

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

Rafael Petri Zanardo

**MODELO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO COM BASE EM UM
SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO**

Santa Maria, RS
2016

Rafael Petri Zanardo

**MODELO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO COM BASE EM UM SISTEMA DE
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Zanardo, Rafael Petri
Modelo de diagnóstico energético com base em um sistema de avaliação de desempenho / Rafael Petri Zanardo.- 2016.
162 f.; 30 cm

Orientador: Julio Cezar Mairesse Siluk
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS, 2016

1. Eficiência Energética 2. Gestão Energética 3. Conservação de Energia 4. Competitividade 5. Avaliação de desempenho Organizacional. Indicadores de desempenho I. Siluk, Julio Cezar Mairesse II. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Rafael Petri Zanardo. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Av. Roraima, nº 1000, prédio 7, sala 300. Santa Maria, RS
– CEP 97105-900.

Fone +55 55 3220-8619; E-mail: rafael.zanardo@hotmail.com

Rafael Petri Zanardo

**MODELO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO COM BASE EM UM SISTEMA DE
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Aprovado em 07 de outubro de 2016:

Julio Cezar Mairesse Siluk, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Lasier Gorziza de Souza, Dr. (UNISINOS)
(Coorientador)

Leandro Michels, Dr. (UFSM)

Paulo Smith Scheneider, PhD. (UFRGS)

Santa Maria, RS
2016

RESUMO

MODELO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO COM BASE EM UM SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

AUTOR: Rafael Petri Zanardo
ORIENTADOR: Julio Cezar Mairesse Siluk

O Brasil tem o maior custo tarifário de energia elétrica do mundo, com o agravante de ter o menor desenvolvimento em eficiência energética. Tal contexto tem prejudicado fortemente a competitividade do setor industrial brasileiro, que consome aproximadamente um terço de toda energia gerada no país. Frente a esse cenário, a pesquisa desenvolvida nesta dissertação tem por objetivo propor uma modelagem para diagnosticar o nível de desempenho energético em empresas do setor industrial, utilizando-se para tanto dos conceitos da avaliação de desempenho organizacional e abordagem multicritério de apoio à decisão. A modelagem proposta foi desenvolvida com base nos pressupostos dos *Key Performance Indicators* (KPI), organizados em uma estrutura hierárquica, aonde foram elencados seis Pontos de Vista Fundamentais, que se desdobraram em 58 Fatores Críticos de Sucesso, selecionados a partir das recorrências identificadas no referencial teórico. A determinação da influência de cada indicador na análise proposta foi realizada por meio do julgamento de prioridades da Análise Hierárquica de Processos (AHP). Para avaliar a interação dos índices de desempenho dos indicadores na modelagem, desenvolveu-se planilhas eletrônicas através do software Excel® para o processamento de dados e geração de relatórios. A modelagem foi submetida a testes em uma empresa localizada no polo industrial de Manaus, retornando em sua fase de avaliação um índice que representa o seu desempenho energético, permitindo-se assim a discussão dos resultados obtidos. Posteriormente, foram propostas ações de adequação com o objetivo de simular os possíveis ganhos de desempenho obtidos através da adoção de ações estratégicas. Ao término, concluiu-se que é possível diagnosticar o nível de desempenho energético em empresas do setor industrial por meio da ferramenta proposta.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Gestão Energética. Conservação de Energia. Competitividade. Avaliação de desempenho Organizacional. Indicadores de desempenho.

ABSTRACT

ENERGY DIAGNOSIS MODEL BASED ON A PERFORMANCE ASSESSMENT SYSTEM

AUTHOR: RAFAEL PETRI ZANARDO
ADVISOR: JULIO CEZAR MAIRESSE SILUK

Brazil has the largest tariffs cost of power in the world, with the aggravating circumstance of having the lowest development in energy efficiency. This context has undermined the competitiveness of Brazilian industrial sector, which consumes approximately one third of all power generated in the country. In the face of this scenario, the research developed in this dissertation aims to propose a model for diagnosing the level of energy performance in companies in the industrial sector, using both the concepts of organizational performance evaluation and approach to multicriteria decision aid. The modeling proposal was developed based on the assumptions of Key Performance Indicators (KPI), arranged in a hierarchical structure, where they were listed six fundamental points of view that if ramified in 58 critical success factors, selected from the recurrences identified in the theoretical framework. The determination of the influence of each indicator in the proposed analysis was performed by means of the judgment of priorities of the Hierarchical Analysis of Processes (AHP). To evaluate the interaction of performance indices of the indicators in modeling, developed spreadsheets through the software Excel® for data processing and report generation. The modeling was tested in a company located in the industrial pole of Manaus, returning in their evaluation phase of an index that represents the energy performance, allowing the discussion of results obtained. Subsequently, they were proposed actions of adequacy with the objective of simulating the potential performance gains achieved through the adoption of strategic actions. At the end, it is concluded that it is possible to diagnose the level of energy performance in companies in the industrial sector by means of tool proposal.

Keywords: Energy efficiency. Energy Management. Energy conservation. Competitiveness. Evaluation of organizational performance. Performance Indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Desenvolvimento da eficiência energética.....	23
Figura 2 -	Estrutura do trabalho	25
Figura 3 -	Etapas de um programa de uso racional de energia	29
Figura 4 -	Curvas características de um motor elétrico.....	40
Figura 5 -	Comparativo de eficiência entre vários tipos de lâmpadas.....	49
Figura 6 -	Substituição de outros sistemas de iluminação por LED.	50
Figura 7 -	Processo de apoio à decisão.....	66
Figura 8 -	Estrutura da AHP	69
Figura 9 -	Desenvolvimento da pesquisa.	73
Figura 10 -	Tela inicial da ferramenta	92
Figura 11 -	Estrutura hierárquica da avaliação do desempenho energético.	92
Figura 12 -	Recorte de tela da ferramenta, formulário "estrutura hierárquica".	93
Figura 13 -	Recorte de tela, formulário "avaliação dos PVF".	94
Figura 14 -	Recorte de tela, "PVF - 1"	95
Figura 15 -	Recorte de tela da ferramenta "avaliação dos PVF".	96
Figura 16 -	Recorte de tela, "PVF - 5"	96
Figura 17 -	Gráfico comparativo entre ACL e ACR	98
Figura 18 -	Simulação da migração do ACR para ACL.....	99
Figura 19 -	Gráfico dos indicadores de desempenho - ações administrativas	101
Figura 20 -	Gráfico dos indicadores de desempenho - motores elétricos	103
Figura 21 -	Gráfico dos indicadores de desempenho - sistemas elétricos.....	106
Figura 22 -	Gráfico dos indicadores de desempenho – iluminação	108
Figura 23 -	Gráfico dos indicadores de desempenho – climatização.....	110
Figura 24 -	Resumo das perdas do sistema de ar-comprimido.....	111
Figura 25 -	Gráfico dos indicadores de desempenho - sistema de ar-comprimido.....	112
Figura 26 -	Representatividade dos PVF	116
Figura 27 -	Índice de desempenho dos PVF's	119
Figura 28 -	Índice atual de eficiência energética X incremento.....	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Divisão dos grupos tarifários.	32
Quadro 2 - Diferença entre o ambiente de contratação livre (ACL) e o ambiente de contratação regulada (ACR).	34
Quadro 3 - Métodos para a mensuração de desempenho.	62
Quadro 4 - Enquadramento metodológico.	71
Quadro 5 - Indicadores relacionados ao PVF 1.	78
Quadro 6 - Indicadores relacionados ao PVF 2.	79
Quadro 7 - Indicadores relacionados ao PVF 3.	80
Quadro 8 - Indicadores relacionados ao PVF 4.	81
Quadro 9 - Indicadores relacionados ao PVF 5.	82
Quadro 10 - Indicadores relacionados ao PVF 6.	83
Quadro 11 - Indicador referente ao FCS 2.1.	85
Quadro 12 - Legenda dos critérios estabelecidos.	113
Quadro 13 - Plano de ação.	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fluxo energético	21
Tabela 2 - Faixas de aplicação dos compressores	58
Tabela 3 - Variação do consumo com a temperatura de aspiração.....	59
Tabela 4 - Escala de julgamento de importância do método AHP.....	88
Tabela 5 - Relação do índice randômico com a ordem da matriz de julgamento ..	90
Tabela 6 - Comparação par a par dos critérios estabelecidos.....	113
Tabela 7 - Matriz de julgamento baseada na comparação par a par dos critérios.	114
Tabela 8 - Matriz de julgamento normalizada.....	114
Tabela 9 - Pesos calculados para cada critério.	115
Tabela 10 - Valores encontrados para os vetores B e C	115
Tabela 11 - Pontos de vista fundamentais e seus valores de autovalor máximo, índice de consistência e relação de consistência, e Fatores Críticos de Sucesso e seus pesos calculados.	116
Tabela 12 - Índice de desempenho e representatividade dos PVF's.....	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ABNT NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACE	Associação Brasileira de Grande Consumidores
ACEEE	<i>American Council for an Energy-Efficient Economy</i>
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APO	Administração Por Objetivos
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEE	Coeficiente de Eficiência Energética
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CNI	Confederação Nacional da Indústria
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
ELECTRE	<i>Elimination Et Choix Traduisant la Réalité</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EREX	Energia Reativa Excedente
FCS	Fator Crítico de Sucesso
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FIESC	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
IC	Índice de Consistência
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> (Indicador Chave de Desempenho)
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MCDA	<i>Multi Criteria Decision Aid</i> (Apoio Multicritério à Decisão)
MME	Ministério de Minas e Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PMOC	Plano de Manutenção Operação e Controle
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations</i>
PVF	Ponto de Vista Fundamental
RC	Razão de Consistência
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SMD	Sistema de Medição de Desempenho
TUSD	Tarifa do Uso de Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
1.2	OBJETIVOS	20
1.2.1	Objetivo geral	20
1.2.2	Objetivos específicos	20
1.3	JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA.....	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	27
2.2	DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO E <i>BENCHMARKING</i> DE ENERGIA.....	28
2.3	ANÁLISE DOS FATORES QUE COMPÕEM O DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.....	30
2.3.1	Ações administrativas	30
2.3.1.1	<i>Contratação</i>	31
2.3.1.2	<i>Contexto regulatório da tarifação da energia elétrica no Brasil</i>	31
2.3.1.3	<i>Gestão do contrato de energia</i>	34
2.3.1.4	<i>Comissão interna de conservação de energia (CICE)</i>	39
2.3.2	Motores elétricos	39
2.3.3	Sistemas elétricos	42
2.3.4	Iluminação	48
2.3.5	Climatização	52
2.3.6	Sistema de ar-comprimido	56
2.4	SISTEMAS DE MENSURAÇÃO DE DESEMPENHO ORGANIZACIONAL (SMD).....	61
2.4.1	Key performance indicator (KPI)	63
2.5	ABORDAGEM MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO	65
2.5.1	Analytic hierarchy process (AHP)	68
3	METODOLOGIA	71
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO	71
3.2	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	72
4	ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA E CONSTRUÇÃO DA MODELAGEM	77
4.1	CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE APOIO À DECISÃO.....	77
4.2	CONSTRUÇÃO DOS INDICADORES E ESCALAS DE AVALIAÇÃO.....	84
4.3	VALIDAÇÃO DOS INDICADORES E ESCALAS DE AVALIAÇÃO.....	86
5	MODELAGEM	87
5.1	COLETA DE DADOS	87
5.2	MENSURAÇÃO DOS PESOS DOS INDICADORES.....	87
5.3	CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	91
6	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	97
6.1	RESULTADOS	97
6.1.1	Índices de desempenho dos Fatores Críticos de Sucesso	97
6.1.1.1	<i>Ações Administrativas</i>	97
6.1.1.2	<i>Motores Elétricos</i>	101
6.1.1.3	<i>Sistemas Elétricos</i>	103

6.1.1.4	<i>Iluminação</i>	106
6.1.1.5	<i>Climatização</i>	108
6.1.1.6	<i>Sistema de ar-comprimido</i>	110
6.1.2	Pesos dos Critérios	113
6.1.3	Índice de desempenho energético dos Pontos de Vista Fundamentais	118
6.1.4	Índice global de eficiência energética	120
6.2	SIMULAÇÕES	121
7	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
	APÊNDICES	141
	APÊNDICE A – ESTRUTURA HIERARQUICA	143
	APÊNDICE B – INDICADORES CONSTRUÍDOS PARA A MODELAGEM	145

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é considerada um insumo fundamental para assegurar o desenvolvimento econômico das empresas, em especial, daquelas que fazem parte do setor industrial, que atualmente consome aproximadamente um terço de toda energia elétrica gerada no Brasil (ADETUTU et al., 2016; EPE, 2015).

A evolução desse consumo, aliado a progressiva dificuldade para atender tal crescimento, o elevado custo das alternativas de suprimento e as dificuldades inerentes a um mercado globalizado, que exige redução dos custos de produção, a fim de proporcionar preços competitivos, tem despertado o interesse das indústrias pelos assuntos relacionados à eficiência energética, uma vez que esta visa reduzir o consumo e os custos, sem perder, em nenhum momento, a qualidade e eficiência dos processos produtivos (APERGIS et al., 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005; BACKLUND; THOLLANDER; 2015; RUSSELL, 2010).

Há, entretanto, uma série de obstáculos para a adoção sistemática de medidas de eficiência energética no dia a dia de uma empresa ou organização, fazendo com que a utilização de ferramentas gerenciais voltadas para esse fim tornem-se indispensáveis, já que são capazes de auxiliar as empresas na identificação, mensuração e análise dos fatores que comprometem o seu desempenho energético, direcionando-as para investimentos que aumentarão o seu nível de competitividade (APEANING; THOLLANDER, 2013; BLASS et al., 2013; LEITE, 2010).

Nesse sentido, destaca-se o diagnóstico energético¹, o qual possui a finalidade de direcionar a conservação de energia e reduzir o impacto dos seus custos nas operações industriais através da identificação de tendências negativas de consumo (NORO; LAZZARIN, 2014; YOUNG et al., 2014).

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Com base nessas premissas, apresenta-se a seguinte problemática: É possível diagnosticar o potencial de conservação de energia em uma organização com base em um sistema de avaliação de desempenho?

¹ ou Auditoria Energética.

1.2 OBJETIVOS

A fim de demonstrar o problema levantado, são apresentados a seguir o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa a ser realizada.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver a modelagem de um diagnóstico energético, utilizando um sistema de medição de desempenho.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) descrever o panorama da energia elétrica no Brasil, com ênfase no setor industrial;
- b) identificar quais são os fatores mais relevantes a serem analisados em um diagnóstico energético;
- c) propor uma modelagem com base nos fatores identificados;
- d) verificar o potencial de conservação de energia em uma empresa com base na modelagem proposta.

1.3 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA

O aumento do consumo de energia dos países em desenvolvimento, especialmente a China e a Índia, representam a maior parte do aumento global de consumo de energia nos últimos anos (APERGIS et al., 2015; CSEREKLYEI; STERN, 2015). O Brasil, ainda que em outras proporções, também contribui para esse crescimento. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014), o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu nas últimas duas décadas, a razão de 3,3% ao ano.

Em razão desse crescimento, foram realizadas diversas alterações de infraestrutura quanto à geração e distribuição de energia, no entanto, tais modificações não foram suficientes para a redução do seu custo, especialmente, para a indústria, que teve no acumulado do ano de 2015, um crescimento do valor tarifário de 51,7% (EPE, 2015; MME, 2015).

Atualmente, a indústria é setor com a maior demanda por energia elétrica no Brasil, chegando a consumir 33% de toda a energia produzida no país, conforme demonstrado no fluxo energético ilustrado pela Tabela 1 (EPE, 2015), sendo, portanto, a mais prejudicada com essa elevação do custo energético:

Tabela 1 - Fluxo energético

Geração de Eletricidade			Oferta Interna de Energia	Consumo de Eletricidade		
Hidráulica	65,2%	407,2 TWh	624,3 TWh	Industrial	33%	205,9 TWh
Gás Natural	13%	81,1 TWh		Residencial	21,2%	132 TWh
Biomassa	7,4%	46,2 TWh		Transportes	0,3%	1,9 TWh
Derivados de Petróleo	5,7%	35,5 TWh		Agropecuário	4,3%	26,7 TWh
Carvão Mineral e Derivados	4,3%	26,7 TWh		Setor Energético	5%	31,2 TWh
Nuclear	2,5%	15,4 TWh		Público	6,8%	42,6 TWh
Eólica	2%	12,2 TWh		Comercial	14,5%	90,6 TWh
					Perdas	14,9%

Fonte: Adaptado de EPE (2015).

O alto custo energético deve-se, em especial, ao custo da geração da energia, que no Brasil, em razão do baixo desenvolvimento de outras fontes geradoras, acaba limitado à disponibilidade dos recursos hídricos, que tem passado por períodos de escassez nos últimos anos (ALMEIDA; BENASSI, 2015).

Um recente estudo publicado pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), mostra que o custo médio da tarifa de energia para a

indústria no Brasil é de US\$ 1.910,36² por MW/h, tendo esse sido considerado o maior valor tarifário do mundo em 2015³, comparados a outros 27 países (FIRJAN, 2015).

Entre os países que compõe este ranking, estão as principais forças industriais do mundo, como Estados Unidos e China, sendo que o custo da tarifa de energia praticada no Brasil é 111,2% superior à média desses países (FIRJAN, 2015).

As despesas com geração, transmissão e distribuição da energia representam 52,5% do total dos custos, seguido pelos impostos, que representam 27% do custo total. O restante deve-se às bandeiras tarifárias, perdas do sistema e aos encargos setoriais (FIRJAN, 2015).

Tais custos, somados a essencialidade desse insumo para o setor, acabam por impactar diretamente o custo de produção da Indústria brasileira, que a cada ano que passa, perde competitividade no mercado internacional (SCHWAB; SALA-I-MARTIN, 2015, 2016). De acordo com os dados divulgados pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI), no primeiro semestre de 2015, o aumento do custo da produção das indústrias brasileiras foi de 28,4%, sendo que 73% desse total foram relativos aos gastos com energia (CNI, 2015).

Diante desse contexto, a eficiência energética surge como uma solução para o setor industrial brasileiro, tendo em vista que os resultados das medidas de conservação de energia refletem tanto na redução dos custos (BATISTA, 2013; CROUCHER, 2011), quanto na otimização do consumo da energia (OIKONOMOU et al., 2009).

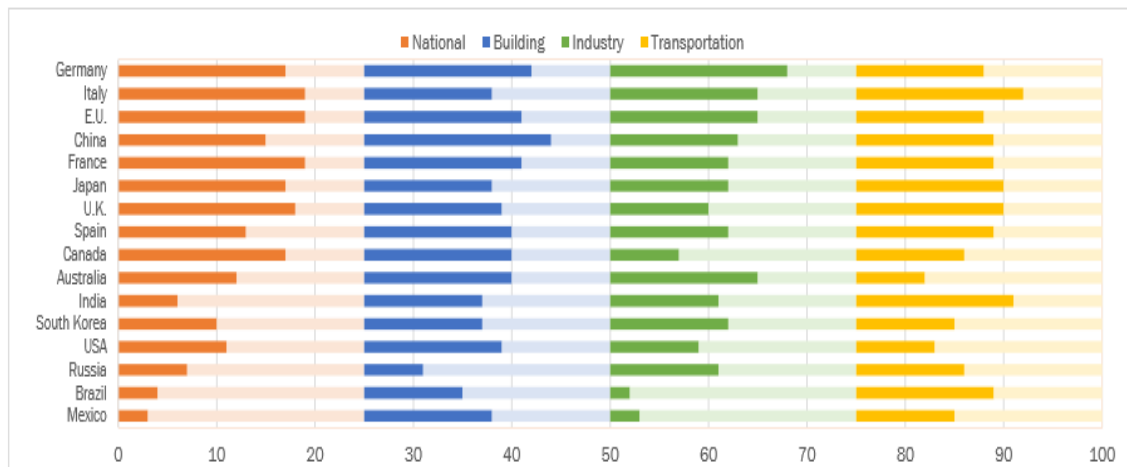
De acordo com os dados publicados por Young et al., (2014), por meio do relatório da ACEEE⁴ (*American Council for an Energy-Efficient Economy*), o Brasil tem apresentado o menor grau de eficiência energética para o setor industrial entre os países citados, conforme demonstra a Figura 1:

² Este valor em reais representa R\$ 543,8 por MW/h. Este valor foi convertido para o dólar utilizando a cotação do dia 13/08/2015, US\$ 3,5130.

³ A Pesquisa da Firjan “Quanto Custa a Energia Elétrica para a Indústria no Brasil?”. Os dados são relativos ao mês de maio de 2015.

⁴ ACEEE é uma organização sem fins lucrativos, fundada em 1980, com a missão de agir como um catalisador na promoção de políticas de eficiência energética, programas, tecnologias, investimentos e comportamentos, a fim de dar suporte a prosperidade econômica, a segurança energética e a proteção ambiental.

Figura 1 - Desenvolvimento da eficiência energética.



Fonte: YOUNG et al., (2014)

Este relatório classifica as 16 principais economias do mundo com base no grau de eficiência no uso de energia nos setores de transporte, edificação, indústria e políticas públicas. As economias avaliadas representam 81% do PIB mundial e 71% do consumo global de energia (YOUNG et al., 2014).

Dentre os diversos pontos avaliados estão:

- investimentos em eficiência energética;
- estabelecimento de normas mínimas de performance;
- investimentos em pesquisa e desenvolvimento;
- implantação de ferramentas de gestão.

Em recente estudo confeccionado pelo centro de estudos em sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGV), denominado de *“Implementação do plano indústria de baixo carbono”* (2015), foram apontados os principais fatores que levam o Brasil a ter este baixo desenvolvimento da eficiência energética junto ao setor industrial.

Dentre os aspectos apontados no referido estudo, destacam-se (Gvces, 2015):

- a dificuldade de captação de recursos internos para este fim, já que 53% das empresas brasileiras já estão no seu limite de endividamento ou, até mesmo, além desse limite;
- a falta de visão dos gestores com conseqüente falta de direcionamento das empresas para adoção de medidas de conservação de energia;

- c) a competição interna por recursos financeiros nas empresas, visto que projetos de eficiência energética são geralmente considerados como investimento, sendo, desta forma, contabilizados como despesas de capital e não como projetos operacionais.

Outro fator que contribui para os baixos índices de eficiência alcançado pelo Brasil foi citado, junto ao relatório *Energy Efficiency Market Report 2015* pela *International Energy Agency* (IEA), que conclui que a falta de conhecimento técnico qualificado dos agentes é um dos principais fatores para a obtenção de tais índices.

Assim, considerando que o atual cenário energético brasileiro é de alto custo da energia, aliado à baixos índices de desenvolvimento em eficiência energética, a elaboração de métodos que auxiliem no controle e uso da energia, com a geração de indicadores que apontem os fatores que afetam diretamente no consumo final, tornam-se essenciais para facilitar o direcionamento dos investimentos pelos gestores nas indústrias (MARQUES et al., 2007).

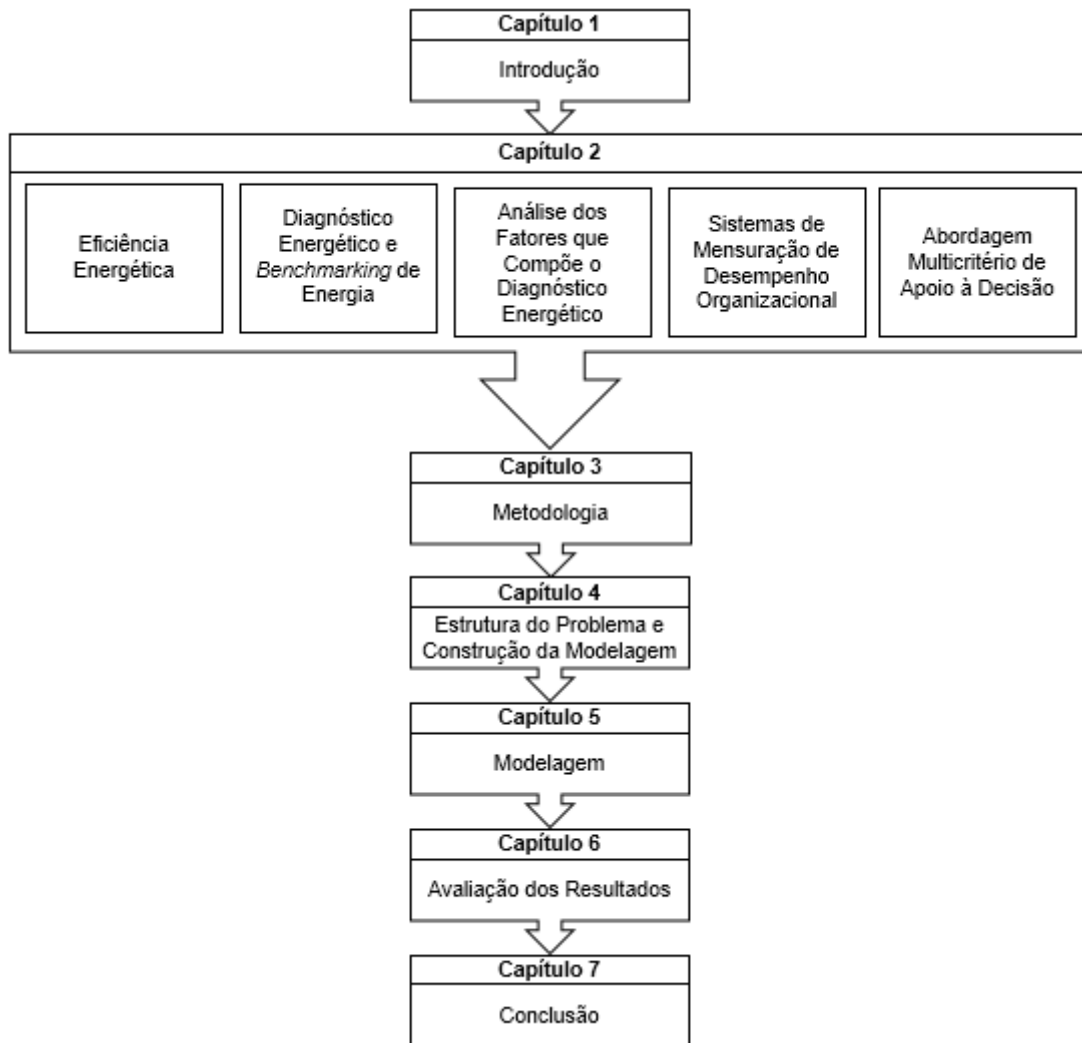
Além da relevância do presente estudo junto ao mercado, quando analisado sob a perspectiva acadêmica, também é possível afirmar a sua importância. As buscas realizadas nos últimos dois anos junto ao portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), junto às bases Scopus, Science Direct e Emerald, com a combinação das palavras-chave “*energy efficiency; performance evaluation; industry*” reportaram 40 artigos para a combinação “*energy efficiency; performance evaluation*” e 195 artigos para a combinação “*energy efficiency; industry*”, entretanto, dos 235 artigos analisados não foram encontradas propostas que se aproximem da abordagem realizada nesta pesquisa.

Portanto, a partir da análise bibliométrica e das elucidações apresentadas, pode-se afirmar que a área do conhecimento direcionada para modelos de gestão em eficiência energética através da avaliação de desempenho em consumidores industriais, configura-se como um campo a ser explorado, confirmando a importante contribuição deste estudo para as áreas da academia e do empresariado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho está estruturado em seis capítulos, como pode ser visualizado na Figura 2:

Figura 2 - Estrutura do trabalho



Fonte: Autor (2016)

O primeiro capítulo compreende a introdução do trabalho, a qual tem por finalidade contextualizar o problema de pesquisa, justificar sua relevância e apresentar o objetivo geral e os objetivos específicos.

O segundo capítulo contempla o referencial teórico utilizado como base para a construção da modelagem proposta, abordando conceitos sobre eficiência energética, diagnóstico energético e *benchmarking* de energia, sistemas de avaliação de desempenho organizacional e análise multicritério de apoio a decisão.

O terceiro capítulo se concentra na exposição metodológica do trabalho, por meio da classificação da pesquisa e na descrição dos procedimentos realizados.

No quarto capítulo são elucidados os procedimentos adotados na estruturação do problema e para a construção da modelagem de avaliação do

desempenho energético para indústrias, sendo esta fase composta pela construção da árvore de apoio a decisão, construção dos indicadores e escalas de avaliação e sua validação.

No quinto capítulo são apresentados e discutidos os passos utilizados na modelagem dos indicadores construídos, os quais foram elucidados no capítulo anterior. Essa fase é composta pelas etapas de coleta de dados, mensuração dos pesos dos indicadores e construção da ferramenta de diagnóstico energético.

A modelagem será submetida a testes em uma empresa durante a fase de avaliação dos resultados, o que será abordado no sexto capítulo.

No sétimo capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas com a pesquisa, além da exposição das limitações e sugestões para estudos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A Eficiência energética, segundo a *International Energy Agency* (2016), é uma forma de gerir e restringir o crescimento no consumo de energia. Um processo é considerado mais eficiente se oferece mais serviços sob a mesma demanda de energia, ou os mesmos serviços sob menor consumo de energia.

Essa definição vai de encontro ao entendimento de Vianna et al., (2012), que também afirmam em seu estudo que a eficiência energética aumenta quando se consegue realizar um serviço e/ou produzir um bem com uma quantidade de energia inferior à que era usualmente consumida.

A Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO) (2016), por sua vez, a define como a relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. Nessa perspectiva, segundo Laitner (2013), a eficiência energética é um recurso invisível, uma vez que seu principal indicador é determinado pela energia que não foi gasta em um determinado processo, em um determinado período de tempo.

Ainda, segundo a definição de Boyd (2014), a eficiência energética é uma medida de desempenho relativo que exige a escolha de um ponto de referência, a fim de que possa ser realizado um comparativo do uso da energia. O autor citado denomina essa diferença entre o nível observado e potencial de desempenho de "lacuna de eficiência".

Especificamente para o setor industrial, Russell (2010) afirma em seu estudo que a diminuição dessa lacuna conceituada por Boyd (2014) é obtida a partir da otimização de todos os sistemas e atividades que, de forma direta ou indireta, dependem dos recursos energéticos.

A compreensão de tais conceitos, por sua vez, não é suficiente para que sejam definidas estratégias na busca pelo alcance da eficiência energética junto aos processos industriais, sendo necessária a tomada de ações nesse sentido, a fim de potencializar a redução dos desperdícios energéticos e das despesas sem que isso afete negativamente os níveis de produtividade, serviços e conforto (BACKLUND; THOLLANDER; 2015; RUSSELL, 2010).

Por tais motivos, como um passo inicial para a tomada de decisões a fim de alcançar maior eficiência energética, especialmente no ambiente industrial, mostra-se necessária a realização de um diagnóstico energético, a fim de minimizar as incertezas no processo de mensuração da eficiência energética (LAITNER, 2013; YOUNG et al., 2014).

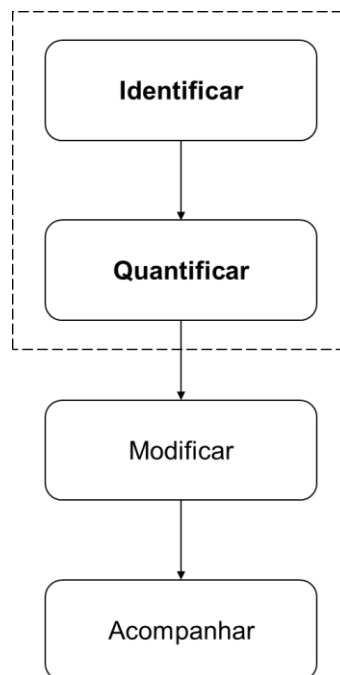
2.2 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO E *BENCHMARKING* DE ENERGIA

O diagnóstico energético é uma ferramenta utilizada para levantar e estimar como e em que quantidades as diversas formas de energia estão sendo gastas numa edificação, em seus sistemas (ar condicionado, iluminação, motores elétricos, etc.), ou em aplicações industriais, em seus processos (ar comprimido, vapor, bombeamento, etc.). A partir desse levantamento, são realizados estudos que permitem avaliar perdas e seus custos decorrentes, para então indicar medidas corretivas, avaliar investimentos, calcular o seu tempo de retorno, com o propósito de orientar os gerentes do empreendimento na tomada de decisões (PENA, 2011).

Especificamente com relação às unidades consumidoras industriais, Vianna et al., (2012), afirmam que o diagnóstico energético visa estudá-las, a partir do levantamento do perfil de consumo, comparando-o com uma amostra dos principais setores produtivos. Ainda, sustenta que, eventualmente, o diagnóstico requer levantamento de dados em campo, que permitam identificar qualitativamente os pontos críticos e indicar necessidades de atuação em equipamentos específicos, através de relatórios padronizados. O autor destaca, ainda, que o diagnóstico não trata com detalhes os aspectos econômicos abordando essencialmente, eletricidade.

A promoção da eficiência energética passa necessariamente por uma estrutura gerencial, de porte e abrangência compatíveis à empresa analisada e que visa, em relação aos fluxos energéticos, proceder às etapas mostradas na Figura 3 (VIANNA et al., 2012):

Figura 3 - Etapas de um programa de uso racional de energia



Fonte: Adaptado de Vianna et al., (2012).

É necessário diagnosticar a realidade energética para então estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhoria e de redução de perdas e acompanhar seus resultados, em um processo contínuo (VIANNA et al., 2012).

Das quatro etapas anteriores, o diagnóstico energético atende às duas primeiras, identificando e quantificando os fluxos energéticos ao longo do processo produtivo de bens e serviços. Dessa forma, permite o início ordenado e a continuidade de um programa de eficiência energética, através das respostas aos seguintes questionamentos (VIANNA et al., 2012):

- a) quanta energia está sendo consumida?
- b) quem está consumindo energia?
- c) como se está consumindo energia, com qual eficiência?

Assim como o diagnóstico energético, o *Benchmarking*⁵ de Energia se propõe a responder tais perguntas, entretanto, de acordo com Worrell (2007), a utilização desta ferramenta, pressupõe que o desempenho energético de uma planta industrial seja comparado a uma métrica que represente o desempenho “ideal”. Ao mesmo tempo que o *benchmarking* fornece *insights* sobre o desempenho energético relativo

⁵ *Benchmarking* neste trabalho se refere a “Análise Comparativa”.

da planta, ele também é o ponto de partida para análise de novas oportunidades de melhoria.

Para Ke et al., (2013), os potenciais de eficiência energética industrial são analisados inicialmente através da utilização de indicadores de consumo e *benchmarking* de energia. Segundo o autor, essa análise é útil para a compreensão dos padrões de uso da energia, identificação das ineficiências no seu uso, assim como, para estimar o potencial de conservação de energia.

Na pesquisa em questão, os conceitos do *benchmarking* de energia serão aplicados junto ao diagnóstico energético, uma vez que, por meio dele será traçado o perfil de consumo da empresa analisada, enquanto que com o *benchmarking* de energia, este perfil será comparado a um padrão “ideal” de desempenho, a fim de quantificar a ineficiência.

Essa lacuna de eficiência energética será avaliada a partir da análise de seis pontos de consumo de uma planta que representam mais de 50% do consumo e dos custos que as indústrias têm com energia. São eles, ações administrativas, motores elétricos, sistemas elétricos, iluminação, climatização e sistema de ar-comprimido (CNI, 2016).

2.3 ANÁLISE DOS FATORES QUE COMPÕEM O DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

A partir da identificação dos fatores que compõem o diagnóstico energético, diferentes perspectivas de análise podem ser realizadas para prospecção de oportunidades de melhoria em eficiência energética. Justamente por isso, é que o aprofundamento teórico desses fatores é fundamental para entendimento e validação da abordagem prática que será efetuada em tópico posterior.

2.3.1 Ações administrativas

As ações técnicas ligadas às medidas de eficiência energética atuam no sentido da redução do consumo, enquanto as ações administrativas envolvem os aspectos contratuais, mudanças de hábitos e procedimentos internos, no intuito de reduzir o custo da energia (BATISTA, 2013). A seguir, portanto, serão abordados os principais aspectos relacionados à contratação de energia, e a implementação de procedimentos voltados à utilização eficiente da energia.

2.3.1.1 Contratação

Dentre as ações administrativas voltadas para a eliminação de desperdícios, destaca-se, em especial, a própria contratação de energia junto às distribuidoras. Isso porque, a contratação de energia tem papel fundamental dentro dos conceitos de administração aplicados aos sistemas energéticos, visto que a partir do momento inicial da contratação se estabelecerá um perfil de consumo que poderá ser eficiente ou ineficiente (BATISTA, 2013).

Dessa forma, para uma melhor gestão de tais ações, compreender a estrutura tarifária e os conceitos regulatórios que envolvem o setor elétrico são fundamentais para a correta tomada de decisão dentro da proposta de gestão energética anteriormente referida (GUILLIOD; CORDEIRO, 2011).

2.3.1.2 Contexto regulatório da tarifação da energia elétrica no Brasil

Os investimentos em conservação de energia elétrica poderão ser viabilizados em função da adequada utilização de energia elétrica, tendo em vista as condições gerais de fornecimento em vigência, que por sua vez, são fixadas no Brasil pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

A tarifa de energia elétrica praticada está diretamente relacionada a tensão na qual os consumidores de energia estão ligados. Segundo a Resolução 414/2010 da ANEEL, atualmente vigente, tais são divididos em três categorias: baixa, média e alta tensão. Ao final estas categorias são divididas em apenas dois grupos: Grupo A (alta e média tensão) e Grupo B (baixa tensão).

Quadro 1 - Divisão dos grupos tarifários.

GRUPOS TARIFÁRIOS			
Grupo A – Média e Alta Tensão		Grupo B – Baixa Tensão	
SUBGRUPO A	DESCRIÇÃO	SUBGRUPO B	DESCRIÇÃO
A1	230 kV ou mais	B1	Residencial
A2	88 kV a 138 kV		
A3	69 kV	B2	Rural
A3a	30 kV a 44 kV		
A4	2,3 kV a 25 kV	B3	Demais classes
AS	Tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição e enquadradas neste. Grupo em caráter opcional.		
		B4	Iluminação pública

Fonte: Aneel (2015).

Os consumidores de baixa tensão são aqueles em a tensão nominal é igual ou inferior a 1 kV, enquanto os consumidores de media tensão tem seu intervalo de consumo definido entre 1 kV e 69 kV. Por fim, os consumidores de alta tensão são aqueles cuja tensão nominal é superior a 69 kV e inferior a 230 kV, ou são instalações com tensão nominal igual ou superior a esta quando especificamente definidas pela ANEEL, conforme ilustrado no Quadro 1 (ANEEL, 2015).

Ainda, além do grupo tarifário no qual a unidade consumidora estiver inserida, outro fator também influencia diretamente no valor da tarifa, o qual é denominado pela ANEEL como modalidade tarifária e conceituado como o conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas (ANEEL, 2015).

Diferentemente do Grupo, a modalidade tarifária é aquela que é escolhida pelo titular da unidade consumidora de acordo com o seu perfil de consumo. Ainda, conforme definido pela Agência Reguladora por meio da Resolução 414/2010, as

modalidades tarifárias são subdivididas nas seguintes categorias (ANEEL, 2015):

- a) convencional monômnia: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia;
- b) horária branca: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, exceto para o subgrupo B4 e para as subclasses Baixa Renda do subgrupo B1, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia;
- c) convencional binômnia: aplicada às unidades consumidoras do grupo A caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia;
- d) horária verde: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência;
- e) horária azul: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia.

Os clientes de baixa tensão estão sujeitos as tarifas do grupo B, a qual é a modalidade convencional monômnia ou horária branca, que tarifa apenas o consumo, enquanto para os clientes de média e alta tensão fatura-se o consumo registrado e também a demanda contratada ou a medida (a que for maior), sendo esta binomial, representando a cobrança pela utilização da infraestrutura do setor elétrico.

Oportuno esclarecer que além da opção pela modalidade tarifária, a demanda contratada⁶ representa outro fator de influência no perfil de consumo das unidades consumidoras, pois diz respeito ao volume de energia que ela necessitará de acordo com as atividades que exerce. Em função disso, os clientes de média e alta tensão possuem mais opções de tarifas, sendo estes enquadrados nas modalidades tarifárias convencional binômnia, horária azul ou horária verde.

A compreensão do contexto regulatório acima descrito e dos conceitos que

⁶ Conforme conceito da Resolução 414/2010 da ANEEL, artigo 2º, XXI: demanda contratada: demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados em contrato, e que deve ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

envolvem o setor energético são essenciais para que seja possível fazer um estudo do perfil de consumo das unidades consumidoras, e, conseqüentemente, realizar o diagnóstico energético a fim de obter a eficiência na sua contratação. A redução do faturamento obtida através deste diagnóstico juntamente das ações decorrentes do seu resultado permite uma mudança sensível no perfil de consumo de energia elétrica, que, por sua vez, influencia nas decisões contratuais, permitindo um melhor ajuste tarifário com novo dimensionamento da demanda contratada (GUILLIOD; CORDEIRO, 2011; BATISTA, 2013).

2.3.1.3 Gestão do contrato de energia

Após a análise da estrutura tarifaria é necessário que se elucide as opções de contratação de energia, para que seja possível realizar a sua gestão. Os consumidores do Grupo A, podem ser cativos, obedecendo as regras do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou livres, regidos pelas normas do Ambiente de Contratação Livre (ACL). Aquele que optar pelo ACR deve contratar a energia da distribuidora da região em que se encontra. Já os clientes que optarem pelo ACL, podem adquirir energia diretamente dos geradores, via comercializadoras (ABRACE, 2016). O Quadro 2 abaixo demonstra a diferença entre as duas formas de contratação:

Quadro 2 - Diferença entre o ambiente de contratação livre (ACL) e o ambiente de contratação regulada (ACR).

(continua)

CONTRATAÇÃO FATORES	AMBIENTE LIVRE (ACL)	AMBIENTE REGULADO (ACR)
PARTICIPANTES	Geradoras, comercializadoras, consumidores livres e especiais	Geradoras, distribuidoras e comercializadoras podem negociar energia somente nos leilões de energia existente – (Ajuste e A-1)
CONTRATAÇÃO	Livre negociação entre os compradores e vendedores	Realizada por meio de leilões de energia promovidos pela CCEE, sob delegação da ANEEL

(conclusão)

CONTRATAÇÃO FATORES	AMBIENTE LIVRE (ACL)	AMBIENTE REGULADO (ACR)
TIPO DE CONTRATO	Acordo livremente estabelecido entre as partes	Regulado pela ANEEL, denominado Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR)
PREÇO	Acordado entre comprador e vendedor	Estabelecido no leilão

Fonte: Adaptado de CCCE (2016).

A contratação de energia pelo ACL, somente é possível se o consumidor possuir carga instalada superior ou igual a 3 MW e consumo em tensão superior ou igual a 69 kV. Há ainda os consumidores livres especiais, que podem comprar energia de empreendimentos de fontes alternativas, desde que tenham carga de pelo menos 500 kW (ABRACE, 2016).

Para ambos os tipos de contratação, a fatura de energia elétrica é composta pelos custos relativos a energia, transmissão, distribuição, encargos e impostos. No caso dos consumidores do ACR, a cobrança é feita por meio de uma única tarifa, definida pela ANEEL. Já com relação aos consumidores livres, apenas o custo de transmissão e distribuição é regulado pela agência, que determina as tarifas de transmissão (TUST – Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão) e de distribuição (TUSD – Tarifa do Uso de Sistema de Distribuição). O custo da energia propriamente dito é negociado diretamente com o fornecedor, sem interferência do órgão regulador (ABRACE, 2016; BRASIL, 2015).

Por esse motivo, os consumidores do ACL dispendo da prerrogativa de negociação, terão no mercado diferentes opções ou alternativas, seja em termos de preço, seja em termos de risco de contratação e, para tanto, deverão analisar cuidadosamente todas as opções para induzir a decisão mais acertada (FLOREZI, 2009).

Para que os contratos das empresas que optam pelo ACL sejam eficientes e vantajosos, essas necessitam realizar o gerenciamento mensal do próprio consumo,

ou ter o custo adicional com a contratação de um agente de mercado para realizar a gestão do contrato de energia junto a CCEE, com regras e procedimentos de comercialização vigentes (FLOREZI, 2009).

Tanto para os clientes que se enquadram no perfil para contratação pelo ACL quanto as empresas que têm seus contratos de energia regidos pelas regras do ACR, a correta definição do perfil de consumo junto da contratação de energia adequada a tal perfil é fundamental na redução dos custos energéticos, tendo em vista que a inobservância aos aspectos que regem os contratos de energia pode gerar custos desnecessários e cobranças indevidas. Sendo assim, estes consumidores deverão estar adequados nos seguintes aspectos (BRASIL, 2015):

- a) demanda contratada;
- b) energia elétrica reativa;
- c) enquadramento tarifário.

Primeiramente, o ideal é possuir a demanda contratada o mais próximo possível da necessidade real de consumo da empresa e eliminar, ou mesmo reduzir as ociosidades e ultrapassagens de demanda (BRASIL, 2015).

De acordo com o artigo 93 da Resolução nº 414/2010 da ANEEL, o valor da ultrapassagem será cobrado conforme a seguinte equação:

Da Ultrapassagem:

Art. 93. Quando os montantes de demanda de potência ativa ou de uso do sistema de distribuição – MUSD medidos excederem em mais de 5% (cinco por cento) os valores contratados, deve ser adicionada ao faturamento regular a cobrança pela ultrapassagem conforme a seguinte equação⁷:

$$D_{ULTRAPASSAGEM}(p) = [PAM(p) - PAC(p)] \times 2 \times VR_{DULT}(p)$$

Assim, nesse aspecto, a empresa estará com o contrato de fornecimento de

⁷ $D_{ULTRAPASSAGEM}$ = valor correspondente à demanda de potência ativa ou MUSD excedente, por posto tarifário “p”, quando cabível, em Reais (R\$);

$PAM_{(p)}$ = demanda de potência ativa ou MUSD medidos, em cada posto tarifário “p” no período de faturamento, quando cabível, em quilowatt (kW);

$PAC_{(p)}$ = demanda de potência ativa ou MUSD contratados, por posto tarifário “p” no período de faturamento, quando cabível, em quilowatt (kW);

$VR_{DULT}(p)$ = valor de referência equivalente às tarifas de demanda de potência aplicáveis aos subgrupos do grupo A ou as TUSD-Consumidores-Livres;

p = indica posto tarifário ponta ou fora de ponta para as modalidades tarifárias horárias ou período de faturamento para a modalidade tarifária convencional binômica.

energia adequado quando os valores de demanda de potência registrados, contratados e faturados tiverem o mesmo valor ou forem muito próximos, visto que estará pagando apenas pelo que realmente necessita (BATISTA, 2013; BRASIL, 2015).

Após alguns ciclos de consumo, também é possível verificar se a contratação de energia está adequada ao perfil de consumo da unidade consumidora por meio da avaliação do fator de carga, pois o mesmo mostra como a energia está sendo utilizada ao longo do tempo (GUILLIOD; CORDEIRO, 2011; BATISTA, 2013). O fator de carga pode ser determinado pela seguinte equação⁸:

$$f_c = \frac{D_{med}}{D_{máx}} = \frac{C}{h \cdot D_{máx}} \quad (1)$$

Conforme o resultado da Equação 1 acima, um fator de carga próximo de 1 indica que energia elétrica foi utilizada uniformemente ao longo do tempo. Por outro lado, um fator de carga distante de tal índice indica que houve concentração de consumo de energia elétrica em curto período de tempo, determinando uma demanda elevada. Dessa forma, quanto mais próximo de 1 for o fator de carga, menor a demanda máxima registrada e menor será o custo do kWh, considerando um consumo constante. Assim, a melhoria ou aumento do fator de carga, além de diminuir o preço médio pago pela energia consumida, conduz a um melhor aproveitamento da instalação elétrica e à otimização dos investimentos nela (GUILLIOD; CORDEIRO, 2011; BATISTA, 2013).

O fator de carga da unidade consumidora depende, entre outras coisas, das características dos equipamentos elétricos e do regime de operação dos mesmos, que por sua vez tem relação com a atividade desenvolvida. A elevação do fator de carga pode ser realizada a partir de dois tipos de alternativas, a primeira é a funcional, que visa especialmente corrigir desconformidades nas instalações elétricas e no funcionamento dos equipamentos elétricos. A segunda é a alternativa operacional, a ser aplicada após a correção das distorções funcionais e que

⁸ Sendo f_c , o fator de carga do mês na ponta e/ou fora de ponta; D_{med} a demanda média no mês na ponta e/ou fora de ponta (kW); C o consumo de energia (kWh) no mês na ponta e fora de ponta; h o número médio de horas no mês, sendo geralmente 66 horas para a ponta, 664 horas para o período fora de ponta e 730 no total; $D_{máx}$ e a demanda de potência registrada máxima no mês na ponta e fora de ponta (kW).

significa, basicamente, a redução da demanda conservando o mesmo consumo, por meio da reprogramação do funcionamento dos equipamentos, de forma que o menor número de máquinas funcione ao mesmo tempo (BATISTA, 2013).

Ainda no que diz respeito à correta adequação do consumo de energia, destaca-se de forma negativa, o consumo de energia reativa, isso porque, ela representa uma energia que não produz trabalho útil. A Resolução Normativa da ANEEL nº 414/2010, a descreve como: “(...) *aquela que circula entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilovolt-ampère-reativo-hora (kvarh).*”

Essa energia, quando cobrada pela concessionária, indica problema no fator de potência das instalações da empresa, o que geram custos adicionais e desnecessários para a unidade consumidora. Assim, caso ocorra a cobrança de Energia Reativa Excedente (EREX), medidas deverão ser adotadas para sua eliminação, o que na maioria das vezes é feito através da instalação de um banco de capacitores. (GUILLIOD; CORDEIRO, 2011; VIANNA et al., 2012; BRASIL, 2015)

O último aspecto a ser observado na contratação está relacionado ao enquadramento tarifário. Este fator estará adequado quando a empresa se encontrar na modalidade tarifária que resultar em menor custo total. Esse custo, por sua vez, depende das características da instalação e do modo de consumo (VIANNA et al., 2012).

Para se obter o melhor enquadramento tarifário, deve-se simular o perfil de consumo de energia nos enquadramentos possíveis e verificar qual é a modalidade que proporciona o menor valor. Para contratos já existentes, essa simulação é realizada através da análise de um histórico mínimo de 12 ciclos, sendo necessário estimar alterações futuras no comportamento das instalações, como por exemplo, ampliações do parque fabril, sazonalidades, entre outros. Para novas contratações é concedido um período de testes de três ciclos para a realização do ajuste de demanda (BRASIL, 2015).

A Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL permite revisão anual do contrato com a concessionária. Ou seja, a cada 12 ciclos o contrato com a distribuidora pode ser alterado em todos os seus aspectos. Portanto, sugere-se que a cada 6 ciclos novas análises e estudos do perfil de consumo sejam efetuados (BRASIL, 2015).

2.3.1.4 Comissão interna de conservação de energia (CICE)

Junto as demais ações administrativas visando à economia de energia em empresas, torna-se necessária a implantação de um programa interno de conservação de energia. A importância do estabelecimento do programa está no fato de que qualquer ação isolada tende a perder o seu efeito ao longo do tempo, por melhores resultados que apresente (CELESC, 2015).

Dessa forma, torna-se necessário o engajamento de todos os empregados/funcionários, buscando um objetivo comum, por meio do esforço coletivo. Sua elaboração deve ser resultado do esforço dos diversos setores envolvidos com participação de todos os empregados. Assim, para atingir os objetivos de redução propostos a longo prazo, é fundamental que se crie a CICE – Comissão Interna de Conservação de Energia (ROCHA; MONTEIRO, 2005b).

A comissão terá o encargo de propor, implementar e acompanhar as medidas efetivas de conservação de energia, bem como controlar e divulgar as informações mais relevantes. Com as atribuições supracitadas, de acordo com o manual de eficiência energética e gestão da energia na indústria da Celesc (2015) pág. 38, a CICE poderá empreender as seguintes ações:

- a) controle do consumo específico de energia por setores e/ou sistemas, controle e avaliação dos planos de distribuição e recuperação de energia;
- b) análise dos resultados, visando à melhoria das deficiências;
- c) realização de cursos específicos para o treinamento e a capacitação do pessoal;
- d) promover alterações nos sistemas consumidores de energia visando à conservação dessa energia;

2.3.2 Motores elétricos

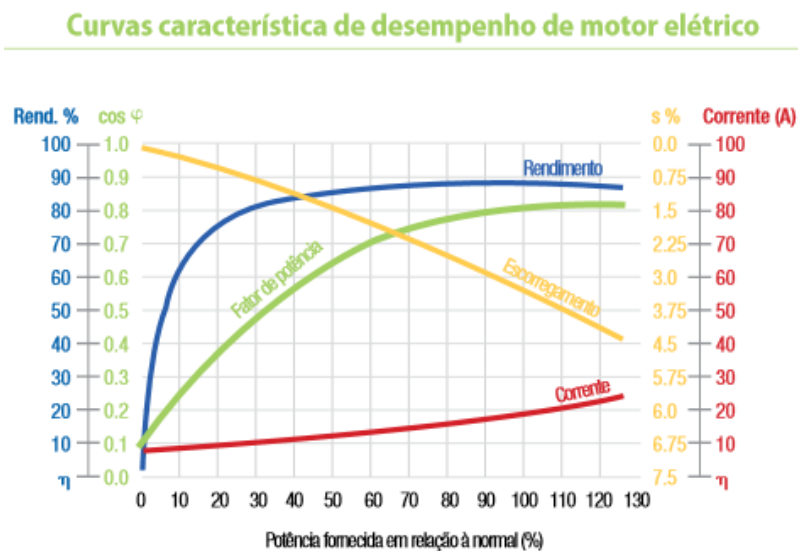
Os motores elétricos são responsáveis pela transformação da energia elétrica em energia mecânica, sendo amplamente aplicados e de grande importância nos processos industriais (WEG, 2016; O'RIELLY; JESWIET, 2014).

Rocha e Monteiro (2005b) expõem que a eficiência do conjunto máquina/motor depende, principalmente, do dimensionamento correto do motor para

o tipo de acionamento a que é destinado; ou seja, a potência extraída pela carga deve estar próxima à potência nominal do motor.

Assim, ao analisarmos as curvas características dos motores, como mostra a Figura 4, observa-se que o rendimento e o fator de potência variam conforme o carregamento. Dessa forma, para um dado motor quanto menor for o carregamento, menores serão o rendimento e o fator de potência e, em consequência, menos eficiente será a sua operação (ELEKTRO, 2015a).

Figura 4 - Curvas características de um motor elétrico



Fonte: Elektro (2015a).

No entanto, nem sempre é possível ajustar a potência do motor àquela efetivamente necessária, e isso ocorre devido os motores serem oferecidos em potências predeterminadas, além de ocorrerem casos em que o regime de funcionamento e carregamento das máquinas é variável. Dessa forma, cada regime de trabalho corresponde uma especificação adequada para os motores. Em termos gerais, para cargas entre 60 a 100% da potência nominal, o motor pode ser considerado bem dimensionado (ELEKTRO,2015a). No entanto, para melhor eficiência, sugere-se que os motores sejam dimensionados para operar com cargas entre 75 a 80% da sua carga nominal (VIANNA et al., 2012, HAN; YUN, 2015; O'RIELLY; JESWIET, 2014).

Além do correto dimensionamento dos motores elétricos, a substituição de motores *standard* por motores de alto rendimento se apresenta como uma importante alternativa para a economia de energia em sistemas motrizes. A principal característica destes motores é a melhoria em pontos vitais onde se concentram a maioria das perdas (VIANA et al., 2012).

Tais motores são fisicamente similares aos modelos *standard*, no entanto, na sua confecção são utilizados materiais selecionados, maior quantidade de cobre e ferro, processos de fabricação mais aperfeiçoados e tolerâncias mais estreitas. Sendo assim, apresentam em média um rendimento 10% superior ao rendimento de motores convencionais de baixa potência (na faixa 1 a 5 CV) e 3% superior ao rendimento de motores convencionais de potência elevada (200 CV) (ELEKTRO, 2015a).

A sua utilização deve ser considerada, principalmente nos casos de motores de baixa potência, elevado fator de carga e longas horas de operação, novas aplicações e em determinados casos em que o rebobinamento é necessário (ELEKTRO, 2015a).

Outro fator a ser considerado na análise dos sistemas motrizes é a utilização de inversores de frequência. A sua aplicação é recomendada em situações de necessidade de fluxo e controle de movimento. Em tais casos, ele é fundamental para a obtenção da economia de energia por agregar controle de velocidade e torque de máquinas-ferramentas na variação de velocidade em sistemas de alimentação e dosagem, no controle de vazão ou fluxo de um processo, no controle de elevação em pontes rolantes, guindastes, entre outros (ELEKTRO, 2015a).

Além da aplicação dos inversores de frequência em motores elétricos, a utilização de variadores de velocidade traz ganhos importantes na conservação de energia, visto que através da sua utilização se obtêm as seguintes vantagens (ELEKTRO, 2015a):

- a) limitação da corrente de partida;
- b) partidas e paradas mais suaves;
- c) utilização de motores de menor custo;
- d) aumento da vida útil dos motores e equipamentos;
- e) possibilidade de automação do sistema.

Por fim, mas não menos importante, destaca-se a necessária manutenção dos motores. A manutenção adequada de um motor elétrico e da máquina por ele

acionada pode representar significativa economia de energia elétrica, visto que em determinadas empresas algumas máquinas são acionadas por motores elétricos em condições precárias de funcionamento a pretexto de não se prejudicar a produção ou simplesmente por descaso (COPEL, 2005).

Assim, a manutenção ou o reparo dos motores é, geralmente, realizada somente quando a produção permite, ou quando as condições de funcionamento se tornam tão precárias que inviabilizam a sua operação. Tal prática, além de, em alguns casos, danificar os motores, reduz sua vida útil e provoca grandes desperdícios de energia (COPEL, 2005).

Em um programa de utilização racional de energia elétrica é fundamental a implantação e o cumprimento de programas de manutenção corretiva e preventiva aplicados a todos os motores elétricos e as máquinas por eles acionadas (COPEL, 2005).

2.3.3 Sistemas elétricos

Os elementos utilizados para conduzir, transformar, condicionar e controlar a energia, denominados de Sistemas Elétricos, são amplamente encontrados na indústria, e também podem apresentar oportunidades de melhoria com efeito na redução do desperdício energético (CORTELETTI, 2015). Isso porque, a partir do momento em que a energia é fornecida pela concessionária até aquele em que é utilizada em um motor, lâmpada, resistência ou outro aparelho, essa passa por diversos sistemas e equipamentos que precisam ser igualmente eficientes, para que seja entregue em condições adequadas de uso (ROCHA; MONTEIRO, 2005b).

Nesse sentido, um dos sistemas elétricos que pode apresentar significativas oportunidades de melhorias são os transformadores. Esses são peças indispensáveis dentro do campo do aproveitamento de energia elétrica, pois devido ao fato de permitir elevar e reduzir tensões, com simplicidade e elevado rendimento tornou-se economicamente possível o uso da energia elétrica. Como o transformador não possui peças rotativas, este equipamento requer poucos cuidados e a despesa de sua manutenção é mínima se comparados a outros equipamentos que compõe o sistema elétrico (VIANNA et al., 2012).

Em função da sua intensa aplicação em sistemas de distribuição, é de fundamental importância saber como proceder com relação a sua instalação,

utilização e manutenção, a fim de reduzir ao máximo as perdas elétricas. De acordo com o manual sobre o uso eficiente de energia elaborado pela Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC, 2015, pag. 08), para se obter eficiência nos sistemas de transformação, deve-se seguir as seguintes recomendações:

- a) eliminar progressivamente os transformadores muito antigos, substituindo-os, quando ocorrerem avarias, por outros modernos;
- b) quando um transformador é mantido sobtensão e não fornece nenhuma potência, suas perdas no cobre são praticamente nulas, enquanto que as perdas no ferro ocorrem sempre. Assim, é aconselhável deixar os transformadores desligados da rede quando não estão em serviço, durante prazos relativamente curtos (não superiores a uma semana), evitando-se problemas decorrentes da absorção de umidade;
- c) quando existirem diversos transformadores para alimentar a mesma instalação, seria teoricamente econômico ajustar a carga em funcionamento, alternando o uso dos transformadores, limitando-se assim as perdas em vazio nas horas de baixa carga, ou em que a indústria não esteja funcionando;
- d) em muitos casos pode ser viável ter um transformador de menor porte, exclusivo para alimentação da iluminação de modo a permitir mantê-la ligada durante a execução dos serviços de limpeza e vigilância nos horários em que a empresa não esteja funcionando;
- e) fazer manutenção preventiva dos transformadores, visando eliminar paralisações de emergência. A manutenção de transformadores é relativamente simples e se constitui basicamente na detecção de vazamentos, ensaio de rigidez dielétrica do óleo, inspeção das partes metálicas, testes de isolamento e limpeza geral.

Seguir tais recomendações, representam significativa economia dos recursos energéticos em função da sua importância e o impacto da ineficiência dos transformadores para as perdas globais de energia, uma vez que, de acordo com Vianna et al., (2012), de toda energia elétrica gerada no Brasil, estima-se que 14% são consideradas perdas globais (técnicas e comerciais) em transmissão e distribuição, e que aproximadamente 30% das perdas técnicas concentram-se nos núcleos dos transformadores de distribuição.

Outro fator a ser observado que, nesse caso, engloba além dos transformadores, os motores elétricos, entre outros aparelhos é com relação a energia reativa. Esses equipamentos, além de consumirem energia ativa, solicitam também energia reativa com o propósito de criar o fluxo magnético necessário para o seu funcionamento. Com base na relação entre a energia reativa e ativa, determina-se o fator de potência indutivo médio num determinado período.

De acordo com a Resolução 414/2010 as instalações elétricas dos consumidores devem ter um fator de potência não inferior a 0,92 (indutivo ou reativo). Isso pode ser interpretado da seguinte forma: 92% da potência total (ou aparente) deve ser utilizada para produzir trabalho (potência ativa) e 18% da potência total é o valor limite de energia reativa que ser usada na manutenção dos fluxos magnéticos dos equipamentos (GUILLIOD; CORDEIRO, 2011).

Dessa forma, quando o fator de potência for inferior a 0,92, o total desembolsado a título de consumo de excedente reativo se constituirá num potencial de economia que poderá ser obtido. O fator de potência ideal no circuito elétrico, tanto para os consumidores como para a concessionária, é o valor unitário (1,0). Entretanto, a correção efetuada até o valor de 0,95 é considerada suficiente (VIANNA et al., 2012).

Para se obter valores próximos ao considerado ideal, de modo geral, o método mais adotado é a da instalação de um banco de capacitores (FIESC, 2015). Os capacitores podem, a princípio, ser instalados em quatro pontos distintos do sistema elétrico (FIESC, 2015, p. 25):

- a) junto às grandes cargas indutivas (motores, transformadores etc.);
- b) no barramento geral de Baixa Tensão (BT);
- c) na extremidade dos circuitos alimentados;
- d) na entrada de energia em Alta-Tensão (AT).

Nos motores, na maioria dos casos, a opção é instalar o capacitor próximo da carga. Tanto para o ponto de instalação, quanto para o dimensionamento dos capacitores (isto é, na determinação da potência reativa em kVAr a ser instalada de modo a corrigir o fator de potência), cada situação merece um estudo detalhado (FIESC, 2015).

A instalação de capacitores apresenta inúmeras vantagens, entre as quais se destacam (STAROSTA, 2013):

- a) redução das correntes elétricas com conseqüente redução das perdas “Joule” proporcionais ao quadrado das correntes;
- b) redução da potência aparente (kVA) e possibilidade de desligamento de transformadores;
- c) Melhora da regulação de tensão das instalações com conseqüências no rendimento de motores e outras cargas; e
- d) isenção de pagamento de excedente de energia reativa para as concessionárias.

Além dos transformadores e do banco de capacitores, outros aspectos a serem analisados na busca pela conservação de energia junto aos sistemas elétricos são (FIESC, 2015):

- a) equilíbrio das fases;
- b) condutores;
- c) sistemas de aterramento;
- d) dispositivos de proteção;
- e) fugas de corrente;
- f) quadros de distribuição.

Essas análises, sob o sob o ponto de vista da eficiência energética, quando realizadas separadamente não representam grandes perdas. No entanto, quando analisados em conjunto apresentam importante resultado (FIESC, 2015). A seguir são feitas considerações acerca de alguns desses fatores:

- a) equilíbrio de fases: A distribuição não equilibrada de cargas pelas fases pode causar vários efeitos, entre os quais se destacam:
 - a queima de fusíveis ou desligamento dos disjuntores;
 - o aquecimento dos condutores e conexões;
 - funcionamento inadequado dos equipamentos conectados a uma fase mais carregada que as outras. Para corrigir o desequilíbrio deve se transferir alguns equipamentos da fase mais carregada para a fase menos carregada.
- b) fugas de Corrente: Uma causa muito comum de perda de energia e o conseqüente aumento na conta de energia elétrica é a fuga de corrente. Fugas de corrente são um comprometimento da segurança, devendo ser sanadas assim que detectadas. Suas principais causas são:
 - aparelhos defeituosos;

- emendas inadequadas ou mal isoladas;
 - fios desencapados ou com isolamento desgastado;
 - conexões inadequadas.
- c) Condutores: As perdas por efeito Joule crescem devido ao aumento da resistividade decorrente da elevação da temperatura dos condutores. Deve-se, para cada instalação, calcular a seção ótima e mais econômica dos condutores, considerando-se os diversos parâmetros, como o custo do capital e o preço da energia. Esta análise é facilitada quando realizada na concepção de novas instalações e mais complexa em instalações já existentes. A norma conduz a determinação das bitolas mínimas a serem utilizadas. Tais normas, no entanto, não restringem a utilização de bitolas superiores aos valores mínimos, pois quanto maior a bitola menor resistividade dos condutores e, portanto, menores perdas por efeito Joule (COPEL, 2005).

Para realizar uma instalação elétrica sob os diversos pontos de vista, deve-se, observando as normas, estabelecer um equilíbrio entre o investimento em material de melhor qualidade e as economias de energia que se possa realizar. Utilizar condutores mal dimensionados equivale a efetuar desperdícios consideráveis de energia, além de comprometer a segurança da instalação (COPEL, 2005).

- d) Quadros de distribuição: são os pontos onde a energia elétrica é distribuída para as cargas. No seu interior ficam instalados os dispositivos de proteção e as barras de cobre. A existência de quadros antigos com sistemas de proteção inadequados e ultrapassados, com cabos com emendas inadequadas, falta de elementos de proteção e conexões frouxas, proporciona a ocorrência de perdas pela formação de pontos quentes. Estas perdas se dão na forma de efeito Joule e podem causar acidentes, apresentando riscos de segurança ao patrimônio e às pessoas (BORBA, 2014).

Por fim, além de todos os aspectos abordados, os fatores relacionados a qualidade de energia devem ser observados. O efeito das anomalias que afetam a qualidade da energia e seus impactos na eficiência energética, foram classificados por Edomah (2009), da seguinte forma:

- a) queda ou afundamento de tensão: redução momentânea e abrupta da tensão.
- b) desequilíbrio de tensão: Diferença entre a amplitude de tensão entre fases em sistemas polifásicos.
- c) elevação de tensão: Caracteriza o aumento da amplitude da curva de tensão para acima dos limites normais.
- d) ruído: Distorção senoidal devido à sobreposição de um sinal à rede elétrica.
- e) harmônicos: Frequências sobrepostas de maneira contínua e com frequências bem definidas.

A inobservância a tais distúrbios na rede elétrica, tem os seguintes efeitos (EDOMAH, 2009):

- a) aquecimento e perdas térmicas nos condutores e transformadores;
- b) aquecimento e diminuição da eficiência em motores elétricos;
- c) instabilidade nos processos elétricos;
- d) desbalanceamento de fases;
- e) dificuldades em medições energéticas;
- f) instabilidade e interrupções de funcionamento, desligamentos, danos e degradação acelerada de equipamentos.

Entretanto, quando ocorrem ações voltadas à melhoria das condições de suprimento, além da eliminação das anomalias e dos problemas já citados, o autor expõe inúmeras vantagens, entre as quais se destacam a melhoria no fator de potência e no perfil de tensão, com consequente operação eficiente dos equipamentos, redução das distorções harmônicas e prevenção ao mau funcionamento dos equipamentos, evitando a perda de produção (EDOMAH, 2009).

Ainda, destaca-se o uso de estratégias de partida suave com uso de controladores eletrônicos conhecidos por “soft-starters”, que ao diminuir os elevados conjugados de partida e aceleração em motores elétricos reduz a ocorrência dos afundamentos de tensão, melhorando a qualidade, disponibilidade e homogeneidade da energia elétrica (EDOMAH, 2009; RAMOS, 2009).

2.3.4 Iluminação

Um sistema de iluminação é definido como todos os componentes necessários para atender aos requisitos da iluminação. O bom desempenho desse sistema está diretamente relacionado ao projeto elétrico, que deverá envolver informações sobre luminárias, perfil de utilização e o tipo de atividade a ser exercida (CELESC, 2015).

A fim de se obter a eficiência necessária em um projeto luminotécnico, os seguintes aspectos devem ser atendidos (MAIA et al., 2011):

- a) boas condições de visibilidade;
- b) boa reprodução de cores;
- c) economia de energia elétrica;
- d) facilidade e menores custos de manutenção;
- e) preço inicial compatível;
- f) utilizar iluminação local de reforço;
- g) combinar iluminação natural com artificial.

Inicialmente, para se obter boas condições de visibilidade, a determinação do nível de iluminância é fundamental, uma vez que ela representa a densidade de luz necessária para a realização de uma determinada tarefa visual. O nível recomendado varia de acordo com o tipo de atividade, características dos usuários que ocupam o local e a duração do trabalho sob iluminação artificial, devendo este nível ser mais elevado para as longas jornadas (MAIA et al., 2011). A norma NBR ISO/CIE 8995-1 determina os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores.

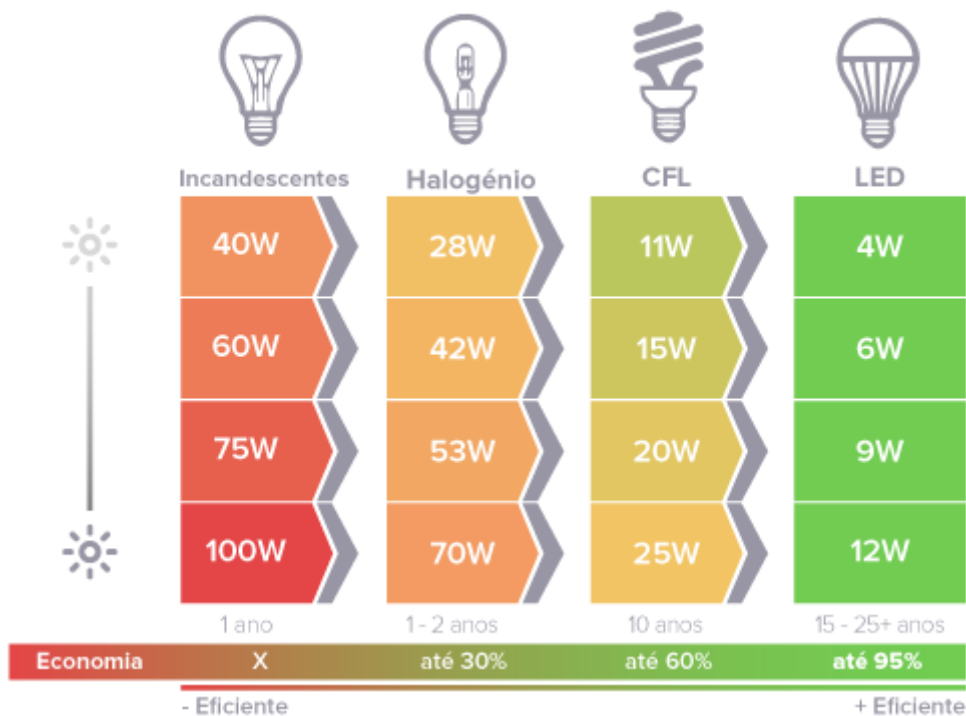
Além disso, para se obter tais condições com o máximo de eficiência, a escolha dos componentes que compõe o sistema de iluminação é fundamental. De acordo com Maia et al., (2011), os sistemas de iluminação são compostos por luminária, lâmpada e reator. As luminárias são responsáveis por três principais funções (ELEKTRO, 2015b):

- a) prover meios para a instalação da própria luminária e dos componentes elétricos;
- b) manter as condições ambientais adequadas para operação dos componentes;

- c) distribuir o fluxo luminoso proveniente da lâmpada. As luminárias que irão compor o sistema de iluminação devem apresentar a curva de distribuição mais adequada ao seu caso particular e fator de utilização mais alto.

As lâmpadas são responsáveis por emitir o feixe luminoso. Dependendo da atividade ou finalidade da iluminação, diferentes tipos de lâmpadas podem ser utilizadas. Deve-se sempre verificar a possibilidade de substituir as lâmpadas por outras de menor potência, mais eficientes, de maior durabilidade e que produzam a mesma quantidade luminosa (ELEKTRO, 2015b). Neste sentido, existem diversos tipos de lâmpadas, podendo estas serem mais ou menos eficientes para uma mesma potência. A Figura 5, compara o grau de eficiência para diferentes tipos de lâmpadas:

Figura 5 - Comparativo de eficiência entre vários tipos de lâmpadas.



Fonte: <http://www.safeenergy.com.br/iluminacao-led/>

Atualmente, a lâmpada mais eficiente é a LED (*Light Emitting Diode*), isso porque sua eficiência luminosa é maior do que as das outras lâmpadas. Ou seja, gasta menos energia para gerar a mesma iluminação. O baixo consumo de energia, vida útil mais longa e menor impacto ambiental são as principais características das

LED, além de atualmente ser fabricada em vários formatos para atender as mais diversas atividades e ambientes, com significativos índices de economia, como mostra a Figura 6 (INMETRO, 2016b). Os diodos emissores de luz são componentes semicondutores que convertem corrente elétrica em luz visível. Com tamanho reduzido, o LED oferece vantagens através de seu desenvolvimento tecnológico, tornando-o a alternativa mais eficiente na substituição das lâmpadas convencionais (VIANNA et al., 2012).

Figura 6 - Substituição de outros sistemas de iluminação por LED.



Fonte: <http://www.solarwaters.pt/led#a1>

Outra vantagem das lâmpadas LED é que a sua utilização em maiores potências, na maioria dos casos, não requer a utilização de reatores (ELEKTRO, 2015b). Tal vantagem se deve ao fato que de acordo com MAIA et al., (2011) os

reatores são responsáveis pela maior parte das perdas do sistema de iluminação. Estes dispositivos são utilizados para a operação adequada das lâmpadas de descarga, cuja função é limitar a corrente e fornecer as condições necessárias para a partida. Como cada tipo de lâmpada demanda uma corrente diferente, para cada uma é necessário um tipo específico de reator. Assim, após definir o tipo de lâmpada a ser usada é que são estabelecidos os parâmetros para a escolha do reator mais adequado (ELEKTRO, 2015b).

Atualmente, existem no mercado lâmpadas que, mesmo operando com reatores de partida rápida, desligam os filamentos após a partida, permitindo dessa forma o mesmo consumo que os reatores de partida convencional. A melhoria da qualidade dos reatores levou ao desenvolvimento de tecnologias para reatores de partida eletrônica e, mais recentemente, para reatores eletrônicos (ELEKTRO, 2015b).

Os reatores de partida eletrônica são iguais aos convencionais, porém, no lugar do starter, usam um circuito eletrônico, e podem ser utilizados apenas em lâmpadas fluorescentes. Ainda, esses reatores apresentam perdas reduzidas e, conseqüentemente, maior eficiência energética e fator de potência elevado – em torno de 0,95 – além de operarem em frequências entre 20 e 100 kHz, faixas em que as lâmpadas apresentam eficiência luminosa máxima (ELEKTRO, 2015b).

Além da análise dos sistemas de iluminação artificial, a utilização de iluminação natural é outro fator a ser observado na melhoria da eficiência energética. A sua correta utilização é sob todos os aspectos, o ponto de partida para se obter um sistema de iluminação energeticamente eficiente (ALVES, 2009; ELEKTRO, 2015b).

Dessa forma, para se obter a máxima eficiência nos sistemas de iluminação, deve-se considerar a parcela de luz natural que entra em um ambiente e distribuir os circuitos paralelamente ao sentido das janelas, para que as luminárias possam ser desligadas quando houver luz natural suficiente. A substituição da luz artificial pela luz natural, durante o dia, produz uma contribuição significativa para a redução do consumo de energia elétrica, além de trazer melhoria do conforto visual e bem-estar dos usuários (ALVES, 2009; ELEKTRO, 2015b; BORBA et al., 2015). Os projetos de Iluminação Natural devem estar em conformidade com as Normas NBR 15215-1, NBR 15215-2, NBR 15215-3, NBR 15215-4: 2005 (BORBA et al., 2015).

Aliar a iluminação natural a um sistema de iluminação corretamente dimensionado traz inúmeros benefícios aos usuários dos espaços de trabalho, no entanto, em se tratando da conservação de energia ainda existem outros recursos que podem ser utilizados (BORBA et al., 2015; ELEKTRO, 2015b). Dentre as inúmeras alternativas, destacam-se a utilização de relés fotoelétricos, sensores de presença e os sistemas de comando de iluminação.

Os relés fotoelétricos possuem sensores que identificam a presença de luz natural, fazendo a devida diminuição ou até mesmo bloqueio da luz artificial através de dimmers controlados automaticamente. Desta forma, quanto maior a quantidade de luz natural disponível no ambiente, menor será a potência elétrica fornecida às lâmpadas e vice-versa (MAIA et al., 2011).

Com relação a utilização de sensores de presença, estes dispositivos asseguram que as luzes permaneçam apagadas quando os espaços estão desocupados, sendo suas aplicações mais apropriadas em locais com perfil de ocupação intermitente ou imprevisível. O sistema é composto por um detector de movimento, uma unidade de controle eletrônica e um interruptor controlável (relé). O detector de presença sente o movimento e envia o sinal apropriado para a unidade de controle. A unidade de controle, então, processa o sinal de entrada para fechar ou abrir o relé que controla a potência da luz (MAIA et al., 2011).

2.3.5 Climatização

O condicionamento do ar consiste no controle da temperatura, da umidade, da movimentação e da pureza do ar em recintos fechados. Em geral, o ar-condicionado é utilizado para proporcionar uma sensação de conforto às pessoas, mas pode, também, ser necessário para climatizar ambientes, cujas atividades requerem controle rígido de uma ou mais características do ar, como ocorre, por exemplo, em certas indústrias como as que produzem alimentos e bebidas, hospitais, centros de computação, etc. (ELEKTRO, 2015a).

Os equipamentos que compõe este sistema representam um item importante nos custos de uma edificação, quer pelos investimentos iniciais necessários, quer pelos custos, ao longo do tempo, com consumo de energia e manutenção das instalações (ELEKTRO, 2015a). Nesse sentido, o gerenciamento do consumo deve começar na fase de projeto desse sistema, através da elaboração de especificações

claras, bem detalhadas, incluindo a documentação a ser fornecida e características fundamentais dos equipamentos, tais como eficiências (PENA, 2011).

O bom projeto é a base para que o sistema de ar condicionado proporcione simultaneamente conforto térmico, eficiência energética e economia. Entretanto, a correta instalação e seu uso e manutenção apropriados também têm importância fundamental para manter o desempenho dos equipamentos. O sistema de ar condicionado ideal exige que em todas essas fases e as boas práticas sejam exercidas (CARLO, 2008).

O projeto deve ser direcionado a (PENA, 2011):

- a) equipamentos mais eficientes, com bases em estudos técnico-econômicos;
- b) prever nas especificações de fornecimento, testes na fase de inspeção em fabricante e após a montagem, que permitam certificar que o especificado foi efetivamente o fornecido e instalado corretamente;
- c) elaborar manual de manutenção, com o estabelecimento de regras claras, prazos para fazer ajustes de forma que os equipamentos operem em seu “set points” originais.

Os aparelhos de ar-condicionado são sistemas que consomem grande quantidade de energia, e isso se deve às próprias características dos processos físicos envolvidos no seu funcionamento, assim como ao uso contínuo a que são submetidos durante longos períodos (ELEKTRO, 2015a). Por esse motivo, a fim de minimizar o custo de funcionamento desses sistemas, atualmente no mercado são oferecidos equipamentos com o selo PROCEL (INMETRO), além da classificação de eficiência em sistema de climatização do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)⁹ (BRASIL, 2009).

A classificação da eficiência do sistema de condicionamento de ar pode ser dividida em duas classes diferentes. Uma classe está relacionada aos sistemas individuais e Split, já classificados pelo selo de eficiência do INMETRO. Esse selo é uma etiqueta que identifica os aparelhos eletrodomésticos mais econômicos, de acordo com a eficiência energética, medida pelo CEE – Coeficiente de Eficiência

⁹ O manual RTQ-C (páginas 145 – 156) estabelece requisitos e fornece uma classificação de eficiência energética em sistemas de climatização.

Energética. A classificação é dada em A, B, C e D. Quanto maior o CEE, mais eficiente e econômico será o aparelho (BRASIL, 2009; INMETRO 2016a).

A outra classe que trata a eficiência de sistemas de condicionamento de ar, como os centrais, que não são classificados pelo INMETRO, devem seguir prescrições definidas pelo RTQ-C. Assim, a classificação do nível de eficiência destes sistemas será mais complexa, pois sua definição dependerá da verificação de um determinado número de requisitos e não pode ser simplesmente obtida pela consulta da etiqueta (BRASIL, 2009).

Para que os equipamentos funcionem corretamente e obtenham os índices de eficiência projetados, a correta instalação destes deve ser observada. Uma instalação fora dos padrões recomendados, pode acarretar o mal funcionamento dos equipamentos, redução da sua vida útil e alto consumo de energia (ROCHA; MONTEIRO, 2005b).

Tão importante quanto um adequado projeto de climatização contemplando a utilização de equipamentos eficientes corretamente instalados, as condições de operação devem ser avaliadas. Para tanto, devem ocorrer o ajuste dos termostatos, da vazão de ar exterior e acionamentos. Os termostatos são equipamentos destinados a controlar temperaturas, sejam dos ambientes, da água gelada do “chiller”, entre outros. Se a temperatura ajustada for diferente da requerida por projeto, pode-se estar gastando mais energia que o necessário (PENA, 2011).

Um exemplo disso, ocorre quando uma instalação que tenha sido projetada para ter 24°C em seus recintos opera a 22°C. Com esta diferença o sistema estará gastando quase 10% a mais, já que estará resfriando “em excesso”. Para este caso a medida a ser tomada é simples uma vez que, apenas ajusta-se o termostato para 24 °C. No caso de medidas destinadas a economizar energia, pode-se recorrer a uma “subida” no “set point”, mantendo-o dentro do permitido por Norma (PENA, 2011).

Com relação ao ajuste da vazão de ar, cargas excessivas de ar exterior levam a consumos acima do normal, já que é gasta uma quantidade extra de energia para resfriar aquela quantidade de ar infiltrada. Instalações antigas, com um projeto baseado numa ocupação diferente da atual, necessitam de nova avaliação (PENA, 2011).

Esta avaliação poderá indicar uma redução na vazão de ar exterior ou a necessidade de rebalancear o sistema de distribuição de ar (dutos), remanejando

vazões de regiões com superávit para regiões com déficit, melhorando assim, as condições de conforto e reduzindo as reclamações dos ocupantes. A redução de ar exterior, através de medição e atuação no “damper” da tomada de ar, trará uma redução no consumo de energia (PENA, 2011).

Outras medidas ainda podem ser aplicadas a fim de diminuir o consumo de energia junto ao sistema de climatização, dentre as inúmeras alternativas, destacam-se, ainda, a correta vedação de portas e janelas, a utilização de proteção nas aberturas contra a incidência solar e o isolamento térmico de coberturas. O ar infiltrado em um ambiente através de janelas, portas, frestas ou por efeito de exaustores, constitui-se numa carga para o ambiente e, conseqüentemente, para o sistema, já que o ar externo irá aquecer o ambiente (verão) (PENA, 2011).

O uso de vidros especiais, películas especiais aplicadas sobre os vidros comuns, cortinas internas com cores claras e o uso de “brises”, reduzem, consideravelmente, a radiação solar direta sobre os recintos condicionados, reduzindo, conseqüentemente, o impacto sobre os sistemas de ar condicionado. A redução da carga térmica de um recinto com venezianas é 6 vezes superior (às 16 h) a um espaço sem venezianas. Por este motivo, recomenda-se, sempre que possível, o uso destes elementos de proteção na arquitetura do prédio (PENA, 2011).

Uma carga térmica significativa sobre uma edificação é aquela proveniente do calor introduzido através de seu telhado. A maneira mais efetiva de redução dos efeitos provenientes desta carga no ambiente é através da introdução de materiais isolantes térmicos com alta resistência térmica sobre as coberturas. Nessa perspectiva, adicionar placas (tipicamente com 50 mm de espessura) de isopor incombustível, vermiculita à argamassa da laje são boas práticas. Caso exista um entreferro, outras opções podem ser adotadas, tais como, aplicação de mantas de fibra de vidro ou jato de espumas a base de uretano ou fibra de vidro, sobre a laje (PENA, 2011).

Por fim, a correta manutenção nos sistemas de climatização é outro fator a ser analisado. A avaliação das condições de operação dos componentes deste sistema deve ser realizada através do Plano de Manutenção Operação e Controle (PMOC), obrigatório para estabelecimentos que ultrapassem a carga térmica de 60.000 Btu/h (ou 5 TR). De acordo com a PORTARIA Nº 3.523, no PMOC deve constar a identificação do estabelecimento que possui ambientes climatizados, a

descrição das atividades desenvolvidas, a periodicidade das mesmas, as recomendações a serem adotadas em situações de falha do equipamento e de emergência, para garantia de segurança do sistema de climatização e outros de interesse, conforme especificações contidas na NBR 13971:2014 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (BRASIL, 1998). Essa norma estabelece orientações básicas para as atividades e serviços necessários na manutenção de conjuntos e componentes, em sistemas e equipamentos de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimento (ABNT, 2014).

Dentre os inúmeros aspectos de manutenção a serem analisados no correto funcionamento dos equipamentos de ar-condicionado, destaca-se o vazamento em dutos. Tal manutenção é importante sobre o aspecto da eficiência energética, pois dutos de sistemas de ar condicionado com juntas e acabamentos de baixa qualidade, ou com a existência de aberturas indesejáveis, conduzem a perda de quantidades expressivas de ar tratado (resfriado e desumidificado), obrigando os equipamentos a funcionarem em sobrecarga. O resultado direto é que uma quantidade extra de energia elétrica será dispendida, na proporção da vazão de ar perdido. Recomenda-se, portanto, a inspeção periódica dos dutos, além da utilização de mão-de-obra qualificada, seja na execução de obras novas ou de reformas (PENA, 2011).

2.3.6 Sistema de ar-comprimido

O ar comprimido é uma das mais antigas formas de transmissão de energia que se conhece, sendo utilizada hoje por quase todos os ramos da atividade industrial, como por exemplo, nas máquinas operatrizes, em motores pneumáticos, equipamentos de movimentação e transporte de materiais, ferramentas manuais, em sistemas de comando, controle, regulagem, instrumentação e na automação de processos. (VIANNA et al., 2012; ELEKTRO, 2015a).

Por esse motivo, os equipamentos que produzem, distribuem e utilizam o ar comprimido são essenciais e representam uma parcela significativa na composição no consumo da energia elétrica da empresa.

Justamente por sua importância e utilização, estudos apontam que os sistemas de ar comprimido como um dos pontos onde ocorrem perdas significativas de energia na indústria (VIANNA et al., 2012). No entanto, assim como são grandes

as perdas nesses sistemas, inúmeras são as oportunidades de economia de energia.

Os primeiros passos do processo de conservação de energia junto aos sistemas de ar-comprimido se dão por meio da elaboração um projeto adequado, da utilização correta de operação e a implantação de um programa de manutenção eficiente (ROCHA; MONTEIRO, 2005a; ELEKTRO, 2015a).

O projeto das instalações de ar comprimido deve considerar vários aspectos fundamentais para o aumento da eficiência energética, dentre eles, destacam-se: o tipo de compressor, dimensionamento das tubulações, a temperatura de captação do ar, umidade, pressão de trabalho, aplicação e usos finais, acionamentos e manutenção (BOSCH, 2008).

Tais medidas, quando adotadas durante a fase de projeto, não implicam um grande aumento de investimento inicial, mas trazem significativa redução no consumo de energia ao longo de toda a vida útil da instalação (ELEKTRO, 2015a).

A escolha do tipo de compressor a ser adotado precede a seleção propriamente dita da máquina e envolve aspectos diversos. Fazendo uma análise que leve em conta apenas as características previstas para o processo de compressão, é possível estabelecer faixas de operação para o processo de compressão para as quais cada tipo de compressor é mais adequado e pode, em consequência, ser encontrado nas linhas de produção dos fabricantes. (ROCHA; MONTEIRO, 2005a)

A Tabela 2, relaciona os seguintes fatores: a vazão volumétrica aspirada, a pressão de descarga e a relação de compressão, que são os parâmetros que traduzem as restrições impostas a cada tipo do compressor pelo seu próprio princípio construtivo:

Tabela 2 - Faixas de aplicação dos compressores

Compressor¹⁰	Vazão Aspirada (m³/min)	$P_2 \text{ max}(kPa)$	$P_2/P_1 \text{ Max}$
Alternativo	Até 250	25000 ou mais	4,0 (por cilindro)
Palhetas	2 a 80	900	4,0 (por carcaça)
Parafusos	10 a 700	4500	4,0 (por carcaça)
Centrífugos	50 a 280	70000	10,0 (por carcaça de múltiplos estágios)
Axiais	1500 a 25000	1000	6,0 (por carcaça de múltiplos estágios)

Fonte: Rocha; Monteiro (2005a).

Com relação a temperatura de captação do ar, quanto mais baixa for a temperatura de aspiração de um compressor, menor será a energia necessária para sua compressão. Segundo estudo realizado por Rocha e Monteiro (2005a), para cada 4°C de aumento na temperatura do ar de aspiração, o consumo de energia aumenta em 1% para obter o mesmo volume gerado; e para cada 3°C de redução da temperatura do ar aspirado, verifica-se aumento de 1% da capacidade do compressor para o mesmo consumo.

O referido estudo afirma ainda que, quanto mais baixa for a temperatura do ar aspirado, maior será a quantidade de massa de ar que poderá ser aspirada pelo compressor com a mesma vazão volumétrica aspirada e mesma potência consumida neste trabalho, isto porque o ar mais frio é mais denso. Então, maior massa de ar poderá ocupar o mesmo volume do que quando ele está mais aquecido. Portanto, é importante evitar que os compressores aspirem ar no interior do recinto onde estão instalados, cuja temperatura é sempre mais alta que a do ar atmosférico externo. Nesse sentido, podem-se providenciar tubulações ligando a aspiração de ar do compressor a uma tomada de ar do exterior da sala de máquinas (ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

¹⁰ É importante destacar que esta tabela deve ser utilizada apenas como ferramenta de apoio a decisão, visto que ela focaliza valores médios, que não se enquadram rigidamente nos padrões de nenhum fabricante.

A Tabela 3 abaixo, correlaciona as temperaturas do ar aspirado e os percentuais de potência economizados ou incrementados tomando-se como base a temperatura de 21°C (ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

Tabela 3 - Variação do consumo com a temperatura de aspiração

Temperatura do ar de Aspiração	Potencia economizada ou incrementada (Temperatura de referência em 21 °C)
-1,0 °C	7,5% (economizado)
4,0 °C	5,7% (economizado)
10 °C	3,8% (economizado)
16 °C	1,9% (economizado)
21 °C	0,0
27 °C	1,9% (incrementado)
32 °C	3,8% (incrementado)
38 °C	5,7% (incrementado)
43 °C	7,6% (incrementado)
49 °C	9,5% (incrementado)

Fonte: Rocha; Monteiro (2005a)

Além dos aspectos referidos, sugere-se que antes de intervir na geração deve-se priorizar as ações de melhorias na utilização final do ar comprimido e sua distribuição, pois os ganhos nessas áreas serão refletidos de modo ampliado na geração. Caso contrário, corre-se o risco de a geração ficar superdimensionada (ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

De maneira geral, o desperdício de energia pode estar associado ao uso do ar comprimido quando ou onde não é necessário, ou à não utilização de práticas que permitam otimizar o seu uso. Por exemplo, o escape de ar comprimido quando a máquina não está em operação pode ser evitado fazendo-se o intertravamento desta com o suprimento de ar (VIANNA et al., 2012; ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

A vazão de ar comprimido pode ser controlada pela utilização de dispositivos especialmente concebidos para reduzir o consumo sem diminuir a eficácia de produção ou, ainda, com a colocação de válvulas solenóides no circuito de distribuição, permitindo interromper o consumo de ar comprimido logo que o processo seja paralisado, interrompendo as perdas por vazamentos no circuito. Em

alguns casos a utilização de ar comprimido pode ser completamente eliminada, sendo o seu uso substituído por um processo elétrico ou mecânico (VIANNA et al., 2012; ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

Além da análise da geração e a identificação das oportunidades no uso final de ar comprimido, outro fator a ser observado na conservação de energia em sistemas de ar comprimido é a pressão de trabalho. A falta de análise desse aspecto afetará significativamente o consumo de energia, que aumenta com o aumento da pressão de trabalho (ELEKTRO, 2015a; ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

Isso porque, equipamentos que operam com diferentes pressões em uma mesma instalação podem ser atendidos mediante a redução da pressão nos pontos de consumo, por meio de válvulas redutoras. Em outros casos, dependendo do perfil de consumo, torna-se econômico o uso de compressores de diferentes vazões e pressões para atender a diferentes solicitações de operação, em um mesmo sistema (VIANNA et al., 2012; ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

A pressão de trabalho da instalação é definida pela pressão que atenda aos requisitos dos equipamentos consumidores mais as perdas da rede entre a geração e o consumo. A pressão escolhida deverá ser a menor que possa vencer todos os obstáculos ao fluxo do ar pelas tubulações e que atenda os consumidores conforme as condições exigidas pelo seu fabricante (VIANNA et al., 2012; ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

A pressão de trabalho é regulada pelo ajuste de desarme do pressostato de controle liga/ desliga do compressor. O correto é ajustá-la próxima da pressão média de operação da linha, pois um ajuste de pressão mais elevada levará o compressor a funcionar mais tempo que o necessário, ocorrendo em alguns casos, do compressor não entrar em alívio em nenhum momento, fato que poderá incorrer em elevações substanciais no consumo de energia elétrica (ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

Por fim, o último aspecto abordado na análise energética dos sistemas de ar-comprimido é com relação a sua manutenção. De acordo com Rocha e Monteiro (2005a) a manutenção de um sistema de ar comprimido é similar à realizada em carros. Filtros e fluidos devem ser trocados, a água de refrigeração deve ser inspecionada, correias devem ser ajustadas e vazamentos devem ser identificados e consertados.

Especificamente com relação aos vazamentos, os mesmos devem ser identificados e sanados, visto que são a maior fonte de desperdício em um sistema de ar comprimido, representando, em alguns casos, mais da metade de todas as perdas do sistema. Dependendo da idade e do tipo da instalação, valores de até 5% ainda podem ser considerados toleráveis (ELEKTRO, 2015a; ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

Além dos vazamentos, outro ponto que merece atenção é com relação a condição de funcionamento dos filtros, pois quando sujos aumentam a queda de pressão, o que reduz a eficiência do compressor. Por este motivo, um medidor de diferença de pressão é recomendado para monitorar as condições dos filtros de entrada do compressor. Caso, este equipamento apresente níveis de pressão acima dos índices de trabalho recomendados, os filtros devem ser trocados (ROCHA; MONTEIRO, 2005a).

2.4 SISTEMAS DE MENSURAÇÃO DE DESEMPENHO ORGANIZACIONAL (SMD)

A avaliação de desempenho organizacional é um conceito abrangente e apresenta grande complexidade, principalmente devido às diversas metodologias e abordagens existentes para avaliar o desempenho (LUGOBONI et al., 2015). De acordo com Hourneaux Junior (2010), quanto à mensuração, inicialmente, tais sistemas preocupavam-se exclusivamente com aspectos de produção e controle, que ao longo do tempo evoluíram para sistemas mais amplos e complexos, com modelos que focam em diferentes aspectos em sua concepção.

Atualmente, existem diversos modelos de mensuração disponíveis na literatura científica, cada qual com características que buscam acompanhar a rápida transformação do mercado globalizado. Em meio a tantas propostas, uma compilação realizada por Neuenfeldt Júnior (2014), apresenta de forma sumarizada alguns dos modelos de mensuração de desempenho considerados como mais relevantes, bem como suas principais características, o que pode ser visualizado no Quadro 3 abaixo:

Quadro 3 - Métodos para a mensuração de desempenho.

Método	Principais Características
Administração por objetivos (APO)	Técnica de direcionamento de esforços através do planejamento e controle administrativo, no qual as metas são definidas em conjunto entre administrador e seu superior e as responsabilidades são especificadas para cada posição em função dos resultados esperados.
KPI	Ferramenta para avaliar o estado de determinada atividade, de maneira que os níveis de uma empresa compreendam a forma como seus trabalhos influenciam no negócio.
Balanced Scorecard (BSC)	Traduz a estratégia da organização em um conjunto de medidas capazes de realizar a mensuração do seu desempenho, a fim de se atingir os principais objetivos estratégicos traçados. (Conclusão)
Três Níveis de Desempenho	Considera o estabelecimento de três níveis (organização, processo e executor) de desempenho, de maneira a qual uma empresa ou um sistema pode ser avaliado a partir do cumprimento dos requisitos desses vértices.
Mckinsey 7-S	Modelo de gestão desenvolvido para compreender sete fatores considerados como de determinação para a efetiva mudança de uma organização.
Baldrige	Tem por objetivo prestar um auxílio às empresas no que tange o estímulo ao aperfeiçoamento da sua qualidade e produtividade, fornecendo as informações necessárias para se chegar a um alto nível de qualificação dos seus processos.
Quantum	Modelo proposto com o objetivo de associar missão, estratégia, metas e processos dentro da organização, trabalhando com uma matriz em três dimensões: qualidade, custo e tempo, visando equilíbrio entre estas.
Performance Prism	É uma metodologia que visa integrar os processos a fim de se criar valor para as partes interessadas no sistema, partindo-se de indicadores capazes de remeter o status no qual a gestão se encontra.

Fonte: Neuenfeldt Júnior (2014).

Esse rol de possibilidades, entretanto, não deve ser compreendido como modelos isolados, mas sim como opções flexíveis capazes de ajustarem-se da melhor forma possível à realidade que se pretende modelar, cabendo ao usuário da ferramenta a sensibilidade para tanto, uma vez que nem mesmo a literatura científica apresenta um consenso de qual método seja o mais apropriado (SOLIMAN, 2014).

A fim de direcionar a escolha do melhor modelo, Figueiredo et al., (2005), identificou, com base na análise de diversas fontes bibliográficas, as características desejáveis em um SMD, que apontou como sendo:

- a) aprendizado organizacional;

- b) análise crítica;
- c) balanceamento;
- d) clareza;
- e) dinamismo;
- f) integração;
- g) alinhamento;
- h) participação;
- i) relacionamento causal.

Além das características apresentadas, Franco-Santos et al., (2007) p. 18-19, apresentou em seu estudo cinco funções dos SMD's nas organizações, com o propósito de auxiliar os investigadores no processo de identificação e seleção de sistemas de avaliação de desempenho, os quais são:

- a) Mensurar o Desempenho (*Measure Performance*): engloba o papel de monitorar o progresso e mensurar ou avaliar o desempenho;
- b) Administração da Estratégia (*Strategy Management*): compreende os papéis de planejar, formular a estratégia, implementar e executar, além de chamar a atenção para pontos relevantes;
- c) Comunicação (*Communication*): esta relacionado aos papéis de comunicação interna e externa, realização de benchmarking e assegurar o cumprimento das regulamentações;
- d) Influenciar o Comportamento (*Influence Behaviour*): compreende os papéis de recompensa e compensação pelo comportamento, gestão dos relacionamentos e controle; e
- e) Aprendizado e Melhoria (*Learning and Improvement*): compreende os papéis de feedback e melhoria no desempenho.

Sob a luz das características e funções desejáveis para um SMD, e tendo em vista que seus conceitos e aplicações estão alinhados com a proposta do presente trabalho, será destacado a seguir o sistema *Key Performance Indicators* (KPI).

2.4.1 Key performance indicator (KPI)

Tendo em vista a complexidade e a diversidade de fatores que compõem um diagnóstico energético, a utilização de sistemas de mensuração suportados por indicadores mostram-se eficazes na interpretação dos resultados obtidos após a sua

aplicação e, além disso, estabelecem uma meta a ser alcançada, na medida que confrontam os resultados a um cenário ideal.

O sistema KPI possui justamente essa finalidade, uma vez que os indicadores chave de desempenho (KPI's) são utilizados como uma ferramenta de avaliação de desempenho capaz de auxiliar as organizações a avaliarem o seu nível de sucesso com relação ao contexto de uma atividade específica, ou no conjunto de processos inerentes a ela, refletidos pelos direcionadores estratégicos definidos a partir das necessidades identificadas (OGUNLANA, 2008, BARTZ et al., 2011).

Além da sua utilização com o objetivo de avaliar o desempenho, Marr (2012) destaca que também são importantes instrumentos de orientação, que poderão ser aproveitados pelos gestores para entender qual caminho a empresa está trilhando, ou seja, servem para mostrar se as estratégias utilizadas pela empresa estão direcionando-a para o sucesso ou fracasso.

Por sua vez, Jefferson (2007) expõe que a sua utilização deve fornecer tanto uma medida de desempenho atual, como uma clara orientação daquilo que pode ser alcançado em termos de metas de desempenho futuro, para que, com a posse de tais informações, seja possível avaliar a evolução do desempenho ao longo do tempo, assim como verificar a quais resultados as condutas adotadas têm direcionado a empresa.

Conceitualmente, tal sistema propõe que inicialmente seja fixado um objetivo que a organização busca alcançar, em seguida, devem ser elencados os Fatores Críticos de Sucesso (FCS), que são aqueles pontos que reconhecidamente influenciam no alcance do objetivo traçado pela organização. Em razão da sua importância, a correta identificação desses fatores corresponde, em grande parte, ao êxito na implementação do método (MARR, 2012; OGUNLANA, 2010; PARMENTER, 2012; SAMSONOWA, 2012).

Porter (1996) define os FCS como um número limitado de áreas de uma determinada organização, ou processo, nas quais os resultados, se satisfatórios, assegurarão desempenho superior. Em consonância a essa definição, Tarapanoff (2001) expõe que os FCS, pela sua natureza, podem comprometer todo o sucesso de um plano ou de uma estratégia e, portanto, merecem atenção especial por parte de quem os administra.

Ainda, os FCS se caracterizam pela dinamicidade e arborescência, o que sugere a sua revisão e avaliação sistemática. Por meio do seu desdobramento, que

ocorre através de uma árvore de apoio a decisão, é possível reconhecer a importância de cada ramificação e a identificar as informações necessárias na avaliação do desempenho (COLAUTO et al., 2004).

A fim de complementar este estudo e classificar a importância de cada ramificação e dos FCS que as compõem, optou-se pela utilização de parte de uma ferramenta de análise de multicritério, que visa auxiliar o decisor no julgamento de prioridades, denominada Análise Hierárquica de Processos (AHP), a qual será elucidada a seguir.

2.5 ABORDAGEM MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO

O processo de decisão está associado à necessidade de se atender a objetivos conflitantes na escolha pela opção considerada como a melhor entre um rol de alternativas viáveis, sendo geralmente uma atividade complexa devido à incerteza sobre os aspectos envolvidos (WALLENIUS et al., 2008; SAATY; VARGAS, 2012; ZAVADSKAS et al., 2014).

Qualquer problema de decisão que compreenda no mínimo duas ações possíveis, pode ser enquadrado sob a abordagem multicritério de apoio à decisão, a qual engloba métodos com o objetivo de representar a complexa realidade através de modelagens qualitativas ou quantitativas, permitindo um melhor entendimento por parte dos atores envolvidos e servindo como subsídio para a escolha final entre as opções disponíveis (GOMES; GOMES 2012; DOUMPOS; GRIGOROUDIS, 2013).

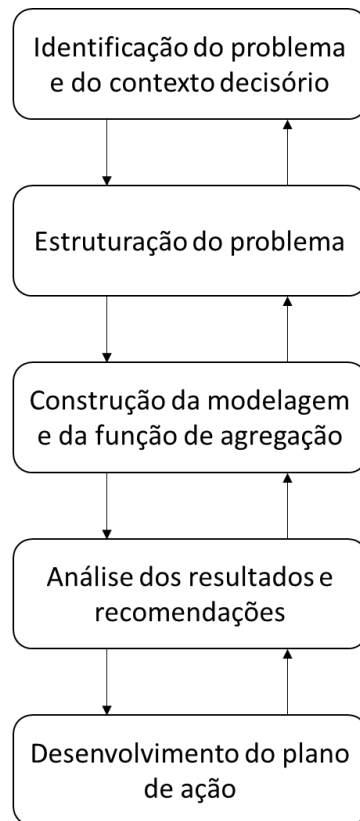
As Metodologias Multicritério de Apoio a Decisão (*Multi Criteria Decision Aid – MCDA*), contribuem justamente por auxiliar a tornar este processo menos complexo, ao dispor de ferramentas que permitem elucidar as relações de causa e efeito sobre as preferências dos decisores, aumentando o nível de conhecimento sobre o problema (BELTON; STEWART, 2001).

Ainda, a MCDA não tem por objetivo remover a subjetividade do problema, mas visa torná-lo clara aos tomadores de decisão, guiando-os por caminhos lógicos para satisfazer os objetivos de todos os envolvidos (ENSSLIN et al., 2001).

As fases que compõem um processo de apoio à decisão são discutidas por vários autores, onde se verificam semelhanças entre esses. Uma compilação realizada por Soliman (2014), a partir do exposto em Roy (1985), Belton e Stewart

(2001), Power (2002), Gomes e Gomes (2012) e Doumpos e Grigoroudis (2013) é apresentada sob a forma de um fluxo na Figura 7:

Figura 7 - Processo de apoio à decisão.



Fonte: Adaptado de Soliman (2014).

A primeira fase compreende uma ampla investigação para a identificação do problema e do contexto que permeia a decisão, uma vez que entre um grupo de decisores, tais conceitos nem sempre estão claros, pois o problema pode envolver nuances e percepções diferentes para cada um dos envolvidos (ENSSLIN et al., 2011; DOUMPOS; GRIGOROUDIS, 2013; SOLIMAN, 2014).

Durante a fase de estruturação, os atores utilizam de ferramentas para auxiliar no processo de identificação das alternativas, incertezas, pontos-chaves de avaliação e fatores externos, com base nos seus sistemas de valores. Entre estas ferramentas, destacam-se as hierarquias de meios e fins, diagrama de Ishikawa, *brainstorming*, e árvore de apoio à decisão (GOMES; GOMES, 2012; SOLIMAN, 2014).

Em específico, essa última prevê a decomposição do problema por meio da divisão do objetivo central em critério e subcritérios organizados hierarquicamente, mostrando-se bastante útil na visualização das inter-relações entre os diversos elementos que impactam a decisão, sendo amplamente utilizada em processos decisórios (SKINNER, 2009; SOLIMAN, 2014).

A construção da modelagem, por sua vez, envolve a utilização de mecanismos que permitam avaliar quantitativamente cada critério. Para tanto, uma das necessidades neste ponto é a definição dos pesos (taxas de substituição) entre os elementos do modelo, a fim de demonstrar as diferenças de importância entre cada um deles (ALMEIDA, 2013; SOLIMAN, 2014). Isso pode ser realizado por meio de métodos como *Trade-Off*, *Swing Weights* e comparação par-a-par, todos baseados no conceito de compensação, onde o ganho de performance em um critério implica na perda de outro (ENSSLIN et al., 2001).

A fase denominada por análise dos resultados e recomendações compreende, num primeiro momento, o cálculo do desempenho global das alternativas a partir da construção realizada na fase anterior, sendo possível desta forma analisar as diferenças entre elas.

Posteriormente, a etapa de recomendações visa apontar qual é o melhor curso de ação para o problema modelado, além de propor qual o incremento necessário para que as alternativas avaliadas negativamente possam vir a ser consideradas como atrativas, realizando-se simulações e verificando-se os resultados (ENSSLIN et al., 2001; DOUMPOS; GRIGOROUDIS, 2013).

A última fase, intitulada por desenvolvimento do plano de ação, visa buscar estratégias para a implementação da decisão que foi apoiada pelo processo desenvolvido. Nesse estágio, já se considera que a melhor alternativa (ou conjunto destas) esteja definida, concentrando-se os esforços na realização das atividades necessárias para execução da solução encontrada (BELTON; STEWART, 2001).

Entre as abordagens multicritério na literatura científica, destacam-se a família de métodos ELECTRE (ROY; BOUYSSOU, 1993), PROMETHEE (MARESCHAL; BRANS, 1993), Análise Hierárquica de Processos - AHP (SAATY, 1980) e Utilidade Multiatributo - MAUT (KEENEY; RAIFFA, 1993), os quais são derivados das escolas Americana, Francesa, ou híbrida, cada qual com suas próprias características (GOMES; GOMES, 2012; SOLIMAN, 2014). Esta dissertação fará o uso dos conceitos de apenas uma dessas ferramentas, a Análise Hierárquica de Processos

(AHP), e por esse motivo, a seguir serão elucidados os conceitos relacionados a este instrumento de análise multicritério.

2.5.1 Analytic hierarchy process (AHP)

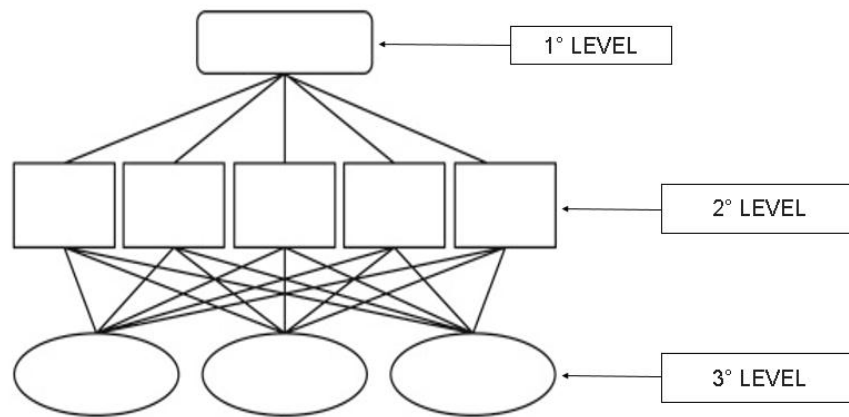
Tendo em vista que a formulação do diagnóstico energético exige a análise de diversos fatores com influências e pesos diferentes na obtenção do resultado final, optou-se pelo julgamento de prioridades do método da AHP, para a determinação da influência de cada alternativa na análise proposta.

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), criado por Saaty (1980) busca tratar a complexidade do processo de tomada de decisão através da decomposição do problema em uma hierarquia de critérios, qualitativos e quantitativos, mais facilmente analisáveis e comparáveis de modo independente (NAGESHA e BALACHANDRA, 2006; JOVANOVIĆA et al., 2015). Dessa forma, este método baseia-se em três etapas de pensamento analítico (COSTA, 2002):

- a) construção de hierarquias: no método AHP o problema é estruturado em níveis hierárquicos, o que facilita a melhor compreensão e avaliação do mesmo (MARINS, et al., 2009). Esta hierarquia é composta por três níveis ligados de cima para baixo, conforme demonstra-se na Figura 8:
 - nível 1: objetivo;
 - nível 2: critérios;
 - nível 3: alternativas.

Cada alternativa está ligada a cada critério pelo seu grau de cumprimento, e cada critério está relacionado com o objetivo pelo seu grau de importância (SCHUDELEIT et al., 2015).

Figura 8 - Estrutura da AHP



Fonte: Adaptado de Schudeleit et al., (2015)

De acordo com Bornia e Wernke (2001) a ordenação hierárquica possibilita ao decisor ter uma “*visualização do sistema como um todo e seus componentes, bem como as interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema*”.

- b) definição de prioridades: O método da AHP tem a capacidade de realizar a conversão de dados empíricos em modelos matemáticos. Os valores matemáticos são processados e comparados, a fim de avaliar a contribuição (peso) de cada fator na análise. Para tanto, distribui-se a importância de cada variável da hierarquia de nível n , sobre a hierarquia $n+1$, onde o grau de importância é obtido por meio de uma comparação binária entre as variáveis, dentro de um dado nível hierárquico (LAMARCA et al., 2016).

A matriz utilizada nas comparações binárias está entre as variáveis de cada nível hierárquico, as quais recebem a análise de especialistas para avaliar seu grau de importância. A partir disso, normaliza-se a Matriz A , utilizando-se vetores de prioridade relativa e composta, representando assim, os pesos de cada variável na hierarquia de critérios, subcritérios e alternativas sob avaliação (SAATY, 2012).

- c) consistência lógica: Para viabilizar a determinação de importância de cada critério e para que haja coerência no julgamento de prioridades, o método

da AHP propõe o cálculo da Razão de Consistência (RC) dos julgamentos, representado por $RC = IC/IR$, onde IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não-negativos e gerada randomicamente. O Índice de Consistência (IC) é dado por $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1)$, onde $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos (MARINS et al., 2009). Segundo Saaty (2012), a condição de consistência está adequada quando o resultado encontrado em RC obedece a seguinte condicionante $RC \leq 0,10$.

A aplicação destas etapas consiste em priorizar a importância relativa de 'n' elementos na tomada de decisão em relação a um objetivo, através de avaliações parciais destes elementos, dois a dois, facilitando a análise pelos decisores. Através do índice de consistência, verifica-se se os valores atribuídos a cada par de critérios estão coerentes. (FRANCISCHINI; CABEL, 2003).

3 METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados no decorrer da pesquisa. Para tanto, este capítulo é composto por duas seções, onde a primeira apresenta o enquadramento metodológico, e a segunda o desenvolvimento da pesquisa.

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

A condução de pesquisas científicas deve estar balizada segundo os pressupostos metodológicos para que possam ser consideradas válidas e, assim, apresentarem resultados coerentes (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Neste sentido, o enquadramento da metodologia que será utilizada neste projeto de dissertação é apresentado no Quadro 4, de acordo com as proposições de Silva e Menezes (2005), Miguel (2007), Gil (2010), Marconi e Lakatos (2010) e Yin (2010).

Quadro 4 - Enquadramento metodológico.

Classificação	Enquadramento
Natureza	Aplicada
Método científico	Indutivo
Abordagem	Qualitativa
	Quantitativa
Objetivos	Exploratória
	Descritiva
Procedimentos técnicos	Bibliográfica
	Documental
	Estudo de caso

Fonte: Autor (2016)

Quanto à natureza da pesquisa, essa pode ser considerada como aplicada, devido as respostas práticas que serão obtidas pelos resultados. Tal contribuirá para

a solução de problemas pontuais no contexto da investigação que será abordada (GIL, 2010).

Quanto ao método, esse se enquadra como indutivo, visto que por intermédio de uma cadeia de raciocínio em ordem descendente, analisando do geral para o particular, se pretende encontrar uma conclusão para o objeto de estudo desta pesquisa. (SILVA; MENEZES, 2005).

Em relação à abordagem, este estudo contemplará tanto o viés qualitativo quanto o quantitativo. No que tange a abordagem qualitativa, se buscará por informações que permitam evidenciar as características do contexto da utilização da energia elétrica pela indústria brasileira. Já em relação a abordagem quantitativa, se realizará a busca por procedimentos que permitam quantificar os aspectos considerados relevantes para a modelagem (MARCONI; LAKATOS, 2010).

No que tange aos objetivos, a pesquisa será exploratória e descritiva, tendo em vista a necessidade de se conhecer com maior profundidade os conceitos e as características da utilização da energia elétrica pela indústria brasileira (GIL, 2010).

Quanto aos procedimentos técnicos, o estudo utilizará a pesquisa bibliográfica, devido à necessidade de se buscar por publicações científicas que embasam as temáticas abordadas; a pesquisa documental, a fim de possibilitar um melhor entendimento do setor pesquisado, mercado econômico e suas tendências;

Por último, é possível afirmar que a pesquisa em questão se enquadra como um estudo de caso, visto que será analisado o impacto dos conceitos teóricos abordados em uma determinada empresa (GIL, 2010; YIN, 2010).

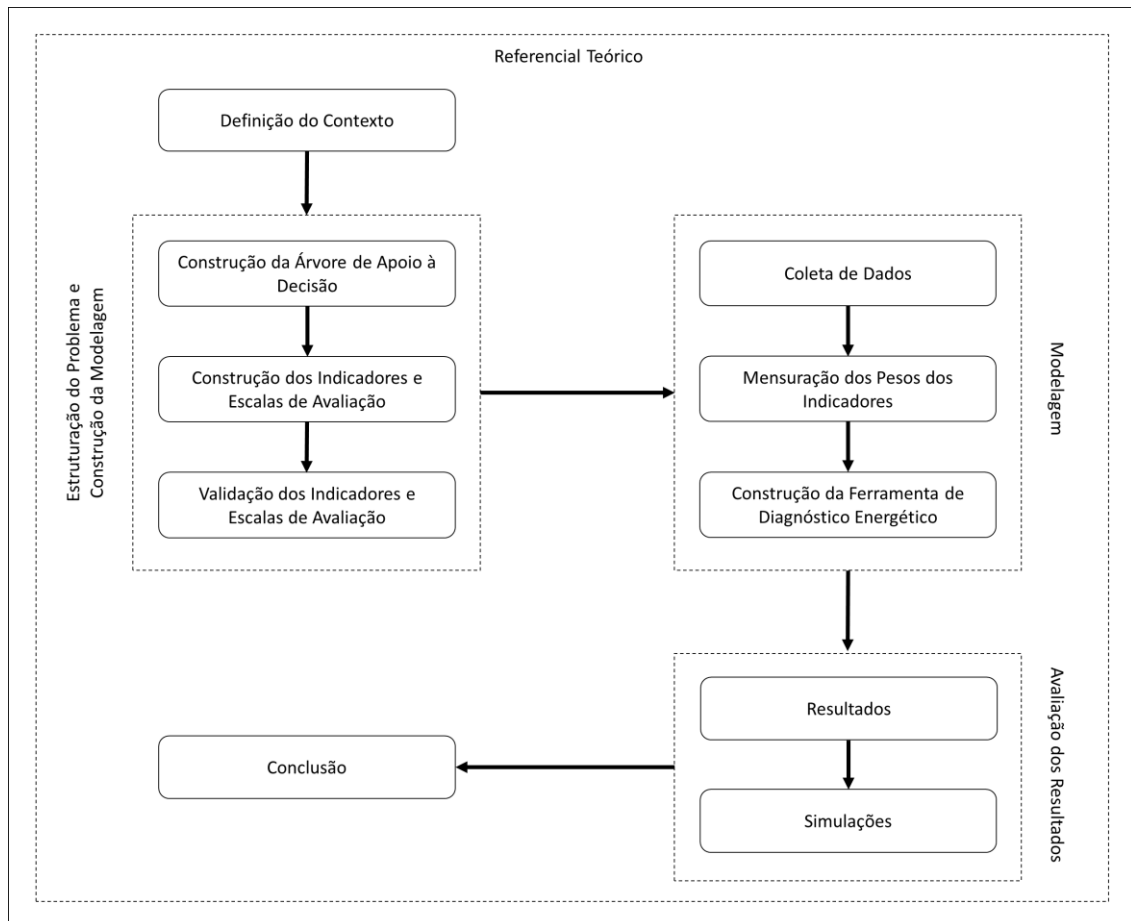
3.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A sequência de etapas que compõem o desenvolvimento desta pesquisa está delineada segundo os pressupostos referentes à eficiência energética e diagnóstico energético baseados em Boyd (2014), Laitner (2013), Pena (2011) e Vianna et al., (2012), juntamente com os conceitos dos sistemas de mensuração de desempenho apresentados por Figueiredo et al., (2005), Franco-Santos et al., (2007), e alinhados com as diretrizes da abordagem dos *Key Performance Indicators*, por Parmenter (2012) e Análise Hierárquica de Processos, apresentados por Saaty (2012).

O objetivo geral da pesquisa é desenvolver a modelagem de um diagnóstico energético utilizando-se de um sistema de medição de desempenho. Tal objetivo

será contemplado através do cumprimento das dez etapas apresentadas na Figura 9:

Figura 9 - Desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Autor (2016)

A primeira etapa, intitulada por definição do contexto, foi cumprida por meio do referencial teórico, apresentado no capítulo 1.3, onde as características do cenário energético brasileiro com o detalhamento do uso da energia pelo setor industrial foram elucidadas, satisfazendo o primeiro objetivo específico apresentado na seção 1.2.2.

Para a realização da pesquisa bibliográfica, foram utilizados os portais de conteúdo científico Elsevier, Springer, Emerald, ScientificDirect, Scopus, e o portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), juntamente a consulta de livros, dissertações, teses e artigos publicados

em anais de eventos referentes ao tema proposto, a fim de se buscar o embasamento teórico indispensável para apoiar a construção da modelagem.

A pesquisa documental, por sua vez, compreendeu a busca por relatórios, informativos, e estatísticas referentes ao setor industrial brasileiro e eficiência energética, disponibilizados por associações nacionais e internacionais, além da consulta junto aos portais eletrônicos de órgãos do governo. Os resultados obtidos incluem dados mercadológicos, panoramas setoriais, tendências, séries históricas e previsão de eventos futuros, os quais foram apresentados ao longo do referencial teórico e suportam a justificativa da pesquisa, assim como os demais capítulos do referencial bibliográfico.

A segunda fase, estruturação do problema e construção da modelagem foi realizada através de três etapas: construção da árvore de apoio à decisão; construção dos indicadores e escalas de avaliação; e validação dos indicadores e escalas de avaliação. A construção da árvore de apoio à decisão foi concretizada a partir do desdobramento do objetivo central em Pontos de Vista Fundamentais (PVF), os quais representam o primeiro nível da hierarquia e agrupam no segundo nível dessa estrutura um rol de Fatores Críticos de Sucesso (FCS) no diagnóstico energético. A determinação dos PVF's e FCS's foi realizada a partir das recorrências identificadas por meio da pesquisa bibliográfica e documental, atendendo-se assim ao segundo objetivo específico, descrito na seção 1.2.2.

A construção dos indicadores e escalas de avaliação foram realizados com base nos fundamentos do *Key Performance Indicators* (KPI), descritos por Parmenter (2012), os quais permitem a construção de métricas capazes de retornar ao usuário a real situação de cada fator crítico de sucesso que compõem a modelagem.

A fim de aumentar a confiabilidade da pesquisa, os indicadores e escalas de avaliação construídos foram submetidos a uma análise crítica por engenheiros ligados a empresas de conservação de energia, além da consulta a engenheiros especialistas a cada PVF abordado no estudo, para realização dos ajustes necessários a fim de validar a modelagem proposta.

Para a fase intitulada por modelagem, propôs-se o cumprimento das seguintes etapas: coleta de dados; mensuração dos pesos dos indicadores e construção da ferramenta de diagnóstico energético. Na etapa de coleta de dados os pesquisadores fizeram a análise dos indicadores *in loco* de uma empresa do setor

industrial de Manaus, no estado do Amazonas. Nesta etapa, foram utilizados equipamentos e softwares específicos para a determinação dos níveis de eficiência energética em cada PVF avaliado. Após isto, fez-se necessário a determinação dos pesos de cada PVF e FCS, a fim de determinar quais fatores tem maior impacto na eficiência energética, ponderando os aspectos de custo, consumo e potencial de conservação de energia de cada critério analisado.

Assim, para a mensuração dos pesos dos indicadores foi utilizado o método de julgamento de prioridade da Análise Hierárquica de Processos (AHP). A determinação dos pesos dos PVF e FCS foi realizada através da comparação par a par, utilizando-se da escala de julgamento que atribui valores que representam a intensidade de importância de cada critério e alternativa em relação ao outro.

Após a determinação dos pesos de cada PVF e FCS elencados, foi necessário a construção de um instrumento capaz analisar os dados coletados, a partir de uma hierarquia, considerando os pesos anteriormente definidos de cada critério. Por meio de planilhas elaboradas através do software Excel®, foram relacionados os pesos encontrados para cada PVF e FCS na estrutura hierárquica anteriormente citada, com a formulação matemática das interações dos critérios analisados que estão relacionadas às respostas do instrumento de avaliação.

A etapa de avaliação dos resultados foi dividida em duas fases: Resultados e Simulações. A avaliação do desempenho energético e discussão dos resultados está disposta para cumprir o quarto e último objetivo específico. Após a determinação dos pesos dos critérios por meio das respostas levantadas junto à empresa selecionada foi possível avaliar o nível de eficiência energética desta. Durante a etapa de simulações, procurou-se esboçar uma lógica para a formulação de ações de adequação no sentido de elevar o desempenho energético dos pontos com maior grau de oportunidade encontrados.

A fase final desta pesquisa compreendeu a redação das conclusões obtidas, onde a problemática, o objetivo geral e os específicos foram retomados. Apresentou-se também nesta etapa as limitações do trabalho e indicativos de trabalhos futuros, que podem ser realizados para aprofundar estudos referentes à temática.

4 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA E CONSTRUÇÃO DA MODELAGEM

Neste capítulo serão elucidados os procedimentos adotados na estruturação do problema e para a construção da modelagem de avaliação do desempenho energético para indústrias que possuem demanda contratada acima de 300 kW. Esta fase foi dividida em três etapas:

- a) construção da estrutura hierárquica;
- b) construção dos indicadores e escalas de avaliação;
- c) validação dos indicadores e escalas de avaliação.

A seguir, a realização de cada uma destas etapas será detalhada para melhor compreensão.

4.1 CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE APOIO À DECISÃO

A construção da árvore de apoio à decisão foi estabelecida a partir de pesquisas exploratórias sobre o contexto energético brasileiro, com foco na utilização desses recursos pelo setor industrial, além da análise sobre o desenvolvimento de ações de eficiência energética por este setor. Nesta etapa, buscou-se identificar em cada material analisado quais são os principais elementos que moldam a utilização dos recursos energéticos pelas indústrias, com a criação de um banco de dados obtido a partir da anotação destas leituras, mantendo-se a informação do elemento reportado e a origem da informação.

Em um segundo momento, realizou-se uma triagem nesse banco de dados, com a conseqüente adoção de seis Pontos de Vista Fundamentais pelo pesquisador, que são:

- a) ações administrativas;
- b) motores elétricos;
- c) sistemas elétricos;
- d) iluminação;
- e) climatização;
- f) sistema de ar-comprimido.

Após isso, buscou-se verificar a relevância desses em função da recorrência do apontamento em mais de uma fonte. Fundamentalmente, as leituras dos materiais científicos e documentais pelo pesquisador evidenciaram tais pontos como

os principais fatores a serem abordados como PVF selecionados para a análise energética¹¹.

Os FCS's apresentados no Quadro 5 visam avaliar o desempenho energético em indústrias, a partir da análise dos fatores que compõe as ações administrativas, visto que, conforme abordado no item 2.3.1, tais fatores envolvem intervenções que não requerem necessariamente aportes financeiros, ao passo que são voltados para a eliminação de desperdícios evidentes, por meio dos programas de conscientização sobre o uso racional de energia e revisão do contrato de fornecimento entre empresas e concessionárias. Entende-se que, um bom desempenho nesses fatores, poderá auxiliar essas empresas a reduzir os custos energéticos:

Quadro 5 - Indicadores relacionados ao PVF 1

1.0	Ações Administrativas	Referências Bibliográficas
1.1 Contratação de Energia		
1.1.1	Ambiente de Contratação Livre (ACL)	ABRACE, 2016; FLOREZI, 2009; CCEE, 2016; CCEE, 2015; MAGALHÃES, 2009
1.1.2	Ambiente de Contratação Regulada (ACR)	ABRACE, 2016; FLOREZI, 2009; CCEE, 2016; CCEE, 2015; MAGALHÃES, 2009; BORBA et al., 2014
1.2 Faturas de Energia		
1.2.1	Análise da Demanda	BRASIL, 2015; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011; BATISTA, 2013; CNI, 2008; BORBA et al., 2014.
1.2.2	Análise do Consumo	BRASIL, 2015; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011, BATISTA, 2013; CNI, 2008; BORBA et al., 2014
1.2.3	Análise dos Reativos	BRASIL, 2015; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011, BRASIL, 2015; BORBA et al., 2014
1.2.4	Cobranças Indevidas	BRASIL, 2015; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011, BATISTA, 2013, CNI 2008; BORBA et al., 2014
1.3	Recursos Técnicos e Humanos	ROCHA; MONTEIRO, 2005b; CELESC, 2015, CNI, 2008

Fonte: Autor (2016)

No Quadro 6, são apresentados os FCS's associados ao PVF 2 – Motores Elétricos. Estes, por sua vez, avaliam o desempenho em um dos principais aspectos

¹¹ O material pesquisado está descrito na referência bibliográfica desta dissertação.

de consumo energético da indústria, tendo em vista que, conforme abordado pelo item 2.3.2, os motores elétricos são amplamente utilizados pela indústria. Por este motivo, mensurar o desempenho destes fatores é fundamental para o resultado global da análise energética:

Quadro 6 - Indicadores relacionados ao PVF 2

2.0	Motores Elétricos	Referências Bibliográficas
2.1	Motores de Alto Rendimento	ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015 ^a
2.2	Inversores de Frequência	MARCHAIS, 2013; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015a; WEG, 2016
2.3	Dimensionamento	GARCIA, 2008; HAN; YUN, 2015; O'RIELLY; JESWIET, 2014; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015a; WEG, 2016
2.4	Dispositivos de Partida	ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; FIESC, 2015; WEG, 2016
2.5	Ambiente e Regime de Trabalho	ROCHA; MONTEIRO, 2005b; FIESC, 2015
2.6	Motores Rebobinados	KUMAR, 2010; SOLA; MOTA; KOVALESKI, 2011
2.7 Condições de Manutenção		
2.7.1	Condições de Acoplamento	GARCIA, 2008; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015 ^a
2.7.2	Temperatura de Funcionamento	GARCIA, 2008; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015 ^a
2.7.3	Correias	GARCIA, 2008; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015 ^a
2.7.4	Limpeza e Lubrificação dos Mancais	GARCIA, 2008; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015 ^a

Fonte: Autor (2016)

No Quadro 7, são apresentados os FCS's referentes ao PVF 3 – Sistemas Elétricos. Tais foram propostos para avaliar os elementos que compõe as instalações elétricas das indústrias. Os indicadores dispostos avaliam o desempenho

do funcionamento da subestação, balanceamento das fases, quadros de distribuição, entre outros.

Quadro 7 - Indicadores relacionados ao PVF 3

3.0	Sistemas Elétricos	Referências Bibliográficas
3.1 Transformadores/Subestação		
3.1.1	Carregamento	FIESC, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005b
3.1.2	Condições de Funcionamento	FIESC, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005b
3.1.3	Condições de Manutenção	FIESC, 2015, COPEL, 2015
3.2	Fator de Potência	STAROSTA, 2016; FIESC, 2015; VIANNA, et al., 2012; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011; MARCHAIS, 2013; ROCHA; MONTEIRO, 2015b; BATISTA, 2013
3.3 Instalações Elétricas		
3.3.1	Fugas de Corrente	FIESC, 2015; BORBA et al., 2014
3.3.2	Balanceamento das Fases	FIESC, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; ELEKTRO, 2015a; BORBA et al., 2014
3.3.3	Dispositivos de Proteção	BORBA et al., 2014
3.3.4	Quadros de Distribuição	VIANNA et al., 2012; BORBA et al., 2014
3.3.5	Condutores	FIESC, 2015; COPEL, 2005; BORBA et al., 2014
3.3.6	Sistema de Aterramento	BORBA et al., 2014
3.4	Qualidade de Energia	EDOMAH, 2009; RAMOS, 2009; MARCHAIS, 2013; VIANNA et al., 2012; ELEKTRO, 2015a; CNI, 2008

Fonte: Autor (2016)

Os indicadores apresentados no Quadro 8 estão associados ao PVF 4 - Iluminação. Apesar de, na maioria dos casos, não estarem entre os principais consumidores de energia elétrica nas indústrias, a simples troca das lâmpadas que compõe o sistema de iluminação, pode trazer importante economia no consumo de energia.

Quadro 8 - Indicadores relacionados ao PVF 4

(continua)

4.0	Iluminação	Referências Bibliográficas
4.1	Sistema	MAIA et al., 2011; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b; VIANNA et al., 2012; KRALIKOVA; ANDREJIOVA; WESSELY, 2015; ALVES, 2009
4.2 Nível de Intensidade Luminosa		
4.2.1	Setor Administrativo	MAIA et al., 2011; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b; VIANNA et al., 2012; ALVES, 2009
4.2.2	Setor Industrial	MAIA et al., 2011; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b; VIANNA et al., 2012; ALVES, 2009.
4.3 Lâmpadas		
4.3.1	Setor Administrativo	MAIA et al., 2011; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b; CORTELETTI, 2015; VIANNA et al., 2012; KRALIKOVA; ANDREJIOVA; WESSELY, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005b
4.3.2	Reatores	MAIA et al., 2011; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b; CORTELETTI, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005b
4.3.3	Setor Industrial	MAIA et al., 2011; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b; CORTELETTI, 2015; VIANNA et al., 2012; KRALIKOVA; ANDREJIOVA; WESSELY, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005b
4.4	Iluminação Natural	MAIA et al., 2011; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b; CORTELETTI, 2015; VIANNA et al., 2012; DUFLOU et al., 2012; DIDONÉ, 2009; ALVES, 2009; ROCHA; MONTEIRO, 2005b
4.5 Automação do Sistema		
4.5.1	Relés Fotoelétricos	FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b.
4.0	Iluminação	Referências Bibliográficas

(conclusão)

4.5 Automatização do Sistema		
4.5.2	Sensores de Presença	FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b; KRALIKOVA; ANDREJIOVA; WESSELY, 2015
4.5.3	Sistemas de Comando de Iluminação	FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b; KRALIKOVA; ANDREJIOVA; WESSELY, 2015
4.6	Condições de Manutenção	FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015b; VIANNA et al., 2012; CARVALHO, 2006

Fonte: Autor (2016)

Os FCS apresentados no Quadro 9 estão relacionados ao PVF 5 – Climatização. De maneira geral, apesar de não ser o principal responsável pelo consumo energético no setor industrial, como é para os setores residencial e comercial, ter bons índices de eficiência energética nestes sistemas representa importante redução no consumo energético.

Quadro 9 - Indicadores relacionados ao PVF 5

(continua)

5.0	Climatização	Referências Bibliográficas
5.1	Sistema	FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015a
5.2	Dimensionamento	FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015a; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011
5.3	Nível de Eficiência dos Equipamentos	PENA, (2011); SHAH; WAIDE; PHADKE, 2013
5.4 Condições de Operação		
5.4.1	Ajuste dos Termostatos	VIANNA et al., 2012, PENA, 2011; FIESC, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; SILVA, 2016; ELEKTRO, 2015a; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011
5.4.2	Vazão de Ar-Exterior	PENA, 2011; SILVA, 2016; LEITE, 2010; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011
5.4.3	Acionamentos	VIANNA et al., 2012; PENA, 2011; SILVA, 2016
5.5	Instalação	PENA, 2011

(conclusão)

5.0	Climatização	Referências Bibliográficas
5.6 Medidas de Eficiência		
5.6.1	Proteção das Aberturas	VIANNA et al., 2012; PENA, 2011; ROCHA; MONTEIRO, 2005; LEITE, 2010; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011
5.6.2	Isolamento Térmicos em Coberturas	PENA, 2011; ELEKTRO, 2015a; LEITE, 2010; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011
5.6.3	Vedação de Portas e Janelas	VIANNA et al., 2012; PENA, 2011; FIESC, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005; LEITE, 2010; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011
5.7 Condições de Manutenção		
5.7.1	PMOC	FIESC, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; SILVA, 2016; ELEKTRO, 2015a; GUILLIOD; CORDEIRO, 2011
5.7.2	Vazamento em Dutos	PENA, 2011; FIESC, 2015; ELEKTRO, 2015 ^a

Fonte: Autor (2016)

Por último, os FCS's associados ao PVF 6 – Sistemas de Ar-Comprimido têm por finalidade mensurar o desempenho deste sistema nas operações industriais, visando diminuir os desperdícios, uma vez que, conforme abordado no Quadro 10, os custos com energia representam aproximadamente 70% dos custos com a geração de ar-comprimido. Desta forma, reduzir as perdas nestes sistemas, significa menores custos de produção:

Quadro 10 - Indicadores relacionados ao PVF 6

(continua)

6.0	Sistema de Ar-Comprimido	Referências Bibliográficas
6.1	Sistema	BELO, 2015; KUMAR, 2010; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; CELESC, 2015; BOSCH, 2008, ELEKTRO, 2015 ^a
6.2	Temperatura de Admissão	BELO, 2015; SILVA, 2016; CORTELETTI, 2015; DINDORF, 2012; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; CELESC, 2015; ELEKTRO, 2015 ^a

(conclusão)

6.0	Sistema de Ar-Comprimido	Referências Bibliográficas
6.3	Pressão de Trabalho	ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; BOSCH, 2008; ELEKTRO, 2015 ^a
6.4	Aplicação e Usos Finais	ROCHA; MONTEIRO, 2005b; CELESC, 2015; ELEKTRO, 2015 ^a
6.5	Acionamentos	SILVA, 2016; SAIDUR, 2010; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; ELEKTRO, 2015a
6.6 Condições de Manutenção		
6.0	Sistema de Ar-Comprimido	Referências Bibliográficas
6.6.1	Vazamentos	SILVA, 2016; CORTELETTI, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; VIANNA et al., 2012; CELESC, 2015; ELEKTRO, 2015 ^a
6.6.2	Filtros	BELO, 2015; SILVA, 2016; CORTELETTI, 2015; ROCHA; MONTEIRO, 2005b; CELESC, 2015; BOSCH, 2008; ELEKTRO, 2015 ^a

Fonte: Autor (2016)

Ao total, foram levantados cinquenta e oito FCS's para avaliar o desempenho energético. De maneira gráfica, o apêndice A apresenta uma representação esquemática das informações apresentadas pelos Quadros 6, 7, 8, 9, 10 e 11, onde a hierarquia e as inter-relações entre os PVF e FCS podem ser melhor visualizadas.

4.2 CONSTRUÇÃO DOS INDICADORES E ESCALAS DE AVALIAÇÃO

A partir da definição dos Fatores Críticos de Sucesso levantados durante a seção 4.1, deu-se início a construção dos indicadores de desempenho e escalas de avaliação para mensurá-los. O primeiro passo foi a descrição de um conceito de avaliação para cada FCS. Esse conceito teve por objetivo delimitar aquilo que se deseja mensurar, a fim de evitar equivocadas interpretações do responsável por colher as informações dos indicadores propostos.

Posteriormente, cada FCS foi desdobrado em cinco possíveis níveis de resposta (N1, N2, N3, N4 e N5), onde em cada caso, o nível "N1" corresponde à situação considerada como a menos eficiente ou mais inadequada, enquanto o nível "N5" corresponde ao maior grau de eficiência ou adequação. O ponto médio "N3", por sua vez, refere-se ao desempenho médio, ou seja, neste patamar a empresa não é considerada totalmente eficiente ou ineficiente.

Desta forma, significa que quando uma empresa atingir o “N5” de um indicador, tal estará em um patamar elevado de eficiência, entretanto, no outro extremo, ao alcançar apenas o nível “N1”, a eficiência energética da empresa analisada estará comprometida sob a ótica daquele FCS.

Com o objetivo de se construir indicadores normalizados para a mesma escala, o que permite a rápida comparação e a agregação dos mesmos, foram propostos para todos os indicadores funções lineares com pontuação entre 0 e 100. Assim, o nível mais alto de eficiência energética (N5) em cada indicador recebeu a pontuação máxima (100%), enquanto para o nível mais baixo (N1) foi atribuído a pontuação mínima (0%), e para os níveis intermediários, foram atribuídas pontuações com valores proporcionais.

O Quadro 11 apresenta um exemplo de indicador construído, sendo que os demais seguem exatamente a mesma estrutura deste. Nota-se que todos os indicadores são compostos pelo índice de localização da sua posição na estrutura hierárquica, nome do indicador, níveis de avaliação, descrição dos níveis de avaliação e valor, que representa a pontuação de cada nível.

Quadro 11 - Indicador referente ao FCS 2.1

FCS 2.1		Motores de Alto Rendimento
A quantidade de motores de alto rendimento que compõe o sistema de produção está entre:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Entre 0 - 40% do total de motores	○ 0%
N2	Entre 41 - 60% do total de motores	○ 25%
N3	Entre 61 - 80% do total de motores	○ 50%
N4	Entre 81 - 90% do total de motores	○ 75%
N5	Entre 91 - 100% do total de motores	○ 100%

Fonte: Autor (2016)

Para todos os indicadores construídos, buscou-se, sempre que possível, fundamentar as escalas de acordo com estatísticas disponíveis na literatura. Entretanto, devido à originalidade desta proposta, por vezes tal fundamentação não foi possível, ficando, desta forma, a cargo do pesquisador a tarefa de propor os níveis de avaliação. Ressalta-se, porém, que para minimizar está subjetividade

empregada, o pesquisador buscou apoio externo para a validação da proposta, conforme será demonstrado na Seção 4.3. A listagem completa de todos os indicadores construídos está contida no Apêndice A página 129.

4.3 VALIDAÇÃO DOS INDICADORES E ESCALAS DE AVALIAÇÃO

Conforme citado durante a Seção 3.2, o objetivo da validação dos indicadores e escalas de avaliação é elevar a confiabilidade da modelagem através da análise crítica realizada por especialistas de cada PVF escolhido e por engenheiros de empresas de conservação de energia, que atuam junto ao mercado de uma forma mais ampla.

O pesquisador contou com o apoio de dois Engenheiros Eletricistas ligados a uma empresa de conservação de energia, os quais validaram os indicadores dos PVF Ações Administrativas, Motores Elétricos, Sistemas Elétricos e Iluminação, além de um Engenheiro Mecânico, especialista em projetos de climatização para a validação dos indicadores dos PVF – Climatização. O PVF – Sistemas de Ar-Comprimido foi validado em conjunto pelo pesquisador e demais engenheiros citados.

Além da utilização das opiniões dos especialistas citados, foram utilizados os critérios abordados por softwares de desempenho energético, disponibilizados pelo portal do PROCEL, para validar os indicadores dos motores elétricos (BDmotor®), iluminação (Relux®) e sistema de ar-comprimido (E3AC®). A partir da validação dos indicadores, pôde ser iniciada o processo de modelagem da proposta.

5 MODELAGEM

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os passos utilizados na modelagem dos indicadores construídos, os quais foram elucidados no capítulo anterior. Esta fase é composta pelas seguintes etapas: coleta de dados; mensuração dos pesos dos indicadores e construção da ferramenta de diagnóstico energético.

5.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada no período de maio a agosto de 2016. A indústria escolhida pelo pesquisador para a coleta dos dados utilizados na aplicação desse estudo, por questões de confidencialidade será denominada como “Empresa A”.

Sua fundação ocorreu no ano de 1946 e, atualmente, está presente em 11 países, disposta em 26 empreendimentos. Especificamente no Brasil, a empresa conta com duas fábricas localizadas nos Estados de São Paulo e no Amazonas. O parque fabril localizado em Manaus/AM, conta com uma área construída de aproximadamente 14.174 m², dedicados a produção de painéis de instrumento para veículos automotores.

Tal iniciou suas atividades em julho de 2013 e consta com uma produção estimada em 60 mil peças ao ano. Atualmente, sua demanda por energia elétrica está contratada em 840 kW, classificada como alta tensão, pertencente ao grupo A4, categoria Verde.

O levantamento dos dados foi realizado pelo pesquisador, junto com engenheiros ligados a uma empresa de conservação de energia. Ainda, foram utilizados equipamentos e softwares de apoio, a fim de verificar o índice de desempenho energético de cada PVF abordado. Os mesmos softwares utilizados na validação dos indicadores, conforme relatado no item 4.3, foram utilizados nesta etapa para mensuração dos dados coletados.

5.2 MENSURAÇÃO DOS PESOS DOS INDICADORES

No processo de mensuração dos pesos dos indicadores, foi utilizado o método do julgamento de prioridade da Análise Hierárquica de Processos (AHP).

Para melhor entendimento da sua utilização, a seguir serão expostas as etapas adotadas durante tal processo.

A determinação dos pesos dos PVF e FCS foi realizada por meio da comparação par a par, utilizando-se da escala de julgamento expressa na Tabela 4, que atribui valores que representam a intensidade de importância de cada critério e alternativa em relação ao outro:

Tabela 4 - Escala de julgamento de importância do método AHP.

Intensidade de Importância	Definição
1	Importância Igual
3	Importância fraca de uma sobre a outra
5	Importância forte
7	Importância muito forte
9	Importância absoluta
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes

Fonte: Saaty, 2012.

A seguir está descrito o modelo matemático utilizado para mensuração dos pesos dos indicadores.

Para uma matriz de ordem n , o número de elementos necessários na matriz de julgamento é de $n.(n-1)/2$, e os elementos são definidos e expressos genericamente na Equação 2 (SAATY, 2012).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Onde,

$a_{ij} > 0 \rightarrow$ positiva

$a_{ij} = a_{ji} = 1$

$a_{ij} = 1/a_{ji} \rightarrow$ recíproca

$a_{ij} = a_{ij} \times a_{jk} \rightarrow$ consistência

Após a definição da matriz de julgamento, é necessário normalizar os valores a_{ij} da matriz. O cálculo é expresso pela Equação 3.

$$*a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3)$$

A matriz normalizada $*A$ é de ordem n é representada na Equação 4.

$$*A = \begin{bmatrix} *a_{11} & \cdots & *a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ *a_{n1} & \cdots & *a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Para realizar o cálculo do peso de cada alternativa p , é utilizada como base a Equação 5, a partir dos dados da matriz normalizada $*A$. Os valores de p encontrados são representados na matriz da Equação 6:

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^n *a_{ij}}{n} \quad (5)$$

$$p = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_I \end{bmatrix} \quad (6)$$

De acordo com SAATY (2012), para se obter a consistência de uma matriz recíproca, seu autovalor máximo (λ_{\max}) precisa ser igual a n . O autovetor mostra a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. Para encontrar o λ_{\max} , primeiramente, é calculada a soma ponderada da matriz de julgamento, baseado na soma do valor das linhas da matriz recíproca A pelo valor de p correspondente, expresso por b na Equação 7.

$$b_i = \sum_{j=1}^n a_{1j} \cdot p_j \quad (7)$$

Após o cálculo dos valores de b , dividem-se os resultados pelos vetores da matriz p , demonstrado na Equação 8.

$$c_i = \frac{b_i}{p_i} \quad (8)$$

O cálculo de λ_{max} então é expresso pela Equação 9, através do cálculo da média dos resultados de cada linha.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{j=i}^n c_i}{n} \quad (9)$$

Então, é possível calcular o valor do índice de consistência (IC) através da Equação 10, considerando n a ordem da matriz de julgamento.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

Segundo SAATY (2012), a relação de consistência (RC), apresentada na Equação 11, é a razão entre índice de consistência e um índice randômico médio. A RC com 0,10 ou menos é considerada aceitável.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (11)$$

O índice randômico é obtido através da Tabela 5, e leva em consideração a ordem das matrizes de julgamento. Para cada ordem de matriz, existe um índice randômico correspondente.

Tabela 5 - Relação do índice randômico com a ordem da matriz de julgamento

(continua)

Ordem da matriz	Índice Randômico
1	0,00
2	0,00
3	0,52
4	0,89
5	1,11
6	1,25
7	1,35
8	1,40
9	1,45

(conclusão)

Ordem da matriz	Índice Randômico
10	1,49
11	1,52
12	1,54
13	1,56
14	1,58
15	1,59

Fonte: Adaptação de Saaty (2012).

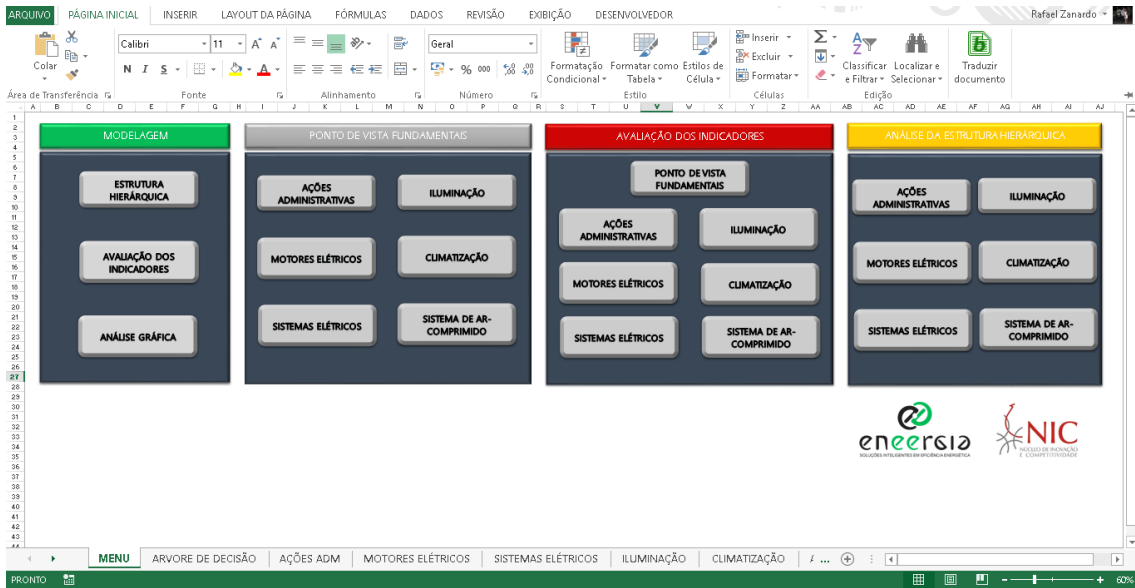
Em posse do índice randômico e de todas as demais informações elucidadas, junto da submissão destes a sequência de cálculo proposto, é que se estabelece o peso de cada um dos critérios selecionados na definição do índice de eficiência energética da empresa colocada sob análise.

5.3 CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Após a construção da estrutura hierárquica, construção e validação dos indicadores e escalas de avaliação, coleta de dados e mensuração dos pesos dos indicadores, foi necessária a construção de uma ferramenta capaz de analisar os indicadores obtidos por meio da aplicação do *Key Performance Indicators*, a fim gerar o desempenho energético da empresa analisada, considerando o grau de importância de cada indicador nos resultados da modelagem.

Para tanto, foram elaboradas uma série de planilhas eletrônicas com o uso do aplicativo Microsoft Excel®, adotando-se o nome NIC – ENEERGIA para o conjunto. A tela inicial desta ferramenta, mostrada na Figura 10, possui quatro blocos: Modelagem; Ponto de Vista Fundamentais; Avaliação dos Indicadores; e Análise da Estrutura Hierárquica.

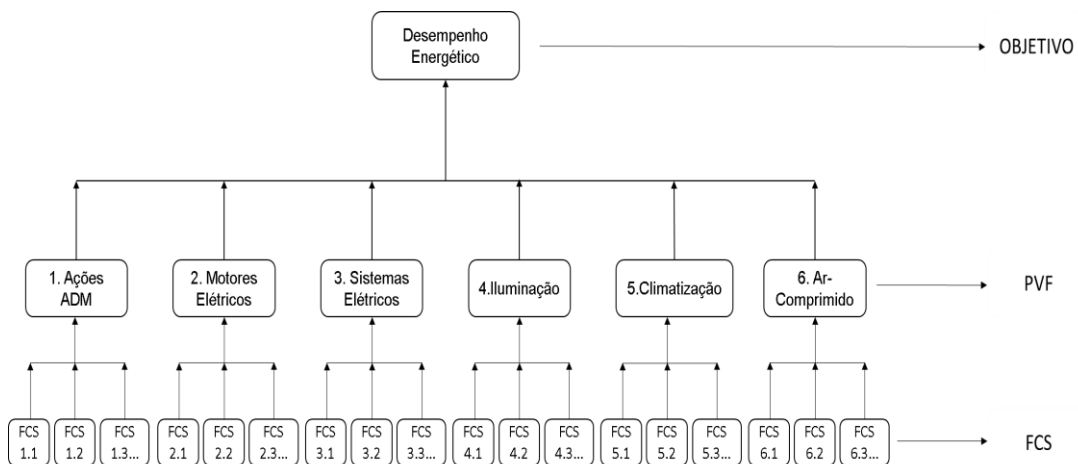
Figura 10 - Tela inicial da ferramenta



Fonte: Autor (2016)

No primeiro bloco, encontram-se três botões, sendo que o primeiro dá acesso à Estrutura Hierárquica, onde no seu topo é apresentado o desempenho energético, resultado das avaliações de todos os Pontos de Vista Fundamentais e Fatores Críticos de Sucesso, conforme representado pela Figura 11:

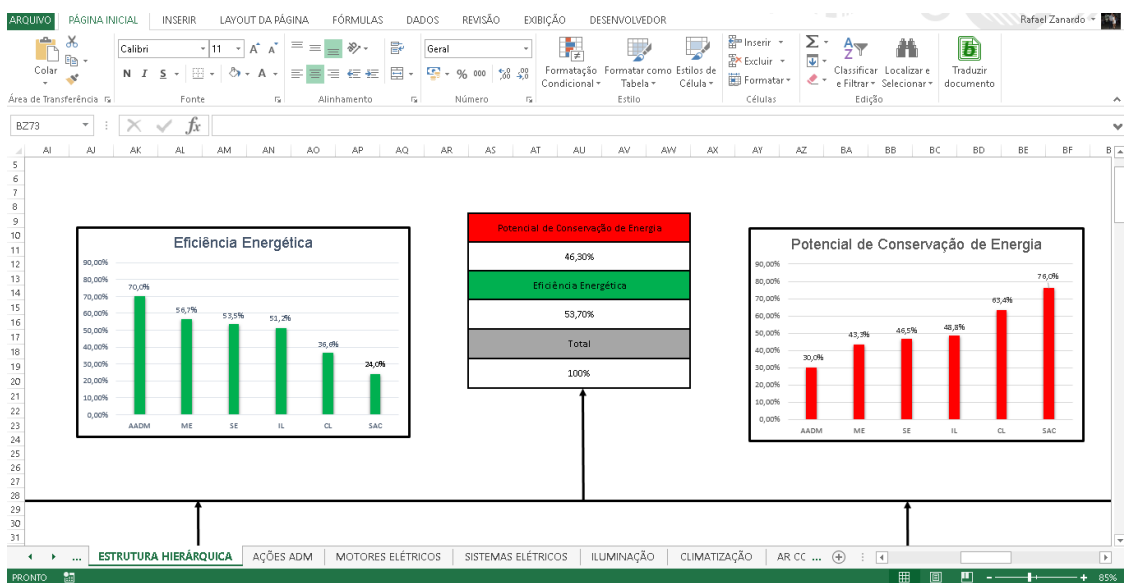
Figura 11 - Estrutura hierárquica da avaliação do desempenho energético.



Fonte: Autor (2016)

No topo da árvore de apoio a decisão são apresentados os índices de desempenho energético e o potencial de conservação de energia, conforme mostra a Figura 12. Ainda, são expostos dois gráficos. Ao lado esquerdo dos resultados, são apresentados o desempenho de cada um dos PVF que compõe a análise energética, e o gráfico localizado ao lado direito, o que pode ser eficientizado nos mesmos.

Figura 12 - Recorte de tela da ferramenta, formulário “estrutura hierárquica”.



Fonte: Autor (2016)

O botão denominado por “Avaliação dos Indicadores” apresenta todos os índices de desempenho dos PVF, resultado das interações dos indicadores com as escalas de avaliação dos questionários relacionados aos seus respectivos pesos, conforme Figura 13. O último botão deste bloco, denominado por Análise Gráfica, apresenta todos os gráficos gerados pelas avaliações de cada um dos PVF e os resultados globais da modelagem:

Figura 13 - Recorte de tela, formulário "avaliação dos PVF".

Ações Administrativas	Oportunidade	Eficiência
22,46%	30,0%	70,0%
32,10%		

Motores Elétricos	Oportunidade	Eficiência
14,84%	43,3%	56,7%
26,15%		

Sistemas Elétricos	Oportunidade	Eficiência
4,56%	46,5%	53,5%
8,53%		

Iluminação	Oportunidade	Eficiência
2,87%	48,8%	51,2%
5,61%		

Climatização	Oportunidade	Eficiência
6,83%	63,4%	36,6%
18,67%		

Ar-Comprimido	Oportunidade	Eficiência
2,15%	76,0%	24,0%
8,94%		

Fonte: Autor (2016)

No segundo bloco, denominado de Ponto de Vista Fundamentais, o usuário tem a sua disposição os questionários dos FCS utilizados para avaliar os PVF. Assim, o usuário ao clicar em um destes botões, será direcionado para outra planilha onde deverá responder aos questionamentos, que avaliarão o indicador conforme elucidado no item 4.2. A Figura 14 mostra o recorte de tela para o caso do PVF 1 – Ações Administrativas, utilizado aqui como exemplo para ilustrar os demais casos:

Figura 14 - Recorte de tela, "PVF - 1"

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following structure:

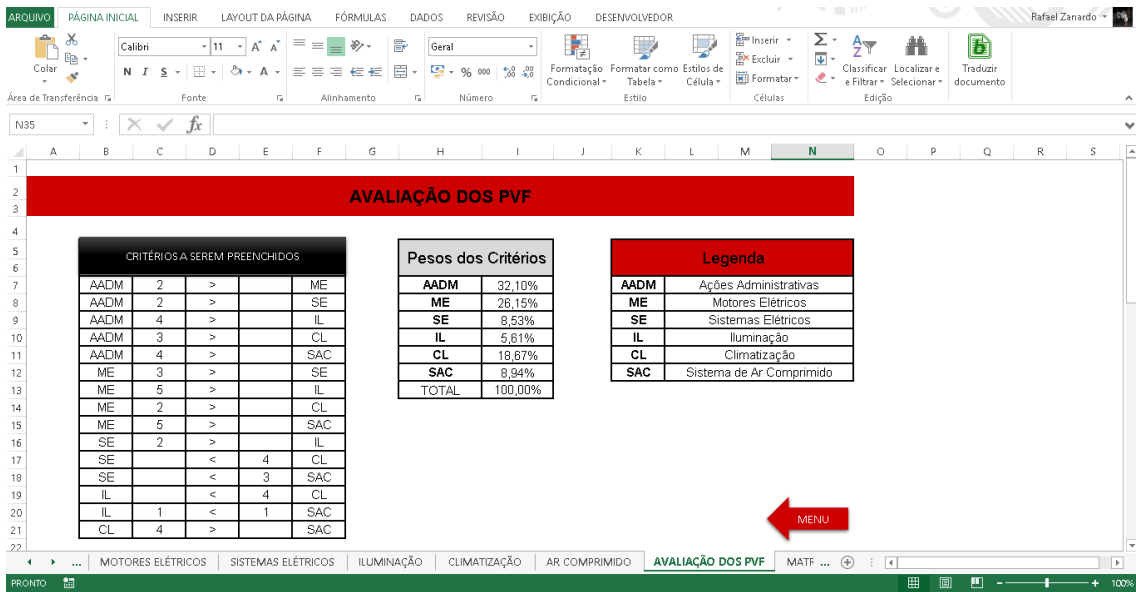
- Row 2:** Red header cell containing "PVF 1 – Ações Administrativas".
- Row 4:** Grey header cell containing "FCS 1.1.1" and a white header cell containing "Ambiente de Contratação Livre".
- Row 5:** Text cell: "Com relação ao Ambiente de Contratação Livre (ACL) na empresa analisada:".
- Row 6:** Table header with three columns: "Nível", "Descrição dos Níveis de Avaliação", and "Valor".
- Row 7:** Table row 1: N1, "É possível estabelecer o processo de migração para o ambiente de contratação livre (ACL) com potencial de redução do custo da energia em mais de 50%.", "0%".
- Row 8:** Table row 2: N2, "É possível estabelecer o processo de migração para o ambiente de contratação livre (ACL) com potencial de redução do custo da energia entre 30% e 49%.", "25%".
- Row 9:** Table row 3: N3, "É possível estabelecer o processo de migração para o ambiente de contratação livre (ACL) com potencial de redução do custo da energia entre 20% e 29%.", "50%".
- Row 10:** Table row 4: N4, "É possível estabelecer o processo de migração para o ambiente de contratação livre (ACL) com potencial de redução do custo da energia entre 10% e 19%.", "75%".
- Row 11:** Table row 5: N5, "Já está no ACL ou através de análise prévia, houve a conclusão que é inviável o processo de migração", "100%".

Fonte: Autor (2016)

Ao avançar no preenchimento, o usuário deve assinalar uma resposta para cada item. O processamento dos dados é realizado em uma planilha denominada “Estrutura Hierárquica”, na qual estão inseridas todas as fórmulas matemáticas e lógicas necessárias.

O terceiro bloco de funções, denominado de Resultados, está desenhado para gerar os pesos dos PVF e FCS, utilizando os conceitos apresentados no item 5.2, após o usuário responder aos questionamentos de cada critério da modelagem. Tal estará apto para avaliar o grau de influência de um aspecto perante outro por meio dos julgamentos par a par. A Figura 15 apresenta a tela que demonstra os julgamentos realizados para os PVF:

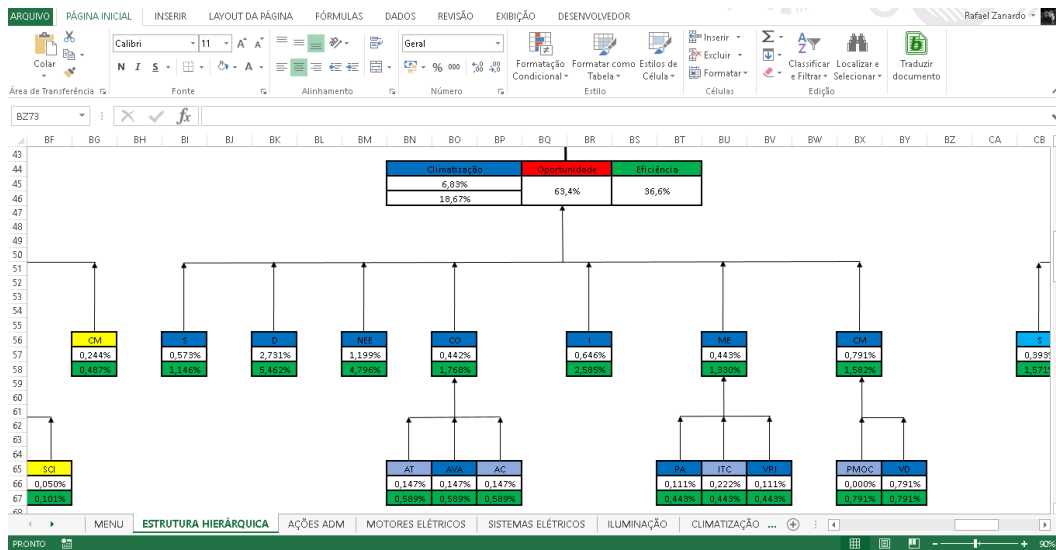
Figura 15 - Recorte de tela da ferramenta "avaliação dos PVF".



Fonte: Autor (2016)

E por fim, no último bloco, são apresentadas partes da estrutura hierárquica corresponde a análise de cada um dos PVF analisados. A Figura 16 mostra o recorte de tela para o caso do PVF 5 – Climatização, utilizado aqui como exemplo para ilustrar os demais casos:

Figura 16 - Recorte de tela, "PVF - 5"



Fonte: Autor (2016)

6 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio da aplicação da ferramenta de diagnóstico energético junto à escolhida para pesquisa. Esta fase é composta pelas etapas de resultados e simulações.

Nos resultados, serão apresentados os índices de desempenho alcançados e a representatividade destes na modelagem proposta. Na etapa das simulações, serão propostas algumas ações a fim de diminuir o índice de oportunidade de eficiência anteriormente referido.

6.1 RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os índices de desempenho de cada um dos FCS ligados aos PVF utilizados na análise energética. Primeiramente, serão apresentados e justificados os índices de desempenho atribuídos a cada um dos fatores que compõe a análise energética, para então, apresentar os resultados das ponderações que foram realizadas por meio do julgamento de prioridades do método AHP, que definiu os pesos dos PVF e FCS. Após, serão apresentados os resultados obtidos através da modelagem destes dados junto à ferramenta desenvolvida pelo pesquisador.

6.1.1 Índices de desempenho dos Fatores Críticos de Sucesso

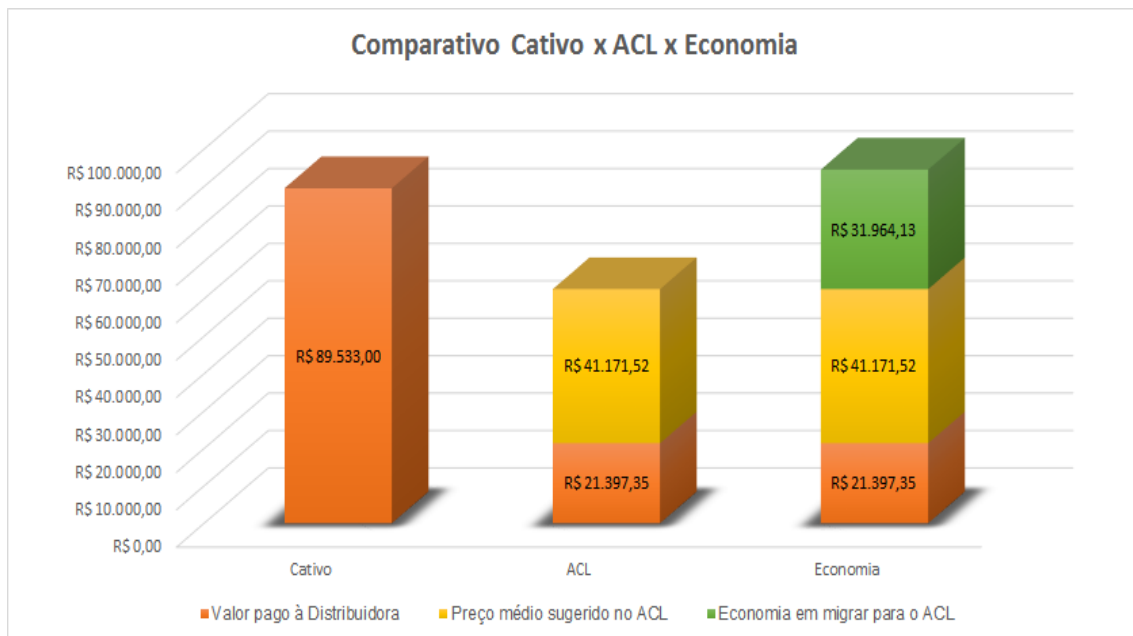
A seguir serão apresentados os índices de desempenho dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS) dos Pontos de Vista Fundamentais (PVF) selecionados na modelagem, quais sejam: ações administrativas, motores elétricos, sistemas elétricos, iluminação, climatização e sistemas de ar-comprimido.

6.1.1.1 Ações Administrativas

O primeiro aspecto analisado junto às Ações Administrativas está relacionado ao ambiente de contratação de energia utilizado pela empresa em análise. No momento da aplicação do diagnóstico energético, a empresa obtinha energia elétrica junto a uma Distribuidora de Manaus (ACR). Por esse motivo, foi realizada uma

simulação junto a uma comercializadora de energia junto ao Mercado Livre de Energia (ACL). Conforme apresentado na Figura 17, o valor médio de economia obtida por meio da migração na contratação de energia da empresa pesquisada foi de R\$ 31.964,13 por mês, o que equivale a uma economia anual de aproximadamente R\$ 383.569,56.

Figura 17 - Gráfico comparativo entre ACL e ACR



Fonte: Autor (2016)

Ainda, a seguir são expostos, através da Figura 18, os índices utilizados na análise da proposta de migração para o ACL. Ao final desta análise é apresentado o percentual de redução de 36% na fatura de energia elétrica. Por este motivo, a este critério foi atribuído o índice de desempenho N2 (25%).

Figura 18 - Simulação da migração do ACR para ACL

SIMULAÇÃO PARA MUDANÇA MERCADO LIVRE - ENERGIA INCENTIVADA 50% - outubro/16 a dezembro 2019.

EMPRESA		
TENSÃO		A4
CATEGORIA		Verde
DISTRIBUIDORA		AMAZONAS
Premissas básicas do estudo		
DEMANDA - kW		Referência 840
CONSUMO - Ponta - MWh		21,75
CONSUMO - Fora de Ponta - MWh		222,69
CONSUMO - Total em MWh		244,44
ACR (Ambiente de Contratação Regulada)		
	Tarifas	Valores
TUSD - Demanda R\$/kW	6,39	5.367,60
TUSD - Energia Ponta R\$/MWh	408,86	8.891,34
TUSD - Energia Fora Ponta R\$/MWh	53,60	11.936,36
TE - Consumo Ponta R\$/MWh	395,96	8.610,81
TE - Consumo Fora Ponta R\$/MWh	245,75	54.726,89
TOTAL (R\$) - Sem Impostos		89.533,00
PREÇO MÉDIO (R\$/MWh) - Sem Impostos		366,28
ACL (Ambiente de Contratação Livre)		
	Tarifas	Valores
TUSD - Demanda com desconto	3,195	2.683,80
TUSD - Energia Ponta com desconto	177,63	3.862,86
TUSD - Energia Fora Ponta sem desconto	53,6	11.936,36
Contribuição associativa CCEE	0,77	188,22
Energia Reserva CCEE	0,70	171,11
Manutenção da conta do Bradesco	55,00	55,00
GESTAO DE CLIENTE	2.500,00	2.500,00
PROJEÇÃO DO REJUSTE DE IGP-M MAIO/2016 A OUTUBRO/2016	5,27%	
TOTAL PARTE DISTRIBUIDORA - R\$		21.397,35
PREÇO MÉDIO PARTE DISTRIBUIDORA - R\$/MWh - Sem impostos		87,54
BREAK EVEN - (CATIVO X LIVRE) - R\$/MWh - Sem impostos		278,74
PREÇO MÉDIO COMERCIALIZADO NO MERCADO LIVRE (REFERÊNCIA)* - R\$/MWh - Sem impostos		168,43
TOTAL PARTE CONTRATO ENERGIA NO ACL - R\$ - Sem impostos		41.171,52
TOTAL CONTA PARTE DISTRIBUIDORA + CONTRATO ACL - Sem impostos		62.568,87
PREÇO MÉDIO (R\$/MWh) - Sem impostos		255,97
ECONOMIA EM MIGRAR PARA O MERCADO LIVRE (R\$) (PIS/COFINS INCLUSO)		31.964,13
% DE REDUÇÃO		36%

Fonte: Autor (2016)

A empresa analisada, por possuir demanda contratada de energia acima de 500 kW, atende aos requisitos estabelecidos pelo ambiente de contratação livre. Assim, a partir dos valores obtidos na simulação, verifica-se a viabilidade de migração do ACR para ACL. Por este motivo, quanto ao peso do indicador voltado para o ACR, foi atribuído zero ao multiplicador, a fim de anulá-lo, mantendo-se apenas o desempenho obtido por meio da migração ao Mercado Livre, tendo em vista que a empresa só pede ter um regime de contratação.

Ultrapassada a análise da espécie de contratação, passou-se a análise dos componentes obrigatórios na contratação da energia. Tal avaliação teve seu início

pela análise da demanda contratada. Atualmente, a empresa pesquisada possui demanda contratada tanto na ponta¹² quanto fora de ponta¹³, no valor de 840 kW. Este valor está adequado ao perfil de consumo da empresa, visto que durante o último ano, na maioria dos meses, o consumo esteve muito próximo ao que havia sido contratado, e nos meses que foram constatadas ultrapassagem de demanda, o valor apresentado foi inferior a 5%. Por esse motivo, nos FCS que analisam a demanda contratada e as cobranças indevidas, a empresa obteve o índice de desempenho N5 (100%).

Quanto à análise do fator de carga, verificou-se por meio da memória de massa que a empresa apresentou o índice $f_c = 0,8$, o que demonstra que a energia elétrica foi utilizada uniformemente ao longo do período analisado. Em função disso, ao critério relacionado, também foi atribuído a empresa o índice de desempenho N5 (100%).

Ainda pela análise das faturas de energia pelo período de 12 ciclos de faturamento, foi diagnosticado a cobrança de energia reativa em função da geração excedente de energia capacitiva em 6 ciclos. Por este motivo, quanto à análise dos reativos, foi atribuído o índice de desempenho N2 (25%)

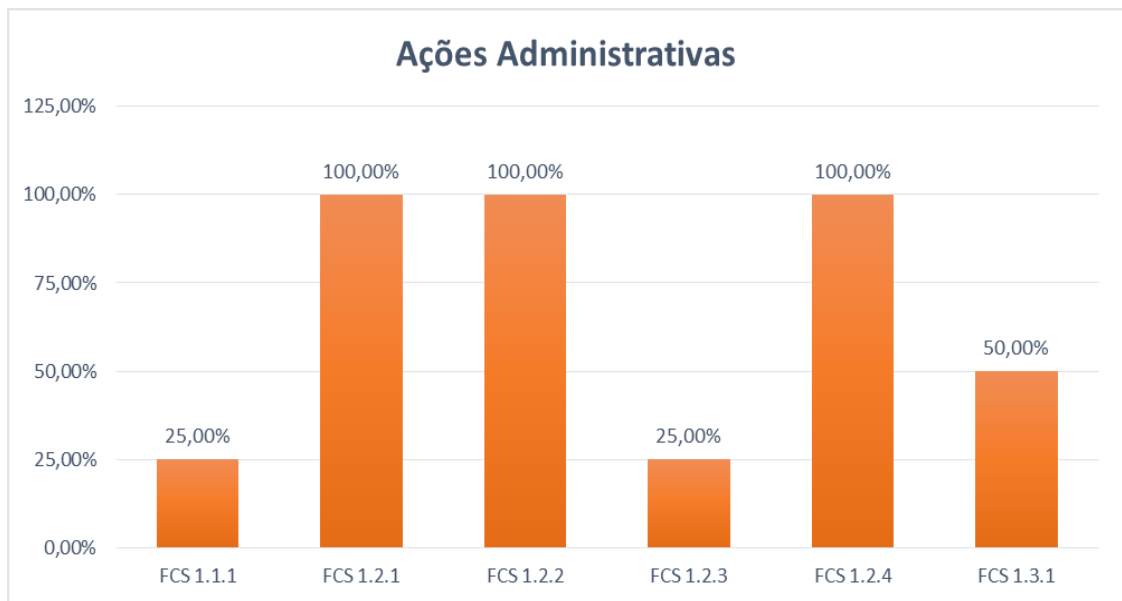
Por fim, quanto à análise dos recursos técnicos e humanos que fazem a gestão de energia, foi diagnosticado que há uma preocupação nos gestores na utilização dos recursos energéticos, uma vez que a empresa conta com uma equipe que analisa periodicamente o consumo e o comportamento das cargas elétricas na planta industrial. Entretanto, quanto às práticas voltadas para a eficiência energética, identificou-se que a empresa não conta com uma consultoria especializada ou corpo técnico qualificado, por tais motivos, para tal fator foi atribuído o índice de desempenho N3 (50%).

Para uma melhor visualização de todos os indicadores que compõe as Ações Administrativas, a Figura 19 colacionado a seguir, apresenta os índices de desempenho atribuídos a cada um dos FCS analisados:

¹² Horário de ponta: período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora, considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão, com exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e mais oito feriados nacionais.

¹³ Horário fora de ponta: período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.

Figura 19 - Gráfico dos indicadores de desempenho - ações administrativas



Fonte: Autor (2016)

6.1.1.2 Motores Elétricos

Na empresa analisada, os motores elétricos, em sua maioria estão localizados na área produtiva do setor de injeção e nos sistemas de bombeamento e geração de ar-comprimido. Os motores do sistema de ar-comprimido serão analisados posteriormente dentro do seu próprio contexto. Dessa forma, no total, foram encontrados treze motores, sendo oito destes motores pertencentes as maquinas do setor de injeção e os outros cinco do sistema de bombeamento. No setor de injeção, quatro motores apresentam potência nominal acima de 100 kW, e os outros quatro, apresentam potência nominal de 50 kW. Já no sistema de bombeamento, os motores variam entre dois e dez CV.

O primeiro FCS corresponde à utilização de motores de alto rendimento. Por meio da análise dos catálogos dos motores encontrados, foi identificado que nenhum possui elevado rendimento, ou é caracterizado como tal. Por esse motivo, nesse quesito foi atribuído o índice mais baixo de desempenho N1 (0%). O segundo FCS dos motores elétricos foi relacionado com a utilização de inversores de frequência na partida dos motores. Nesse aspecto, a empresa obteve o maior índice de desempenho (N5 – 100%), tendo em vista que todos os motores utilizam tal dispositivo.

Com relação ao dimensionamento, que corresponde ao terceiro FCS, a análise mostrou que apenas os motores do sistema de bombeamento estão dentro dos padrões de dimensionamento recomendados, estando os demais, pertencentes ao setor de injeção, superdimensionados ou subdimensionados. Os carregamentos dos motores superdimensionados variam de 35% a 54%. Já os motores subdimensionados tem seu carregamento variando entre 106% e 107%. Dessa forma, a este quesito foi atribuído o índice de desempenho N1 (0%), já que aproximadamente 62% dos motores estão fora dos padrões recomendados de dimensionamento.

Vale ressaltar que a empresa, em função do atual momento econômico do Brasil, mudou o seu perfil de produção. Atualmente, o processo fabril está trabalhando com a metade da capacidade de produção instalada. Dessa forma, uma das causas, para que os motores se encontrem superdimensionados é em função da produção estar abaixo dos padrões ao qual a empresa foi projetada. Já com relação aos motores subdimensionados, os mesmos necessitam de uma melhor análise que apontará ou não a necessidade de troca destes por outros de maior potência.

Com relação ao quarto, quinto e sexto FCS, que correspondem respectivamente, aos dispositivos de partida, ambiente de regime de trabalho e motores rebobinados, foram atribuídos os índices N5 (100%) de desempenho, visto que os dispositivos de partida e o ambiente de regime de trabalho estavam adequados, além disso, não foram encontrados motores rebobinados entre os motores elétricos que compõe o sistema de produção.

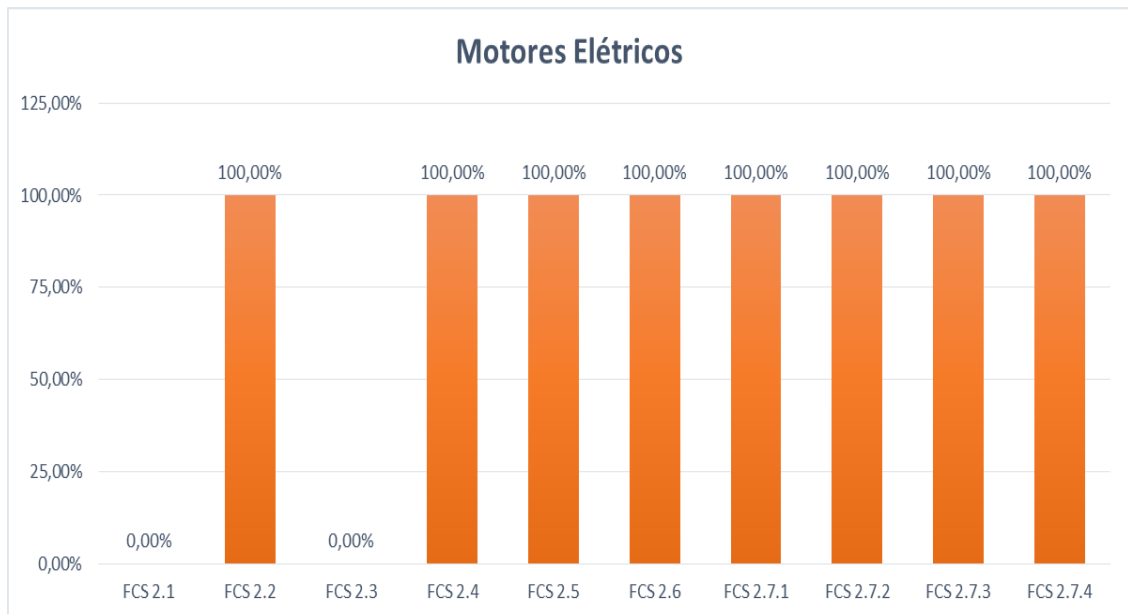
Em relação às condições de manutenção dos motores, foram realizadas as seguintes análises:

- a) condições de acoplamento;
- b) temperatura de funcionamento;
- c) correias;
- d) limpeza e lubrificação dos mancais.

A análise de todos estes aspectos mostrou que todos os motores estavam trabalhando nas condições consideradas ideais. Por este motivo, a estes quatro FCS foi atribuído o índice de desempenho N5 (100%).

A seguir é apresentado graficamente, através da Figura 20, os índices de desempenho de cada um dos FCS avaliados com relação aos motores elétricos:

Figura 20 - Gráfico dos indicadores de desempenho - motores elétricos



Fonte: Autor (2016)

6.1.1.3 Sistemas Elétricos

O primeiro aspecto observado nos sistemas elétricos foi relacionado aos transformadores. Para a análise quanto ao carregamento, foi observado que a empresa conta com dois transformadores de 750 kW à óleo, que no total possuem a capacidade de carregamento de 1500 kW. Por meio da análise do relatório de massa, foi identificada uma demanda de aproximadamente 770 kW, que corresponde, aproximadamente, a 850 Kva. Assim, o percentual de carregamento encontrado nos transformadores foi, aproximadamente, de 57%. Esse resultado demonstra que o carregamento está dentro dos padrões recomendados, tendo sido atribuído a esse critério o índice de desempenho N1 (100%).

O segundo aspecto abordado no sistema de transformação tem relação com a temperatura de funcionamento dos transformadores. Durante a inspeção do cubículo onde estes se encontram, foi observado que o local possui aberturas e sistema de exaustão os padrões técnicos fixados pela ANEEL, no entanto, apesar de cumprir tais exigências, o local possui elevada temperatura, o que contribui para a depreciação do transformador. Na avaliação do transformador, por meio de uma análise termográfica, foi observado que o mesmo possui pontos quentes que pouco

comprometem a sua eficiência de operação. Assim, em função da temperatura do cubículo e pelos pontos quentes encontrados no transformador, a este critério foi atribuído o índice de desempenho N3 (50%).

Com relação às condições de manutenção, como anteriormente visto, a manutenção preventiva dos transformadores é relativamente simples e realizada a fim de eliminar paralisações de emergência. Essa manutenção se constitui basicamente na detecção de vazamentos, ensaio de rigidez dielétrica do óleo, inspeção das partes metálicas, testes de isolamento e limpeza geral. Na análise da empresa A, não foram detectados vazamentos de óleo, porém, o ensaio, inspeção e testes mencionados não haviam sido realizados nos últimos dois anos, além disso, a limpeza do local se mostrou precária. Sendo assim, a esse critério foi atribuído o índice de desempenho N3 (50%), tendo em vista a necessidade de reavaliar os procedimentos de manutenção.

Outro ponto inspecionado nos sistemas elétricos foi relacionado ao fator de potência. Para corrigir eventuais problemas relacionados a este aspecto, a empresa A possui um banco de capacitores, todavia, em função de não ser automatizado, este tem provocado o pagamento de energia reativa, em função da geração de energia capacitiva. Através da análise da fatura de energia e do relatório da memória de massa, foi verificado um fator de correção de aproximadamente 89%, que resultou no índice de desempenho N3 (50%) para este critério.

Com relação às instalações elétricas, foram analisados os seguintes aspectos:

- a) fugas de corrente;
- b) balanceamento das fases;
- c) dispositivos de proteção;
- d) quadros de distribuição;
- e) condutores;
- f) sistemas de aterramento.

A maioria destes pontos recebeu índice de desempenho N5 (100%) exceto, a análise de fuga de corrente e balanceamento das fases.

Nessa análise, foi atribuído a empresa o índice de desempenho N4 (75%), tendo em vista que apesar de possuir poucas emendas, foram identificados alguns pontos quentes por meio de uma análise termográfica, apesar de não

comprometerem a eficiência do sistema de distribuição de energia, merecem ser reavaliados.

Outro ponto que não obteve o índice de desempenho máximo foi a análise do balanceamento das fases. Tal índice não foi alcançado, em função do diagnóstico ter apontado a necessidade de pequenos ajustes no balanceamento das cargas pelas fases. Por este motivo, a este fator também foi atribuído o índice de desempenho N4 (75%).

Os sistemas de proteção, por sua vez, estão adequados. O ponto a ser ressaltado neste quesito é com relação ao relé de proteção da subestação existente, visto que o projeto foi modificado sem a alteração do “AS *built*” junto à concessionária. Ocorre que, apesar das modificações realizadas estarem adequadas às instalações, faz-se necessário a realização de um estudo de parametrização, para que a modificação seja aprovada pela Distribuidora local.

Os quadros de distribuição estão, em sua maioria, adequados, no entanto, identificou-se que o quadro geral de baixa tensão (QGBT) possui a necessidade de adequação quanto à segurança, devido à falta de proteção lateral dos painéis.

Na análise dos condutores, foi diagnosticado que o sistema de cabeamento está superdimensionado, não provocando, desta forma, sobrecarga nos condutores. Quando aos sistemas de aterramento, após vistoria no local e de acordo com as informações prestadas no último laudo técnico das malhas de aterramento e dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, realizado em 12/03/2015, verificou-se que o sistema se encontra adequado.

O último quesito analisado nos sistemas elétricos foi a qualidade da energia. Conforme dados obtidos através de um analisador de energia, a empresa apresentou a necessidade de correção dos distúrbios causados por harmônicos e flutuações de tensão. Por esse motivo, o nível de desempenho atribuído a este fator foi o índice N3 (50%).

Após a análise de todos os FCS que compõe os sistemas elétricos, a seguir são apresentados graficamente na Figura 21 os resultados obtidos:

Figura 21 - Gráfico dos indicadores de desempenho - sistemas elétricos



Fonte: Autor (2016)

6.1.1.4 Iluminação

A análise dos sistemas de iluminação foi realizada por meio da avaliação de 11 indicadores. O primeiro está relacionado ao projeto de iluminação da empresa A, ao qual foi atribuído o índice de desempenho N5 (100%), pois foi corretamente projetado, sendo que os espaços seguem sendo utilizados de acordo com o que consta em projeto.

O segundo e terceiro indicadores avaliados estão relacionados ao índice de intensidade luminosa das áreas administrativas e industrial, respectivamente. Com o auxílio de um medidor luxímetro, foi verificado que os índices de intensidade luminosa estavam adequados na área administrativa, por tal motivo, foi conferido a esse fato o índice de desempenho N5 (100%). Quanto aos espaços que compõem a área industrial, principalmente nas injetoras e depósito, foi verificado que os índices medidos estavam fora dos padrões recomendados pela NBR 5430. Por esse motivo, a este indicador foi dado o índice de desempenho N4 (75%).

O quarto e quinto indicadores tratam do tipo de lâmpadas utilizadas nos espaços. As lâmpadas utilizadas nos espaços administrativos são predominantemente fluorescentes, por isso a este indicador foi dado o índice de

desempenho N3 (50%). Com relação às lâmpadas compõem a iluminação do setor industrial, em quase sua totalidade são utilizadas lâmpadas fluorescentes T10 e T12. Por tal motivo, a esse indicador foi atribuído o índice de desempenho N2 (25%).

Com relação aos reatores utilizados nas luminárias, foi diagnosticado que todos, tanto das áreas administrativas quanto industriais, possuem comando eletrônico. Por esse motivo, foi fixado o índice de desempenho N4 (75%).

Com relação à iluminação natural, verificou-se que a empresa utiliza esse tipo de iluminação em apenas um setor, ou seja, muito aquém do potencial a ser explorado. Por isso, a este indicador foi atribuído o índice de desempenho N1 (0%).

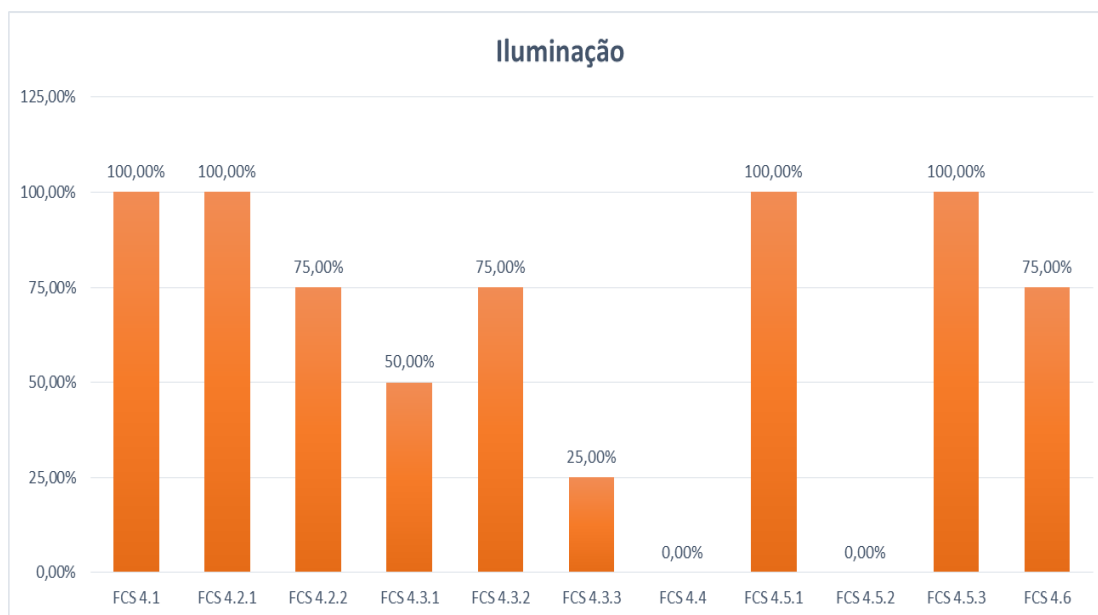
Os próximos indicadores analisados foram:

- a) relés fotoelétricos;
- b) sistemas de comando de iluminação;
- c) sensores de presença.

Aos dois primeiros foram atribuídos os índices máximos de desempenho (N5 – 100%). Já com relação aos sensores de presença, foi diagnosticado a possibilidade de sua utilização em inúmeros pontos, porém, não foram encontrados tais dispositivos nas instalações da empresa. Assim, a esse indicador foi facultado o menor índice de desempenho (N1 – 0%).

Por fim, o último indicador analisado foi relacionado às condições de manutenção. Nesse quesito, verificou-se que as luminárias, na sua grande maioria, estavam limpas, entretanto, haviam algumas lâmpadas queimadas e outras com funcionamento comprometido. Em função disso, a esse indicador foi atribuído o índice de desempenho N4 (75%).

Figura 22 - Gráfico dos indicadores de desempenho – iluminação



Fonte: Autor (2016)

6.1.1.5 Climatização

Durante a análise das instalações da empresa, foi diagnosticado que o sistema de climatização é o principal consumidor de energia. Tal afirmação deve-se ao fato de que, atualmente, todos os espaços produtivos são climatizados, tendo em vista que determinados processos de fabricação da empresa necessitam de ambientes com temperatura e umidade controlada.

A empresa conta com um arranjo composto por um sistema de ar central, auxiliado por sistemas isolados de climatização (chillers, ar-condicionado splits e multi-splits). Assim, a capacidade de refrigeração instalada, contando todos os sistemas, é de aproximadamente 330 TR.

O primeiro aspecto analisado está relacionado aos sistemas de climatização utilizados pela empresa. Em termos de eficiência, a utilização de um ar central em detrimento a sistemas isolados é um fator que compromete a eficiência do sistema de climatização como um todo. Além do mercado disponibilizar para sistemas isolados equipamentos mais eficientes, a utilização de um ar central, neste caso em específico, prejudica a eficiência energética do sistema de climatização, em função da necessidade de possuir mecanismos que ajustem a temperatura e vazão de ar,

as particularidades de cada ambiente supridos pelo mesmo, que abastece aproximadamente 40% do total de espaços climatizados. Por este motivo, ao critério que avalia a adequação dos sistemas de climatização aos ambientes, foi atribuído o índice de desempenho N3 (50%).

Com relação ao dimensionamento dos equipamentos que compõem o sistema de climatização, não foram encontrados sistemas subdimensionados ou inadequados às necessidades de carga térmica dos ambientes, sendo atribuído a este fator o índice de desempenho de N5 (100%).

Quanto a utilização de equipamentos com classificação “PROCEL A” (INMETRO) ou que se adequem as exigências da RTQ-C para o nível “A” de eficiência energética, a empresa obteve o índice de desempenho N1(0%), pois não possui equipamentos de ar-condicionado com classificação “A” ou sistemas de climatização que se adequem a este nível de eficiência.

Os indicadores analisados na sequência tratam do ajuste dos termostatos e vazão de ar exterior. Em ambos aspectos a empresa possui dispositivos eletrônicos que controlam a temperatura, indicando a necessidade de aumentar ou diminuir a carga térmica e a vazão de ar exterior para dentro do ambiente. Desta forma, nestes quesitos que correspondem aos FCS 5.4.1 e 5.4.2 respectivamente, foram atribuídos os índices de desempenho N1 (100%).

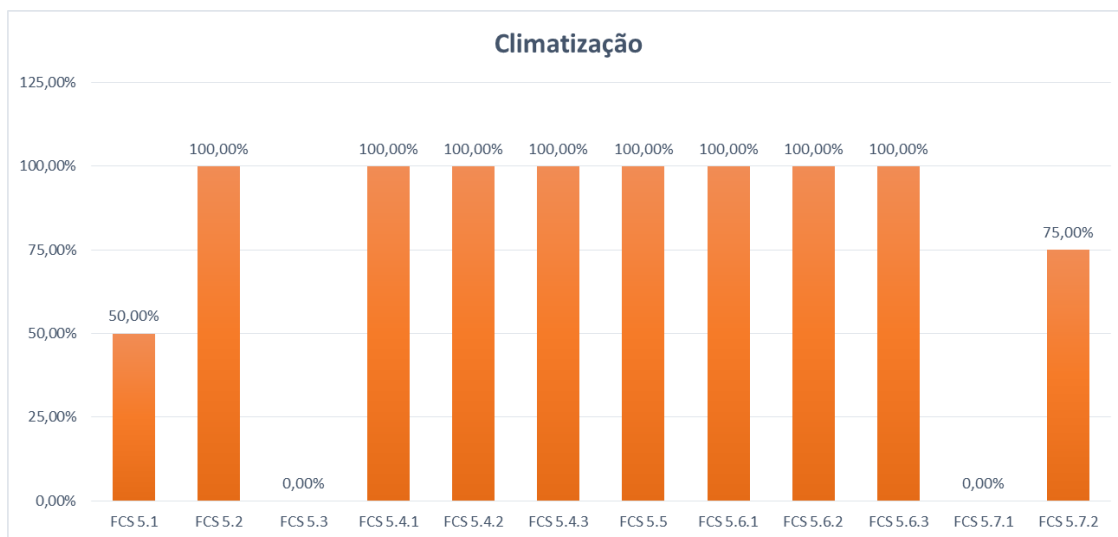
O último indicador relacionado às condições de operação do sistema, que trata dos acionamentos de ventiladores e compressores, a empresa possui na maioria dos equipamentos, atenuadores de partida. Por esse motivo, ao critério foi concedido o índice de desempenho N5 (100%).

Com relação aos aspectos que tratam das medidas de eficiência energética, tais como, proteção das aberturas, isolamento térmicos em coberturas e vedação em portas e janelas, que correspondem aos FCS 5.6.1, FCS 5.6.2 e FCS 5.6.3, foram atribuídos os índices de desempenho N5 (100%) a todos, em função da empresa contar com proteção nas aberturas, através de cortinas, a cobertura possuir pintura com propriedades isolante e a vedação de portas e janelas se encontrar adequada.

Por fim, com relação aos indicadores ligados a manutenção, a empresa obteve índice de desempenho N1 (0%), na análise da aplicação do PMOC (Plano de Manutenção, Operação e Controle) nas instalações. Tal índice se deve ao fato que as manutenções ocorrem sem um planejamento e, na maioria das vezes, só quando os equipamentos apresentam problemas ou condições de funcionamento que

comprometem seu rendimento. Em função dessas práticas de manutenção, durante a coletas de dados, foram encontrados vazamentos em dutos, tendo sido atribuído ao FCS 5.7.2 o índice de desempenho N4 (75%).

Figura 23 - Gráfico dos indicadores de desempenho – climatização



Fonte: Autor (2016)

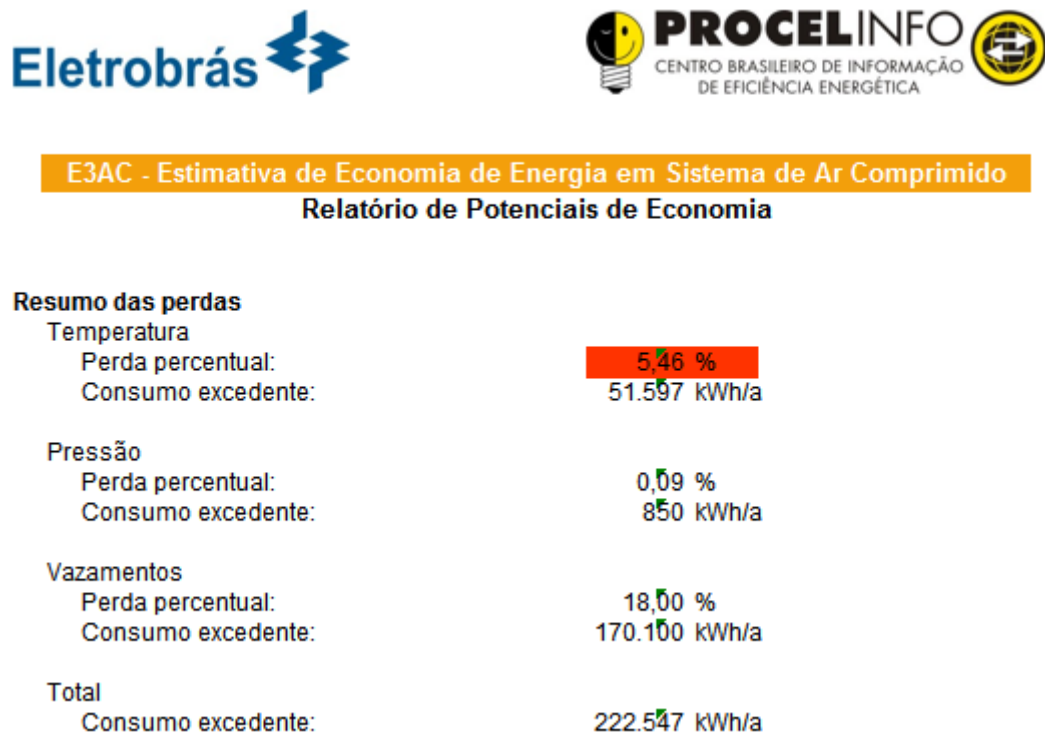
6.1.1.6 Sistema de ar-comprimido

O sistema de ar-comprimido foi avaliado em sete indicadores. O primeiro indicador diz respeito à adequação da instalação do sistema de ar-comprimido as necessidades das instalações. Após a análise das instalações, verificou-se que o sistema foi projetado para trabalhar com quatro compressores, porém, devido a necessidade de disponibilizar-se maior quantidade de ar-comprimido, o sistema ficou subdimensionado, o que gerou a necessidade da adição de mais um compressor para atender a demanda solicitada.

Todos os compressores inicialmente instalados funcionam normalmente, no entanto, a partir da adição do compressor, o sistema de geração de ar-comprimido ficou superdimensionado, com conseqüente consumo de energia além da necessária. Assim, ao invés de manter cinco compressores funcionando, a empresa poderia fazer o rearranjo do sistema retirando, no mínimo, um dos compressores de menor carga de funcionamento. Diante do exposto, a este indicador foi atribuído o índice de desempenho N2 (25%).

O segundo indicador tem relação com a temperatura de admissão do ar. O local onde ocorre a captação de ar não tem a sua temperatura controlada, sendo o ar captado sempre acima da temperatura ambiente, em função do local possuir a adição da carga térmica dos motores que compõem o sistema de ar-comprimido. Durante o levantamento de dados, observou-se que a temperatura de admissão do ar estava próxima a 38°C. Em uma simulação, conforme apresentado na Figura 24, através do software E3AC®, foi verificado uma perda percentual de 5,46%, considerando uma temperatura de admissão em 21°C. Por este motivo, a tal fator foi atribuído o índice de desempenho N2 (25%).

Figura 24 - Resumo das perdas do sistema de ar-comprimido



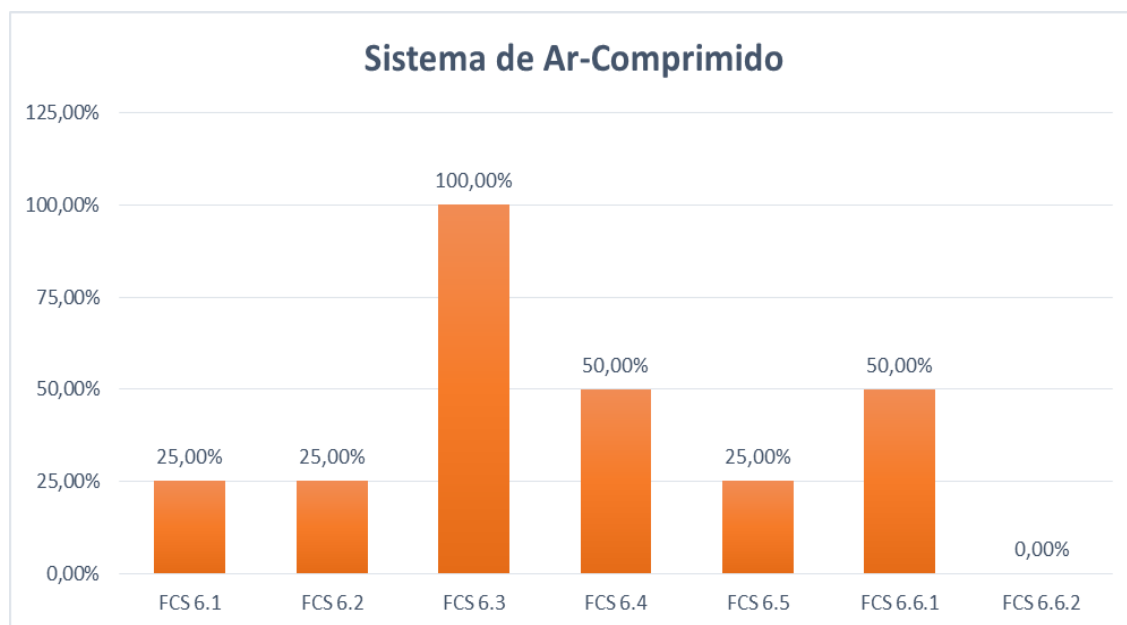
Fonte: Autor (2016)

O terceiro indicador analisou a pressão de trabalho. A este indicador foi atribuído o índice de desempenho N5 (100%), visto que a pressão de trabalho verificada se encontra adequada as necessidades da empresa. Com relação a aplicação e usos finais, foi verificado uma queda de pressão percentual acima de 5%, em aproximadamente 35% dos pontos de consumo analisados. Por tal motivo, a

esse critério foi facultado o índice de desempenho N3 (50%). Na análise dos motores que compõem o sistema de ar-comprimado, foi verificado que nenhum dos motores eram classificados como de alto rendimento. No entanto, todos possuíam inversores de frequência no acionamento. Sendo assim, a esse critério, foi facultado o indicador de desempenho N2 (25%).

Por fim, foram analisados os aspectos ligados à manutenção do sistema de ar comprimido. Nesta etapa foram analisados os vazamentos e filtros. Com relação aos vazamentos, foi identificado, por meio do software E3AC®, uma perda percentual de 18%. Por tal motivo, para esse indicador foi atribuído o índice de desempenho N3 (50%). Com relação ao segundo aspecto, foi observado que todos os filtros não obedeciam aos padrões recomendados de funcionamento, sendo atribuído a este critério o índice de desempenho N1 (0%). A seguir, para melhor visualização dos índices de desempenho dos indicadores do sistema de ar-comprimado, tais são representados através do gráfico da Figura 25:

Figura 25 - Gráfico dos indicadores de desempenho - sistema de ar-comprimado



Fonte: Autor (2016)

6.1.2 Pesos dos Critérios

Após a etapa da coleta de dados e verificação dos índices de desempenho de cada um dos aspectos abordados, foi feita a análise da contribuição (peso) de cada um dos critérios (PVF) e subcritérios (FCS) no desempenho energético da empresa analisada. Nesta etapa foram utilizados os conceitos e o roteiro de cálculo do julgamento de prioridades da AHP, apresentados no subcapítulo 5.2.

Inicialmente, para facilitar a modelagem matemática por meio de tabelas, os critérios utilizados na construção da ferramenta foram transformados em siglas, conforme demonstrado no Quadro 12:

Quadro 12 - Legenda dos critérios estabelecidos

Legenda	Pontos de vista fundamentais
AADM	Ações Administrativas
ME	Motores Elétricos
SE	Sistemas Elétricos
IL	Iluminação
CL	Climatização
SAC	Sistemas de Ar Comprimido

Fonte: Autor (2016)

Após isso, após a comparação de cada critério, estabeleceu-se a intensidade de importância de cada critério em relação ao outro, tendo como base a Tabela 4, apresentado no subcapítulo 5.2. Os resultados estão apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 - Comparação par a par dos critérios estabelecidos.

(continua)

Critérios				
AADM	4	>	0,25	ME
AADM	6	>	0,16667	SE
AADM	5	>	0,2	IL
AADM	1	=	1	CL
AADM	7	>	0,14286	SAC
ME	5	>	0,2	SE
ME	4	>	0,25	IL
ME	0,25	<	4	CL
ME	5	>	0,2	SAC

(conclusão)

Critérios				
SE	0,5	<	2	IL
SE	0,16667	<	3	CL
SE	2	>	0,5	SAC
IL	0,16667	<	6	CL
IL	2	>	0,5	SAC
CL	7	>	0,14286	SAC

Fonte: Autor (2016)

A matriz de julgamento que foi construída com base na Equação 2 é apresentada a seguir na Tabela 7:

Tabela 7 - Matriz de julgamento baseada na comparação par a par dos critérios.

PVF	AADM	ME	SE	IL	CL	SAC
AADM	1	4	6	5	1	7
ME	0,25	1	5	4	0,25	5
SE	0,166667	0,2	1	0,5	0,16667	2
IL	0,2	0,25	2	1	0,16667	2
CL	1	4	3	6	1	7
SAC	0,142857	0,2	0,5	0,5	0,14286	1

Fonte: Autor (2016)

Ato contínuo, para normatizar a matriz de julgamento utilizou-se a Equação 3, com a qual obteve-se a matriz de julgamento normatizada, apresentada na Equação 4. A Tabela 8 apresenta a matriz de julgamento normatizada:

Tabela 8 - Matriz de julgamento normatizada

PVF	AADM	ME	SE	IL	CL	SAC
AADM	0,362381	0,4145	0,34286	0,29412	0,36681	0,29167
ME	0,090595	0,1036	0,28571	0,23529	0,0917	0,20833
SE	0,060397	0,0207	0,05714	0,02941	0,06114	0,08333
IL	0,072476	0,0259	0,11429	0,05882	0,06114	0,08333
CL	0,362381	0,4145	0,17143	0,35294	0,36681	0,29167
SAC	0,051769	0,0207	0,02857	0,02941	0,0524	0,04167

Fonte: Autor (2016)

Por meio da Equação 5 obteve-se os pesos que cada critério na composição da avaliação do desempenho energético da empresa colocada sob análise. A matriz ρ , demonstrada na Equação 6, é apresentada na Tabela 9:

Tabela 9 - Pesos calculados para cada critério.

PVF	Pesos
AADM	34,54%
ME	16,92%
E	5,20%
IL	6,93%
CL	32,66%
SAC	3,74%

Fonte: Autor (2016).

Para cálculo do máximo autovalor λ_{\max} , foram utilizadas as Equações 7 e 8, sendo que os valores de b e c são apresentados na Tabela 10:

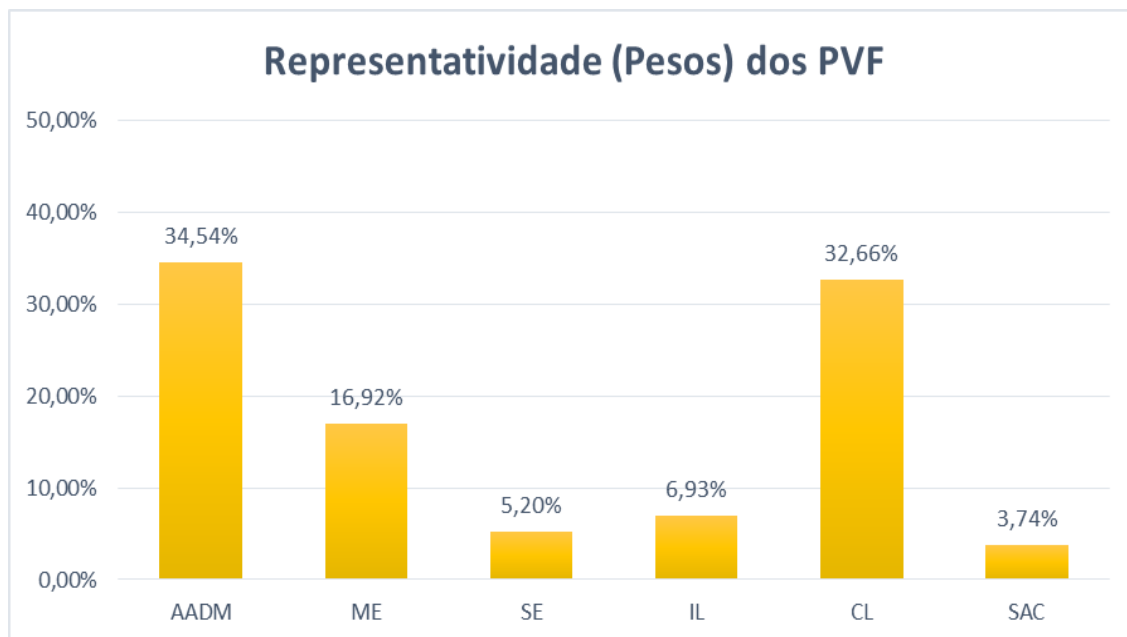
Tabela 10 - Valores encontrados para os vetores B e C

PVF	B	C
AADM	2,270	6,571
ME	1,062	6,275
SE	0,307	5,908
IL	0,414	5,972
CL	2,183	6,683
SAC	0,228	6,091

Fonte: Autor (2016).

O valor de λ_{\max} encontrado através da equação 9 foi de 6.250. Sendo assim, foi possível calcular o índice de consistência e a relação de consistência por meio das Equações 10 e 11. O valor do índice de consistência encontrado foi de 0.050, e da relação de consistência foi de 0,040. Como a relação de consistência é menor que 0,1, está confirmado que a ponderação dos critérios foi realizada de maneira correta. Sendo assim, a partir da validação das ponderações realizadas, a seguir é representado através da Figura 26 abaixo, a representatividade (peso) de cada PVF na modelagem proposta.

Figura 26 - Representatividade dos PVF



Fonte: Autor (2016)

Para o cálculo dos pesos dos FCS foi realizada a mesma metodologia de cálculo utilizada na definição dos pesos dos PVF. Esses foram estabelecidos após as comparações par a par e são apresentados na Tabela 11, assim como seu respectivo λ_{\max} (índice de consistência e relação de consistência).

Tabela 11 - Pontos de vista fundamentais e seus valores de autovalor máximo, índice de consistência e relação de consistência, e Fatores Críticos de Sucesso e seus pesos calculados.

(continua)

Pontos de Vista Fundamentais (PVF)	Fatores Críticos de Sucesso (FCS)	Peso dos FCS	λ_{\max}	Índice de Consistência	Relação de Consistência
Ações Administrativas	Contratação de energia	70,71%	3,096	0,048	0,083 < 0,1
	Faturas de energia	9,15%			
	Recursos técnicos e humanos/CICE	20,14%			
Motores Elétricos	Motores de Alto Rendimento	31,33%	7,267	0,044	0,034 < 0,1

(continuação)

Pontos de Vista Fundamentais (PVF)	Fatores Críticos de Sucesso (FCS)	Peso dos FCS	λ_{max}	Índice de Consistência	Relação de Consistência
Motores Elétricos	Inversores de Frequência	17,22%	7,267	0,044	0,034 < 0,1
	Dimensionamento	20,00%			
	Dispositivos de Partida	3,64%			
	Ambiente e Regime de Trabalho	7,86%			
	Motores Rebobinados	6,98%			
	Condições de Manutenção	12,97%			
Sistemas Elétricos	Transformadores/ Subestação	11,19%	4,155	0,052	0,057 < 0,1
	Fator de Potência	23,17%			
	Instalações Elétricas	52,60%			
	Qualidade da energia	13,04%			
Iluminação	Projeto de Iluminação	33,23%	6,247	0,049	0,040 < 0,1
	Intensidade Luminosa	18,93%			
	Luminárias	28,57%			
	Iluminação Natural	5,19%			
	Automatização do sistema	5,39%			
	Condições de manutenção	8,69%			
Climatização	Sistema	6,14%	7,328	0,055	0,041 < 0,1
	Dimensionamento	29,26%			
	Nível de eficiência dos equipamentos	25,69%			

(conclusão)

Pontos de Vista Fundamentais (PVF)	Fatores Críticos de Sucesso (FCS)	Peso dos FCS	λ_{\max}	Índice de Consistência	Relação de Consistência
Climatização	Condições de Operação	9,47%	7,328	0,055	0,041 < 0,1
	Instalação	13,85%			
	Medidas de Eficiência	7,12%			
	Condições de Manutenção	8,47%			
Sistemas de Ar Comprimido	Sistema	17,57%	6,530	0,106	0,085 < 0,1
	Temperatura de admissão	4,01%			
	Pressão de trabalho	9,75%			
	Aplicação e usos finais	6,99%			
	Acionamentos	17,70%			
	Condições de Manutenção	43,98%			

Fonte: Autor (2016)

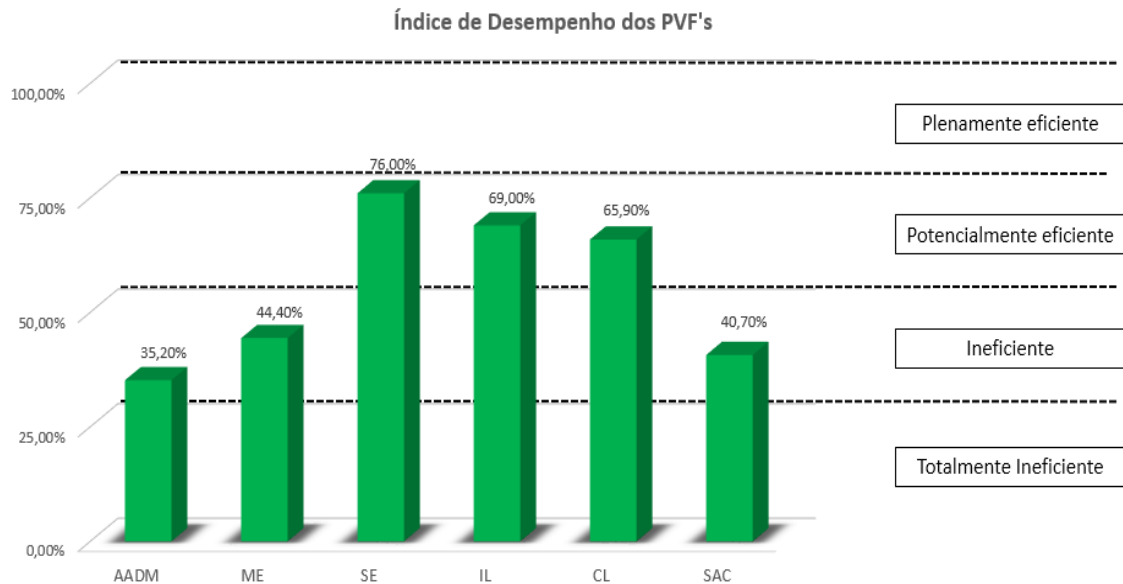
Os resultados encontrados para cada subcritério, a partir do confronto com o índice de consistência, mostraram-se válidos. Assim, passou-se para a próxima etapa na análise dos resultados, o qual foi realizada a partir da ferramenta confeccionada, que confrontou os índices de desempenho obtidos com a representatividade dos mesmos para a análise. Os resultados encontrados e as ponderações acerca do desempenho energético da empresa sob análise serão apresentados no subcapítulo a seguir.

6.1.3 Índice de desempenho energético dos Pontos de Vista Fundamentais

Após a atribuição dos índices de desempenho de cada um dos FCS's, e da determinação do peso de cada critério, foi possível avaliar o índice de eficiência energética de cada um dos PVF, assim como a sua oportunidade de efficientização.

Por meio da Figura 27, são apresentados os índices de desempenho de cada um PVF analisados na modelagem:

Figura 27 - Índice de desempenho dos PVF's



Fonte: Autor (2016)

O índice de eficiência obtido da empresa quanto ao PVF - Ações Administrativas, foi de 35,2%. Tal valor, deve-se, principalmente, em razão dos resultados obtidos quanto a atual contratação de energia da empresa. Dessa forma, a oportunidade de efficientização nesse aspecto é de 64,8%, o que coloca este PVF em um patamar de ineficiência.

Embora os motores elétricos tenham apresentado índices de desempenho N5 (100%) na maioria dos FCS, nos dois indicadores com maior índice de representatividade na modelagem, a empresa apresentou desempenho N1 (0%). Por este motivo, o índice de desempenho da empresa nesse fator foi de apenas 44,40%. Assim, o índice de oportunidade de efficientização ficou em 55,6%, que dá a esse indicador, assim como nas ações administrativas, o patamar de ineficiência.

O índice de eficiência obtido nos sistemas elétricos foi de 76%, com um índice de oportunidade de efficientização de 24%. Desta forma, este PVF, é o único considerado plenamente eficiente.

O segundo maior índice de eficiência energética da empresa foi obtido nos sistemas de iluminação, que apresentaram um percentual de 69%, com uma oportunidade de efficientização de 31%. Esse índice coloca PVF no patamar de potencialmente eficiente.

Este indicador é potencialmente eficiente, visto que, apresentou eficiência de 65,9%. Este elevado índice está diretamente relacionado ao desempenho obtido no dimensionamento e condições de operação do sistema. Assim, a oportunidade de efficientização do sistema ficou em 34,1%.

Por fim, o índice de eficiência encontrado no sistema de ar comprimido foi de 40,7%. Tal valor, coloca este PVF em um patamar ineficiência. O valor encontrado está relacionado ao baixo desempenho do sistema e a suas condições de manutenção. Assim, a oportunidade de efficientização nesse fator é de 59,3%.

6.1.4 Índice global de eficiência energética

Após a obtenção dos índices de desempenho de cada um dos Ponto de Vista Fundamentais (PVF), em conjunto com as respectivas representatividades para a modelagem, foi possível determinar o índice global de eficiência energética. A seguir, são apresentados tais índices por meio da Tabela 12:

Tabela 12 - Índice de desempenho e representatividade dos PVF's

Ponto de Vista Fundamentais	Representatividade (Peso)	Índice de Desempenho
Ações Administrativas	34,54%	35,20%
Motores Elétricos	16,92%	44,40%
Sistemas Elétricos	5,20%	76,00%
Iluminação	6,93%	69,00%
Climatização	32,66%	65,90%
Ar-Comprimido	3,74%	40,70%

Fonte: Autor (2016)

Após a modelagem dos índices acima referidos, obteve-se um índice de desempenho energético para indústria analisada de 51,45%, com um potencial de conservação energia a ser desenvolvido de 48,55%. Com o propósito de aumentar o

índice de eficiência da empresa analisada, serão apresentadas simulações de ações a serem desenvolvidas em cada um dos indicadores com maior impacto na análise energética de cada PVF.

6.2 SIMULAÇÕES

A primeira simulação foi realizada nas ações administrativas. Caso a empresa analisada optasse pela migração para o Mercado Livre de Energia (ACL), o índice de eficiência relacionado a este indicador passaria de 35,20% para 88,2%.

Com relação ao índice global de eficiência energética, esta mudança provocaria o aumento de 51,45% para 69,77%.

Na avaliação dos motores elétricos, caso a empresa optasse pela troca dos motores *standard* para motores de alto rendimento, o índice de eficiência energética passaria de 44,4% para 75,7%, e o índice global de eficiência aumentaria de 51,45% para 56,75%.

Nos sistemas elétricos, se fossem feitas alterações no banco de capacitores, para que o fator de potência atinja fator de correção acima de 0,92, o índice de eficiência energética passaria de 76% para 87,6%, enquanto o índice global de eficiência energética aumentaria de 51,45% para 52,06%.

Com relação à iluminação, caso as lâmpadas, tanto do setor industrial, quanto do setor administrativo fossem trocadas por lâmpadas Led, com consequente eliminação dos reatores, o índice de eficiência energética passaria de 69% para 83,3%. Desta forma, o índice global de eficiência energética passaria dos atuais 51,45% para 52,44%.

Na climatização, caso fossem realizadas as trocas dos equipamentos antigos por novos com selo PROCEL A de eficiência, o índice de eficiência energética, passaria de 65,9% para 91,6%, e aumentaria o índice global em 8,39%, resultando em 59,84% de eficiência energética.

Por fim, com relação ao sistema de ar-comprimido, se fossem realizadas as manutenções corretamente, o índice de eficiência passaria dos atuais 42,70% para 69,1%, e o índice global de eficiência energética passaria de 51,45% para 52,44%.

O plano de ação proposto nas simulações encontra-se sumarizado no Quadro 13 abaixo:

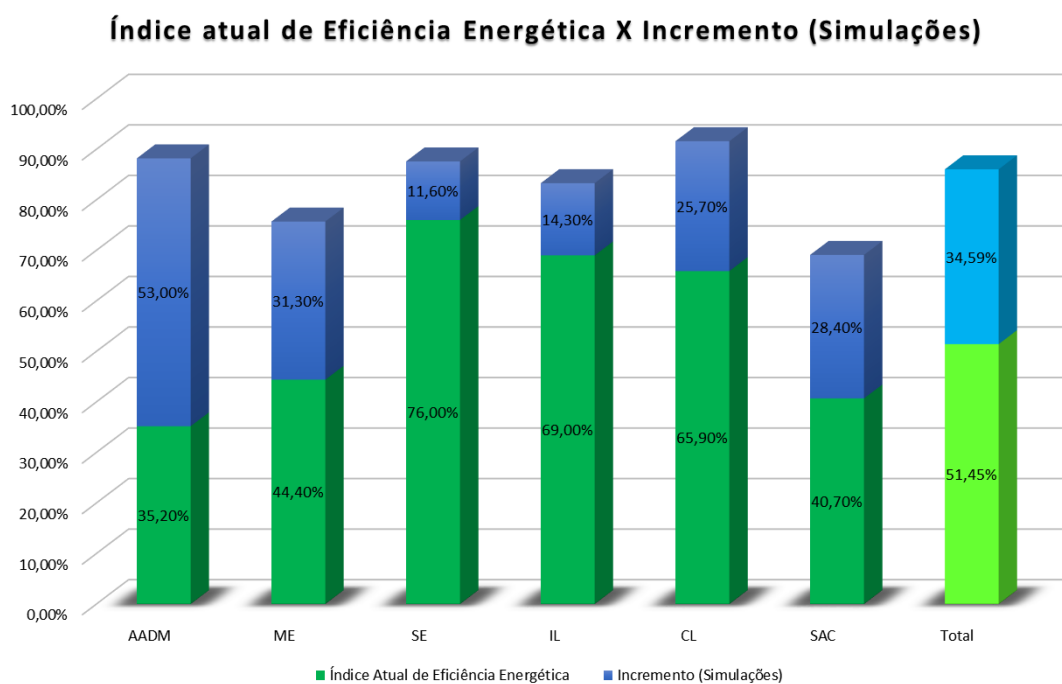
Quadro 13 - Plano de ação

Plano de Ação	Medidas
1º Passo: Ações Administrativas	Realizar o processo de Migração do ACR para o ACL.
2º Passo: Motores Elétricos	Realizar a troca de motores standard por motores de alto rendimento.
3º Passo: Sistema de Ar-Comprimido	Reavaliar os procedimentos de manutenção.
4º Passo: Climatização	Realizar a troca dos atuais equipamentos de climatização por novos com selo PROCEL A de eficiência.
5º Passo: Iluminação	Trocar as atuais lâmpadas fluorescentes por lâmpadas Led, com consequente eliminação dos reatores.
6º Passo: Sistemas Elétricos	Alteração no banco de capacitores.

Fonte: Autor (2016).

Na Figura 28 abaixo são apresentados os ganhos estimados a partir do plano de ação proposto nas simulações:

Figura 28 - Índice atual de eficiência energética X incremento



Fonte: Autor (2016)

Assim, se todos os passos do plano de ação apresentados no quadro 13 fossem plenamente cumpridos, o índice global de eficiência energética passaria dos atuais 51,45% para 86,04%, ou seja, haveria um incremento de 34,59% sobre o atual índice de eficiência energética, o que colocaria a empresa em um patamar de plena eficiência.

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa apresentada nesta dissertação de mestrado teve como ponto de partida a análise do contexto brasileiro quanto aos custos energéticos e o desenvolvimento industrial com relação a eficiência energética. Por um lado, esses dados apontam para um crescimento constante na demanda e nos custos energéticos, e por outro, demonstram a incapacidade do poder público em gerir os desafios que advêm deste contexto, o que amplia a necessidade do Brasil incentivar e desenvolver políticas de eficiência energética, principalmente, no segmento industrial.

Esse cenário demonstra que existem entraves que impedem o desenvolvimento da eficiência energética no Brasil, mesmo diante da evidente necessidade de diminuição dos custos de produção que influenciam diretamente a competitividade da indústria brasileira, o que sugere a utilização de ferramentas gerenciais capazes de orientar as empresas na gestão dos recursos energéticos. Assim, essa pesquisa foi motivada pelo seguinte problema: é possível diagnosticar o potencial de conservação de energia em uma organização com base em um sistema de avaliação de desempenho?

Para encontrar uma resposta que satisfaça tal questionamento, o objetivo geral desse trabalho foi propor uma modelagem capaz de mensurar o nível de desempenho energético. Para tanto, foram estabelecidos dois objetivos específicos: identificar quais são os fatores mais relevantes a serem analisados em um diagnóstico energético e propor uma modelagem com base nos fatores identificados.

Tais objetivos foram alcançados a partir da identificação de seis Pontos de Vista Fundamentais (PVF) que tiveram sua correspondência em cinquenta e oito Fatores Críticos de Sucesso (FCS), mensurados por meio de indicadores de desempenho contendo uma escala padronizada e linear de cinco pontos, organizados hierarquicamente sob uma árvore de apoio a decisão.

Os pontos analisados foram selecionados a partir das recorrências identificadas na literatura científica, tendo em vista que representam os principais direcionadores de consumo energético para as indústrias, limitando-se em seis Pontos de Vista Fundamentais (PVF). O primeiro abordou as ações administrativas, enquanto o segundo abordou os aspectos relacionados aos motores elétricos, seguido pela análise dos sistemas elétricos. O quarto fez a análise da iluminação,

seguido pela análise dos aspectos relacionados à climatização e os sistemas de ar-comprimido.

Para avaliar a interação dos índices de desempenho dos indicadores, desenvolveu-se uma modelagem baseada nos pressupostos dos *Key Performance Indicators* (KPI) e da Análise Hierárquica de Processos (AHP).

Os resultados obtidos na empresa analisada após a aplicação da ferramenta proposta, apontaram que os fatores ligados as ações administrativas tiveram o maior impacto no diagnóstico energético, seguido pela análise dos fatores ligados ao sistema de climatização, que corresponde ao principal consumidor de energia elétrica da fábrica. Ainda, concluiu-se que os motores elétricos exercem importante influência na análise energética, tendo em vista, que estão presentes em vários pontos da empresa, tais como, nos sistemas de bombeamento, injetoras, entre outros. Os demais fatores atuam como coadjuvantes, exercendo menor influência sobre o contexto.

A aplicação da modelagem proposta foi capaz de demonstrar o grau de eficiência energética da empresa avaliada, cumprindo o ultimo objetivo específico, tendo sido identificado que tal empresa possui um grande potencial de conservação de energia a ser desenvolvido.

Além dos resultados obtidos para a empresa analisada, tendo em vista que os Fatores Críticos de Sucesso listados são comuns à maioria das indústrias, foi possível concluir que modelagem proposta nessa dissertação pode ser utilizada para a realização diagnósticos energéticos em outras empresas.

Por meio das simulações realizadas com os resultados obtidos na empresa analisada, foi possível identificar o impacto que seria produzido caso fosse aplicado um plano de melhorias naqueles pontos que tiveram menor índice de desempenho energético. A partir dessas simulações, foi possível concluir que os pesos dos indicadores contribuem para a definição de prioridades de intervenção, permitindo visualizar quais modificações tem maior impacto no aumento da eficiência energética

A modelagem realizada através do software Excel® produzida nessa pesquisa é capaz de facilitar a implementação prática da modelagem desenvolvida. A aplicação, utilizando planilhas eletrônicas, permite aos gestores acompanharem e realizarem simulações de possíveis ações de eficiência energética em cada ponto de consumo da indústria, de modo bastante intuitivo, dando-se assim continuidade e extensão ao trabalho desenvolvido.

Uma das limitações e possibilidade de estudos futuros dessa pesquisa está no fato da abordagem não tratar de indicadores financeiros, o que em muitos casos, pode inviabilizar o plano de ação proposto pelos resultados da modelagem. Ainda, a lacuna de eficiência energética encontrada está baseada em soluções e tecnologias consideradas ideais, mas que nem sempre poderão ser aplicadas a todas indústrias.

A seleção dos indicadores selecionados e apontados na metodologia como PVF e FCS representam outra limitação, uma vez que são variáveis e diversos de acordo com a literatura científica, podendo tal análise ser ampliada em outros estudos.

Ainda, tendo em vista a flexibilidade da ferramenta, é possível realizar análises estatísticas com base na aplicação da modelagem em outras empresas, com perfis de consumo e atividades diferentes das que foram utilizadas contribuindo, desta forma, para o aprimoramento da ferramenta desenvolvida.

Por fim, destaca-se que a modelagem proposta nessa pesquisa através do Excel® já está em construção em formato de um software comercial, denominado NIC – Diagnóstico Energético, o qual será posteriormente registrado junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. **NBR ISO/CIE 8995-1**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 46 p. 2013.

ABNT. Sistemas de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimento — Manutenção programada, **NBR 13971:2014**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 25 p. 2014.

ABESCO. O que é Eficiência Energética? (EE). Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>. Acesso em: 22 de março de 2016.

ABRACE. Uma introdução ao setor elétrico. Disponível em: http://abrace.org.br/wp-content/uploads/2015/12/manual_energia_eletrica.pdf. Acesso em: 30 de março de 2016.

ADETUTU, M. O.; GLASS, A. J.; WEYMAN-JONES, T. G. Decomposing energy demand across BRIIC countries. **Energy Economics**, 2016.

ALMEIDA, A.T. **Processo de decisão nas organizações**. São Paulo: Atlas, 2013. 231 p.

ALMEIDA, D. L.; BENASSI, R. F. Crise hídrica e de energia elétrica entre 2014-2015 na região Sudeste. **Revista Hipótese**, v. 1, n. 2, 2015.

ALVES, C. V. **Plano de eficiência energética numa unidade industrial**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores). Universidade do Porto, Porto, 2009.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. **Regulação Normativa nº 414/2010**. Atualizada até a Resolução Normativa nº 670 de 14 de julho de 2015. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/REN2010414_Texto_Atualizado_Compacto\(rev_670_2015\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/REN2010414_Texto_Atualizado_Compacto(rev_670_2015).pdf). Acesso em: 30 de agosto de 2015.

APEANING, R. W.; THOLLANDER, P. Barriers to and driving forces for industrial energy efficiency improvements in African industries—a case study of Ghana's largest industrial area. **Journal of Cleaner Production**, v. 53, p. 204-213, 2013.

APERGIS, N. et al. Energy efficiency of selected OECD countries: A slacks based model with undesirable outputs. **Energy Economics**, v. 51, p. 45-53, 2015.

BACKLUND, S.; THOLLANDER, P. Impact after three years of the Swedish energy audit program. **Energy**, v. 82, p. 54-60, 2015.

BARTZ, T., SILUK, J. C. M. BARTH, L. E. (2011). Importance of industrial performance measurement in industry: a case study. Rebrae. **Revista Brasileira de Estratégia**, 4 (1), 91-104.

BATISTA, O. E. **Redução do custo da energia elétrica em ambientes industriais por meio de uma estratégia de baixo custo em gestão energética.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2013.

BELO, P. M. S. **Auditorias de energia em instalações industriais do setor automóvel.** Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2015.

BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach.** New York: Springer, 2001. 372 p.

BLASS, V. et al. 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, 2014.

BORBA et al. **Guia para eficientização energética nas edificações públicas.** Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Versão 1.0. Outubro 2014. Coordenador Ministério de Minas e Energia – MME — Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. 229 p.

BORNIA, A. C.; WERNKE, R. A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. **Revista Contabilidade & Finanças.** FIPECAP – FEA – USP. v.14, n. 25, p. 6071, jan. /abr. 2001.

BOSCH. **Tecnologia de ar comprimido.** Campinas, 2008. Disponível em: http://www.bosch.com.br/br/ferramentas_pneumaticas/produtos/downloads/ManualPneumatica_ARComprimido.pdf. Acesso em: 27 de outubro de 2015.

BOYD, G. A. Estimating the changes in the distribution of energy efficiency in the US automobile assembly industry. **Energy Economics**, v. 42, p. 81-87, 2014.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 163, de 08 de junho de 2009. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** Brasília, DF, 2009. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv02_1.pdf. Acesso em: 20 de fevereiro de 2016.

BRASIL. Ministério do Planejamento. **Cartilha Energia: como analisar gastos com energia elétrica / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Assessoria Especial para Modernização da Gestão, Central de Compras.** Brasília: MP, 2015. 24p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998. Aprova regulamento técnico que garante a qualidade do ar de interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados. Brasília (DF): **Diário Oficial da União**; 31 ago. 1998. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html. Acesso em: 30 de novembro de 2015.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

CARVALHO, J. A. B. Rational and efficient use of energy in industrial electrical installations. 41st International Universities Power Engineering Conference, 6-8 September 2006, Newcastle. Proceeding. **Northumbria University**, 2006. p. 951-955.

CCEE. **Ambiente Livre e Ambiente Regulado**. Disponível em: http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado?_adf.ctrl-state=asafg4n6j_4&_afLoop=462245599230024. Acesso em: 04 de abril de 2016.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA (CELESC). **Manual Técnico Orientativo: Eficiência Energética e Gestão da Energia Elétrica na Indústria**. Disponível em: <https://goo.gl/eoJvGw>. Acesso em: 18 de novembro de 2015.

COLAUTO, R. et al. Os Fatores Críticos de Sucesso como suporte ao sistema de inteligência competitiva: o caso de uma empresa brasileira. **Revista de Administração Mackenzie**, v.5, n. 2, p. 119-146, 2004.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Energia elétrica: conceito, qualidade e tarifação: guia básico / Eletrobrás [et al.,].** Brasília: IEL/NC, 2008. 127p. Disponível em: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Energiaeltrica-qualidade.pdf. Acesso em: 28 de outubro de 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Informativo CNI**. Nota Econômica. Janeiro 2015. Ano 1, Nº 1. Disponível em: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2015/02/20/526/Notaeconomica01-Competitividade.pdf. Acesso em: 20 de julho de 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Indicador de Custos Industriais**. Ano 4, Nº 2, abril/junho de 2015. Disponível em: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/cni_estatistica_2/2015/09/10/34/IndicadordeCustosIndustriais_Abril-Junho2015.pdf. Acesso em: 25 de julho de 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Eficiência Energética: Entre Nesta Corrente!**. Disponível em: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/cartilha_cni_corrente_FINAL-small1.pdf. Acesso em: 15 de abril de 2016.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). **Manual de eficiência energética na indústria**. Curitiba, 2005.

CORTELETTI, D. **Ferramenta de autoavaliação do potencial de eficiência energética aplicada as indústrias do setor metalomecânico**. 2015. 135f. Dissertação de Mestrado Profissional em Produção – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão**. Niterói: UFF, 2002.

CROUCHER, M. Potential problems and limitations of energy conservation and energy efficiency. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 5795-5799, 2011.

CSEREKLYEI, Z.; STERN, D. I. Global energy use: Decoupling or convergence? **Energy Economics**, v. 51, p. 633-641, 2015.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC**. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC.

DINDORF, R. Estimating Potential Energy Savings in Compressed Air Systems. **Procedia Engineering**, v. 39, p. 204–211, 2012.

DOUMPOS, M.; GRIGOROUDIS, E. **Multicriteria decision aid and artificial intelligence: links, theory and applications**. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2013. 368 p.

DUFLOU, J. R. et al. Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 61, n. 2, p. 587–609, jan. 2012.

EDOMAH, N. Effects of Voltage Sags, Swell and Other Disturbances on Electrical Equipment and Their Economic Implications. **20th International Conference on Electricity Distribution**. Prague, 8-11 June 2009. Proceedings. Prague: CIRED, 2009, Paper nº 18

ELEKTRO. **Manuais Elektro de Eficiência Energética – Segmento Industrial: Sistemas Motrizes**. Disponível em: <http://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/SistemasMotrizes.pdf>. Acesso em: 23 de julho de 2015a.

_____. **Manuais Elektro de Eficiência Energética – Segmento Industrial: Sistemas de Iluminação**. Disponível em: http://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/manualluminacao_novo.pdf. Acesso em: 23 de julho de 2015b.

_____. **Manuais Elektro de Eficiência Energética – Segmento Industrial:** Administração de Energia. Disponível em: http://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/novo_segmento_industrial_adm_energia-09-06-2014_dupla.pdf. Acesso em: 23 de julho de 2015c.

EMPRESA, DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco energético nacional 2015:** ano base 2014. Rio de Janeiro, 2015.

EMPRESA, DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco energético nacional 2014:** ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G.N.; NORONHA, S.M. **Apoio à decisão:** metodologia para a estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. Florianópolis: Insular, 2001. 296 p.

FEDERAÇÃO DAS INDUSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (FIRJAN). **Estudo para o desenvolvimento do estado do Rio de Janeiro:** Quanto custa a energia elétrica para a indústria no Brasil?. Rio de Janeiro. Agosto, 2015. Disponível em: <http://www.firjan.com.br/quantocustaenergia/>. Acesso em: 13 de agosto de 2015.

FEDERAÇÃO DAS INDUSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA (FIESC). **MANUAL FIESC: Uso Eficiente de Energia na Indústria.** Disponível em: <http://www2.fiescnet.com.br/web/recursos/VUVSR05ETXpNUT09>. Acesso em: 28 de setembro de 2015.

FIGUEIREDO, M.A.D.; MACEDO-SOARES, T.D.L.A.; FUKS, S.; FIGUEIREDO, L.C. Definição de atributos desejáveis para auxiliar a auto-avaliação dos novos sistemas de medição de desempenho organizacional. **Gestão & Produção**, v. 12, n. 2, p. 305-315, 2005.

FLOREZI, G. **Consumidores Livres de Energia: Uma visão prática.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. São Paulo, 2009.

FRANCISCHINI, P. G.; CABEL, G. M. Proposição de um indicador geral de desempenho utilizando AHP. **Encontro Nacional De Engenharia de Produção**, v. 23, 2003.

FRANCO-SANTOS, M. et al. Towards a definition of a business performance measurement system. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 27, n. 8, p. 784-801, 2007.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2010. 200 p.

GOMES, C.F.; GOMES, L.F.A.M. **Tomada de decisão gerencial:** Enfoque Multicritério. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GUILLIOD, S.; CORDEIRO, M. **Manual do Pré- Diagnóstico Energético: Autodiagnóstico na Área de Prédios Públicos.** PROCEL – EPP, Rio de Janeiro - RJ, 2010, 53 p. Disponível em: http://www.orcamentofederal.gov.br/eficiencia-do-gasto/Manual_Pre-Diagnostico_Energetico_Projeto_Eficiencia_Energetica_Predio_Publicos.pdf. Acesso em: 03 de março de 2015.

GVces. **Propostas para implementação do Plano Indústria de Baixo Carbono: eficiência energética na indústria.** Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas da Fundação Getulio Vargas. São Paulo: 2015.

HAN, J.; YUN, S. An analysis of the electricity consumption reduction potential of electric motors in the South Korean manufacturing sector. **Energy Efficiency**, v. 8, n. 6, p. 1035-1047, 2015.

HOURNEAUX JUNIOR, F. **Relações entre as partes interessadas (Stakeholders) e os sistemas de mensuração do desempenho organizacional.** 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

IEA. International Energy Agency (2016). **Energy Efficiency.** Disponível em: <http://www.iea.org/topics/energyefficiency/>. Acesso em: 26 de março de 2016.

IEA. International Energy Agency (2015). Energy Efficiency Market Report, 2015. **(Paris, OCDE-AIE).** 250 p.

INMETRO. ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. **Selo PROCEL de Economia de Energia.** Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indiceno.pdf. Acesso em: 25 de julho de 2016a.

INMETRO. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Lâmpada Led.** Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>. Acesso em: 23 de março de 2016b.

JEFFERSON, I. et al. Sustainability indicators for environmental geotechnics. In: **Proceedings**-Institution of Civil Engineers Engineering Sustainability. Institution of Civil Engineers, 2007. p. 57.

JOVANOVIĆ, B.; FILIPOVIĆ, J.; BAKIĆ, V. Prioritization of manufacturing sectors in Serbia for energy management improvement–AHP method. **Energy Conversion and Management**, v. 98, p. 225-235, 2015.

KE, J. et al. Analysis and practices of energy benchmarking for industry from the perspective of systems engineering. **Energy**, v. 54, p. 32-44, 2013.

KEENY, R.L.; RAIFFA, H. **Decision with multiple objectives: preferences and value trade-offs.** Cambridge: Cambridge University Press, 1993. 592 p.

KRALIKOVA, R.; ANDREJIOVA, M.; WESSELY, E. Energy Saving Techniques and Strategies for Illumination in Industry. **Procedia Engineering**, v. 100, p. 187–195, 2015.

KUMAR, P. Training Manual on Energy Efficiency for Small and Medium Enterprises. 1st ed. India: **Asian Productivity Organization**, 2010.

LAITNER, J. A. An overview of the energy efficiency potential. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 9, p. 38–42, 2013.

LAMARCA, D. S. F.; MAGALHÃES, M. M.; JUNIOR, SS Braga. Análise multicritério para avaliação de carteiras de projetos aplicada aos projetos de pesquisa e desenvolvimento do BIOEN ligados à etapa agrícola. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 1, p. 37-50, 2016.

LEITE, F. C. **Modelamento Da Eficiência Energética Para O Gerenciamento Sustentável No Setor Industrial Pela Medição E Verificação**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

LUGOBONI, L. F. et al. A influência da origem das empresas no gerenciamento e na avaliação de desempenho organizacional. **Revista de Administração da UFSM**, v. 7, n. 4, p. 662-677, 2015.

MAGALHÃES, G. **Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente de Contratação Livre: Uma Análise Regulatório-Institucional a Partir dos Contratos de Compra e Venda de Energia Elétrica**. 2009. 140 p. Dissertação (Mestrado em Energia). Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, 2009.

MAIA A. C. B., VILLAR P. R., DE OLIVEIRA T. D., ALMEIDA V. **Manual de iluminação – PROCEL** (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). Agosto/ 2011. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL%20DE%20ILUMINACAO%20-%20PROCEL_EPP%20-AGOSTO%202011.pdf. Acesso em: 23 de julho de 2015.

MARCHAIS, J. **Economias permanentes mediante eficiência energética ativa**. 2013.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos da metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2010. 320 p.

MARESCHAL, B.; BRANS, J.P. Bank adviser: un système interactif multicritère pour l'évaluation financière des entreprises à l'aide des methods PROMETHEE. **L'Actualité Économique**, v. 69, n. 1, p. 191-205, 1993.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso. **XLI SBPO**, v. 1, 2009.

MARQUES, M., HADDAD, J., MARTINS, A. R. S. **Eficiência energética: teoria & prática**. Itajubá: Editora da FUPAI, 2007.

MARR, B. **Key Performance Indicators (KPI): The 75 measures every manager needs to know**. Pearson UK, 2012.

MIGUEL, P.A.C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Campus, 2011. 280 p.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Assessoria de Comunicação Social**. Disponível em: <http://goo.gl/xswKwi>. Acesso em 18 de julho de 2015.

NAGESHA, N.; BALACHANDRA, Patil. Barriers to energy efficiency in small industry clusters: multi-criteria-based prioritization using the analytic hierarchy process. **Energy**, v. 31, n. 12, p. 1969-1983, 2006.

NEUENFELDT JÚNIOR, A.L. **Modelagem para a mensuração de desempenho dos sistemas BRT no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

NORO, M.; LAZZARIN, R. M. Energy audit experiences in foundries. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, p. 1-15, 2014.

O'RIELLY, K.; JESWIET, J. **Strategies to improve industrial energy efficiency**. Procedia CIRP, v. 15, p. 325–330, 2014.

OIKONOMOU, V. et al. Energy saving and energy efficiency concepts for policy making. **Energy policy**, v. 37, n. 11, p. 4787-4796, 2009.

OGUNLANA, S. O. et al. Beyond the 'iron triangle': Stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects. **International journal of project management**, v. 28, n. 3, p. 228-236, 2010.

PARMENTER, D. **Key performance indicators for government and non profit agencies**. New Jersey: Wiley, 2012. 309 p.

PENA, S. M. **Sistemas de Ar Condicionado. PROCEL** - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Agosto/2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20Pratico%20PROCEL-Man%20Ar-Cond-Procet-11.pdf>. Acesso em dez.2015.

PORTER, M. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. Rio de Janeiro: Campus, 1996.

POWER, D. **Decision support systems: concepts and resources for managers**. Westport: Praeger, 2002. 272 p.

PROCEL. **Manual para Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C.** Rio de Janeiro: Procel/Eletrabras, 2009. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv02_1.pdf. Acesso em: 25 nov. 2009.

RAMOS, M. C. D. E. S. **Metodologia para avaliação e otimização de motores elétricos de indução trifásicos visando a conservação de energia em aplicações industriais.** 2009. 203 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo – SP.

ROCHA, L. L. R.; MONTEIRO, M. A. G. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, Procel, 2005a, 87 p. Disponível em: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualArComprimido.pdf Acesso em: 21 de julho de 2015.

_____. **Gestão Energética.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, Procel, 2005b, 188 p. Disponível em: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/GuiaGestaoEnergetica.pdf. Acesso em: 08 de agosto de 2015.

ROY, B. **Méthodologie multicritère d'aide à la Décision.** Paris: Economica, 1985. 424 p.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. **Aide multicritère à la décision: méthodes et cas.** Paris: Econômica, 1993. 695 p.

RUSSELL, Christopher. **Managing energy from the top down: connecting industrial energy efficiency to business performance.** Lilburn: The Fairmont Press, Inc. 2010. ISBN 0-88173-625-2.

SAATY, T.L. **The analytic hierarchy process.** New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.

SAATY, T. L. **Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world.** 3rd Revised ed. Pittsburgh, PA: RWS Publications, 2012.

SAATY, T.L.; VARGAS, L.G. **Methods, concepts & applications of the Hierarchy Process.** New York: Springer, 2012. 396 p.

SAIDUR, R. A review on electrical motors energy use and energy savings. Renewable and Sustainable. **Energy Reviews**, v. 14, p. 877–898, 2010.

SAMSONOWA, T. **Industrial research performance management: key performance indicators in the ICT industry.** Heidelberg: Physica-Verlag, 2012. 460 p.

SCHUDELEIT, Timo; ZÜST, Simon; WEGENER, Konrad. Methods for evaluation of energy efficiency of machine tools. **Energy**, v. 93, p. 1964-1970, 2015.

SCHWAB, K., SALA-I-MARTIN, X. **The Global Competitiveness Report 2015–2016.** World Economic Forum, Geneva (2016).

SCHWAB, K., SALA-I-MARTIN, X. **The Global Competitiveness Report 2014–2015**. World Economic Forum, Geneva (2015).

SHAH, N.; WAIDE, P.; PHADKE, A. **Cooling the Planet**: opportunities for Deployment of Superefficient Room Air Conditioners. California – USA: Berkeley Lab, 2013.106 p.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. UFSC, Florianópolis, 4a. edição, 2005.

SILVA, N. F. **Desenvolvimento de metodologia de eficiência energética para aplicação em processos industriais de laticínios**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2016.

SKINNER, D.C. **Introduction to decision analysis**. Sugar Land: Probabilistic Publishing, 2009. 368 p.

SOLA, A. V. H.; MOTA, C. M. D. M.; KOVALESKI, J. L. A model for improving energy efficiency in industrial motor system using multicriteria analysis. **Energy Policy**, v. 39, p. 3645–3654, 2011.

SOLIMAN, M. **Avaliação da competitividade em indústrias de transformação de plástico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

STAROSTA, J. **Eficiência energética nas instalações elétricas**. Edição 89, junho de 2013. Disponível em: http://www.osetoeletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed89_fasc_eficiencia_energetica_cap6.pdf. Acesso em 20 de março de 2015.

TARAPANOFF, K. (Org.). **Inteligência organizacional e competitiva**. Brasília: UNB, 2001.

VIANA A. N. C.; BORTONI E. C.; NOGUEIRA F. J. H.; HADDAD J.; NOGUEIRA L. A. H.; VENTURINI O. J.; YAMACHITA R. A. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. Itajubá: Editora da FUPAI, 2012.

ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras; TURSKIS, Zenonas; KILDIENĖ, Simona. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. **Technological and economic development of economy**, v. 20, n. 1, p. 165-179, 2014.

WALLENIUS, J.; DYER, J.S.; FISHBURN, P.C.; STEUTER, R.E.; ZIONTS, S.; DEB, K. Multiple criteria decision making, multipleattribute utility theory. **Management Science**, v. 54, n. 7, p. 1336-1349, 2008.

WEG. **Motores Elétricos**: Guia de Especificação. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 15 de janeiro de 2016.

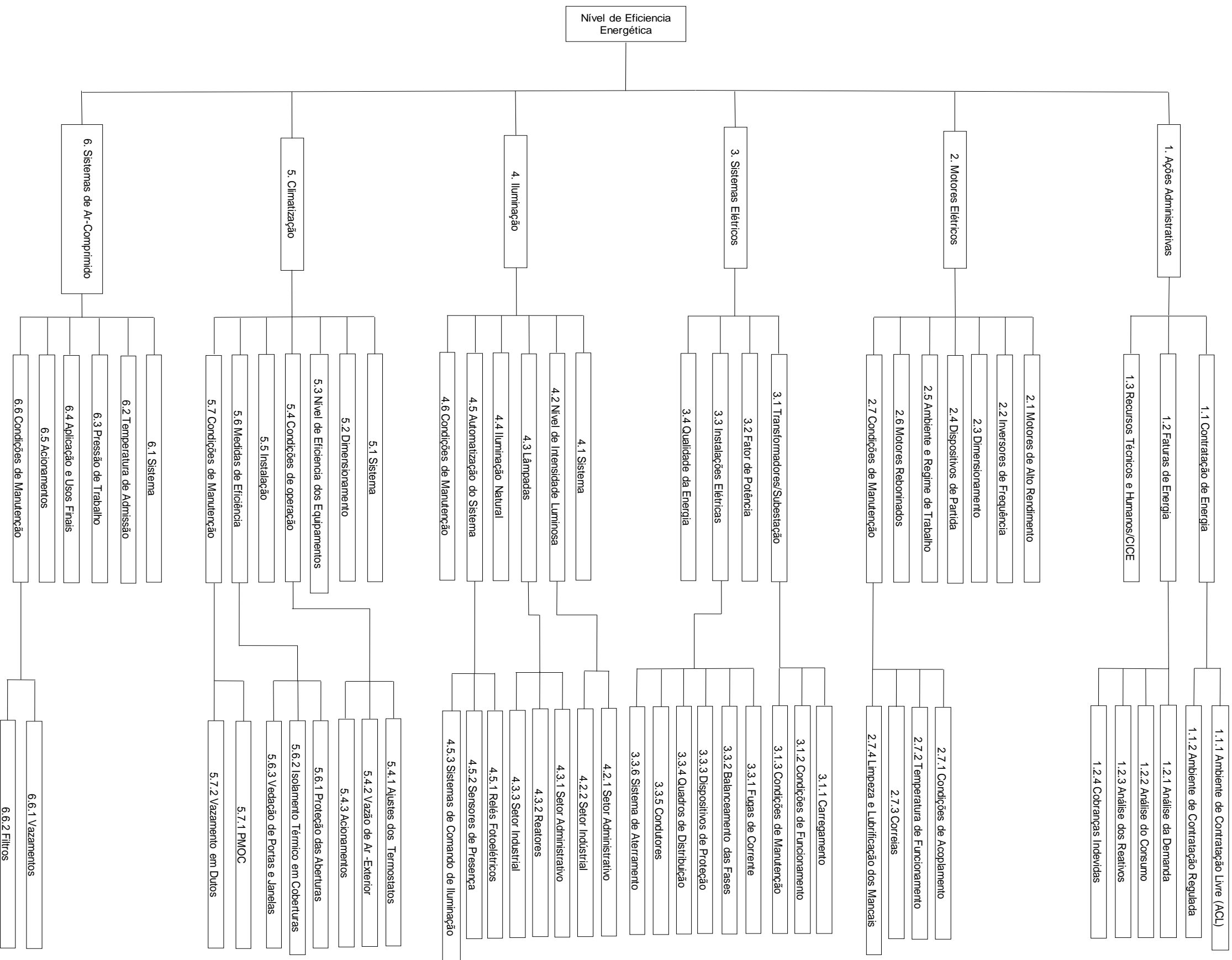
WORRELL, Ernst et al. World best practice energy intensity values for selected industrial sectors. **Lawrence Berkeley National Laboratory**, 2007.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2010. 212 p.

YOUNG, Rachel et al. The 2014 International Energy Efficiency Scorecard. In: **American Council for an Energy-Efficient Economy**. 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ESTRUTURA HIERARQUICA



APÊNDICE B – INDICADORES CONSTRUÍDOS PARA A MODELAGEM

PVF 1 – Ações Administrativas

1.1 – Contratação de Energia

FCS 1.1.1		Ambiente de Contratação Livre (ACL)
Com relação ao Ambiente de Contratação Livre (ACL) na empresa analisada:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	É possível estabelecer o processo de migração para o ambiente de contratação livre (ACL) com potencial de redução do custo da energia em mais de 50%.	<input type="radio"/> 0%
N2	É possível estabelecer o processo de migração para o ambiente de contratação livre (ACL) com potencial de redução do custo da energia entre 30% e 49%.	<input type="radio"/> 25%
N3	É possível estabelecer o processo de migração para o ambiente de contratação livre (ACL) com potencial de redução do custo da energia entre 20% e 29%.	<input type="radio"/> 50%
N4	É possível estabelecer o processo de migração para o ambiente de contratação livre (ACL) com potencial de redução do custo da energia entre 10% e 19%.	<input type="radio"/> 75%
N5	Já está no ACL ou através de análise prévia, houve a conclusão de que é inviável o processo de migração	<input type="radio"/> 100%

FCS 1.1.2		Ambiente de Contratação Regulada (ACR)
Com relação a modalidade de contratação realizada, a empresa se encontra na seguinte situação:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Inadequada e não ocorre a análise periódica na contratação de energia	<input type="radio"/> 0%
N2	Inadequada, apesar da análise ter sido realizada	<input type="radio"/> 25%
N3	Apesar da modalidade tarifária não ser a mais adequada, a contratação de demanda está correta	<input type="radio"/> 50%
N4	A modalidade tarifária está adequada, entretanto, a demanda contratada necessita de ajuste	<input type="radio"/> 75%
N5	Está adequada em todos aspectos analisados	<input type="radio"/> 100%

1.2 – Fatura de Energia

FCS 1.2.1		Análise da Demanda
Em pelo menos oito meses a demanda medida:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Está acima ou abaixo de 30% dos padrões adequados	<input type="radio"/> 0%
N2	Está entre 21 e 30% acima ou abaixo dos padrões adequados	<input type="radio"/> 25%
N3	Está entre 11 e 20% acima ou abaixo dos padrões adequados	<input type="radio"/> 50%
N4	Está até 10% acima ou abaixo dos padrões adequados	<input type="radio"/> 75%

N5	A demanda analisada se encontra entre 90% e 105% da demanda contratada.	<input type="radio"/> 100%
-----------	---	----------------------------

FCS 1.2.2		Análise do Consumo
O resultado do Fator de Carga da unidade consumidora está:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Abaixo de 0,40	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 0,4 e 0,49	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 0,50 e 0,59	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 0,60 e 0,69	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0,7 e 1	<input type="radio"/> 100%

FCS 1.2.3		Análise dos Reativos
Pela análise do Fator de Potência (FP) da unidade consumidora, esta se encontra na seguinte situação:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Ocorre a cobrança de reativos em mais de 6 meses ao ano.	<input type="radio"/> 0%
N2	Ocorre a cobrança de reativos entre 3 e 6 meses no ano.	<input type="radio"/> 25%
N3	O FP fica próximo de 0,92 com cobrança de reativos em menos de três meses no ano.	<input type="radio"/> 50%
N4	Apesar do FP ficar próximo de 0,92 durante determinados períodos não ocorre a cobrança de reativos.	<input type="radio"/> 75%
N5	O FP nunca se encontra abaixo de 0,92 e, portanto, não ocorre a cobrança de reativos.	<input type="radio"/> 100%

FCS 1.2.4		Cobranças Indevidas
Há ocorrência de cobranças indevidas ou multas:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 6 meses no ano	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 4 e 6 meses no ano	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 2 e 3 meses no ano	<input type="radio"/> 50%
N4	Em apenas um mês no ano	<input type="radio"/> 75%
N5	Não há ocorrência de cobranças indevidas ou multas	<input type="radio"/> 100%

FCS 1.3		Recursos Técnicos e Humanos
Quantos aos recursos técnicos e humanos relacionados as práticas de eficiência energética, na empresa analisada:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Não há qualquer cultura de conservação de energia.	<input type="radio"/> 0%

N2	As práticas de conservação de energia estão inadequadas, sendo estas praticamente inexistentes.	<input type="radio"/> 25%
N3	Ocorrem ações de conservação de energia, no entanto, sem corpo técnico qualificado.	<input type="radio"/> 50%
N4	Apesar de existir um especialista/consultoria ou uma comissão interna de conservação de energia, ocorre a possibilidade de aprimoramento das ações.	<input type="radio"/> 75%
N5	Possui uma comissão interna de conservação de energia e/ou um especialista/consultoria atuante.	<input type="radio"/> 100%

PVF 2 – Motores Elétricos

FCS 2.1	Motores de Alto Rendimento	
A quantidade de motores elétricos de alto rendimento que compõe o sistema de produção está entre:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	0% - 40% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	41% - 60% do total de motores	<input type="radio"/> 25%
N3	61% - 80% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	81% - 90% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	91% -100% do total de motores	<input type="radio"/> 100%

FCS 2.2	Inversores de Frequência	
Quando possível, a correta aplicação de inversores de frequência nos motores elétricos, ocorre em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	0% - 40% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	41% - 60% do total de motores	<input type="radio"/> 25%
N3	61% - 80% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	81% - 90% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	91% -100% do total de motores	<input type="radio"/> 100%

FCS 2.2	Inversores de Frequência	
Quando possível, a correta aplicação de inversores de frequência nos motores elétricos, ocorre em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	0% - 40% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	41% - 60% do total de motores	<input type="radio"/> 25%
N3	61% - 80% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	81% - 90% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	91% -100% do total de motores	<input type="radio"/> 100%

FCS 2.3		Dimensionamento
Na análise* do dimensionamento dos motores elétricos por corrente, potência de entrada e escorregamento, a quantidade de motores superdimensionados ou subdimensionados está entre:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de motores	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 10% do total de motores	<input type="radio"/> 100%

*Análise realizada através do software BDbmotor.

FCS 2.4		Dispositivos de Partida
Os dispositivos de partida dos motores elétricos que estão inadequados e podem ser eficientizados está:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de motores	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 10% do total de motores	<input type="radio"/> 100%

FCS 2.5		Ambiente e Regime de Trabalho
Com relação ao ambiente e o regime de trabalho, os motores em condições inadequadas de funcionamento estão entre:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de motores	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 10% do total de motores	<input type="radio"/> 100%

FCS 2.6		Motores Rebobinados
Dentre todos os motores elétricos, a quantidade de motores rebobinados está entre:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 50% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	35% - 50% do total de motores	<input type="radio"/> 25%

N3	16% - 35% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	1% - 15% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	Não existem motores rebobinados	<input type="radio"/> 100%

2.7 – Condições de Manutenção

FCS 2.7.1	Condições de Acoplamento	
Motores elétricos que apresentam falhas no sistema de acoplamento, estão entre:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 50% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	35% - 50% do total de motores	<input type="radio"/> 25%
N3	16% - 35% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	1% - 15% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	Sem problema de acoplamento	<input type="radio"/> 100%

FCS 2.7.2	Temperatura de Funcionamento	
A quantidade de motores elétricos com temperatura de funcionamento acima do recomendado:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 50% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	35% - 50% do total de motores	<input type="radio"/> 25%
N3	16% - 35% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	1% - 15% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	Não existem motores elétricos com temperatura de funcionamento fora dos padrões recomendados.	<input type="radio"/> 100%

FCS 2.7.3	Correias	
Quanto as condições de funcionamento das correias dos motores elétricos, a quantidade de motores trabalhando fora das condições recomendadas, está entre:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 50% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	35% - 50% do total de motores	<input type="radio"/> 25%
N3	16% - 35% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	1% - 15% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	Não existem motores elétricos com correias trabalhando fora dos padrões recomendados.	<input type="radio"/> 100%

FCS 2.7.4	Limpeza e Lubrificação dos Mancais
-----------	------------------------------------

A quantidade de motores elétricos trabalhando com a limpeza e lubrificação dos mancais fora dos padrões recomendados está entre:

Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 50% do total de motores	<input type="radio"/> 0%
N2	35% - 50% do total de motores	<input type="radio"/> 25%
N3	16% - 35% do total de motores	<input type="radio"/> 50%
N4	1% - 15% do total de motores	<input type="radio"/> 75%
N5	Não existem motores elétricos com limpeza e lubrificação dos mancais fora dos padrões recomendados.	<input type="radio"/> 100%

PVF 3 – Sistemas Elétricos

3.1 – Transformadores/Subestação

FCS 3.1.1	Carregamento	
O nível de carregamento do transformador está:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Abaixo de 20% ou Acima de 120%	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 21% - 29% ou 100 – 119%	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 30% - 39% ou 90% - 99%	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 40% - 49% ou 80% - 89%	<input type="radio"/> 75%
N5	50% - 80% de sua potência nominal	<input type="radio"/> 100%

FCS 3.1.2	Condições de Funcionamento	
Com relação a temperatura de funcionamento do Transformador:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Totalmente inadequado: Apresenta inúmeros pontos quentes que comprometem o funcionamento e a segurança de operação.	<input type="radio"/> 0%
N2	Inadequado: Apresenta pontos quentes que comprometem a eficiência de operação do transformador.	<input type="radio"/> 25%
N3	Razoável: Apresenta pontos quentes que pouco comprometem a eficiência de operação do transformador.	<input type="radio"/> 50%
N4	Adequado: apesar de estar trabalhando acima da temperatura nominal de funcionamento não apresenta pontos quentes.	<input type="radio"/> 75%
N5	Totalmente adequado: Está trabalhando dentro da temperatura nominal de funcionamento.	<input type="radio"/> 100%

FCS 3.1.3	Condições de Manutenção	
Com relação as condições de manutenção do Transformador, o mesmo se encontra:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor

N1	Totalmente inadequado: Não ocorre manutenção periódica no transformador.	<input type="radio"/> 0%
N2	Inadequado: Ocorre a manutenção do sistema, no entanto, o equipamento e a cabine estão em condições precárias de funcionamento e segurança.	<input type="radio"/> 25%
N3	Razoável: É necessário reavaliar os procedimentos de manutenção do transformador	<input type="radio"/> 50%
N4	Adequado: O transformador está em condições adequadas de operação, no entanto, com as manutenções vencidas	<input type="radio"/> 75%
N5	Totalmente adequado: Esta com a manutenção preventiva atualizada	<input type="radio"/> 100%

FCS 3.2		Banco de Capacitores
Com relação ao banco de Capacitores, este:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Oferece fator de correção $\leq 85\%$	<input type="radio"/> 0%
N2	Oferece fator de correção entre 86% a 87%	<input type="radio"/> 25%
N3	Oferece fator de correção entre 88% a 89%	<input type="radio"/> 50%
N4	Oferece fator de correção entre 90% a 91%	<input type="radio"/> 75%
N5	Oferece fator de correção entre 92% a 100%	<input type="radio"/> 100%

3.3 – Instalações Elétricas

FCS 3.3.1		Fugas de Corrente
A estrutura elétrica da empresa analisada está:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Totalmente inadequada: muitas emendas não isoladas corretamente, muitos pontos quentes e não há dispositivos diferenciais residuais em locais obrigatórios.	<input type="radio"/> 0%
N2	Inadequada: em todos os aspectos analisados e na maior parte das emendas estão isoladas corretamente, alguns pontos quentes e não há dispositivos diferenciais residuais em locais obrigatórios.	<input type="radio"/> 25%
N3	Razoável: adequada em todos os aspectos, com necessidade de pequenos ajustes em pontos quentes existentes.	<input type="radio"/> 50%
N4	Adequada: Foram encontrados poucos pontos quentes.	<input type="radio"/> 75%
N5	Totalmente adequada: Não foram encontrados emendas e/ou pontos quentes. Os dispositivos diferenciais residuais estão corretamente dimensionados	<input type="radio"/> 100%

FCS 3.3.2		Balanceamento das Fases
Sabendo que a distribuição não equilibrada de cargas pelas fases pode causar vários efeitos, tais como, queima de fusíveis ou desligamento dos disjuntores, aquecimento dos condutores e conexões, funcionamento inadequado dos equipamentos conectados a uma fase mais carregada que as outras, entre outros, o balanceamento das fases na empresa analisada se encontra:		

Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Totalmente inadequado: problemas recorrentes em função do desequilíbrio das fases.	<input type="radio"/> 0%
N2	Inadequado: necessidade de ajustes no balanceamento, os quais têm impactos significativos no sistema elétrico.	<input type="radio"/> 25%
N3	Razoável: necessidade de ajustes no balanceamento, os quais têm pequenos impactos no sistema elétrico.	<input type="radio"/> 50%
N4	Adequado: ocorre a necessidade de pequenos ajustes no balanceamento, no entanto, os problemas diagnosticados não têm impactos significativos no sistema elétrico.	<input type="radio"/> 75%
N5	Totalmente adequado: o equilíbrio das fases está adequado.	<input type="radio"/> 100%

FCS 3.3.3	Dispositivos de Proteção	
Com relação ao uso e dimensionamento dos dispositivos de proteção, estes estão inadequados:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 10% do total	<input type="radio"/> 100%

FCS 3.3.4	Quadros de Distribuição	
Com relação aos quadros de distribuição de energia, estes estão inadequados em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 10% do total	<input type="radio"/> 100%

FCS 3.3.5	Condutores	
A quantidade de condutores funcionando fora dos padrões recomendados está entre:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total	<input type="radio"/> 75%

N5	Entre 0% - 10% do total	<input type="radio"/> 100%
-----------	-------------------------	----------------------------

FCS 3.3.6		Sistema de Aterramento
O sistema de aterramento da empresa analisada se encontra:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Totalmente inadequado: o sistema de aterramento possui resistência superior a 10 ohms, muitos pontos metálicos não estão conectados ao sistema de aterramento, ausência de Dispositivos de Proteção Contra Surtos, além do mal dimensionamento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).	<input type="radio"/> 0%
N2	Inadequadas: o sistema de aterramento possui resistência inferior a 10 ohms, porém muitos pontos metálicos não estão conectados ao sistema de aterramento, ausência de Dispositivos de Proteção Contra Surtos, além do mal dimensionamento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).	<input type="radio"/> 25%
N3	Razoável: adequado em muitos aspectos, porém necessita de ajustes nas descidas do sistema de proteção atmosférica	<input type="radio"/> 50%
N4	Adequado: adequado em praticamente todos os aspectos, no entanto, ocorre a necessidade de ajustes na identificação do sistema de aterramento.	<input type="radio"/> 75%
N5	Totalmente adequada: adequado em todos os aspectos.	<input type="radio"/> 100%

FCS 3.4		Qualidade de Energia
Com relação a qualidade de energia, o sistema elétrico da empresa analisada está:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Totalmente inadequado: apresenta muitos distúrbios transitórios, sub e sobretensões, harmônicos, ruídos e flutuações de tensão no sistema elétrico.	<input type="radio"/> 0%
N2	Inadequadas: apresenta poucos distúrbios transitórios, sub e sobretensões, harmônicos, ruídos e flutuações de tensão no sistema elétrico.	<input type="radio"/> 25%
N3	Razoável: adequado em muitos aspectos, porém necessita de correção dos distúrbios causados por harmônicos e flutuações de tensão.	<input type="radio"/> 50%
N4	Adequado: adequado em praticamente todos os aspectos. Há a necessidade de identificação e verificação da documentação no sistema de correção.	<input type="radio"/> 75%
N5	Totalmente adequada: adequado em todos os aspectos.	<input type="radio"/> 100%

PVF 4 – Iluminação

FCS 4.1		Sistema
A utilização da iluminação em cada espaço da empresa, está correta em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor

N1	Entre 0% - 40% do total de espaços possíveis	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de espaços possíveis	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 61% - 79% do total de espaços possíveis	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 80% - 90% do total de espaços possíveis	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 91% - 100% do total de espaços possíveis	<input type="radio"/> 100%

4.2 – Nível de Intensidade Luminosa

FCS 4.2.1	Nível de Intensidade Luminosa Área Administrativa (Lux) *	
Os níveis* de intensidade luminosa medidos nos espaços que compõe as áreas administrativas, estão corretos em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Entre 0% - 40% do total de espaços	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de espaços	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 61% - 79% do total de espaços	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 80% - 90% do total de espaços	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 91% - 100% do total de espaços	<input type="radio"/> 100%

* Valores de referência de acordo com a NBR 8995-1

FCS 4.2.2	Nível de Intensidade Luminosa Área Industrial (Lux)*	
Os níveis* de intensidade luminosa medidos nos espaços que compõe o setor industrial, estão corretos em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Entre 0% - 40% do total de espaços	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de espaços	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 61% - 79% do total de espaços	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 80% - 90% do total de espaços	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 91% - 100% do total de espaços	<input type="radio"/> 100%

* Valores de referência de acordo com a NBR 8995-1

4.3 – Lâmpadas/Reatores

FCS 4.3.1	Lâmpadas Área Administrativa (lm/Watts)	
As lâmpadas que compõe o sistema de iluminação das áreas administrativas da empresa possuem predominantemente lâmpadas do tipo:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Incandescentes	<input type="radio"/> 0%
N2	Halógenas/Dicroica	<input type="radio"/> 25%

N3	Fluorescente	<input type="radio"/> 50%
N4	CFL (<i>Compact Fluorescent Lamp</i>)	<input type="radio"/> 75%
N5	LED (<i>Light Emitting Diode</i>)	<input type="radio"/> 100%

FCS 4.3.2	Lâmpadas Área Industrial (lm/Watts)	
As lâmpadas que compõe a iluminação interna do setor industrial possuem predominantemente lâmpadas do tipo:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Mista / Vapor de Mercúrio	<input type="radio"/> 0%
N2	Fluorescente (T10, T12) / CFL (<i>Compact Fluorescent Lamp</i>)	<input type="radio"/> 25%
N3	Vapor Metálico / Fluorescente (T5, T8)	<input type="radio"/> 50%
N4	Vapor de Sódio	<input type="radio"/> 75%
N5	LED (<i>Light Emitting Diode</i>)	<input type="radio"/> 100%

FCS 4.3.3	Reatores	
Com relação a utilização de Reatores:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Todos os reatores encontrados têm fator de potência abaixo de 0,6	<input type="radio"/> 0%
N2	Mais de 50% dos reatores encontrados tem fator de potência abaixo de 0,6	<input type="radio"/> 25%
N3	A maior parte dos reatores têm comando eletrônico, no entanto, ainda são encontrados poucos reatores com baixo fator de potência	<input type="radio"/> 50%
N4	Todos os reatores têm comando eletrônico	<input type="radio"/> 75%
N5	Utilização de lâmpadas LED, sem a necessidade de reator	<input type="radio"/> 100%

FCS 4.4	Iluminação Natural	
O dimensionamento e utilização da iluminação natural está:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Inadequada em todos os quesitos* analisados	<input type="radio"/> 0%
N2	Adequada em apenas um dos quesitos* analisados	<input type="radio"/> 25%
N3	Inadequada em metade dos quesitos* analisados	<input type="radio"/> 50%
N4	Inadequada em apenas um dos quesitos* analisados	<input type="radio"/> 75%
N5	Adequada em todos os quesitos*	<input type="radio"/> 100%

4.5 – Automação do Sistema

FCS 4.5.1	Relés Fotoelétricos	
Quanto aos relés fotoelétricos, a sua utilização é correta e está instalada em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Entre 0% - 40% do total de pontos possíveis	○ 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de pontos possíveis	○ 25%
N3	Entre 61% - 79% do total de pontos possíveis	○ 50%
N4	Entre 80% - 90% do total de pontos possíveis	○ 75%
N5	Entre 91% - 100% do total de pontos possíveis	○ 100%

FCS 4.5.2	Sensores de Presença	
Quanto aos sensores de presença, a sua utilização é correta e está instalada em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Entre 0% - 40% do total de pontos possíveis	○ 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de pontos possíveis	○ 25%
N3	Entre 61% - 79% do total de pontos possíveis	○ 50%
N4	Entre 80% - 90% do total de pontos possíveis	○ 75%
N5	Entre 91% - 100% do total de pontos possíveis	○ 100%

FCS 4.5.3	Sistemas de Comando de Iluminação	
Quanto aos sistemas de comando de iluminação, a sua utilização é correta e está instalada em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Entre 0% - 40% do total de pontos possíveis	○ 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de pontos possíveis	○ 25%
N3	Entre 61% - 79% do total de pontos possíveis	○ 50%
N4	Entre 80% - 90% do total de pontos possíveis	○ 75%
N5	Entre 91% - 100% do total de pontos possíveis	○ 100%

FCS 4.6	Condições de Manutenção	
As condições de manutenção dos sistemas de iluminação estão adequadas em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Entre 0% - 40% do total de pontos possíveis	○ 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de pontos possíveis	○ 25%

N3	Entre 61% - 79% do total de pontos possíveis	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 80% - 90% do total de pontos possíveis	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 91% - 100% do total de pontos possíveis	<input type="radio"/> 100%

PVF 5 – Climatização

FCS 5.1	Sistema	
O sistema de climatização da empresa está inadequado em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 10% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 100%

FCS 5.2	Dimensionamento	
Os sistemas de climatização, com relação ao seu dimensionamento estão inadequados em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 10% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 100%

FCS 5.3	Nível de Eficiência dos Equipamentos	
A quantidade de equipamentos ou sistemas de climatização com níveis PROCEL A* de eficiência está entre:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Abaixo de 65% do total de equipamentos	<input type="radio"/> 0%
N2	65% - 74% do total de equipamentos	<input type="radio"/> 25%
N3	75% - 84% do total de equipamentos	<input type="radio"/> 50%
N4	85% - 99% do total de equipamentos	<input type="radio"/> 75%
N5	Todos os equipamentos	<input type="radio"/> 100%

* Valores baseados na etiqueta de eficiência PROCEL (INMETRO) e RTQ-C (páginas 145 a 156).

5.4 – Condições de Operação

FCS 5.4.1		Ajustes de Termostato	
O ajuste dos termostatos está inadequado em:			
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor	
N1	Acima de 60% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 0%	
N2	Entre 31% - 60% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 25%	
N3	Entre 16% - 30% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 50%	
N4	Entre 6% - 15% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 75%	
N5	Entre 0% - 5% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 100%	

FCS 5.4.2		Vazão de Ar Exterior	
O controle da vazão de ar exterior está inadequado em:			
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor	
N1	Acima de 60% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 0%	
N2	Entre 31% - 60% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 25%	
N3	Entre 16% - 30% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 50%	
N4	Entre 6% - 15% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 75%	
N5	Entre 0% - 5% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 100%	

FCS 5.4.3		Acionamentos	
O controle da vazão de ar exterior está inadequado em:			
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor	
N1	Acima de 60% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 0%	
N2	Entre 31% - 60% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 25%	
N3	Entre 16% - 30% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 50%	
N4	Entre 6% - 15% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 75%	
N5	Entre 0% - 5% do total de espaços analisados	<input type="radio"/> 100%	

FCS 5.5		Instalação	
Com relação as instalações dos equipamentos que compõe o sistema de climatização, estão inadequados:			
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor	
N1	Acima de 60% do total de equipamentos analisados	<input type="radio"/> 0%	
N2	Entre 31% - 60% do total de equipamentos analisados	<input type="radio"/> 25%	

N3	Entre 16% - 30% do total de equipamentos analisados	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 6% - 15% do total de equipamentos analisados	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 5% do total de equipamentos analisados	<input type="radio"/> 100%

5.6 – Medidas de Eficiência

FCS 5.6.1	Proteção das Aberturas	
Ocorre inadequada proteção das aberturas em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 10% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 100%

FCS 5.6.2	Isolamento Térmico em Coberturas	
Quanto ao isolamento térmico das coberturas, este está inadequado ocorre em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total da área possível	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total da área possível	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total da área possível	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total da área possível	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 10% do total da área possível	<input type="radio"/> 100%

FCS 5.6.3	Vedação de Portas e Janelas	
A vedação das portas e janelas está inadequada em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 21% - 40% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 11% - 20% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 10% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 100%

5.7 – Condições de Manutenção

FCS 5.7.1	PMOC
------------------	-------------

O PMOC (Plano de Manutenção, Operação e Controle) não é aplicado rigorosamente em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 31% - 60% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 15% - 30% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 5% - 15% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 5% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 100%

FCS 5.7.2	Vazamento em Dutos	
Com relação a vazamentos nos dutos, eles ocorrem em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 31% - 60% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 15% - 30% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 5% - 15% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 5% do total de pontos analisados	<input type="radio"/> 100%

PVF 6 – Sistema de ar-comprimido

FCS 6.1	Sistema	
Considerando os seguintes aspectos: demanda, consumo, reserva do sistema de ar comprimido, tamanho e tipo do compressor, volume do reservatório e tipo de rede de distribuição, o sistema de ar comprimido utilizado está:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Totalmente inadequado: A concepção do sistema de ar comprimido está inadequada em todos os aspectos.	<input type="radio"/> 0%
N2	Inadequado: Embora o sistema utilizado tenha sido construído a partir de um projeto, o mesmo é antigo e ineficiente.	<input type="radio"/> 25%
N3	Razoável: O sistema é novo, no entanto há soluções mais eficientes no consumo de energia elétrica.	<input type="radio"/> 50%
N4	Adequado: O sistema está adequado, com possibilidade de melhorias.	<input type="radio"/> 75%
N5	Totalmente adequado: A empresa está utilizando o sistema de ar comprimido mais adequado.	<input type="radio"/> 100%

FCS 6.2	Temperatura de Admissão	
A perda percentual* com a temperatura de admissão de ar:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Superior a 7%	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 5% e 7%	<input type="radio"/> 25%

N3	Entre 2% e 4%	<input type="radio"/> 50%
N4	Até 2% de perdas	<input type="radio"/> 75%
N5	Temperatura de admissão adequada	<input type="radio"/> 100%

*Análise realizada através da plataforma de apoio E3AC.

FCS 6.3		Pressão de Trabalho
A perda percentual* com a pressão de trabalho dos compressores:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Superior a 30%	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 16% e 30%	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 6% e 15%	<input type="radio"/> 50%
N4	Até 5% de perdas	<input type="radio"/> 75%
N5	Pressão de trabalho adequada	<input type="radio"/> 100%

FCS 6.4		Aplicação e Usos Finais
A queda de pressão, superior a 0,3 bar ou 5% da pressão gerada, nos usos finais ocorre em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 60% de todos usos finais	<input type="radio"/> 0%
N2	Entre 41% - 60% de todos usos finais	<input type="radio"/> 25%
N3	Entre 31% - 40% de todos usos finais	<input type="radio"/> 50%
N4	Entre 16% - 30% de todos usos finais	<input type="radio"/> 75%
N5	Entre 0% - 15% de todos usos finais	<input type="radio"/> 100%

FCS 6.5		Motores
Com relação aos motores do sistema de ar-comprimido:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	O acionamento não é realizado por motores de alto rendimento e há a inadequada utilização dos inversores de frequência	<input type="radio"/> 0%
N2	A aplicação dos inversores de frequência correta, no entanto, os motores que compõe o sistema de ar-comprimido não são de alto rendimento.	<input type="radio"/> 25%
N3	O acionamento é realizado por motores de alto rendimento. A aplicação dos inversores de frequência não está sendo aplicado corretamente.	<input type="radio"/> 50%
N4	O acionamento é realizado por motores de alto rendimento, no entanto, não é utilizado inversores de frequência	<input type="radio"/> 75%
N5	O acionamento é realizado por motores de alto rendimento. O compressor não possui cargas variáveis e, portanto, não necessita de inversor de frequência ou o inversor de frequência está aplicado corretamente.	<input type="radio"/> 100%

6.6 – Condições de Manutenção

FCS 6.6.1	Vazamentos	
A perda percentual* com vazamentos do sistema de ar comprimido:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Superior a 41%	○ 0%
N2	Entre 31% e 40%	○ 25%
N3	Entre 16% e 30%	○ 50%
N4	Entre 6% e 15%	○ 75%
N5	Até 5% de perdas	○ 100%

*Análise realizada através da plataforma de apoio E3AC.

FCS 6.6.2	Filtros	
A condição de funcionamento (manutenção) dos filtros que compõe o sistema de ar comprimido estão fora dos padrões recomendados de funcionamento em:		
Nível	Descrição dos Níveis de Avaliação	Valor
N1	Acima de 41% de todos os filtros do sistema	○ 0%
N2	Entre 31% - 40% de todos os filtros do sistema	○ 25%
N3	Entre 21% - 30% de todos os filtros do sistema	○ 50%
N4	Entre 11% - 20% de todos os filtros do sistema	○ 75%
N5	Entre 0% - 10% de todos os filtros do sistema	○ 100%