de conteúdo que definiu o conjunto de diretrizes, pois embora tenha sido uma ampla revisão de literatura, outras diretrizes poderiam ter sido encontradas. Também há subjetividade no processo de análise do caso, que poderia ser reduzida se uma escala numérica fosse utilizada para classificar a organização.

Além destas, as entrevistas concentraram-se nos níveis operacionais e algumas informações estão em níveis mais estratégicos. Assim, a caracterização do sistema de gestão energética da empresa foi feita, em alguns momentos, de forma indireta, por meio da percepção de funcionários do nível operacional. Este fato não inviabilizou o estudo, mas limitou alguns resultados.

Apesar das limitações, o trabalho apresenta contribuições tanto para a área acadêmica, como para os profissionais da área de gestão energética. Aos acadêmicos, o modelo conceitual complementa os existentes na literatura e propõe

novos conceitos e práticas que servirão de base para trabalhos que objetivam instrumentalizar conceitos. Além disso, o estudo de caso mostra aplicações reais, que contribuem para validação dos conceitos teóricos.

Para os profissionais da área de gestão energética, o conjunto de diretrizes caracteriza-se como uma ferramenta que pode ser utilizada para avaliar os sistemas de suas organizações. Os requisitos de informação estabelecidos para cada diretriz orientam os questionamentos, enquanto as diretrizes e os exemplos encontrados no estudo de caso, auxiliam na análise e orientam futuras ações.

Desta forma, sugere-se que trabalhos futuros se apoiem na revisão de literatura apresentada e utilizem tanto o conjunto de diretrizes como os resultados do estudo de caso para instrumentalizá-los e criar ferramentas de avaliação de maturidade dos sistemas.

REFERÊNCIAS

ABDELAZIZ, Atabani; SAIDUR, Rahman; MEKHILEF, Saad. A review on energy saving strategies in industrial sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, p.150-168, jan. 2011.

ABNT. NBR ISO 50001:2011 - Sistemas de Gestão da Energia - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2011.

ADOLPH, Lars *et al.* **German Standardization Roadmap: Industry 4.0. Version 2.** Disponível em: < https://sci40.com/files/assets_sci40.com/pdf/german-standardization-roadmap-industry-4-0-version-2-data.pdf>. Acessado em: 11 mar. 2018.

AFLAKI, Sam; KLEINDORFER, Paul R.; DE MIERA POLVORINOS, Victor Saenz. Finding and implementing energy efficiency projects in industrial facilities. **Production and Operations Management**, v.22, n.3, p.503-517, 2013.

AMUNDSEN, Audun. Joint management of energy and environment. **Journal of Cleaner Production**, v.8, n.6, p.483-494, 2000.

ANDERBERG, S; KARA, Sami; BENO, Tomas. Impact of energy efficiency on computer numerically controlled machining. **Proceedings of the Intitution of Mechanical Engineers**, v.224, p.531-541, nov. 2009.

ANDERL, Reiner. Industrie 4.0-technological approaches, use cases, and implementation. **at-Automatisierungstechnik**, v.63, n.10, p.753-765, 2015.

ARGYROS, Tassos; ERMOPOULOS, Charis. Efficient subsequence matching in time series databases under time and amplitude transformations. In: **Third IEEE International Conference on Data Mining**. IEEE, 2003. p. 481-484.

ASSENT, Ira; WICHTERICH, Marc; KRIEGER, Ralph; KREMER, Hardy e SEIDL, Thomas. Anticipatory DTW for efficient similarity search in time series databases. **Proceedings of the VLDB Endowment**, v.2, n.1, p.826-837, 2009.

ASSOCIATION OF GERMAN ENGINEERS. **VDI Guideline 4602 Part I, 2007.** Disponível em: <http://www.vdi.eu/nc/guidelines/vdi_4602_blat_1-energiemanagement_grundlagen/>. Acessado em: 5 maio 2018.

ATES, Seyithan; DURAKBASA, Numan. Evaluation of corporate energy management practices of energy intensive industries in Turkey. **Energy**, v.45, p.81-91, set. 2012.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The internet of things: A survey. **Computer Networks**, v.54, n.15, p.2787-2805, out. 2010.

BACKLUND, Sandra; THOLLANDER, Patrik; PALM, Jenny; OTTOSSON, Mikael. Extending the energy efficiency gap. **Energy Policy**, v.51, p.392-396, dez. 2012.

BAHRIN, Mohd; OTHMAN, Mohd; AZLI, Nor; TALIB, Muhamad. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v.78, p.137-143, 2016.

BANDYOPADHYAY, Debasis; SEN, Jaydip. Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. **Wireless Personal Communication**, v.58, n.1, p.49-69, maio 2011.

BLASS, Vered; CORBETT, Charles; DELMAS, Magali; MUTHULINGAM, Suresh. Top management and the adoption of energy efficiency practices: evidence from small and medium sized manufacturing firms in the US. **Energy**, v.65, p.560-571, fev. 2014.

BLUMSTEIN, Carl; KRIEG, Betsy; SCHIPPER, Lee; YORK, Carl. Overcoming social and institutional barriers to energy conservation. **Energy**, v.5, p.355-371, abr. 1980.

BOURNE, M.; MILLS, J.; WILCOX, M.; NEELY, A.; PLATTS, K. Designing, implementing and updating performance measurement systems. **International journal of operations & production management**, v.10, n.7, p. 754-771, 2000.

BROWN, Neil; WRIGHT, Andrew; J., SHUKLA, A. e STUART, Graeme. Longitudinal analysis of energy metering data from non-domestic buildings. **Building Research & Information**, v.38, n.1, p.80-91, 2010.

BRUNKE, Jean-Christian; JOHANSSON, Maria; THOLLANDER, Patrik. Empirical investigation of barriers and drivers to the adoption of energy conservation measures, energy management practices and energy services in the Swedish iron and steel industry. **Journal of Cleaner Production**, v.84, p.509-525, dez. 2014.

BUNSE, Katharina; VODICKA, Matthias; SCHOENSLEBEN, Paul; BRÜLHART, Marc; ERNST, Frank. Integrating energy efficiency performance in production management e gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal of Cleaner Production**, v.19, p.667-679, abr. 2011.

BUREAU OF ENERGY EFFICIENCY. **Energy management and audit, 2010.**
Disponível em: <<http://www.em-ea.org/Guide%20Books/book-2/2.8%20Waste%20Heat%20Recovery.pdf>>. Acessado em: jun 2018.

CABINET OFFICE. **Report on The 5th Science and Technology Basic Plan.** Tokyo: Cabinet Office of Japan, 2015.

CAFFAL, Clive. **Energy Management in Industry.** Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET), 1995.

CAGNO, Enrico; TRIANNI, Andrea. Exploring drivers for energy efficiency within small- and medium-sized enterprises: first evidences from Italian manufacturing enterprises. **Applied Energy**, v.104, p.276-285, abr. 2013.

CAGNO, Enrico; WORRELL, Ernst; TRIANNI, Andrea; PUGLIESE, Gina. A novel approach for barriers to industrial energy efficiency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.19, p.290-308, mar. 2013.

CAO, Hongrui; ZHANG, Xingwu; CHEN, Xuefeng. (2017). The concept and progress of intelligent spindles: a review. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v.112, p.21-52, jan. 2017.

CAPEHART, Barney; TURNER, Wayne; KENNEDY, William. **Guide to Energy Management.** 6 ed. Lilborn: The Fairmont Press, 2008.

CAUCHICK-Miguel, Paulo; SOUSA, Rui. O método do estudo de caso na Engenharia de Produção. In: **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, ABEPRO, 2012.

CHINN, Peggy; KRAMER M. **Theory and Nursing a Systematic Approach.** St Louis: Mosby Year Book, 1999.

CHRISTOFFERSEN, Line; LARSEN, Anders; TOGEBY, Mikael. Empirical analysis of energy management in Danish industry. **Journal of Cleaner Production**, v.14, p.516-526, 2006.

COLE Frank. Content analysis: process and application. **Clinical Nurse Specialist**, v.2, p.53-57, 1988.

CONSEIL NATIONAL DE L'INDUSTRIE. **The New Face of Industry in France.** Disponível em: <https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/secteurs-professionnels/industrie/nfi/NFI-anglais.pdf>. Acessado em 1 abr. 2018.

COOREMANS, Catherine. Investment in energy efficiency: do the characteristics of investments matter? **Energy Efficiency**, v.5, p.497-518, nov. 2012.

COOREMANS, Catherine. Strategic fit of energy efficiency (Strategic and cultural dimensions of energy-efficiency investments). **ECEEE 2007 summer study**, 2007.

De ALMEIDA, Anibal; FONSECA, Paula; FALKNER, Hugh; BERTOLDI, Paolo. Market transformation of energy-efficient motor technologies in the EU. **Energy Policy**, v.31, p.563-575, maio 2003.

De BEER, Jeroen. **Potential for industrial energy-efficiency improvement in the long term**. Springer Science & Business Media, 2013.

DESCHAMPS, Fernando. **Proposal for the Systematization of Enterprise Engineering contributions**: Guidelines for Enterprise Engineering initiatives. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2013.

DESCHAMPS, Fernando; de LIMA, Edson; SANTOS, Eduardo Portela; VAN AKEN, Eileen. Development of enterprise engineering guidelines for enterprise diagnosis and design. In **IIE Annual Conference. Proceedings** (p. 807). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), 2013.

DOBES, Vladimir. New tool for promotion of energy management and cleaner production on no cure, no pay basis. **Journal of cleaner production**, v. 39, p. 255-264, 2013.

DOWNE-WAMBOLDT, Barbara. Content analysis: method, applications and issues. **Health Care for Women International**, v.13, p.313-321, 1992.

DRAKE, David; SPINLER, Stefan. Sustainable Operations Management: An enduring stream of passing fancy? **Harvard Business School**, v.15, n4, p.689-700, set. 2013.

ELO, Satu; KYNGÄS, Helvi. The qualitative content analysis process. **Journal of advanced nursing**, v.62, p.107-115, 2008.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **Annual Energy Review 2011**. Disponível em: <<http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/index.cfm>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **Energy Efficiency Directive**. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/eeden.htm>>. Acessado em: 25 jun. 2018.

FAWKES, Steven. **Outsourcing energy management: saving energy and carbon through partnering**. Routledge, 2017.

FLEITER, Tobias; HIRZEL, Hirzel; WORRELL, Ernst. The characteristics of energy-efficiency measures – a neglected dimension. **Energy Policy**, v.51, p.502-513, dez. 2012.

FORESIGHT. **The Future of Manufacturing: A New Era of Opportunity and Challenge for the UK**. London: UK Government Office for Science, 2013.

FRIEDLER, Ferenc. Process integration, modelling and optimisation for energy saving and pollution reduction. **Applied Thermal Engineering**, v.30 p.2270-2280, nov. 2010.

GAMARRA, Carlos; GUERRERO, Josep; MONTERO, Eduardo. A knowledge discovery in databases approach for industrial microgrid planning. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 60, 615-630, abr. 2016.

GANGOLELLS, Marta; CASALS, Miquel; FORCADA, Núria; MACARULLA, Marcel; GIRETTI, Alberto. Energy performance assessment of an intelligent energy management system. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.55, p.662-667, mar. 2016.

GENET, Jean-Paul; SCHUBERT, Cliff. **Designing a metering system for small and medium-sized buildings**. Schneider Electric, 2011.

GERMAN ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING. **Cyber-Physical Systems: Driving force for innovation in mobility, health, energy and production**. Acatech Position Paper, 2011.

GERMAN FEDERAL ENVIRONMENT AGENCY. **Energy Management Systems within Practice e ISO 50001: Handbook for Companies and Organizations**. Disponível em:

<www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3959.pdf>.

Acessado em: 20 jun. 2018.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

SILVEIRA, Willian; PINHEIRO DE LIMA, Edson; GOUVEA DA COSTA, Sergio; DESCHAMPS, Fernando. Guidelines for Hoshin Kanri implementation: development and discussion. **Production Planning & Control**, v. 28, p.843-859, Maio 2017.

GORDIĆ, Dusan; BABIĆ, Milun; JOVIČIĆ, Nebojsa; ŠUŠTERŠIČ, Vanja; KONČALOVIĆ, Davor; JELIĆ, Dubravka. Development of energy management system-Case study of Serbian car manufacturer. **Energy Conversion and Management**, v.51, n.12, p.2783-2790, dez. 2010.

GOUVEA DA COSTA, Sergio; PINHEIRO DE LIMA, Edson. **Processos: uma abordagem da Engenharia para a Gestão de Operações**. In: Paulo Augusto Cauchick Miguel (Org.). Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier. ABEPRO, 2012.

GUPTA, D. **Energy Sensitive Machining Parameter Optimization Model**. Dissertação de mestrado - West Virginia University, 2005.

HÅKANSSON, Anne. Portal of research methods and methodologies for research projects and degree projects. **Proceedings of the International Conference on Frontiers in Education**, p. 67-73, jul. 2013.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. **Hawaii International Conference**, p. 3928-3937, 2016.

HIRST, Eric; BROWN, Marilyn. Closing the efficiency gap: barriers to the efficient use of energy. **Resources, Conservation and Recycling**, v.3, p.267-281, jun. 1990.

INTERGOVERNMENTAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE, "**Barriers, opportunities, and market potential of technologies and practices**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg3/index.php?idp=179>>. Acessado em 22 jun. 2018

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy efficiency outlook**. In: World Energy Outlook, pp. 279-312, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key World Energy Statistics 2012**. Paris: IEA, 2013.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key World Energy Statistics**. Paris: IEA, 2010.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Worldwide Trends in Energy use and efficiency – key insights from IEA indicator analysis**. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Indicators_2008.pdf>. Acessado em: 30 jun. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. **ISO 50001:2011**, Energy Management Systems - Requirements with Guidance for Use, 2011.

IRREK, Wolfgang; THOMAS, Stefan. **Der EnergieSparFonds für Deutschland**. Düsseldorf: Hans-BöcklerStiftung, 2006.

JAFFE, Adam; STAVINS, Robert. The energy-efficiency gap: what does it mean? **Energy Policy**, v.22, p.804-10, out. 1994.

KAGERMANN, Henning. Change through digitization—Value creation in the age of industry 4.0. **Management of Permanent Change**, pp. 23-45, 2015.

KAGERMANN, Henning; WOLFGANG, Wahlster; JOHANNES, Helbig. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0**. Berlin: Industrie 4.0 Working Group of Acatech, 2013.

KALLRATH, Josef; PARDALOS, Panos; REBENNACK, Steffen; SCHEIDT, Max. **Optimization in the energy industry**. Springer, 2009.

KANG *et al.* Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v.3, n.1, p.111-128, jan. 2016.

KANNAN, Ramachandran; BOIE, W. Energy management practices in SME e case study of a bakery in Germany. **Energy Conversion and Management**, v.44, p.945-959, abr. 2003.

KARA, Sami; BOGDANSKI, Gerrit; LI, Wen. Electricity metering and monitoring in manufacturing systems. In: **Glocalized solutions for sustainability in manufacturing**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 1-10.

KARALI, Nihan; XU, Tengfang; SATHAYE, Jayant. Reducing energy consumption and CO2 emissions by energy efficiency measures and international trading: A bottom-up modeling for the U.S. iron and steel sector. **Applied Energy**, v.120, p.133-146, maio 2014.

KARNOUSKOS, Stamatis; COLOMBO, Armando; LASTRA, Jose; POPESCU, Corina. Towards the energy efficient future factory. In: **7th IEEE International Conference on Industrial Informatics**, 2009. INDIN, p.367-371.

KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN. **Cooperative effort on process emissions in manufacturing CO2PE!** Disponível em: <<http://www.co2pe.org/>>. Acessado em: 10 jul. 2018.

KITCHENHAM, Barbara; CHARTERS, Stuart. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. **EBSE**, 2007.

KRIPPENDORFF, Klaus. **Content Analysis: An Introduction to its Methodology**. Newbury Park: Sage Publications, 1980.

KYNGÄS H.; VANHANEN L. Content analysis (Finnish). **Hoitotiede**, v.11, p.3-12, 1999.

LANZ, Minna; MANI, Mahesh; LEONG, Swee; LYONS, Kevin; RANTA, Ari; IKKALA, Kimmo e BENGTTSSON, Nils. Impact of energy measurements in machining operations. In: **ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference**. American Society of Mechanical Engineers, p.867-873, 2010.

LAREK, Roland; BRINKSMEIER, Ekkard; MEYER, Daniel; PAWLETTA, Thorsten; HAGENDORF, Olaf. A discrete-event simulation approach to predict power consumption in machining processes. **Production Engineering**, v.5, n.5, p.575, 2011.

LASI, Heiner; FETTKE, Peter; KEMPER, Hans-Georg; FELD, Thomas; HOFFMANN, Michael. Industrie 4.0, **Business & Information Systems Engineering**, v.6, n.4, p.239-242, jun. 2014.

LAURI, S.; KYNGÄS Helvi. (2005) Developing Nursing Theories (Finnish: Hoitotieteen Teorian Kehittäminen). Werner Soöderström, Dark Oy, Vantaa.

LEE, B. E.; MICHALOSKI, J.; PROCTOR, F.; VENKATESH, S. e BENGTTSSON, N. MtConnect-Based kaizen for machine tool processes. In: **ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference**. American Society of Mechanical Engineers, p.1183-1190, 2010.

LEE, Dasheng; CHENG, Chin-Chi. Energy savings by energy management systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.56, p.760-777, abr. 2016.

LEE, Jay; KAO, Hung-An; YANG, Shanhu. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. **Procedia CIRP**, v.16, p.3-8, 2014.

LESOURD, Jean-Baptiste; RUIZ, Jean-Michel. Human resources for energy management: the case of French Industry. **Engineering Management International**, v.2, n.3, p.195-198, maio. 1984.

LEWIS, Marianne. Iterative triangulation: a theory development process using existing case studies. **Journal of Operations Management**, v.16, n.4, p.455-469, 1998.

LI, Keqiang. **Made in China 2025**. Beijing: State Council of China, 2015.

LI, Zhantao; YANG, Haidong; ZHANG, Shaqing; LIU Guosheng. "Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem with Energy and Tardiness Cost." **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.84, p.213-226, abr. 2016.

LIAO, Yongxin; DESCHAMPS, Fernando; LOURES, Eduardo; RAMOS, Luiz. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. **International journal of production research**, v.55, n.12, p.3609-3629, 2017.

LIU, Xianbing; NIU, Dongjie; BAO, Cunkuan; SUK, Sunhee; SHISHIME, Tomohiro. A survey study of energy saving activities of industrial companies in Taicang, China. **Journal of Cleaner Production**. V.26, p.79-89, maio 2012.

LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v.6, p.1-10, jun. 2017.

LUKAČ, Dusko. The fourth ICT-based industrial revolution" Industry 4.0"—HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8. **Telecommunications Forum Telfor**, p.835-838, jan. 2015.

MACDOUGALL, William. **Industrie 4.0 - Smart Manufacturing For The Future**. Berlin: Germany Trade & Invest, 2014.

MARTIN, Ralf; MUULS, Mirabelle; De PREUX, Laure; WAGNER, Ulrich. Anatomy of a paradox: management practices, organizational structure and energy efficiency. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.63, n.2, p.208-223, mar. 2012.

MARTINS, Roberto Antonio. **Abordagens quantitativa e qualitativa**. In: Paulo Augusto Cauchick Miguel (Org.). Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier. ABEPRO, 2012.

Matheus CJ, Chan PK, Piatetsky-Shapiro G. Systems for knowledge discovery in databases. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, v.5, n.6, p.903-913, dez. 1993.

MATTERN, Friedemann; FLOERKEMEIER, Christian. Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge. **Informatik-Spektrum**, v.33, n.2, p.107-121, abr. 2010.

MAY, Gokan; BARLETTA, Ilaria; STAHL, Bojan; TAISCH, Marco. Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency. **Applied Energy**, v.149, p.46-61, jul. 2015.

MAY, Gokan; STAHL, Bojan; TAISCH, Marco; KIRITSIS, Dimitris. Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, v.167, p.1464-1489, nov. 2017.

MAY, Gokan; TAISCH, Marco; KELLY, David. Enhanced energy management in manufacturing through systems integration. **IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE**, p.7525-7530, jan. 2013.

MAY, Gokan; TAISCH, Marco; STAHL, Bojan; SADR, Vahid. Toward Energy Efficient Manufacturing: A Study on Practices and Viewpoint of the Industry. **International Conference on Advances in Production Management Systems**, p.1-8, set. 2012.

MCKANE, Aimee; WILLIAMS, Robert; PERRY, Wayne; LI, Tienan. Setting the standard for industrial energy efficiency. **Proceedings of conference on energy efficiency in motor driven systems**, 2007.

MEYER, Joerg; KRUSKA, Martin; TRAUTMANN, Andreas. International energy efficiency benchmarking for plants and installations – combining strategic energy management and enhanced energy efficiency. **ECEEE**, summer study, 2003.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MINISTRY OF INDUSTRY AND INFORMATION TECHNOLOGY OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA AND STANDARDIZATION ADMINISTRATION OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. **National Intelligent Manufacturing Standard System Construction Guidelines**. Disponível em: <<https://www.dke.de/resource/blob/929020/7080b1667308545c088901b39a111756/manufacturing-guidelines-data.pdf>>. Acessado em: 10 mar. 2018.

MIRAGLIOTTA, Giovanni; SHROUF, Fadi. **Using Internet of Things to improve eco-efficiency in manufacturing: a review on available knowledge and a framework for IoT adoption**. In: EMMANOUILIDIS, Christos; TAISCH, Marco;

KIRITSIS, Dimitris. *Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services*. Springer Berlin Heidelberg, 2013.

MONOSTORI, László. Cyber-physical production systems: Roots from manufacturing science and technology. **at-Automatisierungstechnik**, v.63, n.10, p.766-776, 2015.

MORENO, Blanca; GARCIA-ALVAREZ, Maria Teresa; RAMOS, Carmen; FERNANDEZ-VAZQUEZ, Esteban. A General Maximum Entropy Econometric approach to model industrial electricity prices in Spain: A challenge for the competitiveness. **Applied Energy**, v.135, p.815-824, dez. 2014.

NATIONAL RESEARCH FOUNDATION. **Research, Innovation and Enterprise (RIE) 2015 Plan**. Singapore: Prime Minister's Office of Singapore, 2016.

O'CALLAGHAN, P; PROBERT, S. Energy management. **Applied Energy**, v.3, p.127-138, abr. 1977.

O'DRISCOLL, Eoin; O'DONNELL, Garret. Industrial power and energy metering-a state-of-the-art review. **Journal of Cleaner Production**, v.41, p.53-64, fev. 2013.

OLANREWAJU, O; JIMOH, A. Review of energy models to the development of an efficient industrial energy model. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.30, p.661-671, fev. 2014.

OWL CLUSTERMANAGEMENT GMBH. **On the Road to Industry 4.0: Solutions From the Leading-Edge Cluster It's OWL**. Disponível em: <http://www.its-owl.com/fileadmin/PDF/Informationsmaterialien/2015-On_the_road_to_Industry_4.0_-_Solutions_from_the_Leading-Edge_Cluster_it_s_OWL.pdf>. Acessado em 15 mar. 2018.

PAINULY, J; REDDY, Sudhakara. Electricity conservation programs: barriers to their implementation. **Energy Sources**, v.18, p.257-67, maio 1996.

PARAMONOVA, Svetlana; THOLLANDER, Patrik. Energy-efficiency networks for SMEs: Learning from the Swedish experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.65, p.295-307, nov. 2016.

PATTERSON, Murray. 1996. What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, V.24, P.377-390, maio 1996.

PENG, Tao; XU, Xun. A holistic approach to achieving energy efficiency for interoperable machining systems. **International Journal of Sustainable Engineering**, v.7, n.2, p.111-129, 2014b.

PENG, Tao; XU, Xun. Energy-efficient machining systems: a critical review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.72, p.1389-1406, mar. 2014a.

PETERSON, Ray; BELT, Cynthia. Elements of an energy management program. **JOM**, v.61, n.4, p.19-24, abr. 2009.

PETRECCA, Giovanni. **Industrial energy management: principles and applications**. USA: Kluwer Academic Publisher, 1992.

PLATTS, K. W.; GREGORY, M. J. Manufacturing audit in the process of strategy formulation. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 10, n.9, p. 5-26, 1990.

PLATTS, Ken. A process approach to researching manufacturing strategy. **International Journal of Operations & Production Management**, v.13, n.8, p.4-17, 1993.

PLATTS, Ken. Characteristics of methodologies for manufacturing strategy formulation. **Computer Integrated Manufacturing Systems**, v.7, n.2, p.93-99, 1994.

POSADA *et al.* Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. **Computer Graphics and Applications**, v.35, n.2, p. 26-40, 2015.

PR NEWSWIRE. **Smart Manufacturing Leadership Coalition Will Lead the New Smart Manufacturing Innovation Institute**. Disponível em: <<https://www.prnewswire.com/news-releases/smart-manufacturing-leadership-coalition-will-lead-the-new-smart-manufacturing-innovation-institute-300287952.html>>. Acessado em: 20 mar. 2018.

PTC. **China, Asia Carve Out Stake in Industry 4.0**. Disponível em: <<https://www.ptc.com/en/product-lifecycle-report/china-asia-carve-out-stake-in-industry-4-0>>. Acessado em: 25 mar. 2018.

PYE, Miriam; MCKANE, Aimee. Making a stronger case for industrial energy efficiency by quantifying non-energy benefits. **Resources, Conservation and Recycling**, v.28, n.3-4, p.171-183, 2000.

REIF, Rafael; SHIRLEY, Ann; LIVERIS, Andrew. **Report To The President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing**. Washington, DC: The President's Council of Advisors on Science and Technology, 2014.

RIDGWAY, Keith; CLEGG, Chris; WILLIAMS, David. **The Factory of the Future. Future of Manufacturing Project: Evidence Paper 29**. London: Government Office for Science, 2013

ROBLEK, Vasja; MEŠKO, Maja; KRAPEŽ, Alojz. A complex view of Industry 4.0. **SAGE Open**, v.6, n.2, 2016.

ROHDIN, Patrik; THOLLANDER, Patrik. Barriers to and driving forces for energy efficiency in the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden. **Energy**, v.31, n.12, p.1836-1844, 2006.

ROMVALL, Karin; WIKTORSSON, Magnus; BELLGRAN, Monica. Competitiveness by integrating green perspective in production—a review presenting challenges for research and industry. **Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM**, 2010.

SA, Aida; THOLLANDER, Patrik; CAGNO, Enrico. Industrial energy management gap analysis. **Innovative Energy & Research**, 2015.

SA, Aida; THOLLANDER, Patrik; CAGNO, Enrico. Assessing the driving factors for energy management program adoption. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.74, p.538-547, jul. 2017.

SAIDUR, Rahman. A review on electrical motors energy use and energy savings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, p.877-98, 2010.

SAKURAI, Yasushi; FALOUTSOS, Christos; YAMAMURO, Masashi. Stream monitoring under the time warping distance. In: **2007 IEEE 23rd International Conference on Data Engineering. IEEE**, p.1046-1055, 2007.

SALONITIS, Konstantinos; BALL, Peter. Energy efficient manufacturing from machine tools to manufacturing system. **Procedia CIRP**, v.7, p.634-639, 2013.

SANDBERG, Peter; SÖDERSTRÖM, Mats. Industrial energy efficiency: the need for investment decision support from a manager perspective. **Energy policy**, v.31, n.15, p.1623-1634, 2003.

SANDELOWSKI, Margarete. Qualitative analysis: what it is and how to begin? **Research in Nursing & Health**, v.18, p.371-375, 1995.

SAYGIN, D; WORRELL, E; PATEL, M; GIELEN, D. Benchmarking the energy use of energy-intensive industries in industrialized and in developing countries. **Energy**, v.36, p.6661-6673, nov. 2011.

SCHMIDT, Rainer; MÖHRING, Michael; HÄRTING, Ralf-Christian; REICHSTEIN, Christopher; NEUMAIER, Pascal; JOZINOVIĆ, Philip. Industry 4.0 - potentials for creating smart products: empirical research results, **Business Information Systems**, p.16-27, 2015.

SCHULZE, Mike; NEHLER, Henrik; OTTOSSON, Mikael; THOLLANDER, Patrik. Energy management in industry-a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, v.112, p.3692-3708, jan. 2016.

SEEM, John E. Using intelligent data analysis to detect abnormal energy consumption in buildings. **Energy and buildings**, v.39, n.1, p.52-58, 2007.

SHAFIQ, Syed; SANIN, Cesar; SZCZERBICKI, Edward; TORO, Carlos. Virtual engineering factory: creating experience base for Industry 4.0. **Cybernetics and Systems**, v.47, n1-2, p.32-47, 2016.

SHAFIQ, Syed; SANIN, Cesar; TORO, Carlos; SZCZERBICKI, Edward. Virtual engineering object (VEO): toward experience-based design and manufacturing for Industry 4.0, **Cybernetics and Systems**, v.46, n.1-2, p.35-50, mar. 2015.

SHIPLEY, Anna; ELLIOT, Neal. Energy efficiency programs for small and medium sized industry. **Proceedings of the 2001 ACEEE summer study on energy efficiency in industry**, v.1, p.183-196, 2001.

SHROUF, Fadi; MIRAGLIOTTA, Giovanni. Energy management based on Internet of Things: practices and framework for adoption in production management. **Journal of Cleaner Production**, v.100, p.235-246, ago. 2015.

SHROUF, Fadi; ORDIERES-MERÉ, Joaquin; GARCÍA-SÁNCHEZ, Alvaro; ORTEGA-MIER, Miguel. Optimizing the production scheduling of a single machine to minimize total energy consumption costs. **Journal of Cleaner Production**, v.67, p.197-207, mar. 2014.

SIEMIENIUCH, C.; SINCLAIR, M; HENSHAW, M. Global Drivers, Sustainable Manufacturing and Systems Ergonomics. **Applied Ergonomics**, v.51, p.104-119, nov. 2015.

SIVILL, Leena; MANNINEN, Jussi; HIPPINEN, Iikka; AHTILA, Pekka. Success factors of energy management in energy-intensive industries: development priority of

energy performance measurement. **International Journal of Energy Research**, v.37, n.8, p.936-951, 2013.

SORRELL *et al.* **Reducing Barriers to Energy Efficiency in Public and Private Organizations**. SPRU, 2000.

SORRELL, S; MALLETT, A; NYE, S. **Barriers to industrial energy efficiency: a literature review, background study for the UNIDO industrial development report (IDR) 'industrial energy efficiency pays, why is it not happening?** Brighton: University of Sussex, 2010.

SORRELL, Steve; O'MALLEY, Eoin; SCHLEICH, Joachim; SCOTT, Sue. **The Economics of Energy Efficiency: Barriers to Cost-effective Investment**. Edward Elgar Pub, 2004.

STAWICKI, Bartek; LOZO, Branka; LAJIĆ, Branka. Energy management guidelines in pulp and paper production. **Cellulose Chemistry and Technology**, v.44, n.10, p.521-529, 2010.

SUCIC, Boris; AI-MANSOUR, Fouad; PUSNIK, Matevz; VUK, Tomaz. Context sensitive production planning and energy management approach in energy intensive industries. **Energy**, v.108, p.63-73, ago. 2015.

SUK, Sunhee; LIU, Xianbing; SUDO, Kinichi. A survey study of energy saving activities of industrial companies in the Republic of Korea. **Journal of Cleaner Production**, v.41, p.301-311, fev. 2013.

SUSTAINABLE ENERGY AUTHORITY IRELAND (SEAI), 2010. **Renewable Energy in Ireland**. Disponível em: <www.seai.ie/Publications/Statistics_Publications/SEI_Renewable_Energy_2010_Update/RE_in_Ire_2010update.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2018.

TANAKA, Kanako. Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy. **Energy Policy**, v.36, p.2887-2892, ago. 2008.

TANAKA, Kanako. Review of policies and measures for energy efficiency in industry sector. **Energy Policy**, v.39, p.6532-6550, out. 2011.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ. **Energy-efficient product and process innovation in production technologies**. Disponível em: <<http://www.eniprod.tu-chemnitz.de/index.php.en>>. Acessado em: 10 jul. 2018.

THAMES, Lane; SCHAEFER, Dirk. Software-defined cloud manufacturing for Industry 4.0, **Procedia CIRP**, v.52, p.12-17, 2016.

THOBEN, Klaus; WIESNER, Stefan; WUEST, Thorsten. Industrie 4.0” and smart manufacturing-a review of research issues and application examples **International Journal of Automation Technology**, v.11, p.4-19, jan. 2017.

THOLLANDER, Patrick; BACKLUND, Sandra; TRIANNI, Andrea; CAGNO, Enrico. Beyond barriers – A case study on driving forces for improved energy efficiency in the foundry industries in Finland, France, Germany, Italy, Poland, Spain, and Sweden. **Applied Energy**, v.111, p.636-643, nov. 2013.

THOLLANDER, Patrik; DANESTIG, Maria; ROHDIN, Patrik. Energy policies for increased industrial energy efficiency evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs. **Energy Policy**, v.35, p.5774-5783, nov. 2007.

THOLLANDER, Patrik; OTTOSSON, Mikael. Energy management practices in Swedish energy intensive industries. **Journal of Cleaner Production**, v.18, p.1125-1133, ago. 2010.

THOLLANDER, Patr; PALM, Jenny. **Improving energy efficiency in industrial energy systems**. London: Springer; 2013.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v.14, p.207-222, set. 2003.

TRAPPEY, Amy; TRAPPEY, Charles; GOVINDARAJAN, Usharani; SUN, John; CHUANG, Allen. A review of technology standards and patent portfolios for enabling cyber-physical systems in advanced manufacturing. **IEEE Access**, v.4, p.7356-7382, 2016.

TRIANNI, Andrea; CAGNO, Enrico. Dealing with barriers to energy efficiency and SMEs: some empirical evidences. **Energy**, v.37, p.494-504, jan. 2012.

TRIANNI, Andrea; CAGNO, Enrico; DE DONATIS, Alessio. A framework to characterize energy efficiency measures. **Applied Energy**, v.118, p.207-220, abr. 2014.

TURNER, Wayne; DOTY, Steve. **Energy management handbook**. The Fairmont Press, 2007.

Van KRANENBURG, Rob. **The Internet of Things: A Critique of Ambient Technology and the All-Seeing Network of RFID**. Amsterdam: Institute of Network Cultures, 2007.

VASUDEVAN, Sriram; HIGGINS, Brennan. Strategic energy risk management for end users. **Journal of Structured Finance**, v.10, n.1, p.74, 2004.

VIJAYARAGHAVAN, Athulan; DORNFELD, David. Automated energy monitoring of machine tools. **CIRP annals**, v.59, n.1, p.21-24, 2010.

VIKHOREV, Konstantin; GREENOUGH, Richard; BROWN, Neil. An advanced energy management framework to promote energy awareness. **Journal of Cleaner Production**, v.43, p.103-112, mar. 2013.

VOGEL-HEUSER, Birgit; HESS, Dieter. Guest editorial Industry 4.0 – prerequisites and visions. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v.13, n.2, p.411-413, fev. 2016.

WANG, Wenbo; YANG, Haidong; ZHANG, Yingfeng; XU, Jjianxue. IoT-enabled real-time energy efficiency optimisation method for energy-intensive manufacturing enterprises. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v.31, p.362-379, jun. 2018.

WEI, Li; KEOGH, Eamonn; VAN HERLE, H.; e MAFRA-NETO, Agenor. Atomic wedge: efficient query filtering for streaming time series. In: **Fifth IEEE International Conference on Data Mining (ICDM'05)** IEEE, p.8, 2005.

WEINERT, Nils; CHIOTELLIS, Stylianos; SELIGER, Gunther. Methodology for planning and operating energy-efficient production systems. **CIRP Annals**, v.60, n.1, p.41-44, 2011.

WORRELL, Ernst; PRICE, Lynn. An integrated benchmarking and energy savings tool for the iron and steel industry. **International journal of green energy**, v.3, n.2, p.117-126, 2006.

WU, Yanbo; SHENG, Quan; ZEADALLY, Sherali. **RFID: Opportunities and challenges**. In: CHILAMKURTI, Naveen; ZEADALLY, Sherali; CHAOUCHI, Hakima. Next-Generation Wireless Technologies. New York: Springer, 2013.

XU, Li; HE, Wu; LI, Shancang. Internet of things in industries: a survey. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v.10, n.4, p.2233-2243, 2014.

XU, Xianshuo; ZHAO, Tao; LIU, Nan; KANG, Jidong. Changes of energy-related GHG emissions in China: An empirical analysis from sectoral perspective. **Applied Energy**, v.132, p.298-307, nov. 2014.

YIN, Robert; **Applications of case study research**. Sage publications, 2012.

YIN, Robert; **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4 ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2010.

ZHOU, Lirong; LI, Jianfeng; LI, Fangyi; MENG, Qqiang; LI, Jing; XU, Xingshuo. Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a

comprehensive literature review. **Journal of Cleaner Production**, v.112, p.3721-3734, jan. 2016.