



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**José da Silva Ferreira Junior**

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UMA  
ADAPTAÇÃO DO INDICADOR EFICÁCIA GLOBAL  
DOS EQUIPAMENTOS (OEE) PARA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*.

**Orientador:** Prof. Dagoberto Alves de Almeida, Dr.  
**Co-orientador:** Prof. Fabiano Leal, Dr.

**Itajubá**  
**2013**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –  
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB\_6/1700

F383d

Ferreira Júnior, José da Silva

Desenvolvimento e Aplicação de uma Adaptação do Indicador  
Eficácia Global dos Equipamentos (OEE) para Eficiência Energé-  
tica / José da Silva Ferreira Junior. -- Itajubá,(MG) : [s.n.], 2013.  
89 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Dagoberto Alves de Almeida.

Coorientador: Prof. Dr. Fabiano Leal.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. OEE. 2. Mapeamento de processos. 3. Mapeamento de  
falhas. 4. Eficiência energética. I. Almeida, Dagoberto Alves de,  
orient. II. Leal, Fabiano, coorient. III. Universidade Federal de  
Itajubá. IV. Título.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**José da Silva Ferreira Junior**

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UMA  
ADAPTAÇÃO DO INDICADOR EFICÁCIA GLOBAL  
DOS EQUIPAMENTOS (OEE) PARA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 12 de março de 2013 conferindo ao autor o título de *Mestre em Engenharia de Produção*.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Dagoberto Alves de Almeida (Orientador)

Prof. Dr. Fabiano Leal (Co-orientador)

Prof. Dr. Jammil Haddad (Avaliador interno)

Dr. Roberto Alves de Almeida (Avaliador externo)

**Itajubá**  
**2013**

*À minha mãe Nilva Garcia, meu pai José da Silva e meus irmãos Jane  
Grisiele e Eduardo Henrique.*

## AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho necessitou-se de estudos, pesquisas e determinação, porém, sem o auxílio de diferentes pessoas, cada qual à sua maneira, este não estaria concluído. Durante todo o tempo, tais pessoas se tornaram fundamentais e contribuíram em tudo para com este pesquisador, sendo que não há espaço suficiente para agradecer a todos, porém, aqui, lembro de alguns sempre presentes em minha vida.

Primeiramente, sempre, agradeço a Deus que, ao saber de minhas dificuldades e tristezas, esteve comigo ou enviou alguém para partilhar e me ajudar em momentos difíceis. Também a Ele, agradeço as alegrias e felicidades que pode proporcionar neste e em todos os outros períodos da minha existência.

Agradeço a minha mãe, Nilva Garcia, sempre apoiadora e incentivadora de minha evolução, por estar comigo nesta difícil jornada. Ao meu pai, José da Silva, por querer sempre o meu bem. Aos meus Jane Grisiele e Eduardo Henrique, por me auxiliarem e apoiarem em todos os momentos, alegres e tristes. E a toda minha família que também esteve ao meu lado e buscou me incentivar e cativar à conclusão deste trabalho.

Aos professores por seu imenso auxílio nos trabalhos e no meu desenvolvimento tanto acadêmico quanto pessoal, sendo um agradecimento especial a Dagoberto Almeida e Fabiano Leal, os quais guiaram meus passos neste trabalho e depositaram em mim a confiança para esta realização.

Aos meus amigos e amigas, por me aturarem tanto, mesmo sabendo o quão chato eu sou. Em especial, agradeço imensamente aqui à Monique Mendes que a toda hora esteve disponível pra me escutar e puxar minha orelha, e também à Thaysa Moura, Bruna Andrade, Simone Fagundes, Adrianne Minervino, Larissa Oliveira, Priscila Garcia e a tantos outros que me apoiaram e estiveram ao meu lado, mesmo em silêncio, para esta conclusão.

Obrigado também aos colegas de mestrado pelas críticas, sugestões e companheirismo nestes importantes anos de nossas vidas e aos participantes tanto internos quanto externos do projeto de pesquisa ao qual esta dissertação está inserida.

Por fim, sou grato a CAPES, UNIFEI e CEMIG pelo incentivo financeiro e estrutural para a realização deste trabalho, além das outras empresas e profissionais que fizeram parte do mesmo.

*“Tantas vezes pensamos ter chegado; Tantas vezes é preciso ir além”*

*Fernando Pessoa*

## RESUMO

O consumo de energia elétrica vem ganhando maior ênfase com o passar dos anos, voltando-se para sua utilização consciente e sua redução. Por ser um recurso primordial para o desenvolvimento da sociedade, deve ser tratado como um insumo de vital importância em todos os setores de um país. Observa-se que um dos setores de maior dispêndio de energia é o de manufatura industrial, sendo que, para melhoria deste cenário, conceitos multidisciplinares de eficiência energética estão sendo aplicados nos ramos industriais. Dentro deste panorama, esta pesquisa vem evidenciar, por meio descritivo, uma proposta e aplicação de medição da eficácia na utilização de tal insumo em uma empresa de autopeças, ou seja, o trabalho objetiva criar e implantar um indicador, atrelado ao já conhecido OEE (Eficácia Global dos Equipamentos), para mensurar as perdas relacionadas à utilização da energia elétrica na produção. Para alcançar tal meta, a dissertação se utiliza do método de pesquisa denominado pesquisa-ação em um ciclo incompleto, seguindo, em conjunto, um modelo integrativo de mapeamento de processos e falhas com o intuito de se conhecer os problemas relacionados à energia elétrica na organização. Como resultados provêm-se as informações de utilização eficaz da energia com o indicador OEE-E (Eficácia Global dos Equipamentos para Eficiência Energética) e analisam-se tais dados fornecendo sugestões de melhorias para a gestão do insumo elétrico. Nota-se, após a aplicação deste indicador em um teste piloto no objeto de estudo, que há possibilidades de melhorias no emprego da energia, garantindo melhor aproveitamento e reduções de custos pela empresa. Por fim, como originalidade e contribuição científica deste trabalho, ressaltam-se a apresentação e aplicação do indicador OEE-E dentro de um modelo integrativo de mapeamento bem como a possibilidade de melhorias dadas pelas informações adquiridas durante estes procedimentos no contexto de uma indústria de autopeças.

**Palavras-Chave:** OEE; Mapeamento de Processos; Mapeamento de falhas; Eficiência Energética.

## ABSTRACT

Over the years, the power consumption is gaining more importance, in terms of its conscious use and reduction. Since energy is a prime resource for the development of society, it should be treated as an input of vital importance for all industries. It is observed that one of the largest sectors of energy expenditure is the manufacturing industry, and to improve this scenario, multidisciplinary concepts of energy efficiency are being applied in all other industries, as well. Within this framework, this research presents a proposal of an implementation model for evaluating how energy really contributes to the production processes. In this manner, measuring efficiency usage in an auto parts company through descriptive, i.e., the work aims to create and deploy an indicator linked to that already known OEE (Overall Equipment Effectiveness), in order to verify how effectively the firm uses its power in the production of their products. To achieve this goal, the dissertation uses the research method called Action Research in an incomplete cycle, together an integrative model of process and fault mappings with the purpose to understand the problems related to electricity in the organization. The results provide information to the efficient use of energy with the indicator OEE-E (Overall Equipment Effectiveness for Energy Efficiency) and analyses these data providing suggestions for improvements the electrical input management. It is worthwhile to note that after application of the proposed indicators in a pilot test of the object of study, there is the possibility of improvements in the energy usage, ensuring better utilization and cost reductions for the company. Finally, as originality and scientific contribution of this work, we emphasize the presentation and application of OEE-E indicator within an integrative model mapping and the possibility of improvement given the information acquired during these procedures in the context of the auto parts industry.

**Keywords:** OEE, Process Mapping, Fault Mapping; Energy Efficiency.



## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Critério para ordenação de probabilidade de ocorrência.....	19
Tabela 2.2 - Critério para ordenação de probabilidade de detecção.....	19
Tabela 2.3 - Critério para ordenação de severidade de efeito .....	19
Tabela 4.1 - Consumo por setor de janeiro a maio de 2012 em kWh .....	43
Tabela 4.2 - Máscara da tabela para coleta de dados do OEE-E.....	58
Tabela 4.3 - Resumo dos dados coletados para OEE e OEE-E.....	62
Tabela 4.4 - Máscara da tabela para coleta de dados FMEA .....	64

## Lista de Quadros

Quadro 1.1 - Autores contextualizados no tópico Introdução .....	1
Quadro 2.1 - Autores contextualizados no tópico eficiência energética .....	9
Quadro 2.2 - Autores contextualizados no tópico Mapeamento de processos .....	13
Quadro 2.3 - Autores contextualizados no tópico Mapeamento de falhas .....	17
Quadro 2.4 - Autores contextualizados no tópico Indicadores de desempenho .....	21
Quadro 3.1 - Autores contextualizados no tópico Método de pesquisa .....	26
Quadro 4.1 - Autores contextualizados no tópico Desenvolvimento .....	35
Quadro 4.2 - Participantes diretos do P&D .....	37
Quadro 4.3 - Falhas potenciais nos setores .....	63
Quadro 4.4 - Índices FMEA .....	64
Quadro 4.5 - FMEA energético do setor de fundição.....	66
Quadro 4.6 - FMEA energético setor de Cromação .....	66
Quadro 4.7 - FMEA energético setor de Retificação trapezoidal.....	66

## Lista de Ilustrações








Figura 1.1 - Ilustração da problemática .....	4
Figura 1.2 - Cadeia de medição elétrica .....	5
Figura 1.3 - Princípios dos Processos Produtivos .....	5
Figura 1.4 - Convergência entre visões energética e produtiva.....	6
Figura 1.5 - Escopo metodológico de mapeamento de processos e falhas para eficiência energética.....	8
Figura 2.1 - Estrutura básica da técnica IDEF0.....	15
Figura 2.2 - Visão geral do <i>Overall Equipment Effectiveness</i> .....	25
Figura 3.1 - Estrutura padrão para condução da pesquisa-ação .....	27
Figura 3.2 - Estrutura para Pesquisa-ação em IDEF0 .....	33
Figura 3.3 - Desdobramento das atividades de FTA .....	33
Figura 3.4 - Desdobramento das atividades do FMEA .....	34
Figura 3.5 - Desdobramento das atividades de instalação de indicadores.....	34
Figura 4.1 - SIPOC do setor de Fundição.....	38
Figura 4.2 - SIPOC do setor de pré-usinagem.....	39
Figura 4.3 - SIPOC do setor de 1ª Fase de usinagem .....	39
Figura 4.4 - SIPOC do setor de Metalização .....	40
Figura 4.5 - SIPOC do setor de Cromação .....	40
Figura 4.6 - SIPOC do setor de Sem Cobertura .....	40
Figura 4.7 - SIPOC do setor de Aço nitretado.....	41
Figura 4.8 - SIPOC do setor de 2ª Fase Usinagem.....	41
Figura 4.9 - SIPOC do setor de Aço 3 peças .....	42
Figura 4.10 - IDEF0 Processo Fundição .....	44
Figura 4.11 - IDEF0 Processo de Cromação .....	45
Figura 4.12 - IDEF0 Usinagem em retificas trapezoidais .....	45
Figura 4.13 - FTA para o setor de Fundição: Indisponibilidade dos fornos.....	47
Figura 4.14 - FTA para o setor de Fundição: Queda de desempenho dos fornos .....	48
Figura 4.15 - FTA para o setor de Fundição: Problemas de qualidade dos fornos .....	48
Figura 4.16 - FTA do setor de Cromação: Indisponibilidade dos tanques de cromação.....	49
Figura 4.17 - FTA do setor de Cromação: Queda de desempenho dos tanques de cromação .....	50
Figura 4.18 - FTA do setor de Cromação: Problemas de qualidade Tanques de cromação.....	51
Figura 4.19 - FTA do setor de Retificação: Indisponibilidade das retificadoras.....	52

Figura 4.20 - FTA do setor de Retificação: Queda de desempenho das retificadoras .....	52
Figura 4.21 - FTA do setor de Retificação: Problemas de qualidade das retificadoras .....	53
Figura 4.22 - FTA em comum nos setores: Falta de energia.....	54
Figura 4.23 - OEE-E.....	56
Figura 4.24 - Retífica trapezoidal.....	59
Figura 4.25 - Consumo diário do período coletado .....	59
Figura 4.26 - Melhorias propostas para setor piloto.....	68

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ANEEL	Agência nacional de energia elétrica
AP	Modo de Falha Ajuste de processo
APL	Modo de Falha Aguardando primeiro lote
AQM	Modo de Falha Aquecimento de máquina
AST	Modo de Falha Aguardando setup
AUX	Modo de Falha Auxílio à outra operação
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CMe	Consumo médio de energia
D	Índice de detecção para RPN
DFD	Diagrama de fluxo de dados
FA	Modo de Falha Falta de peças
FME	Modo de Falha Manutenção Elétrica
FMEA	Análise dos efeitos e modos de falhas
FMECA	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas
FTA	Análise da árvore de falhas
IA	Índice de disponibilidade para OEE
IAe	Índice de disponibilidade energética para OEE-E
IDEF	Definição integrada para modelagem de funções
IP	Índice de desempenho para OEE
IPe	Índice de desempenho energético para OEE-E
IQ	Índice de qualidade para OEE
IQe	Índice de qualidade energética para OEE-E
kWh	Quilowatts hora
MM	Modo de Falha Manutenção mecânica
O	Índice de ocorrência para RPN
OEE	Eficácia Global dos Equipamentos
OEE-E	Eficácia Global dos Equipamentos para Eficiência energética
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
Pçs/kWh	Peças produzidas por quilowatts hora
REF	Horário de refeição
RPN	Número de prioridade de risco
S	Índice de severidade para RPN
SP	Modo de Falha Setup parcial
ST	Modo de Falha Setup Total
TD	Modo de Falha troca de diamante
TP	Tempo padrão
TPM	Manutenção total produtiva
TREI	Horário de treinamento de pessoal
UML	Diagrama de modelagem unificada

## Lista de Símbolos

	Evento topo e eventos de falhas para FTA
	Causa raiz da falha para FTA
	Porta lógica “e” para FTA
	Porta lógica “ou” para FTA
	Evento compactado para FTA
	Porta lógica condicional para FTA
	Melhoria pontual para Mapa Futuro

## Sumário

1	Introdução.....	1
2	Revisão da Literatura .....	9
2.1	Eficiência Energética .....	9
2.2	Mapeamento de Processos .....	13
2.3	Mapeamento de Falhas .....	17
2.4	Indicadores de desempenho .....	21
2.4.1	OEE .....	23
3	Método de Pesquisa.....	26
4	Desenvolvimento.....	35
4.1	Introdução para redesenho de processos.....	36
4.2	Formação do time do projeto .....	36
4.3	Criação do SIPOC.....	38
4.4	Identificação da fronteira do sistema .....	42
4.5	Mapeamento do estado atual.....	43
4.6	FTA .....	46
4.6.1	Definir evento topo.....	46
4.6.2	Entender o sistema.....	46
4.6.3	Construir a árvore de falhas .....	47
4.6.4	Avaliar a árvore de falhas .....	47
4.6.5	Implantar ações corretivas .....	54
4.7	OEE-E.....	54
4.7.1	Definição do OEE-E.....	54
4.7.2	Cálculo do OEE-E a partir da árvore de falhas .....	56
4.7.3	Aplicação no setor de Retificação Trapezoidal .....	58
4.8	FMEA .....	62
4.8.1	Identificar falhas potenciais.....	63

4.8.2	Determinar níveis críticos.....	63
4.8.3	Calcular e ranquear RPN .....	64
4.8.4	Propor e executar melhorias .....	65
4.9	Primeira versão do redesenho .....	67
4.10	Revisão e testes pelos gestores .....	68
4.11	Versão final do mapa .....	68
5	Conclusões .....	70
6	Bibliografia.....	73
APÊNDICE 1	.....	78
APÊNDICE 2	.....	87
APÊNDICE 3	.....	89



# 1 Introdução

Neste primeiro tópico apresenta-se a introdução da dissertação, contando com uma visão geral do assunto, a problemática abordada, os objetivos do estudo, a justificativa da pesquisa e as contribuições científicas que da mesma, além da estrutura do trabalho. Contextualizados neste tópico apresentam-se os autores de acordo com o Quadro 1.1 em conjunto com a descrição do motivo de sua citação.

Quadro 1.1 - Autores contextualizados no tópico Introdução

<i>Citação</i>	<i>Descrição/ Delimitação do artigo para o tópico</i>
Abdalaziz, Saidur e Mekhilef, 2011	Estudos sobre eficiência energética e previsões de consumos para 2030.
Almeida e Fagundes, 2005	Exemplificação de trabalho executado para mapeamento de processos e falhas em setor de distribuição de energia.
Alvarenga Netto, 2004	Proposição de trabalhos futuros em mapeamento de processos e falhas.
Baggini, 2008	Apresentação da cadeia de medições elétricas e seus passos.
Braglia, Frosolini e Zammori, 2009	Definição do OEE; recomendações para utilização deste indicador.
Chiaradia, 2004	Exemplificação de trabalhos com indicadores de desempenho em ciclos de melhoria contínua.
Fagundes, 2005	Proposição de trabalhos futuros em mapeamento de processos e falhas.
Ferreira Junior <i>et al.</i> , 2012	Estrutura de convergência entre fatores energéticos e produtivos.
Franceschini <i>et al.</i> , 2008	Introdução a indicadores de desempenho.
Gordic <i>et al.</i> , 2010	Exemplificação de trabalhos em eficiência energética em meios industriais.
Kulkarni e Katti, 2010	Introdução à melhoria de processos e tomadas de decisão.
Leal, Pinho e Almeida, 2006	Exemplificação de trabalhos em mapeamento de processos e falhas.
Martinez, 2010	Exemplificação de trabalhos em eficiência energética em meios industriais.
Oliveira, Paiva e Almeida, 2010	Apresentação do modelo integrativo para melhoria produtiva com mapeamento de processos e de falhas.
Reis e Silveira, 2001	Introdução sobre energia em processos industriais.
Slack, Chambers e Johnston, 2009	Introdução aos processos produtivos.
Sobreira Netto, 2006	Proposição de trabalhos futuros para novos indicadores de desempenho.
Thiollent, 2011	Introdução ao método de pesquisa denominado pesquisa-ação.
Tolmasquim, 2007	Plano nacional de energia para ano de 2030.
Wireman, 2004	Introdução ao indicador Eficácia Global dos Equipamentos (OEE).

A utilização eficiente da energia deve estar em sintonia com os processos produtivos das empresas. A redução ou eliminação de perdas e falhas nos processos bem como o entendimento da estrutura organizacional auxiliam no emprego racional de tal bem vital para o desenvolvimento do país.

Com isto, questões relacionadas à melhoria dos processos devem ser levadas em consideração, permitindo aos gestores tomarem decisões embasadas em informações relevantes aos termos requeridos (KULKARNI e KATTI, 2010).

A partir destes pensamentos, a CEMIG, por meio da ANEEL, propôs um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) voltado para a comunicação e relacionamento com seus clientes para efficientização energética. O projeto de título ‘GT405-PA-Desenvolvimento de modelo de relacionamento com clientes corporativos baseado na eficiência energética’ tem por objetivo agregar valor à venda do insumo energia, oferecendo outros serviços em conjunto na comercialização. Entrelaçado a este projeto, esta dissertação se encaixa na primeira fase do P&D, desenvolvendo um indicador tanto para a quantificação quanto para a análise do consumo e da utilização do insumo energia elétrico.

Para entendimento deste apontador, faz-se necessário alguns conceitos, sendo eles: o de mapeamento de processos e de falhas, o de eficiência energética e o de indicadores de desempenho. Em primeiro plano, nota-se que o mapeamento de processos auxilia na compreensão do sistema, apresentando as entradas, saídas, comportamentos e mecanismos de cada atividade, e, por conseguinte, do sistema por completo.

Contudo, apenas o mapeamento dos processos não exime as empresas das complexas falhas que podem ocorrer e serem catastróficas. Averiguando a potencialidade e severidade de cada falha, torna-se possível minimizá-las, tomando medidas cabíveis para sua eliminação, por meio do mapeamento de falhas.

Nota-se, todavia, que tanto o mapeamento de falhas quanto o de processos necessitam de dados para serem elaborados, implantados, avaliados e aperfeiçoados. Os indicadores de desempenho vêm a demonstrar tais números ou comportamentos dos sistemas, oferecendo aos gestores dados reais e apurados para suas deliberações (FRANCESCHINI *et al.*, 2008).

Dentro de ambientes fabris com dependência relevante em maquinários, tais indicadores são ainda mais indispensáveis, sendo que o indicador com maior aceitação é o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) que busca a eficácia global do equipamento por meio de índices de disponibilidade, desempenho e qualidade (BRAGLIA, FROSOLINI e ZAMMORI, 2009; WIREMAN, 2004) e será o utilizado para os objetivos deste trabalho.

Com este pano de fundo, baseado em quatro pilares da literatura (eficiência energética, mapeamento de processos, mapeamento de falhas e indicadores de desempenho) o problema abordado na pesquisa é apresentado como perdas causadas pelo insumo energia em uma empresa de autopeças, sendo ou por não conhecimento e ineficiência dos processos ou por perdas e falhas dos mesmos. Tais perdas podem vir da transformação inadequada da energia

elétrica em um *input* produtivo (pressão, calor, cinética, entre outros) ou mesmo do mau aproveitamento do fator energético para a produção exigida.

Da problemática, a Figura 1.1 ilustra exemplos de falhas no processo ou no recurso produtivo, baseado em dificuldades originadas pelo insumo energético. Converte-se nesta figura a atribuição do recurso estudado ser demonstrado como o resultado entre a utilidade e o processador. A utilidade, conforme também será explanado posteriormente, é uma parte do recurso/célula/equipamento o qual transforma o *input*, no caso, energético, em forças diversas, como força cinética, pressão, temperatura, entre outros. O processador se utiliza destas forças transformadas para a execução do produto em questão. Explanando de melhor forma esta figura e seus exemplos, pode-se dizer que: o exemplo 1 seria o ideal, onde o recurso consome o *input* energético, o utiliza e produz o *output* desejável previsto anteriormente, ou seja, a energia não prejudica o processo produtivo; o segundo exemplo apresenta um gasto excessivo do insumo energia recebido para a mesma produção do *output* desejável, ou seja, ficou mais caro para se produzir; no terceiro, demonstra-se o recebimento do *input* energia, porém com gasto acima do previsto e produção abaixo do esperado; por fim, um último caso, sendo de vital importância para o objetivo do estudo, onde há variação no suprimento do insumo energia no recurso/equipamento, variando a entrada do mesmo no sistema e a saída de produtos prontos, ou seja, a energia prejudica o processo produtivo.

Em vista destes exemplos, tem-se como objetivo científico do estudo, adaptar e aplicar um indicador quantitativo, baseado no OEE, para avaliar o efeito das falhas relacionadas ao insumo energia para com a disponibilidade, desempenho e qualidade do recurso, equipamento ou processo produtivo, sendo este apontador aqui chamado de OEE-E (*Overall Equipment Effectiveness for Energy Efficiency* – Eficácia Global do Equipamento para Eficiência Energética). Tal objetivo se desdobra em especificidades, apresentando um método integrativo para se alcançar a implantação deste indicador, mapeando processos e falhas, a aplicação inicial deste procedimento para visualização de primeiros resultados em uma empresa de autopeças e a convergência de teorias de base energética com as de base produtiva.

Por se tratar de uma pesquisa-ação, há também o objetivo técnico da pesquisa, que tem o intuito de melhorar o ambiente estudado, provendo dados e informações à empresa de autopeças para eliminar ou minimizar o desperdício de energia e os efeitos da variação do recurso energia por meio do OEE-E. Também se destaca o método proposto para o cálculo deste indicador, enriquecendo a análise do desempenho de produção no objeto de estudo.

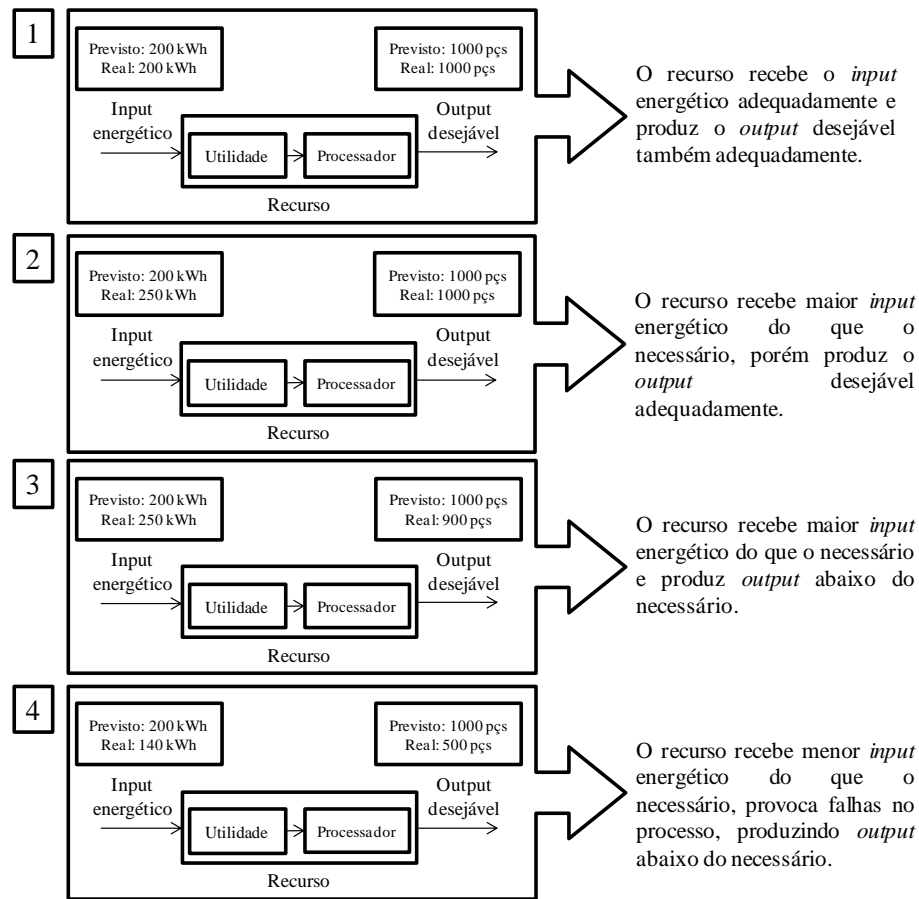


Figura 1.1 - Ilustração da problemática

Resumidamente, portanto, o trabalho trará conceitos de eficiência energética atrelados ao mapeamento de processos e de falhas, ou seja, mesclará conceitos energéticos com produtivos. Salientando esta convergência, a qual faz parte dos objetivos da pesquisa, pode-se apresentar a visão dos fatores de medição para caráter da utilização da energia como para caráter dos processos produtivos, conforme as Figuras 1.2 e 1.3 demonstram respectivamente. Nota-se que Baggini (2008) ressalta que a energia entra no sistema e é captada pelo transdutor (dispositivo capaz de transformar um tipo de sinal em outro para controle). Depois tal sinal é medido dentro de uma métrica e avaliado se está ou não em conformidade com as especificações, tornando possível o trabalho do equipamento. Já Slack, Chambers e Johnston (2009) destacam os processos produtivos, sendo eles compostos de entradas a serem transformadas e entradas transformadoras. As mesmas são processadas e resultam em produtos e serviços condizentes com a natureza da empresa.

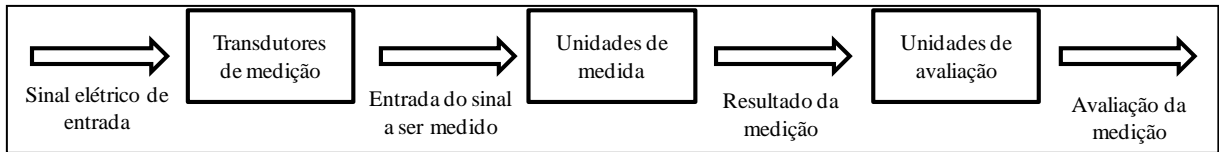


Figura 1.2 - Cadeia de medição elétrica

Fonte: Adaptado de Baggini (2008)

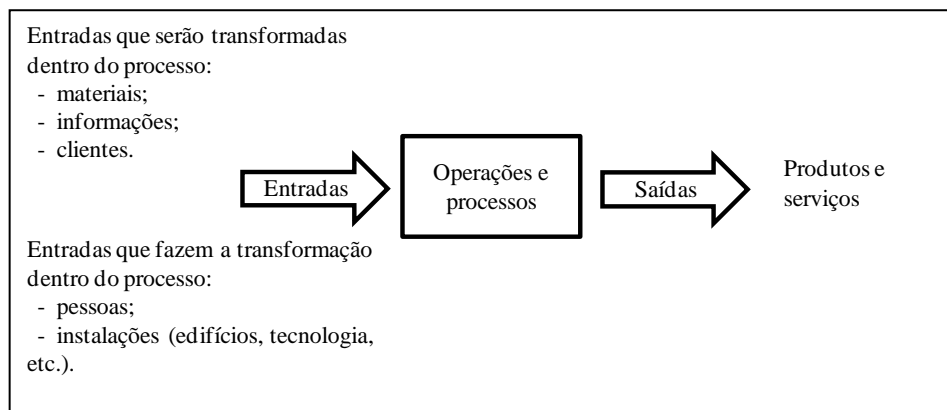


Figura 1.3 - Princípios dos Processos Produtivos

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2009)

Analisando ambas as figuras e convergindo para as metas deste trabalho, a Figura 1.4 é apresentada, utilizando ainda o indicador OEE como provedor de dados e informações que nortearão a pesquisa. A mesma figura ilustra uma estrutura genérica para o recurso/célula/setor, conforme Ferreira Junior *et al.* (2012) já enfatizaram em seu trabalho, onde a análise será iniciada pelo insumo energia (*input* energético), o qual é transformado em forças diversas pelo instrumental de utilidade resultando em um *input* produtivo para o equipamento (pressão, cinética, calor, entre outros), indo ao encontro da Figura 1.2 descrita por Baggini (2008). Por meio deste *input* produtivo, há o processamento em si do produto e observa-se por *output*, o resultado desejável, tanto em quantidade quanto em qualidade, seguindo o dissertado por Slack, Chambers e Johnston (2009). Ressalta-se ainda o relacionamento com os mapas de processos e falhas que visam obter informações do sistema para disseminar melhorias por meio de suas análises. Por fim, o controle do processo utilizando o indicador OEE é explanado por Wireman (2004), conforme já apresentado, em vista de ser um dos de maior relevância internacional para indústrias de alta utilização de equipamentos eletromecânicos. Reis e Silveira (2001) corroboram com estes dizeres, elucidando que nos setores industriais e de serviços, há usos finais específicos da energia elétrica, como força motriz, processos de aquecimento, entre outros, por meio da utilização de tecnologias, como processos mecânicos, compressores, e outros diversos. Os pontos de

mapeamento de processos e de falhas, eficiência energética e OEE, apresentados na Figura 1.4, são explanados no decorrer do Tópico 2 (Revisão da Literatura).

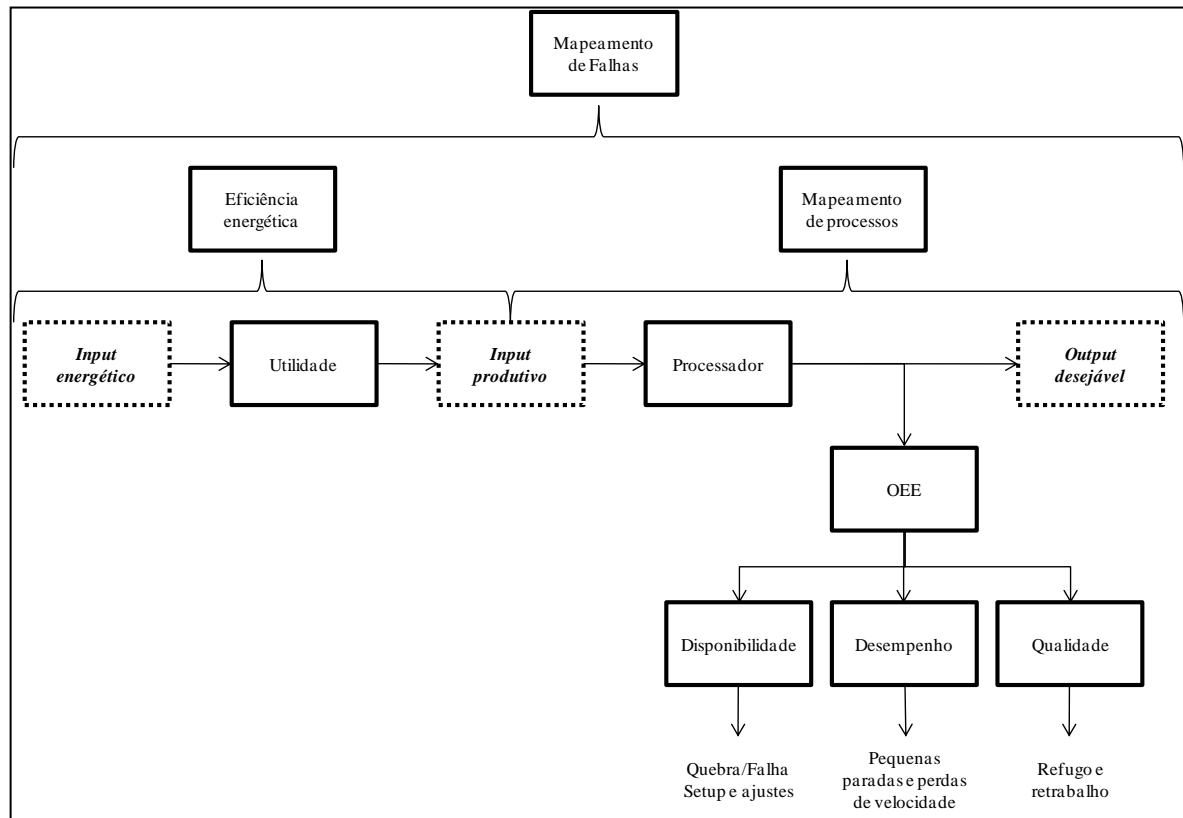


Figura 1.4 - Convergência entre visões energética e produtiva

Esta pesquisa adere-se a proposta de trabalhos futuros de Alvarenga Netto (2004) e Fagundes (2005), apresentando uma abordagem incomum para a utilização do mapeamento de processos e de falhas, utilizando como objeto de estudo, uma empresa de manufatura, com o foco em eficiência energética. Tal modelagem de processos e falhas no setor de geração e distribuição de energia já foi constatada em trabalhos passados, como os de Almeida e Fagundes (2005) ou de Leal, Pinho e Almeida (2006). Com o foco em indústrias, trabalhos como o de Martinez (2010) e Gordic *et al.* (2010) demonstraram métodos para se alcançar eficiência energética na empresa, por meio de novos procedimentos. Outro ponto a se salientar é o de buscar a eliminação dos desperdícios de produção, quaisquer que sejam, em vista de melhorar o desempenho da organização, utilizando por base, indicadores de desempenho, assim como Chiaradia (2004) utilizou tais marcadores para ciclos de melhoria contínua. Por fim, Sobreira Netto (2006) também apresenta como sugestões para trabalhos futuros a determinação de indicadores de desempenho customizados para segmentos ou contextos diferenciados, principalmente para iniciativa privada.

Salientando a preocupação em estudos sobre eficiência energética, Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011) dissertam que o consumo mundial de energia de base elétrica, o qual é o foco deste trabalho, passará de 14,9% em 2006 para 19,7% em 2030, sendo que quase metade deste consumo será voltada apenas para o setor industrial das nações.

Já no Brasil, segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (TOLMASQUIM, 2007), o consumo do insumo energia passará por um crescimento de, em média, 3,7% ao ano até o ano de 2030, sendo que a indústria manterá 38% do dispêndio desta energia e que a utilização da energia elétrica propriamente dita, dentro da matriz energética do país, subirá de 18% para 20% neste período.

Sobre o método utilizado para cumprimento do objetivo do estudo, o mesmo é descrito como pesquisa-ação, sendo um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou resolução de um problema, no qual há interação do pesquisador com o grupo investigado de modo cooperativo ou participativo, a fim de obter melhorias no ambiente averiguado e resultar em conhecimento científico relatado (THIOLLENT, 2011). Contudo, perante a meta da dissertação, o ciclo da pesquisa-ação não será completo, compreendendo apenas os três primeiros passos (planejar, coletar e analisar a pesquisa e os dados).

A pesquisa se baseia no desenvolvimento do OEE-E, por meio da literatura, e apresenta o método para inferir análises e procedimentos para melhoria dos dados apresentados por este indicador para eficiência energética. Um escopo metodológico para a pesquisa é ilustrado na Figura 1.5, correlato ao modelo integrativo observado no trabalho de Oliveira, Paiva e Almeida (2010), onde se mapeia a empresa como um todo por meio da técnica SIPOC e desdobra-se em uma análise mais detalhada no setor de maior consumo energético, utilizando a técnica IDEF0. Após isto, verifica-se a atividade que se utiliza de maior *input* energético e averiguam-se as falhas que o insumo energia pode gerar no sistema por meio do FTA. No caso de haverem muitos modos de falha, realiza-se o FMEA para gerar um *ranking* de quais falhas deverão ser primeiramente analisadas.

Sobre o objeto de estudo estudado para o projeto da ANEEL/CEMIG no qual também se baseia esta pesquisa, constata-se que é do ramo de fabricação de autopeças, situa-se na cidade de Itajubá/MG e foi escolhido por ser uma das maiores consumidoras de energia da microrregião, além de se dispor a concretizar o P&D em sua totalidade. A abordagem e a técnica a serem utilizadas para a condução da pesquisa na empresa estão descritas e desdobradas no tópico 3 da dissertação.

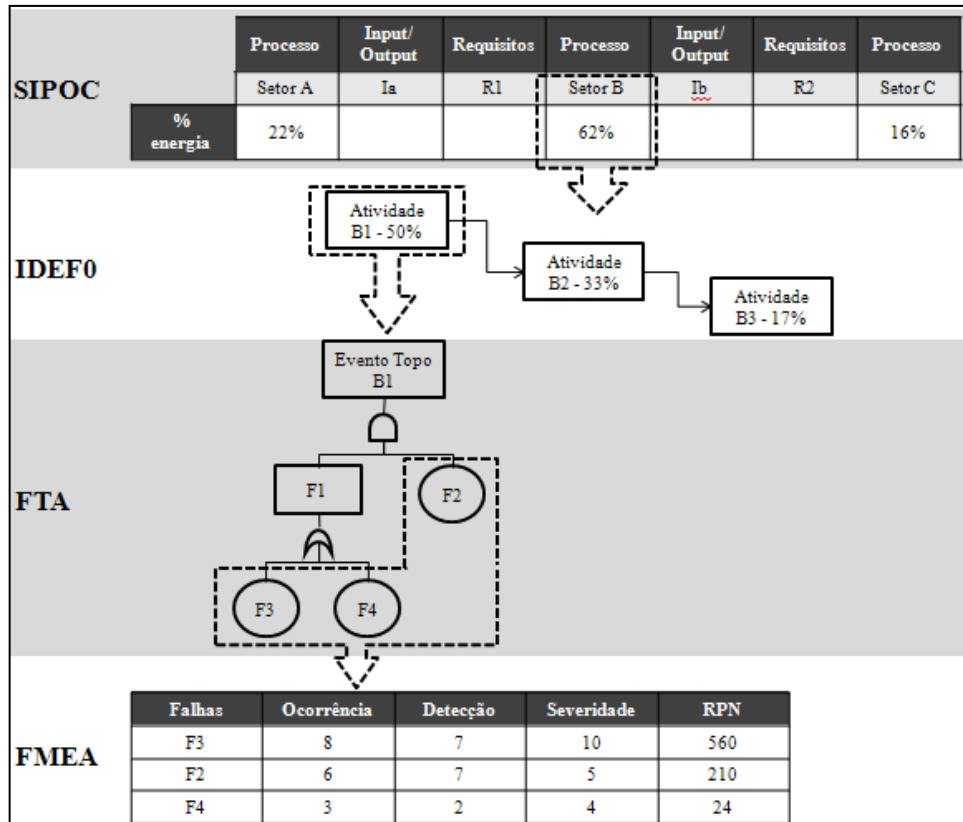


Figura 1.5 - Escopo metodológico de mapeamento de processos e falhas para eficiência energética

Como contribuição científica do projeto, há a descrição, separada por ciclos característicos da pesquisa-ação, da execução do mapeamento de processos e de falhas, com a finalidade de eliminar desperdícios de energia. Como originalidade apresenta-se a realização da pesquisa sob o aspecto das perdas de produção relacionadas à energia, ou seja, referenciando-se na eficiência energética, convergindo, assim, diretrizes de base elétrica e de base produtiva, apresentando, para tanto, o indicador OEE-E.

O texto, de acordo com sua ênfase, discorre na sua estrutura de uma revisão da literatura sobre os quatro conceitos pertinentes ao objetivo proposto, sendo eles: eficiência energética; modelagem de processos; mapeamento de falhas; e indicadores de desempenho, com ênfase em OEE. Após a revisão bibliográfica, a metodologia de pesquisa será apresentada, descrevendo os passos realizados para as averiguações da pesquisa e a descrição do OEE-E. A descrição do caso e da compilação dos elementos serão apresentados posteriormente, no tópico 4, finalizando com as conclusões do estudo.



## 2 Revisão da Literatura

### 2.1 Eficiência Energética

Este primeiro tópico da revisão da literatura traz conceitos e uma visão global sobre eficiência energética. Os autores utilizados estão contextualizados conforme o Quadro 2.1 apresenta.

Quadro 2.1 - Autores contextualizados no tópico eficiência energética

<i>Citação</i>	<i>Descrição/ Delimitação do artigo para o tópico</i>
Abdelaziz, Saidur e Mekhilef, 2011	Fins da energia elétrica por setores; Comparativos entre utilização da energia; Abordagens para eficiência energética.
Aragon, 2011	Gestão de riscos em investimentos para eficiência energética; Descrição de eficiência de energia; alternativas em consumos e custos.
Baggini, 2008	Medidas de desempenho energéticas; Eficiência energética.
Bajay e Santana, 2010	Políticas de eficiência energética pelo mundo; Procedimentos e legislações utilizados; Práticas de sucesso.
Carvalho, 2005	Definição de eficiência e eficácia.
Convery, 2011	Políticas de sucesso em eficiência energética; Questões ambientais e de sustentabilidade; Conceptualização multidisciplinar.
Deckmann e Pomilio, 2010	Visão geral da Qualidade da energia
Gordic <i>et al.</i> , 2010	Conceptualização e implantação de sistema de gestão de energia; Diretrizes e procedimentos para gestão da energia.
Kulkarni e Katti, 2010	Implantação de melhorias em sistemas energéticos; Conservação e gestão da energia; Perspectivas empresariais para eficiência energética.
Martinez, 2010	Desempenho da eficiência energética entre países; Diretrizes e procedimentos para gestão da energia; Diferenciação estrutural entre países.
Reis e Silveira, 2001	Conceptualização de eficiência energética; utilização de ferramentas para eficiência da energia; Implantação de métodos para eficiência energética.
Rocha e Monteiro, 2005	Guia técnico para eficiência energética; Indicadores e diretrizes; Procedimentos para implantação de sistemas e de grupos para eficientização energética.
Slack, Chambers e Johnston, 2009	Índices e definições de produtividade, eficácia e eficiência.
Streimikiene, Volochovic e Simanaviciene, 2012	Políticas para eficiência energética; Consumo setorial de energia; Procedimentos para melhoria do consumo.

A energia é a necessidade básica dos seres humanos e é o insumo fundamental para assegurar o desenvolvimento econômico e social de um país. Entretanto, o aumento da tecnologia junto com o estilo de vida da sociedade vem aumentando a demanda por tal recurso criando uma lacuna entre o crescimento do consumo e a oferta de energia. (KULKARNI e KATTI, 2010; ROCHA e MONTEIRO, 2005).

Tamãha é a necessidade de adequação que o conceito de eficiência energética vem ganhando cada vez mais popularidade, reunindo conceitos multidisciplinares para

conservação, sustentabilidade e gestão deste insumo (CONVERY, 2011; KULKARNI e KATTI, 2010; STREIMIKIENE, VOLOCHOVIC e SIMANAVICIENE, 2012).

Contudo, antes de definir eficiência energética, é necessário explicar a diferenciação utilizada nesta pesquisa a respeito dos termos eficácia e eficiência. Seguindo a dissertativa de Carvalho (2005) e Slack, Chambers e Johnston (2009), têm-se que: eficácia é a realização efetiva das coisas, pontualmente e dentro dos requisitos de qualidade, ou seja, é a relação entre os resultados obtidos e previstos; já eficiência deve estar relacionada ao consumo de recursos, aos *inputs* produtivos, ou seja, é a relação entre o consumo previsto e o consumo efetivo. Define-se, então, eficiência energética, como a relação entre o total produzido no setor e o total consumido do recurso energético, tendendo a melhorar tal índice por meio da variação de seus termos sem afetar a qualidade do produto final (ARAGÓN, 2011).

Segundo o guia de Experiências Internacionais em Eficiência Energética para a Indústria (BAJAY e SANTANA, 2010), vários países estão adotando medidas para melhor utilização deste insumo, por meio de leis, procedimentos, prêmios e bonificações para as práticas de sucesso. Abdelaziz, Saidur e Mekhilef (2011) e Sireimikiene, Volochovic e Simanaviciene (2012) corroboram com esta afirmação apontando as políticas e diretrizes executadas em alguns países em seu trabalho, demonstrando ainda a necessidade da visualização de parâmetros como eficácia e eficiência.

Seguindo com os conceitos deste tópico, Gordic *et al.* (2010) dissertam que um sistema de gerenciamento de energia compreende um conjunto de procedimentos planejados com o intuito de reduzir custos e aumentar a produtividade dos setores industriais, sendo considerado um processo de melhoria contínua para as empresas. Sireimikiene, Volochovic e Simanaviciene (2012) completam a afirmação determinando que sem as medidas de gerenciamento energético aplicado ou imposto, o consumo atual seria cerca de 50% maior.

Dentro deste gerenciamento, há três abordagens focadas para a eficiência energética (ABDELAZIZ, SAIDUR e MEKHILEF, 2011), sendo elas: gestão energética (objetiva minimizar o custo de energia sem afetar a produção e a qualidade por meio de auditorias energéticas, treinamentos e economias comuns); novas tecnologias (aquisição de ferramentas e maquinários com melhor eficiência); e políticas governamentais (leis ou bônus para melhoria energética).

Dentro da gestão energética, a qual é a abordagem deste trabalho, Baggini (2008), Gordic *et al.* (2010), Kulkarni e Katti (2010), Martinez (2010) e Rocha e Monteiro (2005) apontam diretrizes de como gerir a busca pela melhoria da eficiência energética por meio de novos procedimentos, matrizes energéticas, adaptação na utilização dos sistemas elétricos,

redimensionamento de cargas ou programas de gestão (inserindo, por exemplo, lâmpadas de baixo consumo ou motores de alta eficiência), entre outros. Em resumo, deve-se primeiramente criar um grupo de trabalho voltado para melhoria do uso da energia, montar relatórios de como o recurso energia está sendo utilizado, analisar, propor melhorias e aplicá-las no contexto industrial.

Aragón (2011) e Baggini (2008) também elucidam o fator econômico e ambiental, analisando que a eficiência energética se apresenta como uma boa alternativa para diminuir a contaminação ambiental e melhorar a produtividade e a competitividade da empresa, tendo, por consequência, a redução do consumo do recurso energia. Já Reis e Silveira (2001) explanam que medidas tanto do lado da oferta quanto do lado da demanda de energia podem auxiliar na conservação e melhoria dos indicadores energéticos.

Já os índices e níveis de eficiência energética são fundamentos básicos para tal análise energética, sendo definidos de acordo com as características dos objetos de estudo. Sabe-se que estes índices padrões relacionam grandezas energéticas e econômicas, permitindo a realização de macroanálises da utilização do insumo energia. Como exemplos destes indicadores podem-se ressaltar o consumo mensal ou anual, a potência instalada, a acurácia, a taxa de amostragem, algoritmos de agregação de medidas, entre outros (BAGGINI, 2008; REIS e SILVEIRA, 2001)

Destes indicadores, Rocha e Monteiro (2005) ressaltam principalmente o chamado consumo médio específico (CMe) ou apenas consumo específico, o qual é a razão entre o consumo médio de energia e a produção média de bens e serviços, conforme equação (1).

$$CMe = \frac{\text{consumo médio de energia}}{\text{produção média}} \quad (1)$$

Nota-se, entretanto, neste indicador, uma diferença com indicadores comumente utilizados para eficiência, dos quais podemos citar a eficiência produtiva, o qual é caracterizado pela razão entre o *output* produtivo e o *input* produtivo (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009). Focando na questão energética, este indicador simples de produtividade pode ser caracterizado conforme equação (2).

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produção média}}{\text{consumo médio de energia}} \quad (2)$$

Para se entrelaçar ambas vertentes, tanto energéticas quanto produtivas, buscou-se na literatura informações que auxiliassem em tal quesito. Dentro dos textos utilizados para esta dissertação e alguns outros pesquisados, não houve tal convergência, focando nos indicadores,

e, portanto, dificuldades foram encontradas para estabelecimento de métricas padrões, inclusive na equipe de trabalho do projeto de P&D. Corroborando com isto, esta pesquisa trás consigo tal implexo, notando principalmente a questão das Eq. (1) e (2) serem inversamente proporcionais (o caráter de sua execução é dado de acordo com a área exigida, ou seja, para a área elétrica, o numerador da razão é o ponto considerado mais importante – consumo de energia –, já para a área produtiva, o numerador da razão é a produção média, o qual é o foco desta área) e também a visualização, dentro dos mapas de processos e falhas, do quesito energético, encaminhando-se, por fim, ao objetivo final desta pesquisa.

Permeando as duas áreas, então, podem-se unir tais indicadores para entendimento geral dos setores, moldando que o CMe é o inverso da produtividade, conforme equação (3). Lembra-se ainda que a caracterização dos custos envolvidos em indicadores de custo médio de produção e custo específico (respectivamente para áreas produtivas e elétricas) segue o mesmo raciocínio de equacionamento.

$$\textit{Produtividade} = \frac{1}{\textit{CMe}} \quad (3)$$

Outro ponto de investigação por parte dos pesquisadores da área de eficiência energética é questão da qualidade da energia. Tal característica pode ser medida averiguando como o sistema suporta a operação e a carga sobre ele, sabendo que tais distúrbios energéticos podem aumentar também o consumo dos equipamentos, utilidades e cargas do setor.

Para tanto, faz-se necessário também diagnosticar os elementos de distribuição e consumo da energia, sendo que em primeiro lugar devem-se conhecer os problemas que se poderá enfrentar. Após, deve-se estudar as condições locais onde o problema se manifesta e se possível medir e registrar as grandezas contendo os sintomas do problema. E por fim, analisar os dados e confrontar os resultados obtidos com estudos ou simulações e diagnosticar o problema, sua possível causa e soluções (DECKMANN e POMILIO, 2010).

Contudo, apenas estas análises puramente energéticas ou produtivas não geram todas as melhorias possíveis para os setores, ou seja, a utilização tanto dos custos de produção quanto dos de distribuição no preço final de energia elétrica não são suficientes para se alcançar a racionalização máxima dos recursos energéticos (REIS e SILVEIRA, 2001). Para auxiliar neste contexto de progressos, a análise dos processos e das falhas contribui satisfatoriamente conforme será demonstrado nos Tópicos 2.2 e 2.3.

## 2.2 Mapeamento de Processos

Neste tópico da revisão da literatura são salientados os conceitos e técnicas para mapeamento de processos, observando os autores descritos no Quadro 2.2 e contextualizados durante a dissertação deste item.

Quadro 2.2 - Autores contextualizados no tópico Mapeamento de processos

<i>Citação</i>	<i>Descrição/ Delimitação do artigo para o tópico</i>
Aguila-Savén, 2004	Revisão da literatura sobre mapeamento de processos; Definições de técnicas mais comuns; Classificação das técnicas de mapeamento.
Alvarenga Netto, 2004	Mapeamento de macroprocessos; Conceptualização de mapeamento de processos; modelos de mapeamento.
Bertolini <i>et al.</i> , 2011	Reengenharia de processos; métodos de mapeamento de processos; aplicação em alas de hospital; utilização de fluxogramas e métodos de simulação.
Harun e Cheng, 2012	Utilização de métodos de mapeamento de processos; Aplicação na área de qualidade aeroespacial;
Kintsehner e Bresciani Filho, 2005	Conceptualização de mapeamento de processos; Enfoque sistêmico multi-áreas; Ferramentas e técnicas para mapeamento.
Klotz, Horman e Bechtel, 2008	Etapas para mapeamento de processos; Implantação de ilustrações dos processos de trabalhos; Avaliações de implantação;
Kumar e Phrommathed, 2006	Descrição de abordagens intermediárias para melhoria contínua; Etapas para mapeamento de processos; Utilização de simulação para análise do redesenho.
Leal, 2003	Conceptualização de mapeamento de processos; Técnicas e ferramentas para coleta; Etapas para mapeamento.
Leal, 2008	Modelagem de processos; Utilização de técnicas específicas para mapeamento; Conceptualização das ferramentas.
Lobato e Lima, 2010	Conceptualização de níveis de detalhes; aplicação de técnica de mapeamento; Melhorias com base no diagrama executado.
Madison, 2005	Técnicas de mapeamento de processos; etapas para mapeamento.
Okrent e Vokurka, 2004	Mapeamento de processos para implantação de ERP; Conceptualização da abordagem intermediária; Procedimentos para melhoria com o diagrama.
Oliveira, Paiva e Almeida, 2010	Metodologia conjunta com mapeamento de processos; Técnicas de mapeamento; Conceptualização de mapeamento.
Paim, Caullipaux e Cardoso, 2008	Revisão da literatura e <i>survey</i> sobre gestão de processos; Indicação de técnicas de mapeamento de processos; Conceitos e resultados por meio da <i>survey</i>
Slack, Chambers e Johnston, 2009	Níveis de detalhamento para mapeamento; técnicas de mapeamento de processos.

Tratados neste trabalho como sinônimos, mapeamento de processos, redesenho de processos, modelagem de processos ou *mapping business process* utilizam-se de técnicas de ilustração para apresentar fluxos de processos ou informações de um setor ou sistema.

A observação pode ocorrer em diversos níveis de detalhes e de composição da organização, sendo que, para melhor compreensão, a estrutura de conceitos empregados por Kintsehner e Bresciani Filho (2005), Leal (2003), Lobato e Lima (2010) e Slack, Chambers e Johnston (2009) será a aqui utilizada, onde:

- Macroprocessos – visão geral do empreendimento;

- Processos – grupo de atividades interligadas logicamente, compostos de entradas, saídas, tempos, espaços, ordenações, objetivos e valores;
- Subprocessos – subdivisão de processos para estudos mais aprofundados;
- Atividades – conjunto de tarefas com determinado início e fim, resultando em partes do produto ou serviço a serem concluídos no processo;
- Tarefas – execução de movimentos, encaixes, montagens, fabricações no maior detalhamento possível.

Com tais definições, pode-se descrever o objetivo do mapeamento de processos como a promoção da visão geral da empresa por processos, possibilitando a eliminação de atividades redundantes e que não são necessárias. Tende, ainda, à simplificação do ciclo de atividades, dependendo do nível de detalhamento executado (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

Klotz, Horman e Bechtel (2008) e Oliveira, Paiva e Almeida (2010) dissertam, como complemento do objetivo de mapear processos, a apresentação ou ilustração do sistema de uma empresa em formato de diagrama em uma etapa intermediária de melhoria dos processos. Tal mapeamento também pode ser utilizado para orientação nas fases de avaliação, projeto e desenvolvimento de atividades e processos demonstrando o que será feito, quem executará, quando, onde e as interdependências físicas ou de informações.

Para esta representação das diversas atividades necessárias de forma sequencial, técnicas para o mapeamento foram desenvolvidas ao longo dos anos. Contudo, devido a esta diversidade, tornou-se complexo a escolha de qual ferramenta adotar, exigindo um conhecimento prévio das mais usuais para escolher a que melhor se adéqua ao propósito (AGUILAR-SAVÉN, 2004).

Dentre as citadas na literatura (AGUILAR-SAVÉN, 2004; BERTOLINI *et al.*, 2011; HARUN e CHENG, 2012; LEAL, 2003; LEAL, 2008, MADISON, 2005; OLIVEIRA, PAIVA e ALMEIDA, 2010; PAIM, CAULLIPAUX e CARDOSO, 2008), algumas das técnicas se destacam, como:

- SIPOC – ilustração por colunas de entradas, saídas, fornecedores e clientes de cada macroprocesso, indicando os relacionamentos entre eles;
- Fluxograma – representação gráfica formal de uma sequência lógica em um processo de manufatura ou estrutura de controle, sendo de utilização simples e flexível, porém com notações muito diversificadas;

- *Blueprint* e mapofluxograma – variações do fluxograma, onde, no primeiro caso, observa-se a linha de separação entre os processos visíveis aos clientes dos que são internos, e, no segundo caso, molda-se o diagrama sobre a planta baixa do local, identificando mais claramente, distâncias entre os setores;
- DFD (diagrama de fluxo de dados) – mostra o fluxo de dados ou informações de um lugar para outro, sendo de fácil entendimento, entretanto demonstrando apenas os dados;
- IDEF (*Integrated definition for function modeling*) – conjunto de métodos de modelagem para áreas de negócios, sendo os mais empregados, a versão IDEF0 e IDEF3:
  - IDEF0 – promove um modelo funcional, estruturando funções, atividades ou processos dentro de um sistema, indicando as atividades do processo em análise, com suas entradas, controles, saídas e mecanismos, utilizando-se da estrutura ilustrada na Figura 2.1.

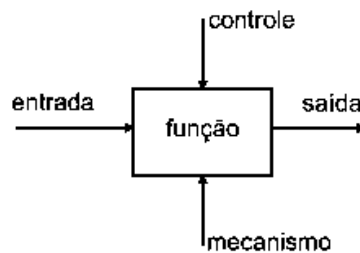


Figura 2.1 - Estrutura básica da técnica IDEF0  
Fonte: Adaptado de Aguilar-Savén (2004)

- IDEF3 – permite a captura e representação com elementos gráficos de cada estado de transição das atividades ou entidades, descrevendo-os na ordem em que ocorrem, por precedência temporal e seguindo padrão rígido de regras de uso, salientando os conectores lógicos *e*, *e/ou* e *ou*, sincronizados ou não.

Harun e Cheng (2012), Kumar e Phrommathed (2006) e Okrent e Vokurka (2004) observam que, como é uma abordagem intermediária, o mapeamento depende de entradas e resulta em saídas. Necessita, assim, de dados e informações sobre a sequência e as dependências dos processos para a fase denominada *As-is*, na qual se estabelece o estado atual dos processos. Com este mapeamento pronto, passa-se à fase *To-be*, na qual se avalia os processos críticos e redesenam-se os conjuntos, valorizando as melhorias e eliminando

restrições ou desperdícios. Por fim, com o estado futuro elaborado, parte-se para a fase de implantação e avaliação do novo cenário proposto, denominado como *Bridging-the-chasm*.

Finalizando, Alvarenga Netto (2004) corrobora com os dizeres deste tópico salientando que o mapeamento de processos permite uma visualização ampla do encadeamento e interação das atividades da organização, evidenciando atividades que não agregam valor, redundâncias de atividades, lacunas, excessos ou falta de recursos, promovendo a discussão sobre padronização e critérios para a avaliação da qualidade.



## 2.3 Mapeamento de Falhas

Tópico da revisão da literatura o qual foca nos conceitos e técnicas para mapeamento de falhas, utilizando em contexto os autores descritos no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Autores contextualizados no tópico Mapeamento de falhas

<i>Citação</i>	<i>Descrição/ Delimitação do artigo para o tópico</i>
Almeida e Fagundes, 2005	Conceptualização de falhas e mapeamento de falhas; Apresentação utilização de técnicas para mapeamento de falhas; Objeto de estudo em geradoras de energia.
Carvalho, 2005	Ferramentas e técnicas para mapeamento de falhas; Conceptualização geral de falhas e erros; tipos de manutenções para evitar falhas.
Cha e Yoo, 2012	Utilização da técnica FTA em ambiente de alta segurança; Etapas para implantação e averiguação da técnica; Utilização de <i>softwares</i> para compilação de dados.
Driessen, Huijsen e Grootveld, 2007	Ferramentas para gestão do conhecimento; Sistemas e mapas de conhecimento; Conceptualização de informações e dados.
Fagundes, 2005	Conceptualização de falhas e mapeamento de falhas; Etapas para mapeamento de falhas; Sistematização em ambientes gerais.
Kintsehner e Bresciani Filho, 2005	Ferramentas para mapeamento; engenharia de sistemas; reorganização de processos sob aspecto de falhas.
Leal, 2008	Conceptualização de termos referentes ao mapeamento de falhas; Ferramentas e técnicas para mapeamento de falhas; aplicação em conjunto com simulações.
Leal, Pinho e Almeida, 2006	Hierarquização de falhas em fornecedores de energia; Indicadores padrões; Passos para aplicação da técnica de mapeamento.
Oliveira, Paiva e Almeida, 2010	Metodologia conjunta com mapeamento de falhas Técnicas de mapeamento; Conceptualização de mapeamento de falhas.
Slack, Chambers e Johnston, 2009	Tipos de falhas em organizações; Conceptualização de falhas.

Utilizando-se dos conceitos empregados nas pesquisas de Almeida e Fagundes (2005), Fagundes (2005) e Leal, Pinho e Almeida (2006), pode-se dizer que falha é o término da capacidade de um equipamento desempenhar uma função, ou seja, é um evento onde a função requerida é interrompida.

Dentre os tipos de falha, Slack, Chambers e Johnston (2009) os resumem em seis principais, sendo eles:

- Falhas de projeto: quando as características da demanda foram mal observadas ou os tempos e métodos dos processos tornam-se diferentes dos idealizados;
- Falhas de instalações: quando máquinas, equipamentos ou edifícios sofrem avarias que ocasionam paradas;
- Falhas de pessoal: quando há erros ou violações dos métodos ou práticas pelos funcionários;
- Falhas de fornecedores: quando há entregas atrasadas ou produtos entregues fora das especificações;

- Falhas de clientes: quando os mesmos utilizam de forma inadequada os produtos;
- Falhas relacionadas a rupturas no ambiente: quando fatores externos à empresa influenciam na qualidade ou no desempenho de determinada função.

Há falhas que podem vir a gerar prejuízos de grandes proporções, como quedas de aviões ou falhas na frenagem de veículos, assim como há aquelas que não são tão críticas, como queimar uma lâmpada em um escritório. Neste contexto, é necessário à firma se preocupar com as falhas crítica que repercutem em males considerados grandes para o sistema (OLIVEIRA, PAIVA e ALMEIDA, 2010). Para tanto, deve-se detectar e analisar as possíveis falhas de um sistema, verificando o processo de fabricação, diagnosticando máquinas, averiguando saídas, pesquisando com clientes e avaliando defeitos, resultando em procedimentos que auxiliem na recuperação das falhas quando ocorrerem (FAGUNDES, 2005; SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

A literatura propõe várias técnicas para análise e recuperação de falhas, contudo, as de maior foco nos trabalhos de Almeida e Fagundes (2005), Carvalho (2005), Cha e Yoo (2012), Leal (2008) e Oliveira, Paiva e Almeida (2010) são descritas na lista abaixo:

- FTA (*Fault tree analysis* – Análise da árvore de falhas) – estrutura de mapeamento de falhas das mais utilizadas nos meios industriais e em análises de segurança. Permite o encadeamento dos diferentes eventos relacionados com determinada falha partindo de um evento topo que são causados por falhas secundárias, terciárias, entre outros, de forma dinâmica e temporal;
- ETA (*Event Tree Analysis* – Análise da árvore de eventos) – método lógico-indutivo para identificar as várias e possíveis consequências resultantes de certo evento inicial, podendo apresentar amortizações das falhas e sendo descrito horizontalmente;
- FMECA (*Failure mode, effects and criticality analysis* – Análise dos modos de falha, efeitos e criticidade) – determina a confiabilidade do projeto considerando causas potenciais de falhas e seu efeito sobre o sistema, tendendo a ter custos altos de implantação;
- FMEA (*Failure mode and effects analysis* – Análise dos modos e efeitos de falhas) – técnica analítica utilizada para assegurar que todos os problemas potenciais foram considerados em determinada situação. Tem por passos críticos a listagem dos

subprocessos, a descrição de todos os modos de falha, o cálculo da taxa crítica, o ranqueamento pela taxa crítica, a tomada de providências e a checagem e revisão das ações. Tal *ranking* é chamado de número de prioridade de risco (RPN), o qual é o produto entre a probabilidade de falha, a severidade dos efeitos e a probabilidade de detecção da falha para cada modo de falha descrito. As Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 apresentam um exemplo de pontuação estimada a ser inserida para cada falha em cada um dos três critérios.

Tabela 2.1 - Critério para ordenação de probabilidade de ocorrência

Probabilidade de ocorrência	Possíveis taxas de falhas	Pontuação
Extremamente alta: quase inevitáveis	$\geq 1$ em 2	10
Muito alta	1 em 3	9
Repetidas falhas	1 em 8	8
Alta	1 em 20	7
Moderadamente alta	1 em 80	6
Moderada	1 em 400	5
Relativamente baixa	1 em 2000	4
Baixa	1 em 15000	3
Remota	1 em 150000	2
Quase impossível	1 em 1500000	1

Fonte: adaptado de Leal (2008)

Tabela 2.2 - Critério para ordenação de probabilidade de detecção

Deteção	Probabilidade de deteção	Pontuação
Absolutamente incerta	A manutenção não detecta a causa da falha potencial ou não existe manutenção	10
Muito remota	Chance muito remota de se detectar a causa da falha	9
Remota	Chance remota de se detectar a causa da falha	8
Muito baixa	Chance baixa de se detectar a causa da falha	7
Baixa	Chance baixa de se detectar a causa da falha	6
Moderada	Moderada chance de se detectar a causa da falha	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta a chance de se detectar a causa da falha	4
Alta	Chance alta de se detectar a causa da falha	3
Muito alta	Chance muito alta de se detectar a causa da falha	2
Quase certa	A manutenção quase certamente detectará a causa da falha	1

Fonte: adaptado de Leal (2008)

Tabela 2.3 - Critério para ordenação de severidade de efeito

Efeito	Severidade do efeito	Pontuação
Perigoso	Falha é perigosa e ocorre sem aviso; capaz de suspender a operação dos sistemas	10
Sério	Efeitos perigos, porém não envolvem aspetos contra regulações	9
Importante	Produto inoperável, com perda da função básica. Sistema inoperante	8
Impactante	Desempenho do produto sofre impacto. Sistema pode não operar	7
Significativo	Desempenho do produto é degradado	6
Moderado	Moderado efeito no desempenho do produto. Requer reparos	5
Baixo	Pequeno efeito no desempenho do produto. Não requer reparos	4
Desprezível	Efeito desprezível no desempenho do produto ou sistema	3
Muito desprezível	Efeito muito desprezível no desempenho do produto ou sistema	2
Nenhum	Nenhum efeito	1

Fonte: adaptado de Leal (2008)

Um dos avanços na área de análise de falhas é a possibilidade, via tecnologia da informação, de uma pessoa ou um grupo resgatar ou fornecer conhecimento com outras pessoas ou grupos de diferentes setores ou empresas. Forma-se, assim, um sistema de conhecimento o qual deve ser gerido para prover informações corretas e rapidamente, auxiliando aos empregados nos treinamentos e nas relações com a firma (ALMEIDA e FAGUNDES, 2005; DRIESSEN, HUIJSEN e GROOTVELD, 2007).

Existem, ainda, autores os quais apresentam atribuições em tais técnicas de mapeamento de falhas, conforme Leal (2008) e Leal, Pinho e Almeida (2006) relatam. Contudo, os mesmos autores e mesmo os que foram citados dentro deste tópico, salientam a importância dos mapas para a melhoria dos setores em eliminar ou minimizar os erros existentes. Em concordância a estes autores utilizados, esta dissertação segue as diretrizes aqui apresentadas.

Outro ponto a ser salientado é o de integração da análise de falhas com o mapeamento de processos ou com outros mecanismos para progresso dos sistemas, oferecendo ferramentas úteis para análise e melhorias, conforme executado nos estudos de Leal, Pinho e Almeida (2006) e Oliveira, Paiva e Almeida (2010). Kintsehner e Bresciani Filho (2005) corroboram para esta afirmação dizendo que sempre é necessário combinar mais de uma técnica para se ter melhores resultados, observando sempre a facilidade no entendimento e a visualização dos processos como um todo.

Dentro deste contexto, no Tópico 3, será abordado a utilização em conjunto das técnicas de análise de falhas com o mapeamento de processos para eficiência energética, visando atingir os objetivos deste trabalho.

## 2.4 Indicadores de desempenho

Neste tópico estão salientados os conceitos de indicadores de desempenho, focando principalmente no indicador OEE. Os autores utilizados nesta área são descritos no Quadro 2.4 e contextualizados durante o tópico.

Quadro 2.4 - Autores contextualizados no tópico Indicadores de desempenho

<i>Citação</i>	<i>Descrição/ Delimitação do artigo para o tópico</i>
Almeida e Fagundes, 2005	Medidas de desempenho em serviços de distribuição energética; gestão do conhecimento; tecnologia da informação.
Braglia, Frosolini e Zammori, 2009	Definição e estrutura do OEE e suas perdas em cada índice; recomendações para utilização deste indicador.
Carvalho, 2005	Mensuração do desempenho operacional; critérios de desempenho; objetivos da medição de desempenho; definições de eficácia e eficiência.
Chae, 2009	Indicadores de desempenho em cadeia de suprimentos; Mensuração dos indicadores de desempenho chaves.
Chakravarthy <i>et al.</i> , 2007	Metodologia de medidas para mensuração e análise da produtividade; Criação de indicador para indústria de semicondutores.
Chiaradia, 2004	Conceptualização do indicador OEE; Aplicação e coleta de dados do indicador OEE em indústria automobilística.
Costa, Lima e Costa, 2006	Aplicação do OEE; melhoria contínua em manufatura.
Ferreira <i>et al.</i> , 2008	Planilhamento e aplicação de indicadores para monitoramento e melhoria para empresas incubadas; Utilização do BSC.
Franceschini <i>et al.</i> , 2008	Conceptualização de indicadores de desempenho; propriedades dos indicadores; Método operacional para criação de indicadores.
Lavy, Garcia e Dixit, 2010	Conceptualização de indicadores de desempenho; categorização dos indicadores da literatura; seleção de medidores para diferentes gestões.
Liu <i>et al.</i> , 2012	Modelo conceitual para gestão de desempenho; Desenvolvimento e proposta de indicadores.
Marugesan, Kumar e Kumar, 2012	Definição de manufatura de classe mundial.
Maskell, 1991	Manufatura de classe mundial; Definições de indicadores; características dos indicadores; locais de necessidade de apontamentos.
Rocha e Monteiro, 2005	Formulações e cálculos para medição do desempenho energético.
Ron e Rooda, 2005	Definição e revisão bibliográfica do indicador OEE.
Sharma, Shudhanshu e Bhardwaj, 2012	Desempenho e evolução da manutenção total preventiva; definição de desempenho; definição do indicador OEE.
Slack, Chambers e Johnston, 2009	Crítérios e objetivos de desempenho; Estratégias empresariais baseadas em indicadores.
Torres Junior e Miyake, 2011	Indicadores de desempenho em serviços; melhoria contínua; relações de previsto e efetuado; Aplicação em casos.
Wireman, 2004	Conceptualização de manutenção total preventiva; definição de indicadores; conceptualização do indicador OEE.
Zhu, 2011	Análise e melhoria de sistemas baseados no indicador OEE; Definição do indicador OEE; Equacionamentos para o OEE.

A busca por um melhor desempenho deve ser uma preocupação central nas organizações, considerando seus múltiplos objetivos ou critérios de desempenho. Contudo, para melhorar os processos é necessário conhecer como os mesmos estão, principalmente com

relação aos fatores considerados estratégicos para a empresa, coordenando recursos humanos, políticas de gestão interna e tecnologia para buscar melhores resultados com prioridade em qualidade, custos, tempo de entrega, inovação, flexibilidade, entre outros. Com este foco, a medição de desempenho executa a quantificação das ações e verifica as metas ou os padrões definidos com o ambiente real (CARVALHO, 2005; RON e ROODA, 2005; MARUGESAN, KUMAR e KUMAR, 2012; SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009; TORRES JUNIOR e MIYAKE, 2011).

Lavy, Garcia e Dixit (2010) contribuem para as afirmações ditas enfatizando que a medição de desempenho alarga as possibilidades de rever o funcionamento passado e presente e derivar estratégias futuras para o bom funcionamento da organização e para o cumprimento de seus objetivos.

Definindo, portanto, desempenho, sabe-se que o mesmo é dado como o grau em que uma empresa o processo cumpre seus objetivos e que desenvolver medidas de desempenho é um importante passo na avaliação do comportamento do processo. Para isto, incluem-se indicadores de desempenho que expressem com facilidade o ambiente, apresentando objetivos e relações entre os clientes, fornecedores e processos (LAVY, GARCIA e DIXIT, 2010; SHARMA, SHUDHANSHU e BHARDWAJ, 2012).

Franceschini *et al.* (2008) ainda abordam que os indicadores podem expor todas as diferentes dimensões do processo. Definem tais apontadores como uma representação do alvo que torna dados do sistema tangíveis para avaliações, comparações, previsões e tomadas de decisão. Maskell (1991) salienta também que os indicadores têm por características relatar diretamente as estratégias da empresa, mudar conforme o tempo e necessidade, ser simples e fáceis de utilização e providenciar entendimento e *feedback* rápido aos gestores.

Contudo, os indicadores de desempenho devem ser elaborados no sentido de auxiliar os tomadores de decisão. Por esta razão, mesmo que vários enquadramentos estruturais sugiram classificações e tipologias, a seleção dos medidores de desempenho fica a critério dos gestores, pois cada um observa de forma própria o sistema e os requerimentos que refletem suas necessidades. (FERREIRA *et al.*, 2008; LAVY, GARCIA e DIXIT, 2010; LIU *et al.*, 2012).

Todavia, em consonância com cunho gerencial, a elaboração de indicadores de desempenho pode seguir alguns padrões tratados na literatura. Carvalho (2005), por exemplo, inclui ao desempenho de um sistema sua eficácia, eficiência, produtividade, qualidade e lucratividade. Já Slack, Chambers e Johnston (2009) relacionam cinco objetivos de desempenho da produção, sendo eles: qualidade, flexibilidade, custo, velocidade e

confiabilidade. Lavy, Garcia e Dixit (2010) corroboram com este pensamento dissertando sobre a importância dos fatores críticos de sucesso como ponto de partida para a criação dos indicadores e Chae (2009), sobre o auxílio que estes norteadores dão na gestão da cadeia de suprimentos. Por fim, Liu *et al.* (2012) enfatizam, em seu trabalho, a gestão destes indicadores, provendo etapas conceituais para a mediação de desempenho.

Contudo, mesmo com diversidades de opções de indicadores, há quatro propriedades dos medidores de desempenho que devem ser sempre observadas (FRANCESCHINI *et al.*, 2008), sendo elas:

1. Conjunto de indicadores: se há exaustividade (se eles representam todas as dimensões do sistema) e não redundância;
2. Indicadores derivativos: se há monotonia (aumentando um indicador agregado aumenta um derivado) e compensação (os indicadores agregados podem ser representados pelos derivados);
3. Propriedades gerais: se há consistência com a representação do alvo; resolução ou nível de detalhe; não-contraproduzividade (o uso de um indicador não pode atrapalhar ou reduzir a mensuração de outro); impacto econômico (custo da coleta dos dados); e simplicidade no uso;
4. Propriedades assessoriais: se há metas de longo prazo e orientação ao cliente.

Por fim, a literatura apresenta pesquisas sobre a implantação e a importância dos indicadores de comportamento, podendo ser citados os trabalhos de Torres Junior e Miyake (2011) na melhoria do desempenho em serviços, de Almeida e Fagundes (2005) na inspeção de marcadores do setor de distribuição e geração de energia elétrica, de Chiaradia (2004) em indústria automobilística, de Chakravarthy *et al.* (2007) em fábricas de semicondutores e de Ferreira *et al.* (2008) no monitoramento de incubadoras de empresas.

#### **2.4.1 OEE**

Um dos indicadores de maior utilização em empresas que tem por base maquinários de alta produção é o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), traduzido aqui como Eficácia Global dos Equipamentos devido à literatura pertinente nesta pesquisa. É caracterizado por refletir, com maior abrangência, a relação entre os resultados dos equipamentos e a previsão realizada para os mesmos, além de ser internacionalmente conhecido dentro das ferramentas do *Total Productive Maintenance* (TPM) (CARVALHO, 2005; WIREMAN, 2004; ZHU,

2011). Tal indicador é visto como medida de desempenho chave em ambientes de produção em massa aplicada a qualquer produto (SHARMA, SHUDHANSHU e BHARDWAJ, 2012).

A utilização deste indicador, segundo Chiaradia (2004), permite que as empresas analisem as reais condições de utilização de seus ativos por meio da identificação das perdas existentes nos equipamentos. Com ele é possível enxergar as perdas envolvidas nas operações resultantes das variabilidades existentes nos equipamentos e ao seu redor.

Tais perdas embutidas no OEE são descritas na literatura (CHAKRAVARTHY *et al.*, 2007; CHIARADIA, 2004; COSTA, LIMA e COSTA, 2006; WIREMAN, 2004) como as seis grandes perdas dos equipamentos, sendo elas:

- a) Quebra ou degradação do equipamento causando perda total ou parcial da capacidade;
- b) Setups, ajustes e regulagens no equipamento;
- c) Pequenas paradas por uso inadequado ou ociosidade e marcha lenta por mau funcionamento;
- d) Perdas de velocidade (por consequência, de capacidade), por não conhecimento da capacidade real ou por falhas no processamento;
- e) Perdas de início e reinício, por questões de aquecimento ou regime de trabalho do maquinário;
- f) E peças defeituosas e refugos, por má qualidade no processamento.

O OEE absorve estas seis grandes perdas em seus índices de controle, sendo eles: o índice de disponibilidade (IA) que reflete as perdas *a* e *b*, relacionando o tempo de trabalho efetivo (tempo operativo) pelo tempo planejado de trabalho (jornada líquida); o índice de desempenho (IP) que reflete as perdas *c* e *d*, relacionando o ciclo de processamento real (tempo operativo líquido) e o teórico (tempo operativo); e o índice de qualidade (IQ) que reflete as perdas *e* e *f*, relacionando os itens produzidos bons com o total produzido (relação entre tempo de produção e tempo operativo líquido). O indicador OEE é calculado pelo produto destes três índices, dando, em percentual, a eficácia global do equipamento, conforme ilustra a Figura 2.2 e a equação (4) (RON e ROODA, 2005, SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON, 2009, WIREMAN, 2004, ZHU, 2011).



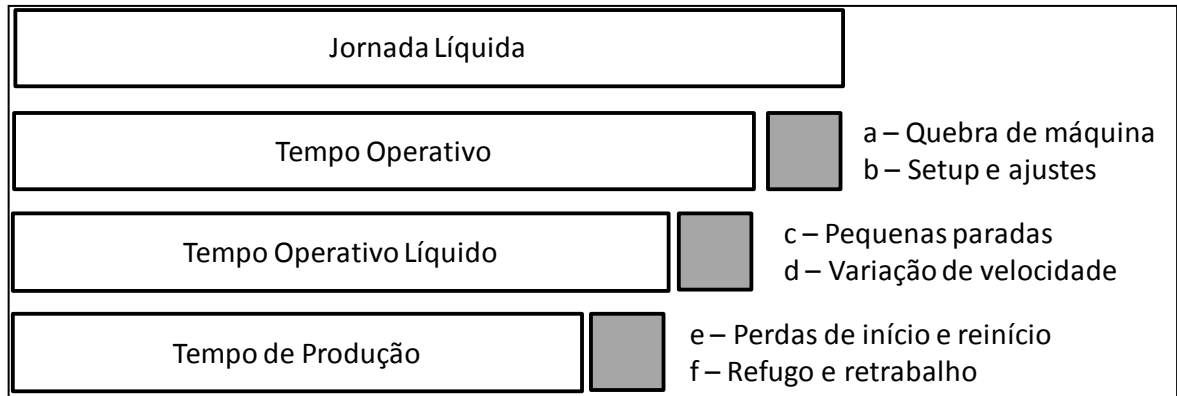


Figura 2.2 - Visão geral do *Overall Equipment Effectiveness*

Fonte: Adaptado de Braglia, Frosolini e Zammori (2009), Slack, Chambers e Johnston (2009) e Wireman (2004)

$$OEE = \frac{\text{Tempo Operativo}}{\text{Jornada líquida}} \times \frac{\text{Tempo operativo líquido}}{\text{Tempo operativo}} \times \frac{\text{Tempo de produção}}{\text{Tempo operativo líquido}} = IA \times IP \times IQ \quad (4)$$

Contudo, mesmo sendo utilizado por vários autores, Ron e Rooda (2005) criticam a utilização deste indicador por ele sofrer interferências do ambiente e ter seu valor comprometido, como problemas de estoques de entrada vazios ou de saídas cheios ou programações errôneas ou mesmo com a empresa em estado não operacional. Porém, devido aos autores já citados e a métrica internacionalmente reconhecida, esta pesquisa utilizará o indicador OEE para prover dados e informações para entradas e para comparações.

Finaliza-se aqui o tópico relacionado à revisão da literatura, apresentando conceitos e diretrizes os quais serão utilizados durante o restante desta pesquisa. O Tópico 3, a seguir, enfatizará sobre o método de pesquisa abordado neste trabalho, e após, o desenvolvimento da pesquisa.

### 3 Método de Pesquisa

Neste item, o texto apresenta o método de pesquisa proposto para o desenvolvimento do trabalho. O Quadro 3.1 resume os autores utilizados durante o tópico.

Quadro 3.1 - Autores contextualizados no tópico Método de pesquisa

<i>Citação</i>	<i>Descrição/ Delimitação do artigo para o tópico</i>
Aguilar-Savén, 2004	Revisão da literatura sobre mapeamento de processos; Definições de técnicas mais comuns; Classificação das técnicas de mapeamento.
Aragón, 2011	Exemplificação de pesquisa-ação com ciclo incompleto.
Belan, 2008	Exemplificação de pesquisa-ação com ciclo incompleto.
Coughlan e Coughlan, 2002	Conceptualização e passos do método de pesquisa-ação.
Fagundes, 2005	Exemplificação de pesquisa-ação com ciclo incompleto na área de energia.
Ferreira Junior, Almeida, Leal, 2012	Desdobramento da pesquisa-ação para mapeamento de processos e de falhas; ciclos em IDEFO.
Franceschini <i>et al.</i> , 2008	Conceptualização de indicadores de desempenho; propriedades dos indicadores; Método operacional para criação de indicadores.
Greasley, 2006	Exemplificação de etapas para aplicação e desenvolvimento de mapeamento de processos.
Kintsehner e Bresciani Filho, 2005	Ferramenta fluxograma para mapeamento de processos; reengenharia de sistemas.
Kumar e Phrommathed, 2006	Descrição de abordagens intermediárias para melhoria contínua; Etapas para mapeamento de processos; Utilização de simulação para análise do redesenho.
Leal, Pinho e Almeida, 2006	Hierarquização de falhas em fornecedores de energia; Indicadores padrões; Passos para aplicação da técnica de mapeamento.
Lobato e Lima, 2010	Conceptualização de níveis de detalhes; aplicação de técnica de mapeamento; Melhorias com base no diagrama executado.
Madison, 2005	Etapas e técnica de mapeamento de processos.
Mello, 2008	Exemplificação de pesquisa-ação com ciclo incompleto.
Miguel <i>et al.</i> , 2010	Metodologia de pesquisa; Método de pesquisa-ação.
Oliveira, Marins e Almeida, 2010	Utilização do fluxograma e técnicas de mapeamento de processos e de falhas.
Oliveira, Paiva e Almeida, 2010	Metodologia conjunta para o mapeamento de falhas e de processos.
Terence e Escrivão Filho, 2006	Abordagens quantitativas e qualitativas na literatura.
Thiollent, 2011	Conceptualização e passos do método de pesquisa-ação.
Yin, 2005	Metodologia de pesquisa.

Dos métodos de pesquisa indicados por Yin (2005) e Miguel *et al.* (2010) ressaltam-se a pesquisa bibliográfica, o estudo de caso, o levantamento (*survey*), o experimento, a modelagem e simulação e a pesquisa-ação.

Como o foco desta pesquisa é o desenvolvimento de um indicador com a utilização de mapeamento de processos e falhas tendo a participação ativa dos pesquisadores e cooperação dos operadores do sistema e um objetivo prático, o método de estudo que melhor se adéqua é a de pesquisa-ação (THIOLLENT, 2011).

Coughlan e Coughlan (2002) fortificam esta escolha dizendo que as características principais desta estratégia de pesquisa envolvem um estudo voltado para resolução de problemas em campo, com participação ativa do pesquisador, contribuindo tanto para o meio científico quanto para contexto do estudo.

Também é notória a adequação da pesquisa-ação pelo fato de contribuir de maneira significativa para o estudo de temas em que os processos de mudanças são essenciais, dando ênfase na descrição das atividades conduzidas para resolução das questões identificadas (MIGUEL *et al.*, 2010).

Da abordagem de pesquisa, há dois vieses possíveis de serem trabalhados: o de pesquisas quantitativas e o de pesquisas qualitativas. O primeiro tem por inferência a dedução de problemas por meio de testes ou comprovações normalmente estatísticas e numéricas, isolando ou analisando os aspectos das variáveis as quais o pesquisador tem controle. O segundo provém de inferência indutiva e é gerado por questionamentos abertos e interpretativos, evoluindo com a ideia e propondo soluções ou diretrizes para a mesma (TERENCE e ESCRIVÃO FILHO, 2006).

Por se tratar de uma descrição da implantação, este trabalho utiliza a abordagem qualitativa, contudo, para a formação e averiguação do indicador de desempenho, o enfoque quantitativo deverá ser utilizado em conjunto com o qualitativo.

Com base nos estudos de Coughlan e Coughlan (2002), Miguel *et al.* (2010) e Thiollent (2011), a pesquisa-ação é estruturada segundo a Figura 3.1, sendo que o ciclo proposto se repete até que os objetivos almejados estejam concluídos ou até a determinação do fim do projeto.

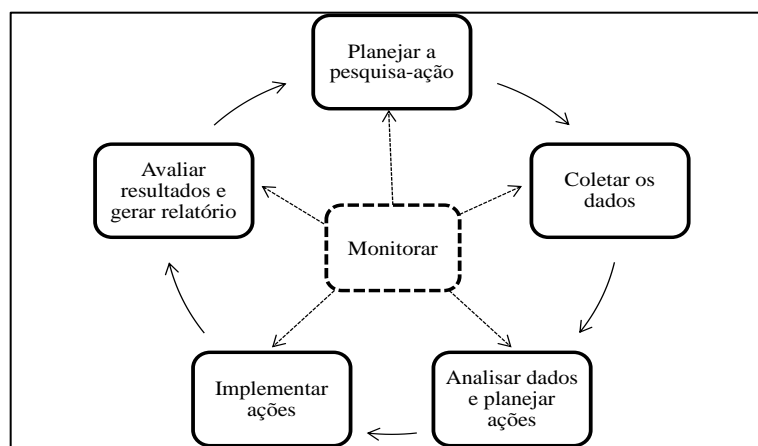


Figura 3.1 - Estrutura padrão para condução da pesquisa-ação  
 Fonte: Adaptado de Coughlan e Coughlan (2002), Miguel *et al.* (2010) e Thiollent (2011)

Segundo os mesmos autores, o primeiro item, de planejamento da pesquisa-ação pode ser descrito como resultado dos passos de identificação do problema, delineamento de ideias e objetivos, seleção das unidades de análise e definição das técnicas de coleta de dados e delimitação do problema.

Separando esta pesquisa do projeto completo de P&D, observa-se que, o P&D discorrerá do ciclo completo da pesquisa-ação, enquanto esta pesquisa não o fará devido ao seu objetivo e foco como introdução ao projeto completo, salientando somente os passos de planejamento, coleta e análise dos dados. Outros trabalhos que se utilizaram desde recurso de utilização parcial da pesquisa-ação podem ser encontrados na literatura, sendo ressaltado o de Fagundes (2005) o qual se encaixa no mesmo modelo de introdutório de P&D deste trabalho. Além deste trabalho, também podem ser citados com ciclos incompletos: Aragón (2011), Belan (2008) e Mello (2008).

Outra consideração a ser feita é a de que este trabalho desenvolveu-se sob os aspectos de mapeamento de processos, mapeamento de falhas e introdução de indicadores de desempenho, a estrutura da pesquisa-ação pode ser remodelada para os parâmetros exigidos neste contexto.

Kumar e Phrommathed (2006), como exemplo, utilizaram quatro passos para atingir os objetivos de melhoria propostos com a utilização da modelagem de processos, sendo eles: mapeamento dos processos atuais; coleta dos dados e análise da utilização dos recursos; redesenho dos processos e utilização de simulação para confirmação de melhorias; e implantação e avaliação das ações.

Greasley (2006) conduziu a pesquisa nestes mesmos passos, porém salientou a medição de desempenho tanto na segunda etapa quanto na última, como forma de se comparar e avaliar as atividades.

Já Kintsehner e Bresciani Filho (2005) separaram as etapas para mapeamento e reorganização dos processos em oito passos, contudo utilizando-se da técnica de fluxograma para o mesmo. São elas: definir a fronteira do sistema a ser modelado; construir fluxogramas para as diferentes atividades operacionais; construir fluxogramas para os processamentos de informação; construir fluxogramas para os processos de decisão; classificar todos processadores em categorias, níveis e tipos; relacionar os problemas por prioridades e modificar os fluxogramas para suas resoluções; e propor soluções na forma de recomendações estratégicas e de procedimentos.

Por fim, na visão de Madison (2005) o mapeamento ou redesenho de processos, também com a utilização de fluxogramas, se resume a dez passos em quatro fases:

#### Fase A – Inicialização

- 1) Introdução para redesenho de processos;
- 2) Formação do time;

#### Fase B – Análise dos processos

- 3) Fluxograma atual;
- 4) Entrevistas com clientes;
- 5) Benchmarking e melhores práticas;

#### Fase C – Redesenho do processo

- 6) Primeira versão do redesenho;
- 7) Revisão pelo gestor e testes;
- 8) Versão final e compartilhamento com pessoal e clientes;
- 9) Implantação do redesenho;

#### Fase D – Melhoria contínua

- 10) Instalação de medições e melhoria contínua.

Utilizando os passos de Madison (2005) como base, alguns itens devem ser explorados de melhor forma e outros inseridos para que a metodologia de pesquisa esteja em acordo com os objetivos deste estudo, aborde melhores práticas encontradas na literatura e caracterize os procedimentos de maneira mais apurada, permitindo futuras replicações da mesma.

Neste intuito, após a formação do time (passo 2 de Madison (2005)) para o projeto de mapeamento e melhoria de processos, faz-se necessário uma visão geral dos processos, para melhor entendimento da empresa. Para tanto a ferramenta SIPOC vem a ser a mais indicada, dentre as apresentadas na revisão teórica, pois enxerga o processo por completo, a partir de seus fornecedores, entradas, processos, saídas e clientes, assim como o estudo de Lobato e Lima (2010) executou.

Com o SIPOC concluído, torna-se possível ao grupo identificar as fronteiras de estudo para o mapeamento, em vista das restrições do sistema ou do estudo, apresentando os setores ou processos que serão explorados para os fins de melhoria da pesquisa (KINTSEHNER e BRESCIANI FILHO, 2005; OLIVEIRA, MARINS e ALMEIDA, 2010).

A partir desta separação dos processos a serem estudados, faz-se a coleta dos dados para a etapa 3 (fluxograma atual) descrita por Madison (2005). Contudo, nota-se que, de acordo com Aguilar-Savén (2004), existem várias técnicas para mapeamento de processos, e mesmo que Madison (2005) descreva suas etapas com a utilização de fluxogramas, tal ponto

pode ser modificado para abordagens mais bem estruturadas na literatura, como a família IDEF ou o UML, por exemplo.

É fato, entretanto, que o mapeamento executado por quaisquer técnicas deve ser averiguado e confirmado pelos *stakeholders* do processo, por melhores práticas do contexto inserido e por especialistas da área, para que esteja em sintonia com o processo físico (OLIVEIRA, PAIVA e ALMEIDA, 2010). Em vista disto, a técnica para a visualização dos processos que será utilizada é a IDEF-0, pois, segundo Aguilar-Savén (2004) é a mais utilizada em meios industriais e está em maior conformidade com os objetivos da empresa estudada.

Com o mapeamento do estado atual pronto, inicia-se a fase de redesenho dos processos. Para este estado futuro, devem-se buscar melhorias em todos os sentidos do conjunto de atividades. Tais melhorias devem comportar, principalmente, elementos de gestão da qualidade, focando na eliminação ou minimização de falhas no decorrer das operações. Oliveira, Paiva e Almeida (2010) determinam que para conquistar os objetivos propostos pelo projeto de redesenho de processos, as falhas devem ser estudadas a fim de se encontrar as suas causas fundamentais. Em vista disto, os mesmos autores propõem a utilização do mapeamento de falhas em conjunto com o mapeamento de processos, por meio das técnicas FTA e FMEA, por meio do modelo integrativo.

Iniciando pela da árvore de falha, Fagundes (2005) utilizou-se das seguintes etapas, as quais geraram resultados satisfatórios para seu estudo: definição do evento topo de falha; entendimento do sistema em busca das causas raízes do problema; construção e avaliação da árvore de falhas; e implantação das ações corretivas nas causas principais.

A partir do FTA é possível diagnosticar as causas raízes dos modos de falhas e prover melhorias para que tais falhas sejam eliminadas ou minimizadas. Uma das ferramentas que se adere a isto é o FMEA, ranqueando e descrevendo as propostas para cada falha encontrada (OLIVEIRA, PAIVA e ALMEIDA, 2010).

Os passos para que a análise dos modos e efeitos de falha seja executada, segundo Leal, Pinho e Almeida (2006) passam por: identificar as falhas potenciais; determinar os níveis críticos; calcular e ranquear RPN; e propor melhorias. Alocam-se estas falhas em ordem decrescente a partir do RPN e age-se para corrigi-las, integrando assim a análise de falhas ao mapeamento de processos.

Obtém assim, a visão geral do sistema em questão, tendo por próximo passo a primeira versão do redesenho, ou seja, iniciando a fase do estado futuro dos processos (GREASLEY, 2006; MADISON, 2005). Tende-se aqui a reduzir, aglutinar ou eliminar atividades de baixa

complexidade ou que não agregam valor, segundo Kintsehner e Bresciani Filho (2005), com a finalidade de se evoluir para um estado futuro positivo. Este novo mapa deve ser revisado pelos gestores e *stakeholders* até demonstrar o melhor fluxo possível e desejável para a empresa.

Antes de sua implantação, porém, é interessante a realização de testes com o intuito de se evitar gastos e perturbações nos processos. Um dos meios para testes é a simulação a eventos discretos, que permite, com custos reduzidos, a observação e análise do estado futuro e a avaliação perante cenários diversos (GREASLEY, 2006; KUMAR e PHROMMATHED, 2006). Contudo, nesta pesquisa, não serão realizados tais testes, em vista dos objetivos presentes na mesma.

Seguindo os passos, compartilha-se a versão final do mapeamento futuro com os clientes, fornecedores, gestores e operários, fazendo com que todos tenham conhecimento do projeto de melhoria e quais os fatores críticos para que o procedimento não tenha ou reduza as falhas nos quesitos apontados pelo FMEA e FTA.

A proposta deste trabalho finaliza-se aqui, em um ciclo incompleto do método pesquisa-ação. Porém, abordando o ciclo completo, é possível desenvolver as outras duas fases da pesquisa-ação, sendo elas a implantação e a análise dos resultados.

Uma das fases mais críticas do mapeamento é a implantação das propostas para estado futuro, pois dependem de fatores fora do controle do grupo de projeto, como empenho dos operários e gerentes para com a visão apresentada. Contudo, é possível concluir os trabalhos e implantar satisfatoriamente o que foi apresentado, conforme os trabalhos de Greasley (2005), Oliveira, Marins e Almeida (2010), entre outros, demonstram.

Com a implantação concluída, segue-se para o último passo proposto por Madison (2005) que é o de instalação dos indicadores e melhoria contínua. Os indicadores de desempenho, conforme visto, são mecanismos de medição que transformam dados empíricos em dados simbólicos para gestão dos processos. Franceschini *et al.* (2008) aponta oito passos para a criação destes indicadores, sendo eles:

- a) Definição do processo e identificação das dimensões características do sistema;
- b) Identificação do como representar os alvos;
- c) Análise dos alvos no horizonte de tempo e impacto no processo diante dos *stakeholders*;
- d) Definição preliminar dos indicadores;
- e) Checagem da consistência de cada identificador com a representação dos alvos;
- f) Checagem das características de exaustividade e não redundância dos indicadores;

- g) Definição da escala de medidas e dos procedimentos de coleta de dados além de testar as características gerais dos indicadores;
- h) Checagem das propriedades derivativas dos indicadores.

É importante, com os indicadores alocados e controlados, avaliar os novos procedimentos em comparação com o estado passado, verificando se realmente as melhoras foram obtidas conforme esperado (KUMAR e PHROMMATHED, 2006). Por fim, reinicia-se o ciclo para um novo estado atual, visando sempre melhoria contínua dos processos.

Após todas as considerações apoiadas em textos publicados, o método utilizado neste estudo apresenta-se na Figura 3.2, seguindo a composição do IDEF0. As Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 são desdobramentos dos processos indicados no mapa principal, conforme numeração das caixas de atividades. Tal método de integração entre mapas de processos e de falhas, baseado no trabalho de Oliveira, Paiva e Almeida (2010), também é apresentado no trabalho de Ferreira Junior, Almeida e Leal (2012), enfatizando o desdobramento da pesquisa-ação para mapeamento de processos e de falhas.

Comparando a Figura 3.2 com a abordagem tradicional de pesquisa-ação ilustrada na Figura 3.1, pode-se constatar que os itens de 1 a 4 fazem parte do planejamento da pesquisa-ação, enquanto do passo 5 ao 7, da coleta de dados. Os passos 8 a 10 caracterizam-se como análise e planejamento de ações, elaborando o estado futuro do sistema. As etapas 11 e 12 fazem parte da implantação das ações de melhoria, e, por fim, os passos 13 e 14, da avaliação do que foi implantado, sendo que estas duas últimas etapas não constarão neste trabalho. Durante todas as etapas, cabe ao grupo monitorar as ações focando nos objetivos propostos de melhoria, sabendo que, o número de ciclos a serem feitos será determinado pelo mesmo grupo.



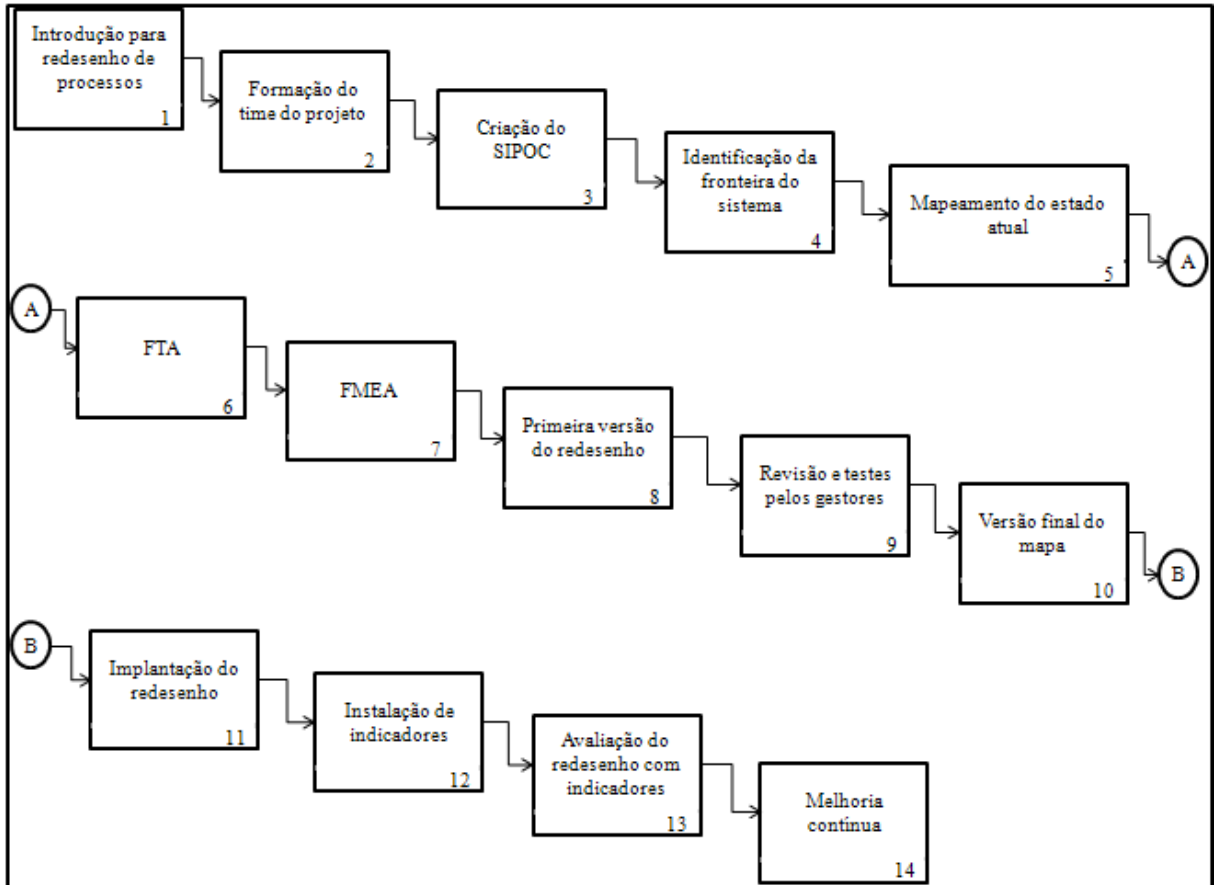


Figura 3.2 - Estrutura para Pesquisa-ação em IDEF0

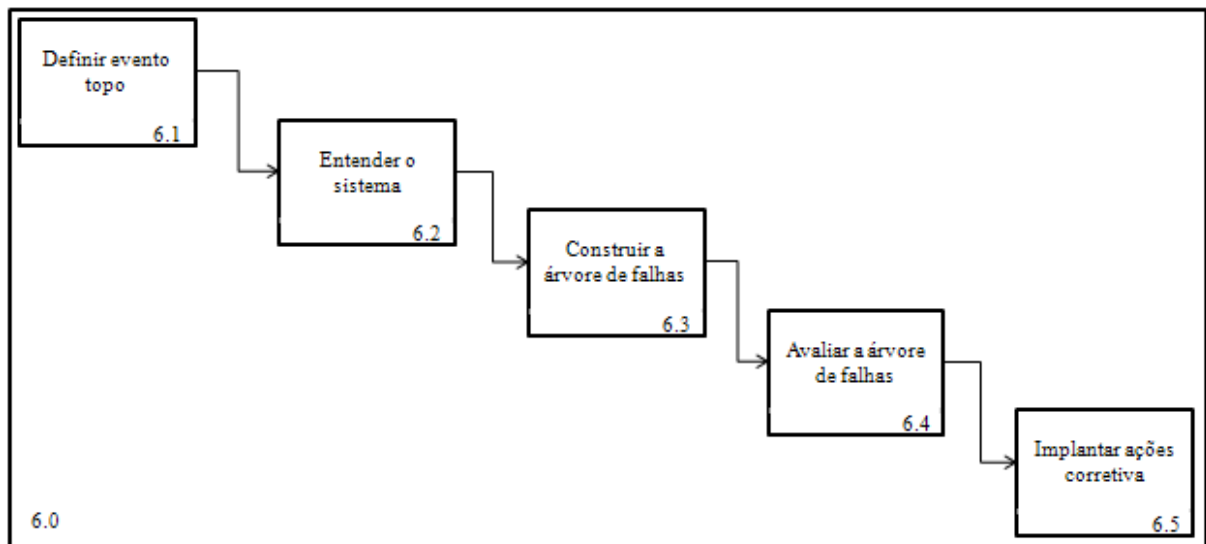


Figura 3.3 - Desdobramento das atividades de FTA

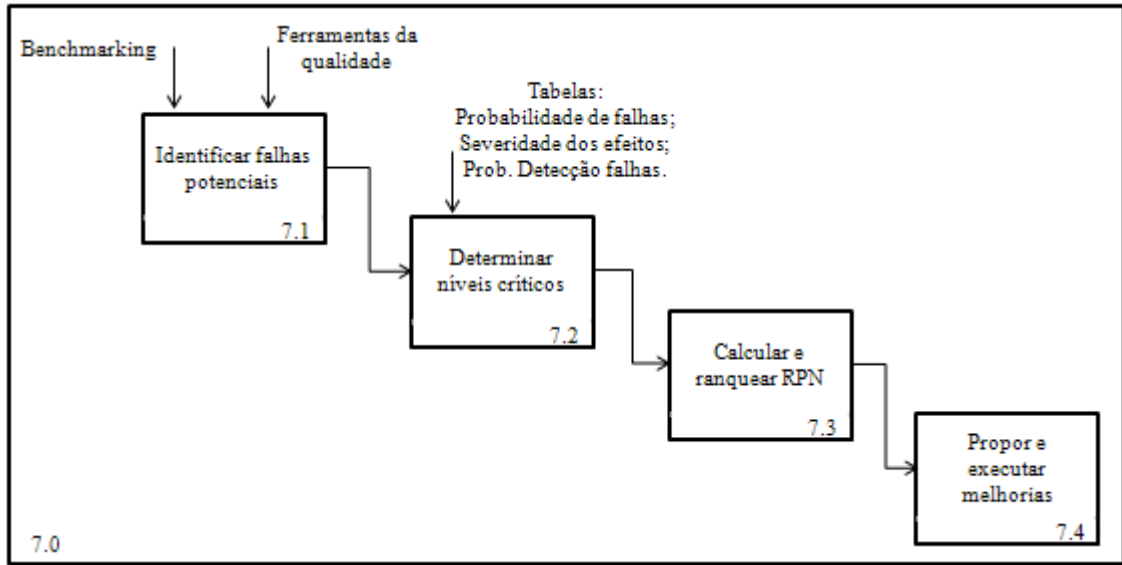


Figura 3.4 - Desdobramento das atividades do FMEA

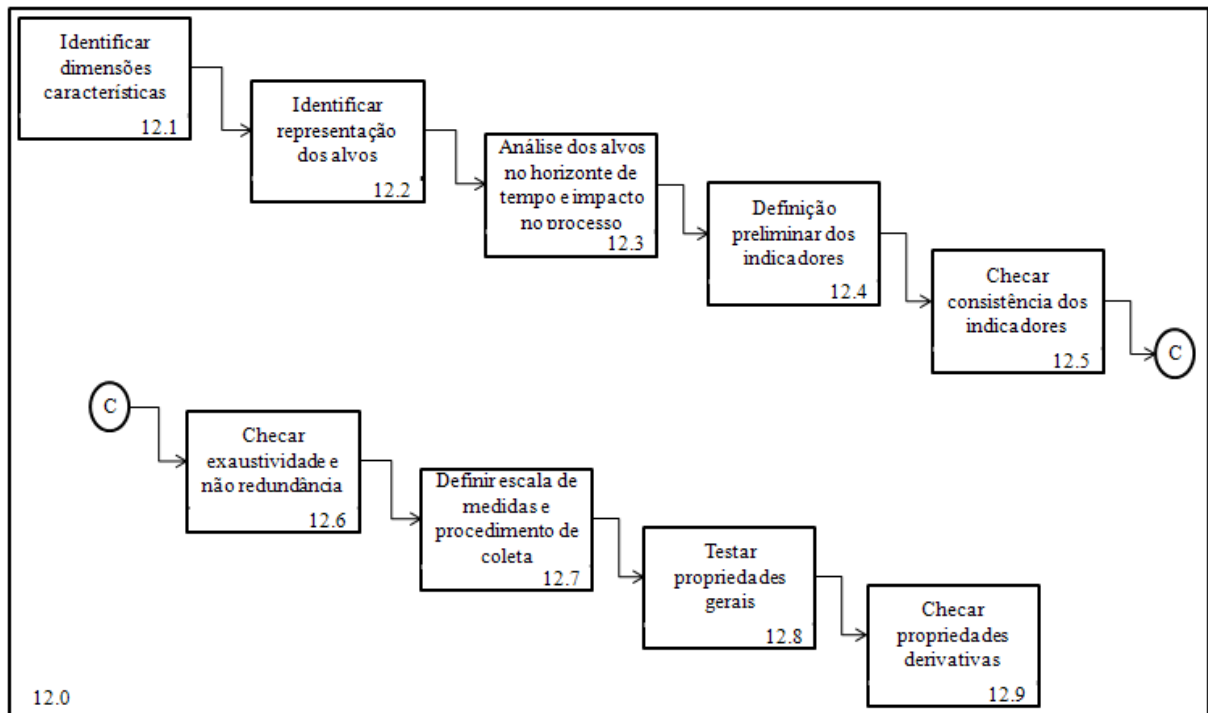


Figura 3.5 - Desdobramento das atividades de instalação de indicadores

## 4 Desenvolvimento

Tomando por base a Figura 3.2, cada etapa da pesquisa-ação desenvolvida para este trabalho será percorrida nos subtópicos deste capítulo. Para auxiliar na interpretação e elucidação das informações proporcionadas neste capítulo, toda a Revisão Teórica contida no capítulo 2 deve ser compreendida. Para também auxiliar nesta compreensão, há a utilização de alguns autores durante o texto de cada subtópico deste capítulo 4, sendo estes apresentados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Autores contextualizados no tópico Desenvolvimento

<i>Citação</i>	<i>Descrição/ Delimitação do artigo para o tópico</i>
Aguilar-Savén, 2004	Explicação sobre o mapeamento de processos pela técnica IDEF0.
Bajwy e Santana, 2010	Convergência das propostas de melhorias apresentadas no trabalho para com as da literatura vigente.
Braglia, Frosolini e Zammori, 2009	Definição e estrutura do OEE e suas perdas em cada índice.
Carvalho, 2005	Teorização sobre análise de processos para minimizar ou eliminar as falhas obtidas durante o mapeamento de falhas.
Ferreira Junior <i>et al.</i> , 2012	Conceptualização geral de indicadores de desempenho.
Kintsehner e Bresciani Filho, 2005	Teorização sobre Redução, Aglutinação e Eliminação de atividades para melhoria dos processos.
Klotz, Horman e Bechtel, 2008	Conceptualização sobre mapeamento de processos como etapa intermediária de melhoria contínua.
Kumar e Phrommathed, 2006	Análise dos processos ou operações críticas dentro dos mapas de processo e falhas.
Lavy, Garcia e Dixit, 2010	Teorização sobre visão futura dos mapas de processos, conquista de metas e índices de ponderação para avaliação.
Lobato e Lima, 2010	Explicação sobre o mapeamento de processos pela técnica SIPOC.
Marugessan, Kumar e Kumar, 2012	Níveis de excelência global para indicadores de desempenho; Definições de manufatura de classe mundial.
Maskell, 1991	Níveis de excelência global para indicadores de desempenho; Definições de indicadores.
Oliveira, Paiva e Almeida, 2010	Explicação sobre mapeamento de falhas pela técnica FMEA.
Rocha e Monteiro, 2005	Convergência das propostas de melhorias apresentadas no trabalho para com as da literatura vigente; Indicadores de desempenho de base energética.
Ron e Rooda, 2005	Definição e revisão bibliográfica do indicador OEE.
Sobreira Netto, 2006	Teorização sobre visão futura dos mapas de processos, conquista de metas e índices de ponderação para avaliação.
Zhu, 2011	Análise e melhoria de sistemas baseados no indicador OEE.

Iniciando, então, o tópico Desenvolvimento, enfatiza-se que o objeto de estudo é uma empresa de autopeças que se dispôs a participar inteiramente do projeto de P&D em conjunto com a ANEEL/CEMIG, ou seja, participar do ciclo de pesquisa-ação por completo. A primeira etapa deste P&D, o qual é o objetivo desta dissertação (ciclo incompleto da pesquisa-

ação), tornou-se possível por meio de entrevistas, formulários, dados da empresa e reuniões com o grupo de pesquisa e os funcionários da indústria em questão.

O intuito é a aplicação e avaliação do indicador proposto OEE-E seguindo os passos particulares descritos no Tópico 3, criando conhecimento para o prosseguimento do projeto de P&D e para futuros trabalhos nesta mesma temática, além de atingir os objetivos desta pesquisa.

## **4.1 Introdução para redesenho de processos**

O primeiro passo do método de pesquisa é a apresentação dos conceitos relacionados ao redesenho de processos e ao projeto a ser executado.

Conforme visto na revisão bibliográfica do tópico 2 desta dissertação e resumidamente apresentado neste parágrafo, o mapeamento de processos vem a ilustrar as atividades de trabalho como uma etapa intermediária para a melhoria contínua (KLOTZ, HORMAN e BECHTEL, 2008). A sugestão de analisar operações críticas, proposta por Kumar e Phrommathed (2006) vem ao encontro deste trabalho a fim de visualizar oportunidades nos processos que necessitam de melhorias na produtividade ou em outros quesitos. Analisando, assim, pontos críticos do processo, pode-se avaliar como se executar atividades em harmonia (sem interrupções de funções), ou seja, sem falhas, buscando novamente a melhoria contínua para o setor/atividade (CARVALHO, 2005). Gera-se, por fim, uma visão futura de como o processo deveria ser para atingir tanto desempenho quanto qualidade e disponibilidade máximas, tendo de ser medidos os índices para ponderação do que foi realizado em relação ao mapeamento passado (LAVY, GARCIA e DIXIT, 2010; SOBREIRA NETTO, 2006).

Tal medição será relacionada, conforme objetivos deste trabalho, ao indicador OEE, adaptado para questões referentes à eficiência energética, conforme será demonstrado no Tópico 4.7. Com isto, em vista do entendimento geral sobre redesenho de processos, o desenvolvimento da pesquisa seguirá, passando para sua fase seguinte, a qual é formação do time do projeto o qual tem por meta concluir o P&D.

## **4.2 Formação do time do projeto**

O projeto geral de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL/CEMIG tem por resultados finais esperados um *software* para gerenciar como a energia elétrica está sendo gasta nas empresas, bem como melhorar as relações entre os clientes e a concessionária de energia. Para tanto, o projeto conta com participantes das áreas de eficiência e gestão energética bem como participantes da área de gestão de produção.

Conforme já dissertado, dificuldades iniciais no entendimento de quesitos da área elétrica e da área produtiva ocorreram, e com reuniões e explanações, chegou-se a consensos dentro da equipe de trabalho. Conhecimentos específicos foram repassados a todos e o entendimento das técnicas e indicadores, tal qual Tópico 3 elucidada, puderam ser aplicados conforme a sequência de subtópicos abordará.

A equipe de envolvidos diretamente no projeto de P&D por parte destas duas áreas está descrita no Quadro 4.2, sendo especificada sua função no projeto e suas atividades resumidamente.

Quadro 4.2 - Participantes diretos do P&D

<b>Nome</b>	<b>Função/Cargo</b>	<b>Atividades</b>
Alexandre Ferreira Pinho	Docente do projeto	Desenvolvimento do modelo computacional do projeto
Artino Silva	Técnico elétrico	Medição e computação de dados
Augusto Nelson Carvalho Viana	Docente do projeto	Auxílio à área da Engenharia elétrica
Dagoberto Alves de Almeida	Coordenador do projeto	Coordenar atividades, controlar recursos e gerir prazos e entregas
Daniel Marques de Almeida	Iniciação científica	Mapear processos e falhas
Fabiano Leal	Docente do projeto	Desenvolvimento dos mapas de processos e falhas
Jamil Haddad	Excen	Auxílio à eficiência energética
José da Silva Ferreira Junior	Mestrando	Desenvolvimento e análise do indicador de desempenho
Lucas Vilhena Parenti	Iniciação científica	Depuração de dados coletados
Maitê Martins Nobre	Mestranda	Análise de dados e informações energéticas
Mateus Cândido	Iniciação científica	Coletar dados energéticos
Roberto Akira Yamashita	Docente do projeto	Desenvolvimento dos métodos para coleta de dados energéticos
Roberto Alves de Almeida	Consultor externo	Auxílio nas questões energéticas
Renato Swerts	Técnico elétrico	Medição e computação de dados

Contudo esta dissertação aborda apenas a primeira parte do P&D, utilizando, assim, uma menor influência destes participantes. O principal ponto de assistência entre todos foi o de entendimento geral do projeto e auxílio na criação dos mapas de processos e de falhas.

Por parte do objeto de estudo, os participantes questionados e entrevistados para a criação dos desenhos de processos e de falhas foram especialistas dos setores. O maior contato ocorreu com o supervisor da manutenção, em vista do objetivo de se estudar problemas relacionados à energia elétrica desta pesquisa. As entrevistas se deram em salas de reuniões durante visitas à planta da empresa e por meio de ligações e e-mails.

Dos resultados obtidos perante estas entrevistas (cada qual evoluindo até certo ponto na pesquisa geral) foram montados os mapas para a empresa e desdobrados em áreas específicas, conforme a sequência de tópicos abaixo demonstrará e a Figura 1.5 ilustrou anteriormente.

### 4.3 Criação do SIPOC

Tendo sido formada a equipe do projeto, inicia-se a pesquisa no objeto de estudo. Conforme o tópico de Método de pesquisa apresenta, a terceira etapa para o desenvolvimento deste trabalho é a visualização geral da empresa em questão. Para tanto, foi utilizada a ferramenta de mapeamento de processos chamada SIPOC, a qual foca em um setor ou atividade e desenvolve o que necessita de entradas/saídas e seus requisitos para o processo bem como quem fornece tais suprimentos ou faz uso dos recursos (LOBATO e LIMA, 2010).

Ilustrando o primeiro setor, fundição, a Figura 4.1 apresenta quais seus principais requisitos e quem os fornece além de mostrar suas saídas principais e para quais clientes internos vão.

Elucidando melhor esta primeira figura, para compreensão, por associação, das próximas, o setor de Fundição do objeto de estudo necessita de matérias-primas que estejam dentro das especificações para utilização que são entregues por fornecedores externos. Para o processamento também se emprega peças refugadas pelo próprio processo, a fim de não haver desperdícios. Água e energia são dispostas ao setor para execução de suas atividades, canalizados ou montados de forma a atender as exigências de pressão, volume, tensão ou amperagem. Por fim, o setor necessita também dos moldes para despejo do material processado, o qual é um líquido pastoso metálico. Tais moldes vêm de um setor de apoio à fundição, chamado moldação. Como saídas do processo de fundição, tem-se as peças processadas, já retiradas dos moldes, que devem estar dentro de especificações técnicas de qualidade para serem repassados ao próximo setor, que é o de pré-usinagem. Outra saída do setor são os refugos e efluentes que seguem caminho para tratamento ou descarte.

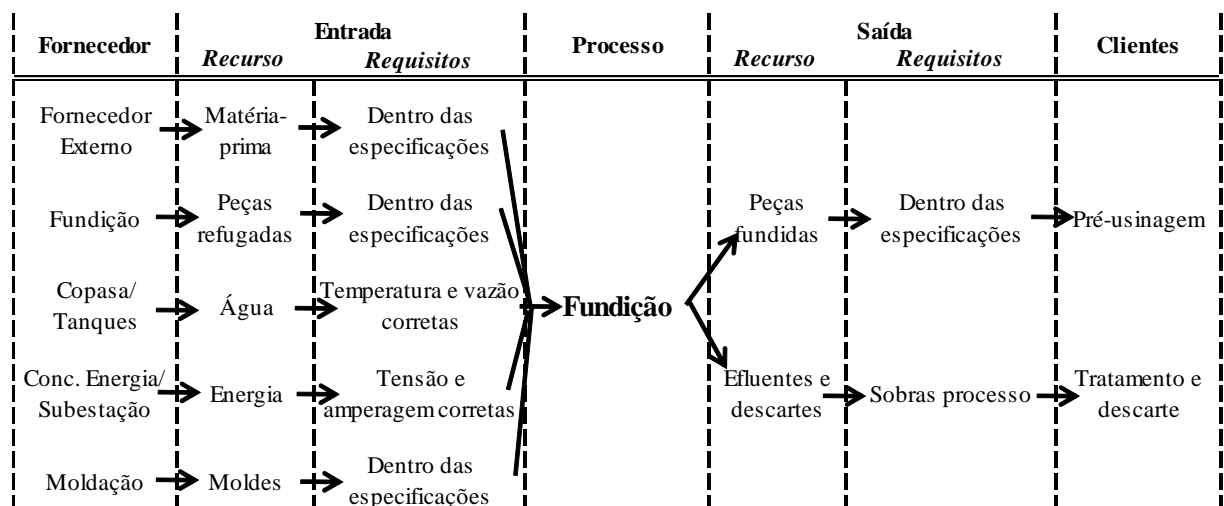


Figura 4.1 - SIPOC do setor de Fundição

Dentro da mesma explanação dissertada para a Figura 4.1, as Figuras 4.2 e 4.3 apresentam os setores de pré-usinagem e de 1ª fase da usinagem do objeto de estudo, respectivamente.

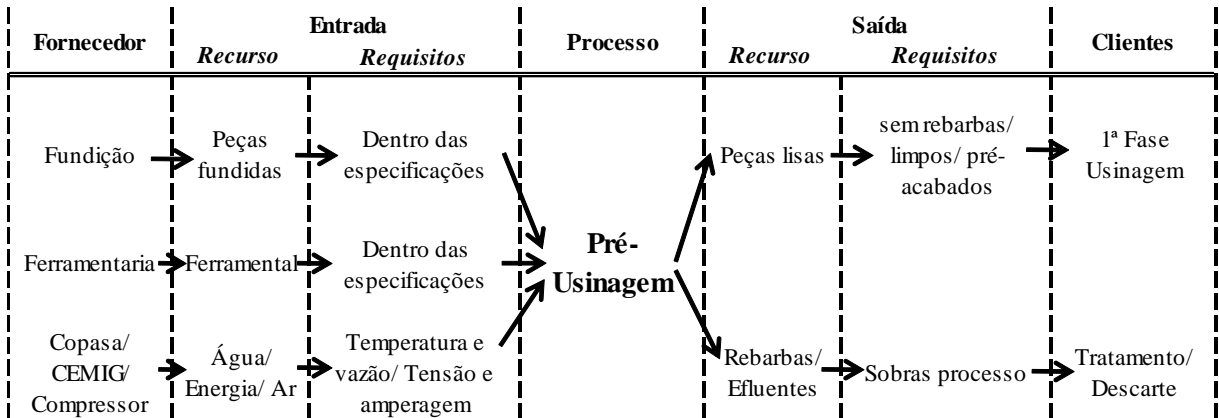


Figura 4.2 - SIPOC do setor de pré-usinagem

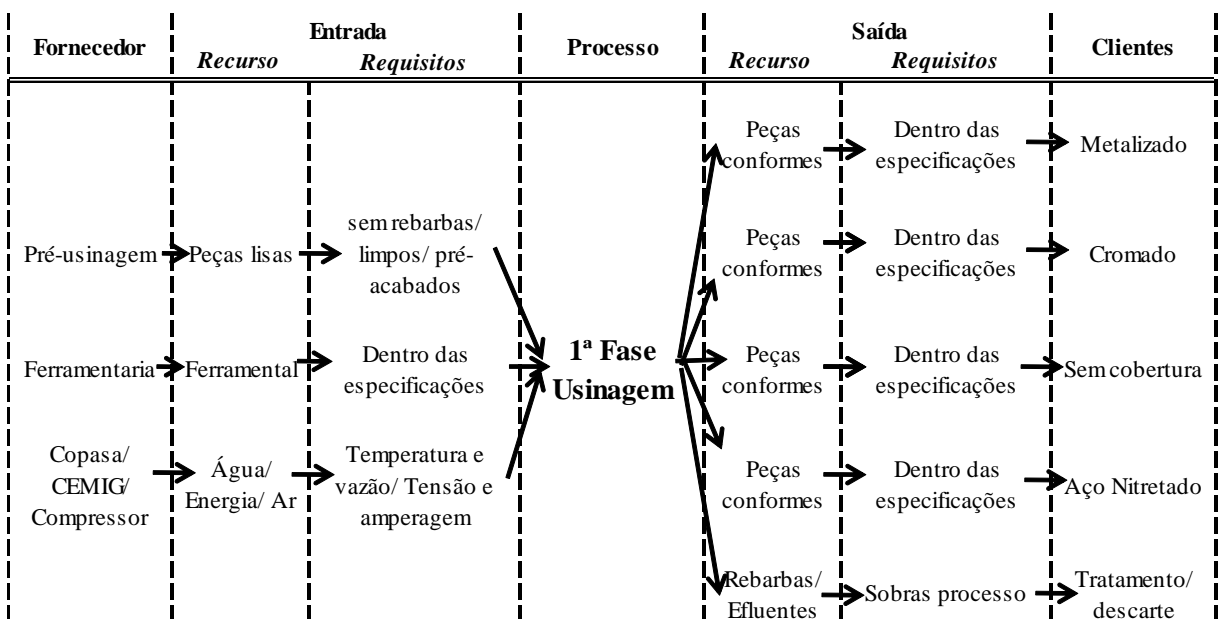


Figura 4.3 - SIPOC do setor de 1ª Fase de usinagem

Há várias saídas do setor de 1ª fase de usinagem, sendo que cada uma detém seus próprios processos para fabricação dos pedidos do cliente final. As Figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 ilustram estes setores, sendo respectivamente apresentados o de Metalização, o de Cromação, o de Peças sem cobertura e, por fim, o de Aço nitretado.

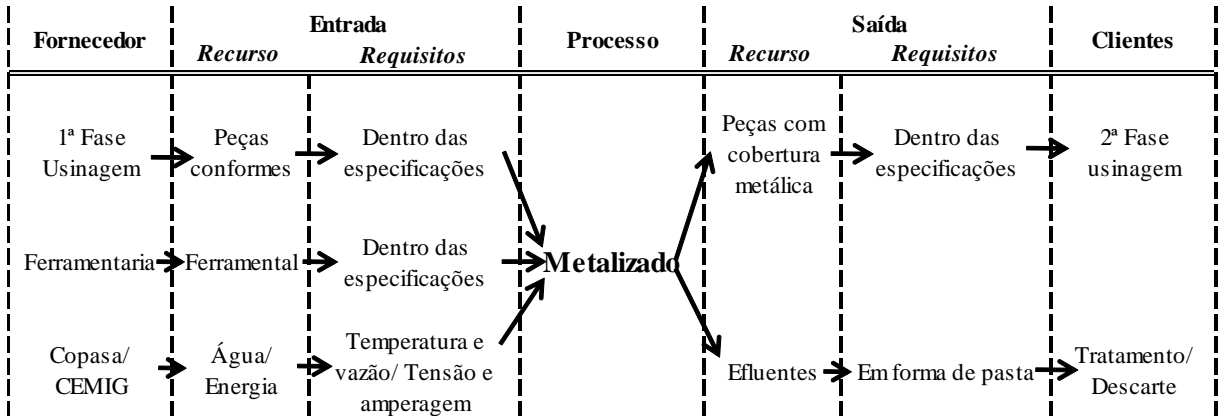


Figura 4.4 - SIPOC do setor de Metalização

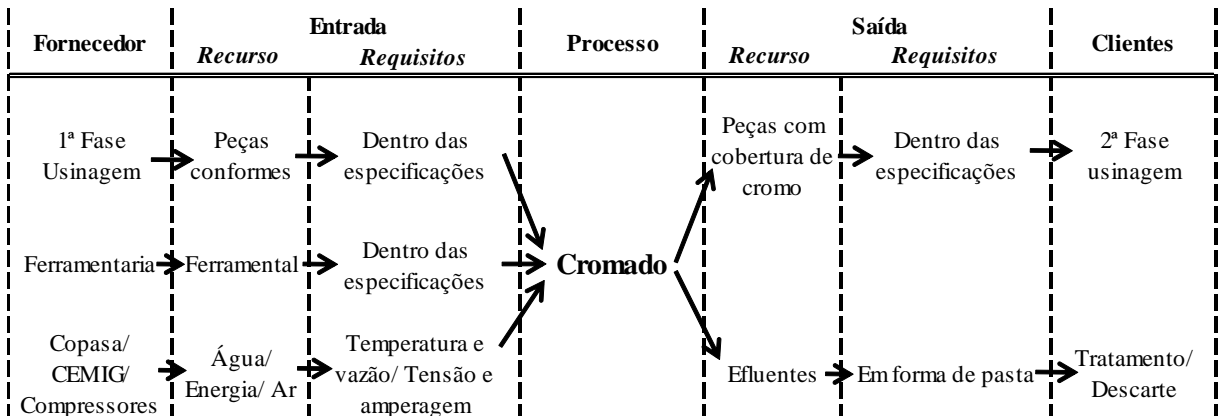


Figura 4.5 - SIPOC do setor de Cromação

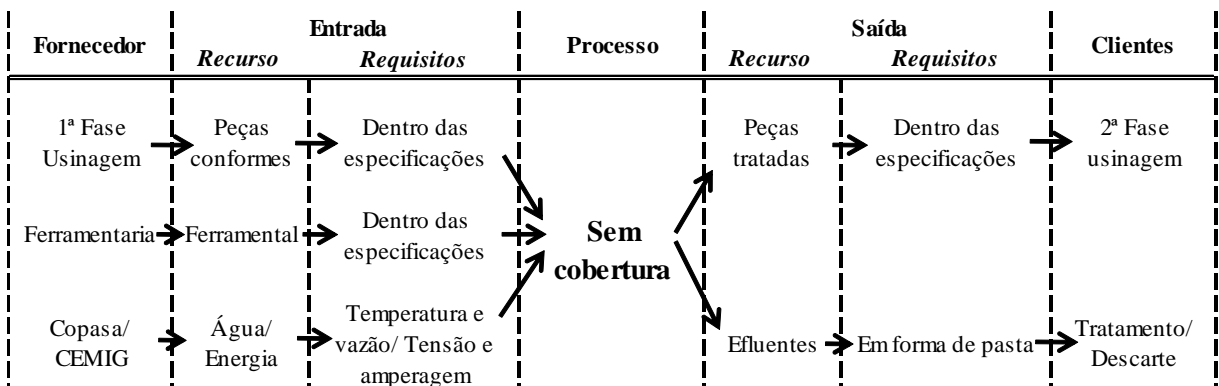


Figura 4.6 - SIPOC do setor de Sem Cobertura



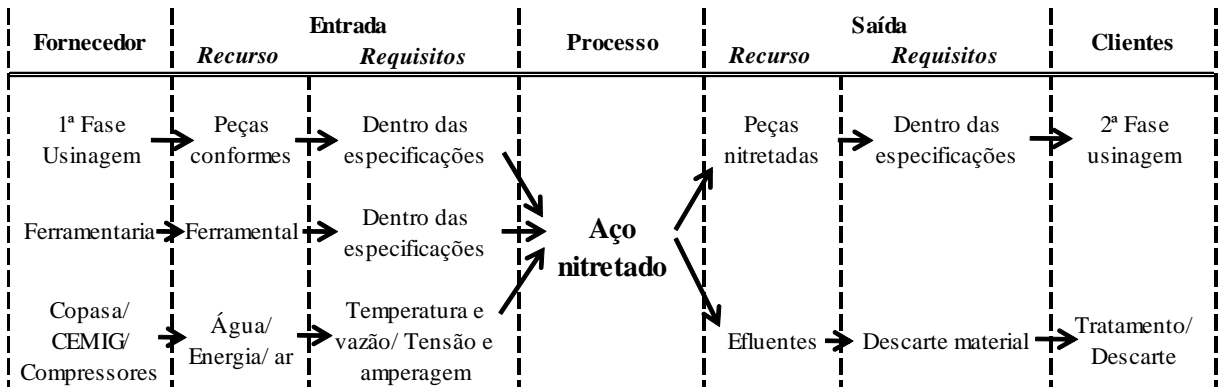


Figura 4.7 - SIPOC do setor de Aço nitretado

Destes quatro processos citados, todos repassam suas saídas para a 2ª fase de usinagem, a qual dá acabamento ao produto. A Figura 4.8 ilustra esta passagem, resultando em saídas para a expedição e logística da empresa, ou seja, produtos prontos para entrega.

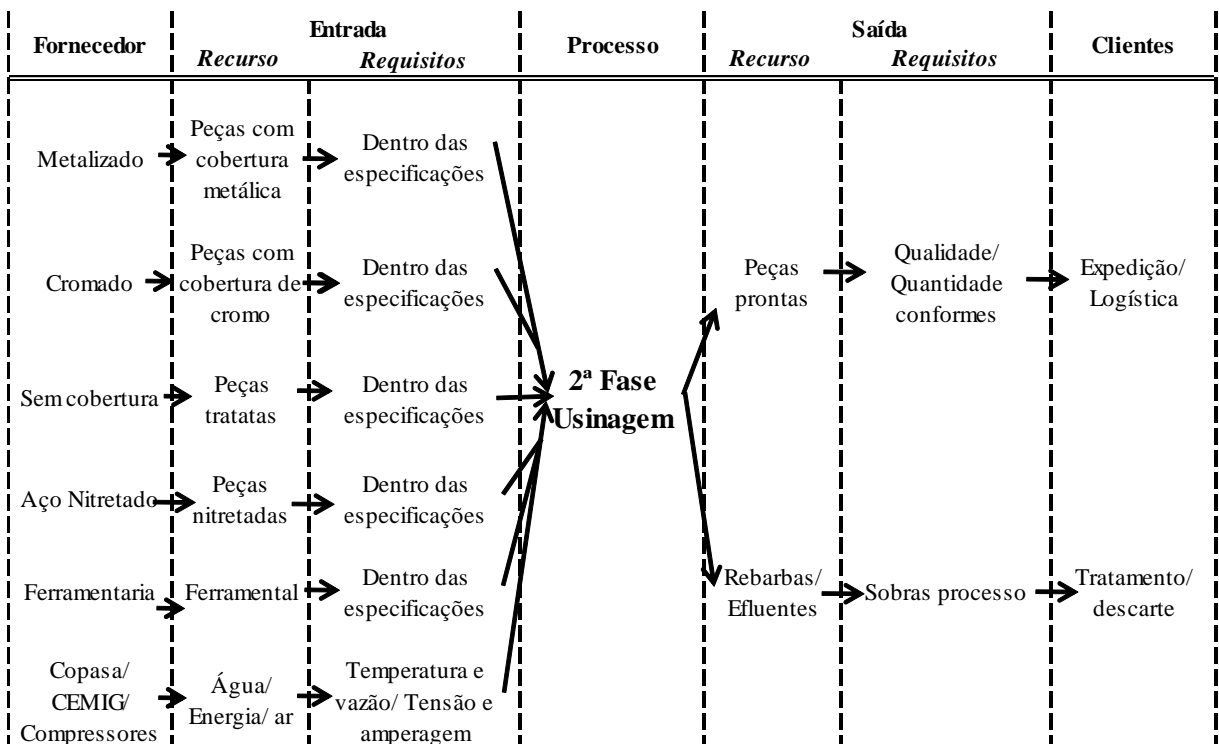


Figura 4.8 - SIPOC do setor de 2ª Fase Usinagem

Por fim, o último SIPOC apresentado é de um setor considerado à parte do processo central da empresa, mas aqui ilustrado simplificada na Figura 4.9 para que o objeto de estudo esteja completamente ilustrado nesta pesquisa.

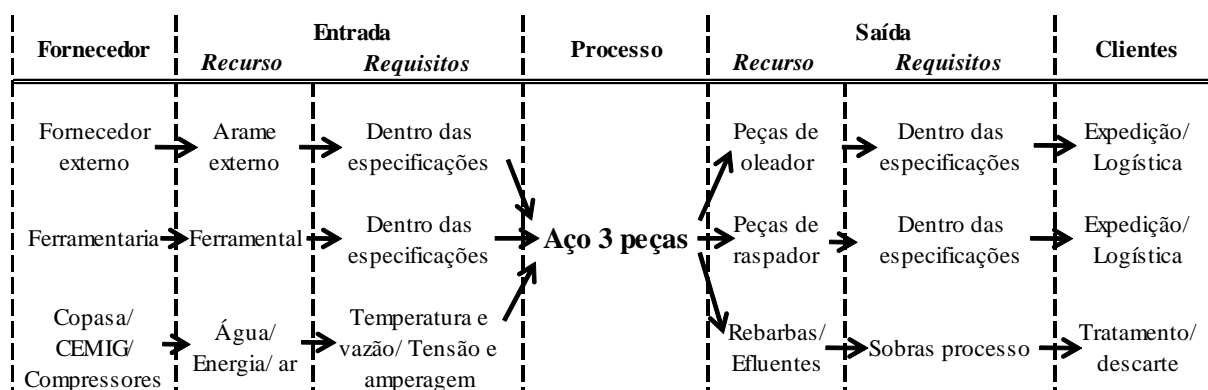


Figura 4.9 - SIPOC do setor de Aço 3 peças

Todos estes mapas, sob o enfoque da técnica SIPOC, foram desenvolvidos com base em entrevistas e dados da organização estudada e repassados, após execução virtual, para análises e correções dos especialistas.

Contudo, por ser uma empresa de grande porte e alto consumo de energia, torna-se inviável o estudo da planta completa nesta dissertação, devido ao tempo e custos inseridos nesta pesquisa. Por este motivo e pela sequência de passos de condução desta pesquisa, há o foco da fronteira do sistema, o qual é apresentado no próximo subtópico.

#### 4.4 Identificação da fronteira do sistema

Conforme dissertado no tópico anterior, é inviável o estudo focado em toda a extensão da empresa de autopeças. Para buscar os objetivos desta pesquisa, então, serão determinadas as fronteiras do sistema, separando quais setores ou células serão estudadas e desenvolvidas na continuação desta dissertação.

Os mediadores para a separação dos pontos a serem explorados são o consumo de energia elétrica setorial (pois o estudo se baseia em eficiência energética) e o diálogo com os especialistas do objeto de estudo. A Tabela 4.1 apresenta os dados disponibilizados pela empresa sobre o consumo mensal, entre janeiro e maio de 2012, de seus setores. Nota-se que não há a separação da usinagem em 1ª fase e 2ª fase e que os setores de metalização, cromação e peças sem cobertura estão aglomerados em um só setor.

Tabela 4.1 - Consumo por setor de janeiro a maio de 2012 em kWh

CONSUMO DE kWh												
Setor	jan/12		fev/12		mar/12		abr/12		mai/12		TOTAL	
Aço 3 Peças (produtos de aço)	272.220	4%	314.815	5%	306.363	4%	297.798	5%	306.325	5%	1.497.521	5%
Buchas	557.874	9%	508.318	8%	557.345	8%	578.038	10%	579.753	9%	2.781.328	9%
Ferramentaria	70.718	1%	96.261	2%	120.770	2%	115.280	2%	121.154	2%	524.183	2%
Fundição	1.123.997	18%	1.242.880	19%	1.323.168	19%	1.521.212	25%	1.283.024	19%	6.494.281	20%
Pré-Usinagem	675.074	11%	726.917	11%	530.676	8%	660.122	11%	715.414	11%	3.308.203	10%
Produto de aço (aço nitretado)	477.105	8%	421.376	7%	440.740	6%	447.114	7%	496.983	8%	2.283.318	7%
Restaurante	35.267	1%	35.749	1%	34.534	0%	39.836	1%	37.912	1%	183.298	1%
Usinagem	1.673.463	27%	1.558.730	24%	1.872.899	27%	1.605.453	26%	1.681.813	26%	8.392.358	26%
Utilidades	563.220	9%	615.047	10%	667.777	9%	595.950	10%	611.866	9%	3.053.860	9%
Outros	765.414	12%	860.989	13%	1.190.862	17%	212.897	4%	753.088	11%	3.783.250	12%
<b>TOTAL</b>	<b>6.214.352</b>		<b>6.381.082</b>		<b>7.045.134</b>		<b>6.073.700</b>		<b>6.587.332</b>		<b>32.301.600</b>	

À primeira vista, buscando a seleção de três unidades para serem pesquisadas, sobressaltam-se para análise o setor de usinagem, de fundição e de pré-usinagem, em vista do percentual de consumo deles. O setor de fundição, por se apresentar com processos comuns e com maquinário mais uniforme, torna-se o primeiro a ser designado para o estudo. O setor de usinagem e pré-usinagem contém diferentes tipos de maquinários para atividades e tarefas diversas, sendo que, por este motivo, os especialistas separaram para esta pesquisa as atividades baseadas nas máquinas de retificação trapezoidal em vista dos dados já estarem disponibilizados de forma rápida e organizada em relatórios da área. O terceiro setor foi escolhido tanto por observações dos especialistas quanto pela necessidade de se estudar uma função intermediária. O escolhido foi o setor de cromação, pois nota-se a utilização de eletrodeposição em suas atividades, o que pode ocasionar falhas de produção em caso de variação energética.

Portanto, o estudo foca nestes três setores: Fundição, Cromação e Retificação trapezoidal, sendo que no Tópico 4,5 estão explanadas suas funções base. Para cada um deles, serão seguidos os passos descritos no tópico Método de pesquisa, iniciando pelo mapeamento do estado atual (para explicar os processos) e seguindo para o mapeamento de falhas.

## 4.5 Mapeamento do estado atual

Por meio da identificação da fronteira do sistema, selecionaram-se três setores ou células de produção os quais o estudo se foca daqui em diante. Para cada um deles (fundição, cromação e retificação trapezoidal) realizaram-se entrevistas com os especialistas da área e desenvolveram-se os mapas dos processos, cumprindo, além da sequência de passos, um dos objetivos deste estudo.

Para tanto, utilizou-se a técnica IDEF0, que, conforme Aguilar-Savén (2004) é uma das mais comuns nos meios industriais, indicando as atividades do processo, ilustrando entradas, controles, saídas e mecanismos de produção.

Tal técnica foi utilizada para visualização do processo como um todo e percepção do equipamento crítico da célula, a fim de enfatizá-lo para o cálculo do OEE-E e gerar estudos aprimorados em cima do mesmo.

O primeiro setor a ser mapeado foi o de fundição, o qual apresenta a função de fundir as matérias-primas, de acordo com um receituário, em pastas metálicas para preenchimento dos moldes dos produtos programados. Sua principal máquina é o forno por indução eletromagnética, o qual é parametrizado para atingir temperaturas específicas e vaziar o material fundido nos moldes de produção. A Figura 4.10 ilustra o mapa deste setor, sendo as caixas de atividades numeradas de F1 a F6 (F de fundição; 1 a 6 das atividades).

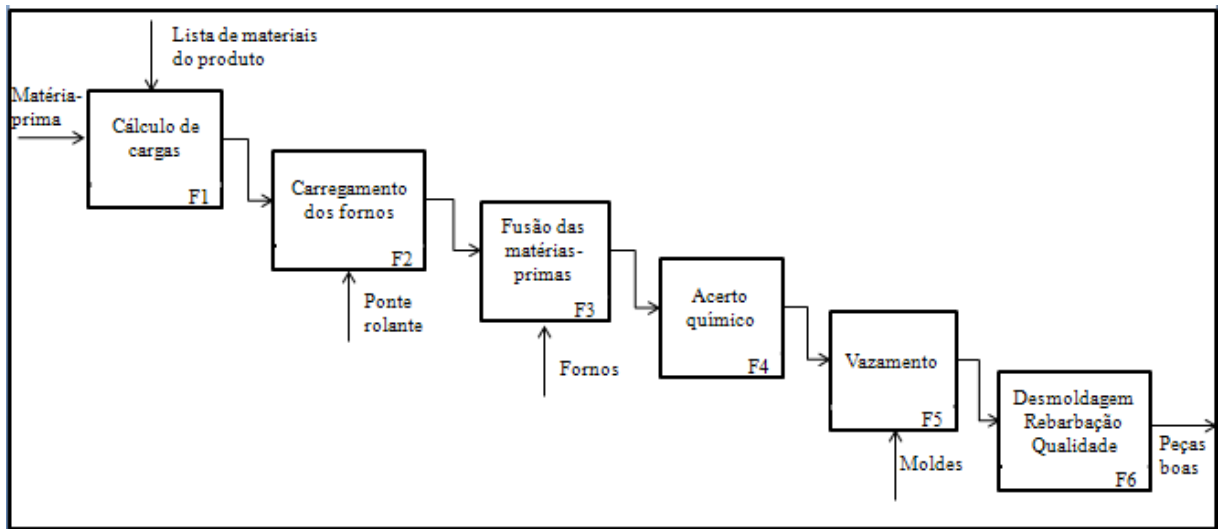


Figura 4.10 - IDEF0 Processo Fundição

O segundo processo em que os pesquisadores tomaram nota foi o de cromagem. Neste setor o produto em questão, apresentado como ‘anel’, entra após uma primeira fase de usinagem, já com sua forma dada. Ele é arqueado em forma de árvores para melhor aproveitamento de espaço e mergulhado em um banho de cromo para atingir as especificações dos clientes e depois enviado para uma segunda fase de usinagem. O principal maquinário deste setor é o tanque de cromação, no qual detém o fluido de cromo e por eletrodeposição, reveste as peças. Este processo é visualizado na Figura 4.11 segundo técnica IDEF0.

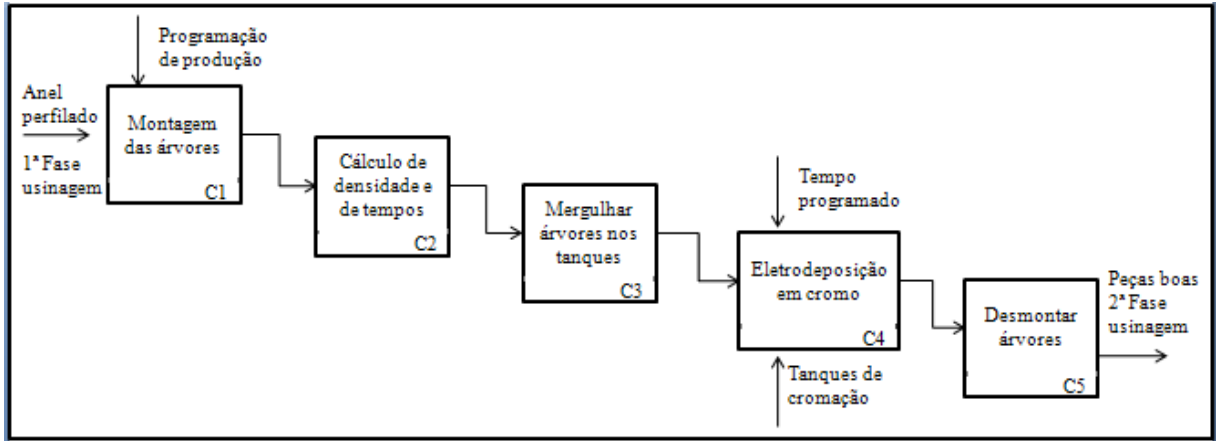


Figura 4.11 - IDEF0 Processo de Cromação

A terceira e última célula analisada pelos pesquisadores é a de retíficas, mais precisamente as trapezoidais. Por ser apenas uma parte do setor de usinagem de acabamento, o processo é simplificado, onde há a vistoria inicial do anel, *setup* dos dados de entrada na máquina, encaixe do anel no suporte e retificação do produto, finalizando com uma inspeção visual para avaliação de produtos bons ou não. O principal equipamento é a retífica trapezoidal, a qual trabalha em pares para maior produtividade na retificação dos lados do produto. A Figura 4.12 apresenta esta célula em sua ilustração.

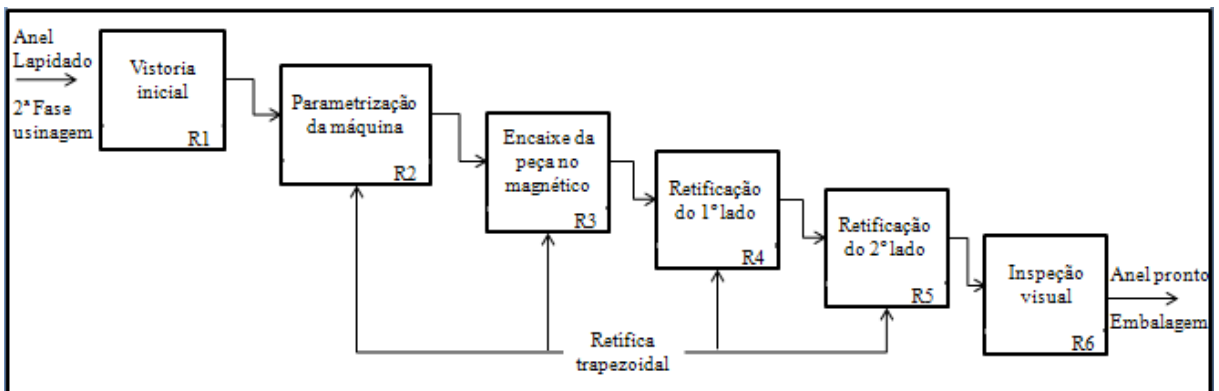


Figura 4.12 - IDEF0 Usinagem em retíficas trapezoidais

Diante dos três processos de fabricação apresentados, é possível dar ênfase maior a seus maquinários mais importantes, buscando melhorias que, por consequência, influenciam na eficácia global dos equipamentos, principalmente na particularidade da eficiência energética estudada neste trabalho. Contudo, para focar no OEE-E nestes maquinários, faz-se necessário obterem-se os dados relativos às falhas dos processos, para que as mesmas sejam visualizadas durante a aplicação do novo indicador.

## 4.6 FTA

Com o mapeamento dos três processos apresentado no tópico 4.5, nota-se que cada qual tem seu ponto chave ou atividade crítica em uma máquina, a qual é a maior consumidora do insumo energia do setor.

Analisando mais a fundo cada um destes maquinários e referenciando-os em conjunto com os três fatores básicos do OEE, podem-se averiguar quais as falhas passíveis de ocorrência no equipamento e criar planos de ações para solucioná-las de forma rápida, a fim de evitar maiores problemas para o setor e dar as diretrizes necessárias para o objetivo de se aplicar o OEE-E nos setores.

A ferramenta, já descrita no tópico 2.3, que representa, em forma de árvore, os modos de falhas e chega à causa raiz é o FTA. Por meio desta técnica, desenvolveram-se cada um dos mapas de falhas que estão neste tópico, sendo executados em entrevistas com os gestores das três áreas em questão.

Seguindo os passos ilustrados na Figura 3.3 do desdobramento do FTA, moldaram-se as árvores de falhas destes três setores, conforme os subtópicos apresentarão.

### 4.6.1 Definir evento topo

Utilizando por base a teoria do OEE, os mapas de falhas terão como evento topo os três índices deste indicador, atrelados aos problemas dos processos. Explanando, o índice de disponibilidade é apresentado no FTA como o modo de falha indisponibilidade da máquina, assim como o índice desempenho e qualidade são descritos como queda de desempenho e não-qualidade dos produtos, respectivamente.

Utilizou-se esta regra para manter o foco no desenvolvimento do indicador proposto neste trabalho, observando assim, as possíveis falhas que afetam os três índices do mesmo.

### 4.6.2 Entender o sistema

Para cada setor, conforme já dissertado no tópico do mapeamento do estado atual, foi realizado uma entrevista com os gestores e especialistas da área no objeto de estudo. Dentro das reuniões discorreu-se sobre o processo de trabalho e como a máquina em questão trabalhava.

A partir deste ponto, houve o entendimento inicial dos integrantes do projeto para com as particularidades do maquinário e iniciou-se a execução dos FTA de cada setor, utilizando os três eventos topos já descritos no tópico 4.6.1.

### 4.6.3 Construir a árvore de falhas

Durante as reuniões, por meio de questionamentos e interpretações do time do projeto, evoluiu-se com as árvores de falhas, focando em problemas relacionados à energia elétrica, o qual é a temática do projeto.

Para melhorar o entendimento de todos sobre o assunto, as reuniões contaram, além dos especialistas do setor, com um integrante do setor de manutenção do objeto de estudo.

Desenharam-se os mapas no local e passou-se para a fase de transpor os desenhos para meio virtual, a fim de se trabalhar e analisar de melhor forma os eventos descritos.

### 4.6.4 Avaliar a árvore de falhas

Após repassar para meio virtual, as árvores foram avaliadas, corrigidas e melhoradas em quesitos os quais os integrantes do projeto concluíram que eram de interesse maior. Para tanto, questionamentos via e-mails e telefonemas foram feitos para os especialistas, finalizando assim, os FTA para cada setor.

Apresentando então os mapas de falhas, os três primeiros referem-se ao setor de fundição do objeto de estudo, mais precisamente ao maquinário intitulado forno, que é o responsável pela fusão das matérias-primas. As Figuras 4.13, 4.14 e 4.15, respectivamente, apresentam a indisponibilidade, a queda de desempenho e a não- qualidade dos fornos.

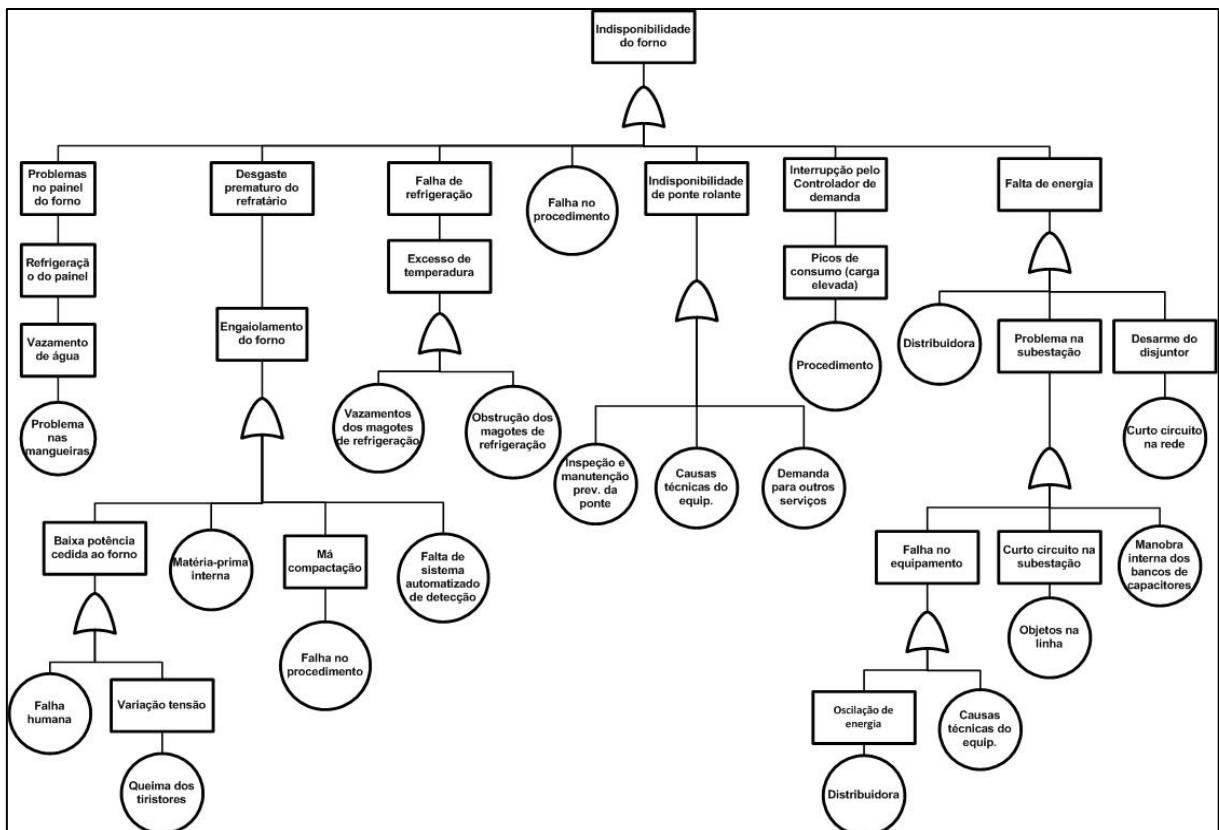


Figura 4.13 - FTA para o setor de Fundição: Indisponibilidade dos fornos

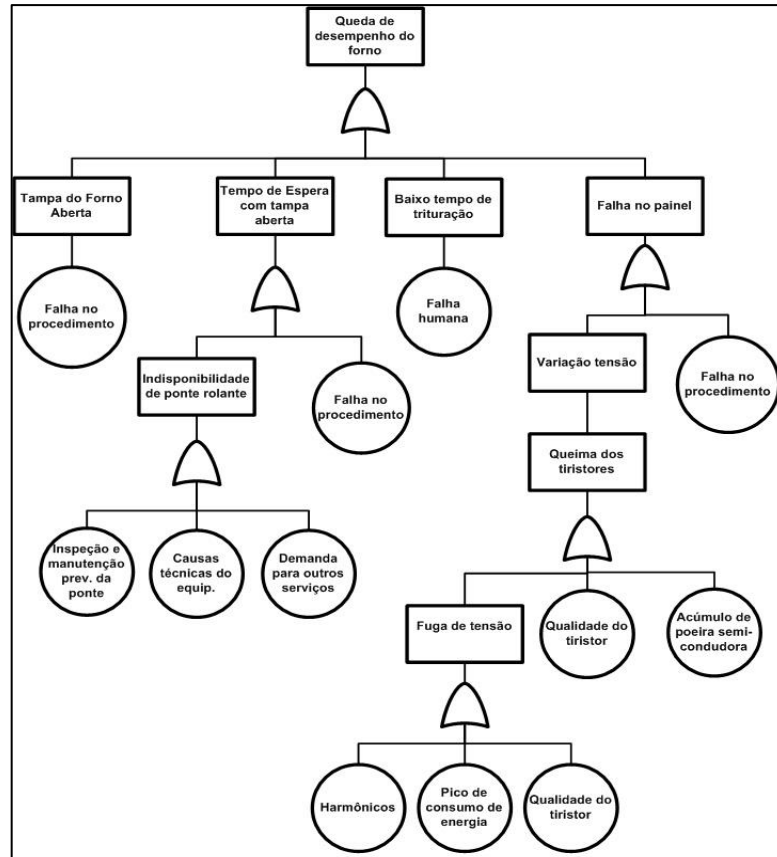


Figura 4.14 - FTA para o setor de Fundição: Queda de desempenho dos fornos

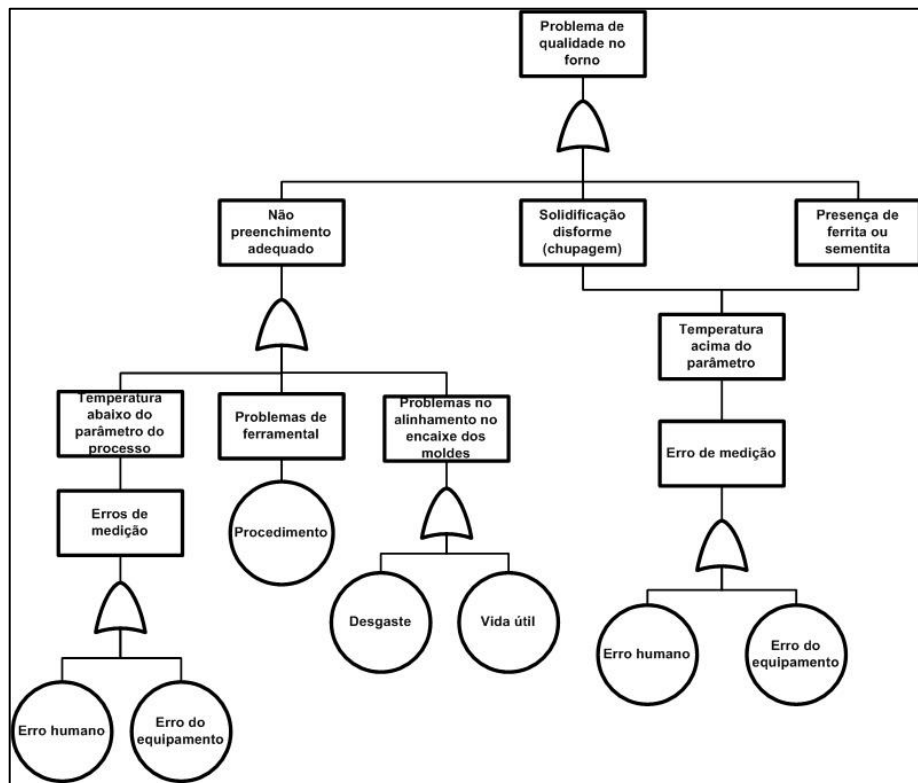


Figura 4.15 - FTA para o setor de Fundição: Problemas de qualidade dos fornos



Nota-se que, a respeito dos FTA do setor de fundição, várias causas raízes apareceram, contudo, poucas relacionadas a problemas com o insumo energia. Contudo, todas as falhas serão consideradas no tópico 4.7 para cálculo do OEE e do OEE-E, sendo salientadas as referentes a problemas relacionados à energia. No tópico 4.8.1 também serão visualizadas tais falhas energéticas para busca de melhorias.

Para o próximo setor do objeto de estudo, referente à cromação, apresentam-se as Figuras 4.16, 4.17 e 4.18, analisando, em foco, o equipamento intitulado tanque de cromação, para a execução dos mapas.

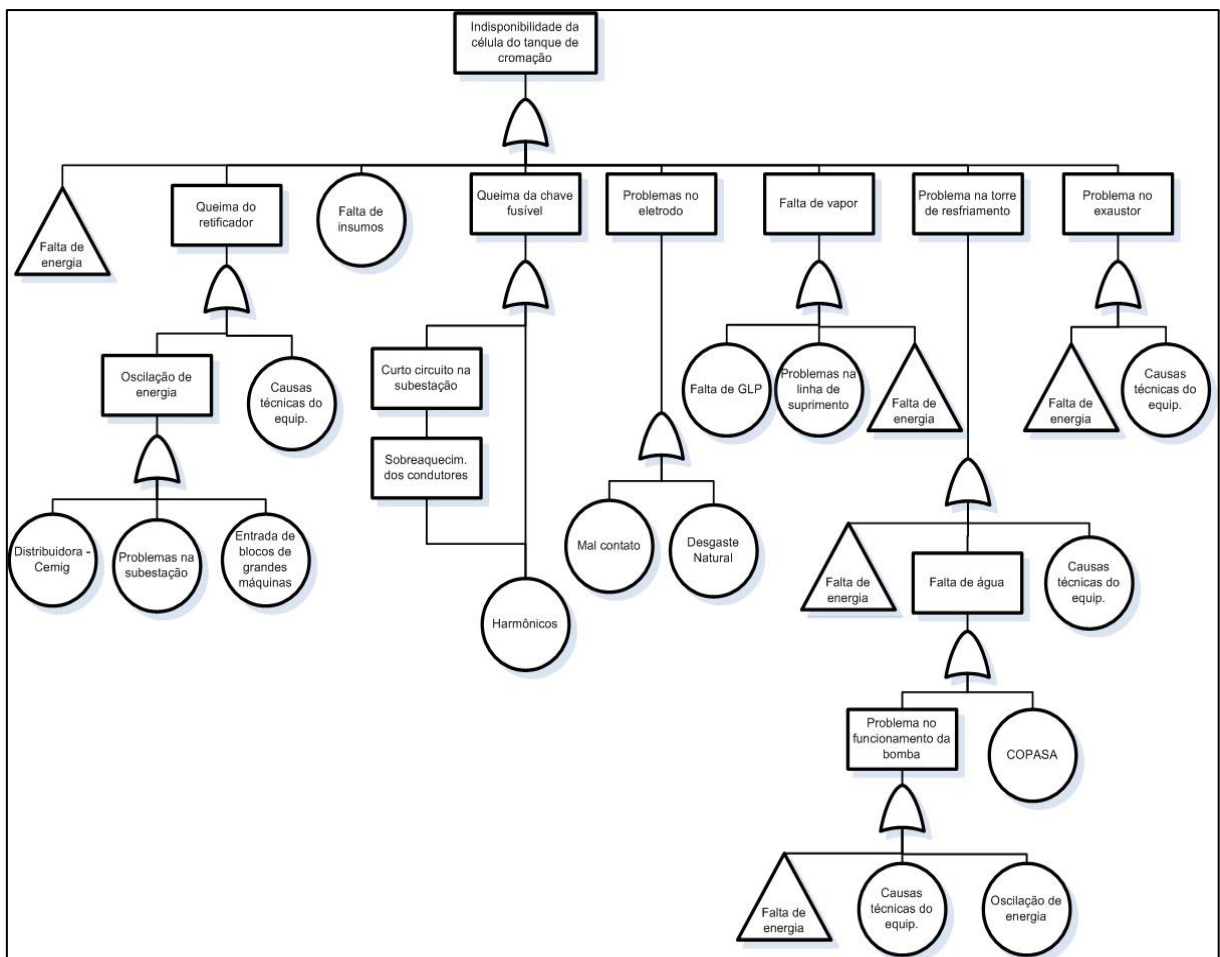


Figura 4.16 - FTA do setor de Cromação: Indisponibilidade dos tanques de cromação

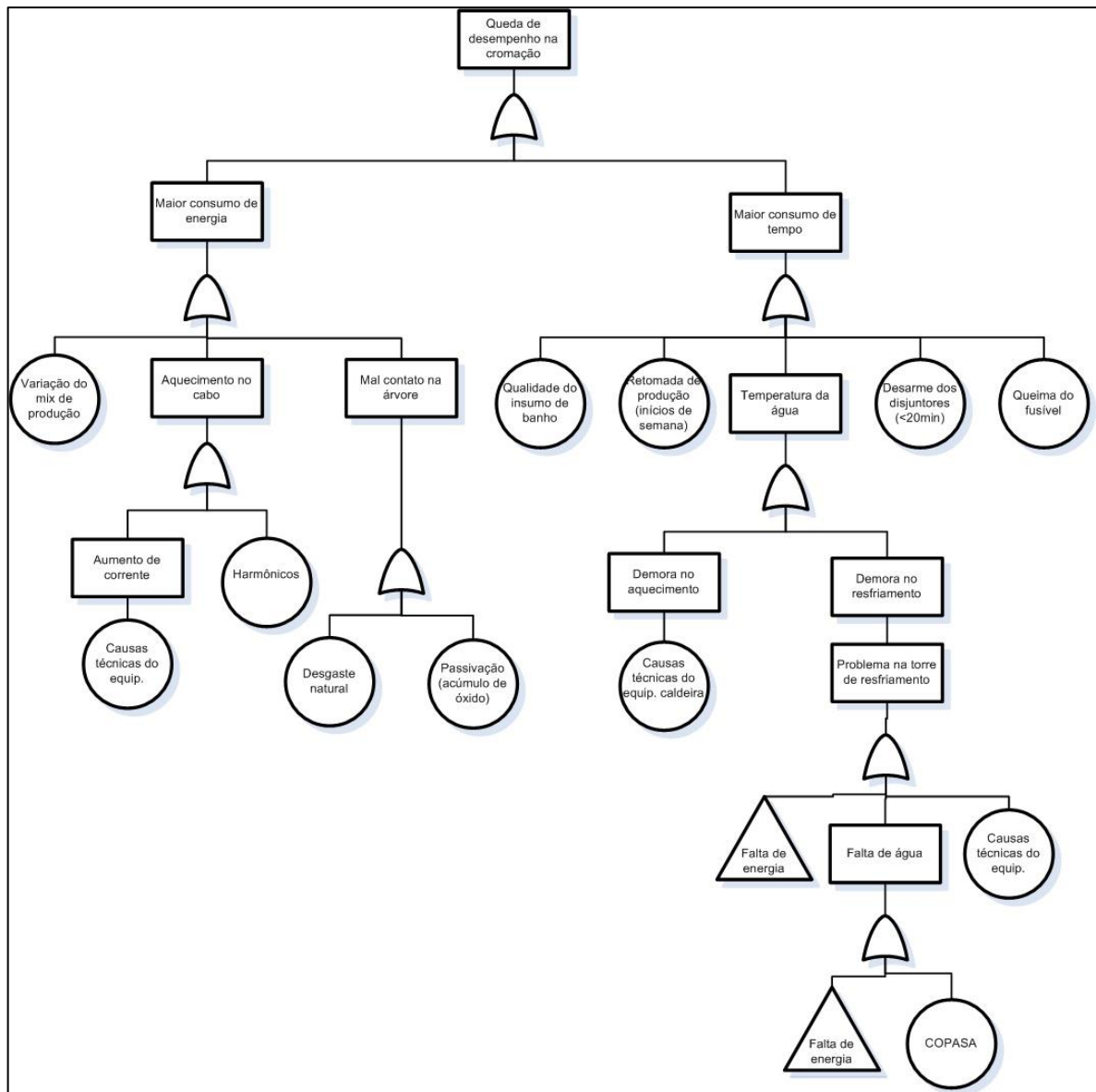


Figura 4.17 - FTA do setor de Cromação: Queda de desempenho dos tanques de cromação

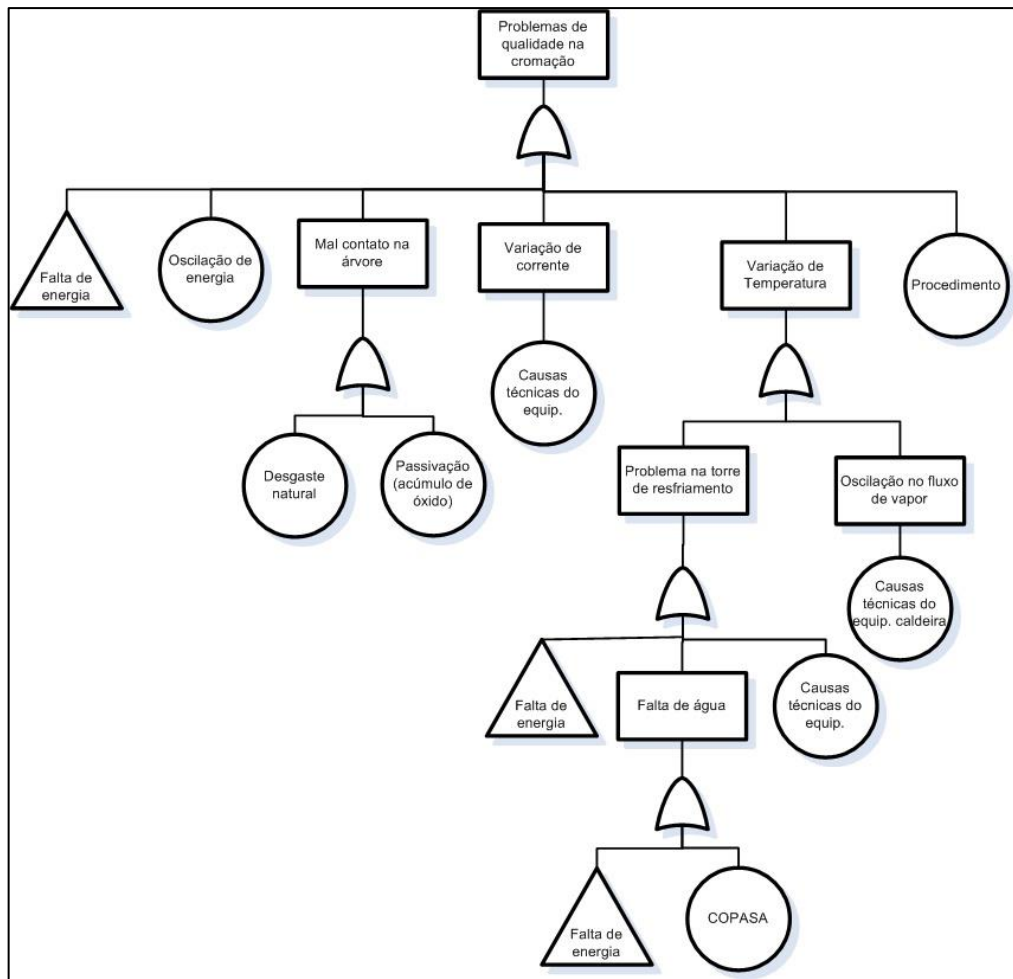


Figura 4.18 - FTA do setor de Cromação: Problemas de qualidade Tanques de cromação

Novamente podem ser observadas perante o objetivo de se analisar falhas relacionadas à energia elétrica, que os FTA do setor de cromação apresentam poucas causas raízes. Também é válida a premissa de que todas as árvores apresentadas foram realizadas com o intuito de averiguar possíveis falhas referentes à energia, sendo os entrevistados arguidos a criarem as árvores em conjunto com o grupo de projeto sob este aspecto.

O terceiro e último setor a ser estudado mais a fundo foi o de usinagem, mais precisamente nos equipamentos de retificação trapezoidal. As Figuras 4.19, 4.20 e 4.21 ilustram os FTA de indisponibilidade, queda de desempenho e não-qualidade, respectivamente, destes equipamentos, conforme os três índices padrões do OEE.

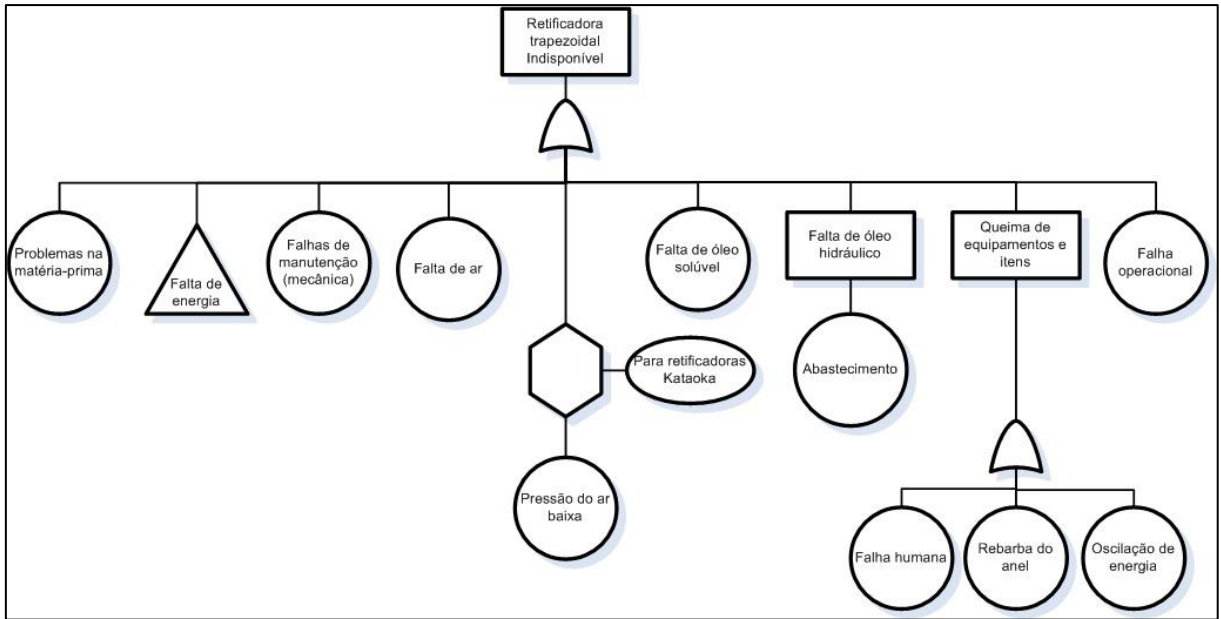


Figura 4.19 - FTA do setor de Retificação: Indisponibilidade das retificadoras

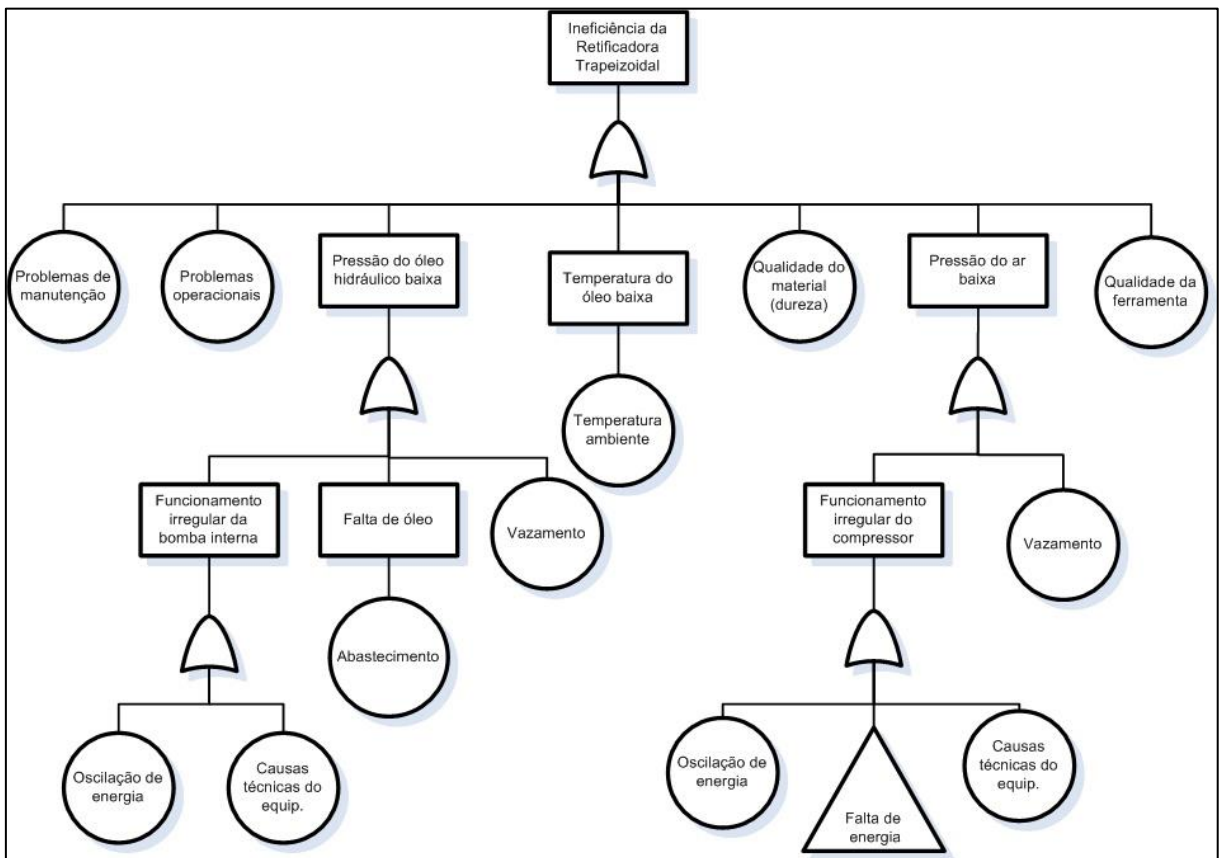


Figura 4.20 - FTA do setor de Retificação: Queda de desempenho das retificadoras

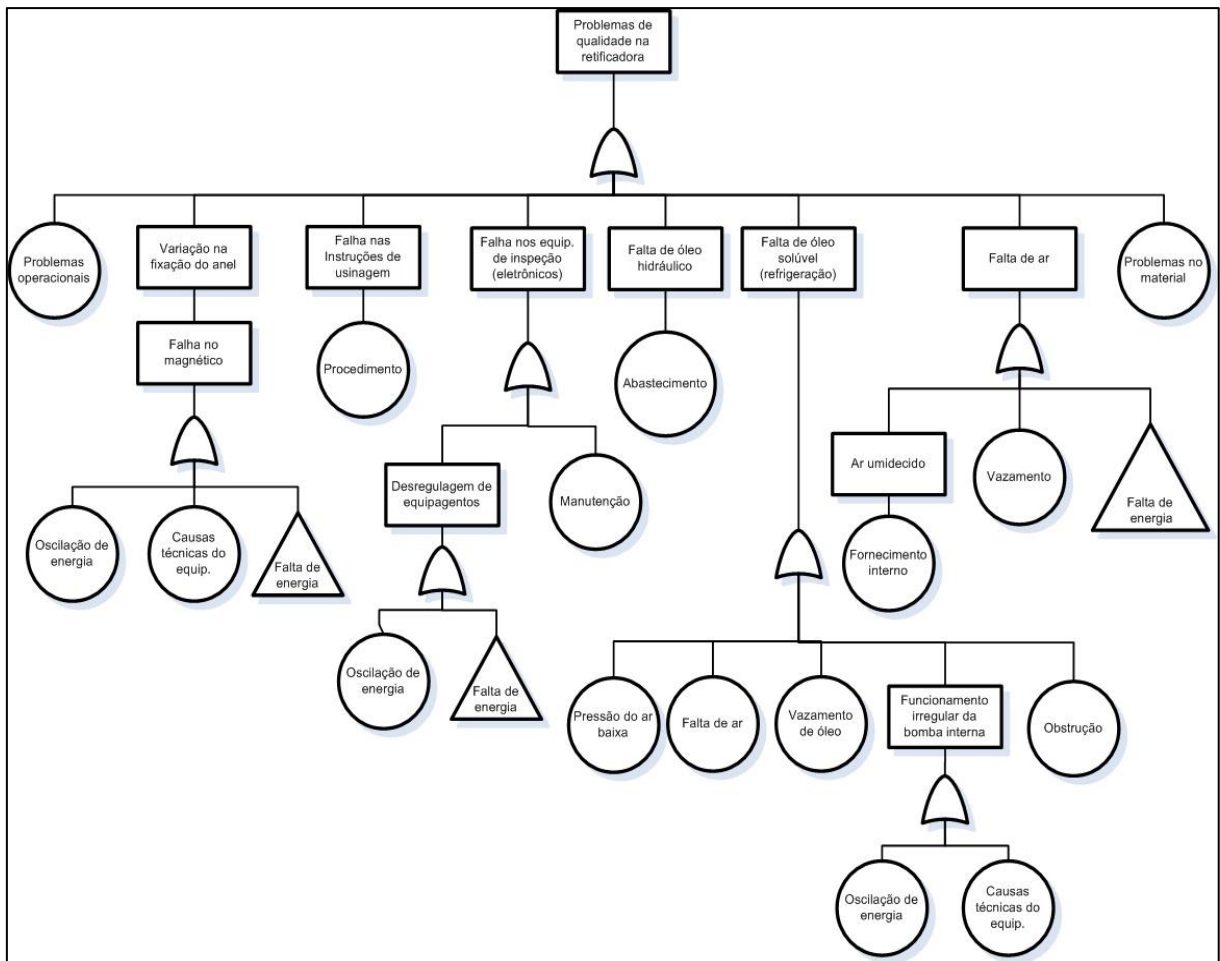


Figura 4.21 - FTA do setor de Retificação: Problemas de qualidade das retificadoras

O principal termo em comum em todos os mapas de falhas apresentados é o item ‘falta de energia’ o qual foi apresentado em forma triangular nas árvores de falhas até aqui. Para melhor compreensão do mesmo, efetuou-se uma FTA própria para ele, ilustrada na Figura 4.22, finalizando assim, a etapa para criação das árvores.

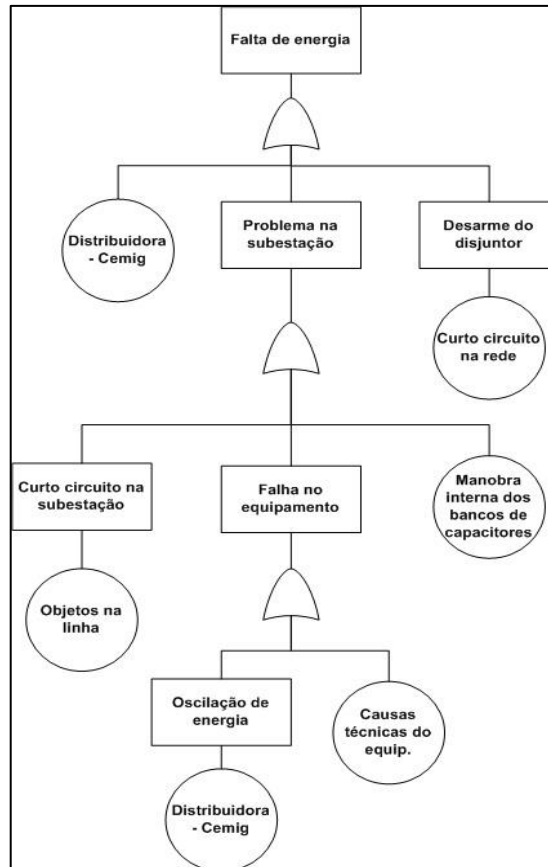


Figura 4.22 - FTA em comum nos setores: Falta de energia

#### 4.6.5 Implantar ações corretivas

Com os mapas de falhas realizados e as causas raízes apontadas, faz-se necessário a melhoria nos setores para se evitar que as mesmas ocorram e, por consequência, melhorar os índices do OEE-E dos setores.

Contudo, diante do objetivo deste trabalho e da proposta já dissertada no método de pesquisa do modelo integrativo, as implantações de aperfeiçoamentos não serão parte desta dissertação, sendo apenas sugeridas as melhorias no estudo dos modos e efeitos de falhas (FMEA) a ser apresentado no tópico 4.8 desta pesquisa.

### 4.7 OEE-E

#### 4.7.1 Definição do OEE-E

Todos os passos supracitados tendem a aplicar o indicador proposto denominada OEE-E. Este novo apontador é encaixado na literatura como uma adaptação do OEE, sendo ainda corroborado pela literatura conforme explanação deste tópico.

Nota-se que, algumas empresas estão evoluindo medidas padrões e comumente utilizadas nos meios industriais para outras experimentações, a fim de superar problemas e trazer melhorias para as organizações. Caracterizam-se também pela estratégia de focar no cliente, na qualidade dos produtos e na agilidade de produção e de entrega. Busca-se, assim, captar a amplitude e a essência das mudanças fundamentais que ocorrem nas empresas, ou seja, buscar a chamada manufatura de classe mundial (abordagem integrada para se ganhar vantagem competitiva em cada operação da empresa) (MARUGESAN, KUMAR e KUMAR, 2012; MASKELL, 1991).

Zhu (2011) disserta, também em manufaturas, que os equipamentos são um importante elemento dos sistemas de produção e que seus estados e níveis afetam tanto a produtividade como a qualidade e os custos diretos de produção. Dentro deste contexto, ressalta-se a importância da energia elétrica para o funcionamento correto destes equipamentos, sem perdas para a empresa, focando assim no objetivo deste trabalho.

Para eliminar as perdas ou gerir de melhor forma os recursos, indicadores elétricos também podem ser utilizados, no contexto desta pesquisa. Contudo, tais marcadores acabam por não satisfazer plenamente os gestores, devido à baixa amplitude de informações de seus resultados.

Conforme anteriormente citado, exemplos de indicadores para eficiência energética podem ser visto no trabalho de Rocha e Monteiro (2005) como o consumo médio específico (CMe) e o custo médio específico, sendo que o primeiro é a razão entre o consumo de energia do setor pela produção total e o segundo sendo a razão entre as despesas financeiras com energia do setor pela produção.

Contudo, estes cálculos não regem as informações do equipamento por inteiro e sim de partes específicas que transformam a energia em movimento, pressão, calor, entre outros mecanismos. Tais mecanismos serão chamados, nesta pesquisa, de utilidades, pois transformam correntes elétricas em utilidades funcionais do maquinário para sua produção.

A Figura 1.4 já apresentava a utilidade em seu esquema, fazendo com que a energia (insumo de entrada), se transforme em utilidades de funções para que o equipamento trabalhe e gere produtos na quantidade e qualidade exigidos.

Com isto ressalta-se que há influência externa ao maquinário da energia, corroborando com Braglia, Frosolini e Zammori (2009) e Ron e Rooda (2005) nas afirmações de que fatores externos podem interferir no indicador e devem ser considerados em cálculos e ênfases. Já Rocha e Monteiro (2005), em seu guia, enfatizam o quanto as empresas podem ganhar financeiramente e em custos de produção, ao gerir adequadamente o recurso energia

elétrica nos equipamentos, levando-o à condição de essencial para o funcionamento da organização.

Ajustando então a condição especial que a energia tem em meios industriais com a necessidade de se controlar e melhorar o ambiente fabril, este trabalho foca na utilização de um novo indicador, baseado no OEE e chamado aqui de Eficácia global do equipamento para eficiência elétrica (OEE-E), indo ao encontro do trabalho de Ferreira Junior *et al.* (2012).

Tal indicador ressalta as seis grandes falhas dos equipamentos assim como o OEE tradicional, porém enfatiza apenas as falhas relacionadas a problemas resultantes de falhas energéticas. Exemplificando, se a disponibilidade de um equipamento é atrapalhada por perdas e com isto seu índice IA sofre redução percentual, no caso do OEE-E, apenas serão consideradas as perdas sofridas por questões energéticas, ou seja, todas as outras perdas não entrarão no cálculo, resultando assim em um índice de disponibilidade energético do equipamento (IAe).

Com isto, a Figura 4.23 ilustra esta abordagem voltada a ‘problemas relacionados à energia’ (PRE) e o cálculo para o OEE-E apresentar-se-á de acordo com a equação 5.

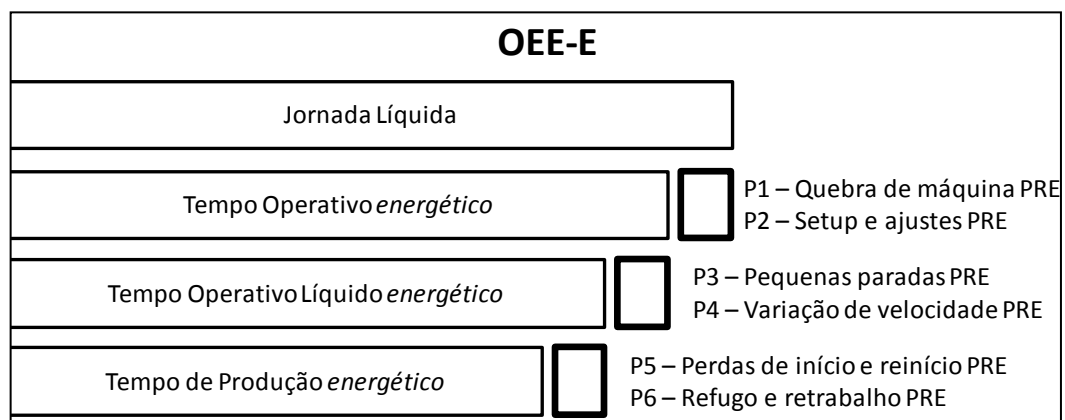


Figura 4.23 - OEE-E

$$OEE-E = IAe \times IPe \times IQe \quad (5)$$

Dado este novo indicador, observa-se seu foco na questão energética e também se permite análises específicas para comparações deste recurso, conforme tópico 2.1, sendo este o tema da pesquisa.

#### 4.7.2 Cálculo do OEE-E a partir da árvore de falhas

Com o intuito de atingir o objetivo deste trabalho, com a definição já dada do novo indicador e com as árvores já dispostas em caráter final, pode-se, agora, desenvolver a



aplicação e cálculo do OEE-E, utilizando, para tanto, os dados apresentados em cada FTA, no Tópico 4.6.

Para a planilha padrão de coleta de dados, utilizou-se o artifício de recolhimento escalonado, sendo que, cada FTA de cada índice do OEE foi subdividido em três níveis, de acordo com o potencial de percepção dos envolvidos na coleta.

Tais níveis foram divididos de forma a que, em um primeiro plano os próprios operadores do maquinário determinam os modos de falha que conseguem perceber dentro da árvore apresentada a eles, ou seja, um primeiro parâmetro para averiguações. Em um segundo plano, os responsáveis pela manutenção dos equipamentos resgatariam a mesma planilha disposta pelos operadores e determinariam as causas raízes dos problemas, pois conheceriam o FTA completo. Por fim, em um terceiro nível, os responsáveis pelo OEE-E separariam os modos de falhas referentes a problemas baseados em energia elétrica e efetuariam os cálculos do indicador.

Exemplificando, por meio do FTA do setor de fundição, resgatam-se as Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 que apresentam as árvores de falhas respectivamente da indisponibilidade dos fornos, queda de desempenho e não-qualidade. Dentro de cada uma delas, o primeiro nível, o qual seria função do operador selecionar o modo de falha, é representado pela primeira linha de possibilidades, ou seja, no índice de disponibilidade, o operador vendo que a máquina está indisponível por determinada razão, conferiria neste FTA qual seria o possível modo de falha que resultou nesta parada do equipamento, podendo ser: problemas no painel do forno; desgaste prematuro do refratário; falta de refrigeração; falha no procedimento; indisponibilidade da ponte rolante; interrupção do controlador de demanda; ou falta de energia. Ao marcar o tempo de máquina parado e o modo de falha, a ficha passaria para o setor de manutenção, que confirmaria o modo de falha observaria sua causa raiz. Por fim, o grupo responsável pelo indicador depuraria os dados e separaria os termos referentes a problemas relacionados à energia elétrica, calculando assim o OEE-E.

O mesmo procedimento se encaixa para os índices de desempenho e de qualidade, ressaltando que para o desempenho do equipamento faz-se necessário também a inclusão do quanto era esperado produzir e do quanto realmente foi produzido no período e para a qualidade, o número de peças defeituosas ou enviadas para refugo.

A Tabela 4.2 demonstra a máscara para a coleta de dados, onde a mesma se divide em nos três índices do OEE-E. No primeiro terço, o operador do maquinário em questão anotaria o período de tempo o qual a marcação se refere, os minutos disponíveis, retirando paradas já programadas pela administração ou manutenção. Marca-se também o tempo paralisado por

falhas inesperadas no processo, enfatizando qual a causa desta interrupção. No segundo terço da tabela, elabora-se o índice de desempenho, o qual necessita do tempo padrão (TP) de produção das peças para o cálculo de quantas peças são planejadas dentro do tempo operativo (somente o tempo de disponibilidade da máquina). Em seguida, sinaliza-se a produção real dentro deste período e enfatiza-se, caso ocorram, as falhas que geraram tal perda. Finalizando, a terceira parte da Tabela 4.2 observa o índice qualidade do OEE-E, denotando a quantidade de peças com defeitos e as causas para este número. Nota-se que todas as causas descritas pelos funcionários ao preencher os dados dever ser vinculadas às causas raízes apresentadas no FTA de cada setor, mantendo o padrão e facilitando a compreensão das informações.

Tabela 4.2 - Máscara da tabela para coleta de dados do OEE-E

DISPONIBILIDADE				
Hora	Minutos Disponíveis	Minutos Paralisados	Modo de Falha	Causa

DESEMPENHO				
tp =	Anéis Planejados	Anéis Produzidos	Modo de Falha	Causa

QUALIDADE		
Anéis com problemas	Modo de Falha	Causa

### 4.7.3 Aplicação no setor de Retificação Trapezoidal

Dos três setores em análise nesta pesquisa, o que se tornou piloto para implantação do OEE-E foi o de retificação trapezoidal. Tal escolha se deu pelo envolvimento da gerência da área e pela já utilização do indicador OEE em cada maquinário. Dissertando a respeito deste maquinário, tem-se que é o equipamento responsável por dar acabamento e inclinação necessários aos anéis produzidos. O mesmo operando em pares ou conjuntos, sendo que cada um dos pares é responsável por trabalhar um lado do anel. Além de energia elétrica, estes equipamentos têm ainda como insumos: ar comprimido, água e óleo. A Figura 4.24 ilustra o maquinário estudado dentro deste setor.

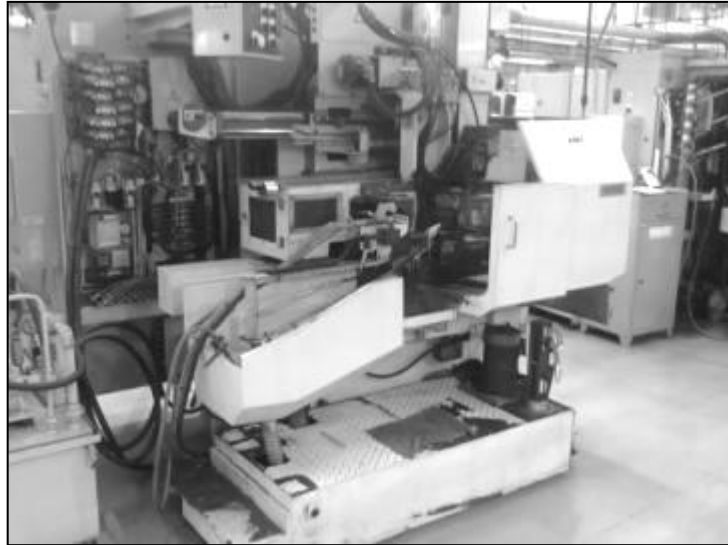


Figura 4.24 - Retífica trapezoidal

Focando com maior intensidade neste setor, coletaram-se alguns dados referentes a uma das máquinas, para compreensão dos recursos utilizados por ela. Para tanto, um medidor de grandezas elétricas foi instalado neste maquinário específico em seu painel, coletando o consumo real semanal.

O consumo total de energia elétrica neste período foi de 581,2 kWh. A Figura 4.25 apresenta o perfil de consumo desta semana, resultando em um consumo médio diário, com exceção do domingo, de 96,8 kWh.

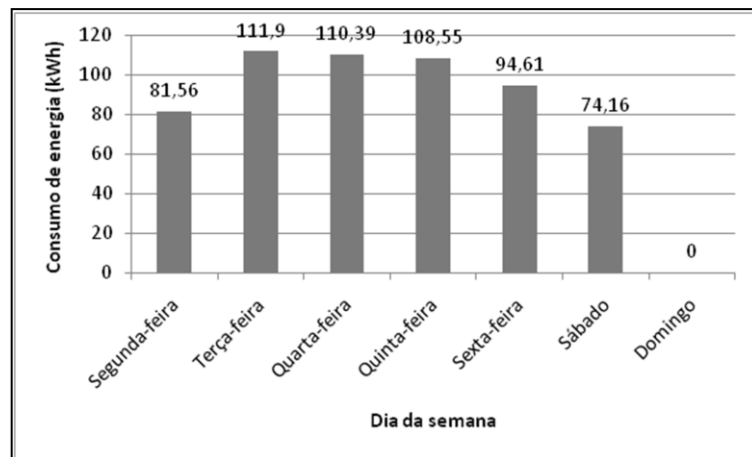


Figura 4.25 - Consumo diário do período coletado

Por dados também coletados na empresa, tem-se que a produção deste maquinário no período estudado deveria ser de 16738 peças, contudo, devido a perdas diversas, a produção final foi de 14857 peças. Utilizando a Equação (2) apresentada no tópico de Eficiência energética, chega-se ao indicador padrão produtividade real e também o utiliza para o

previsto, utilizando como numerador, a produção prevista. Tais cálculos são apresentados nas Equações (6) e (7). A Equação (8) apresenta a perda percentual entre a produtividade real e a virtual.

$$\text{Produtividade real} = \frac{14857 \text{ p}\text{çs}}{581,2 \text{ kWh}} = 25,56 \text{ p}\text{çs/kWh} \quad (6)$$

$$\text{Produtividade prevista} = \frac{16738 \text{ p}\text{çs}}{581,2 \text{ kWh}} = 28,80 \text{ p}\text{çs/kWh} \quad (7)$$

$$\text{Perda \%} = 1 - \frac{25,56 \text{ p}\text{çs/kWh}}{28,80 \text{ p}\text{çs/kWh}} = 11,25\% \quad (8)$$

Utilizou-se para estes cálculos o consumo real de energia do maquinário no período em questão, contudo deve-se lembrar que há perdas relacionadas à energia elétrica que não estão incluídas neste cálculo. Para contabilizar tal perda energética, utiliza-se o indicador proposto neste trabalho (OEE-E), visando, com os dados apurados, melhorá-lo para aumentar a eficiência energética apresentada.

Para facilitar a coleta de dados para o OEE-E, a planilha já utilizada pelos operadores do setor foi alterada compondo também os modos de falhas descritos nas árvores de falha das retificadoras (Figuras 4.19, 4.20 e 4.21). Os próprios operadores marcam os possíveis motivos de paradas, conforme primeira etapa do preenchimento da Tabela 4.2, porém durante a coleta do setor piloto, falhas ocorreram na marcação, como a não elucidação dos modos de falhas e causas das mesmas nas folhas de coleta de dados. Por isto, buscou-se maior envolvimento da gerência do setor e também a inclusão de um estagiário para melhorar a coleta de dados. Mesmo ocorrendo melhora na marcação, ainda houve erros ou omissões nas planilhas utilizadas para a indexação dos dados. Por fim, então, coube aos pesquisadores proporem, por considerações empíricas, que alguns modos de falhas ocorreram por causas elétricas, como por exemplo, falhas de manutenção elétrica e falta de energia, sendo inserido no cálculo da eficácia global do equipamento para eficiência energética.

Os dados foram coletados no setor piloto por em média 15 dias úteis e compilados, calculados e analisados de acordo com a formulação proposta pelo OEE-E e ditada na equação (5). Contudo, por não haver dados baseados em tempo para os índices de desempenho e de qualidade, a equação foi alterada para base produtiva, ou seja, o IP será dado pela relação entre o produzido efetivamente e a previsão de produção e o IQ será dado pela razão entre o total de defeito e o total produzido. Provê-se assim, pelo produto dos índices, o percentual de eficácia do equipamento e o OEE-E.

O Apêndice 1 mostra um exemplo da tabela de coleta de dados para um dos nove maquinários pesquisados, salientando ao seu final os cálculos do OEE e do OEE-E conforme a dissertação aborda. O Apêndice 2 ilustra ainda, por gráfico de Pareto, quais as falhas de maior impacto neste setor piloto, conforme dados coletados. Já a Tabela 4.3 apresenta o resumo dos dados coletados no período médio de teste de quinze dias úteis neste setor, salientando o indicador OEE-E para a melhoria contínua do mesmo.

Fica evidente que o período de testes mostrou-se útil para uma primeira abordagem deste indicador, porém nota-se a necessidade de explorar, em futuros trabalhos, uma aplicação total do mesmo.

Finalizando, a partir dos dados, pode-se concluir que o setor possui um índice baixo de Eficácia Global, de cerca de 50%, tendo oportunidades de melhoria para o mesmo, principalmente no quesito disponibilidade do equipamento. Nota-se também que 2,71% das falhas foram relacionadas com problemas energéticos, sendo este o foco do trabalho. Para melhoria deste índice, com a possibilidade de minimização ou eliminação das falhas relacionadas à energia, o próximo tópico discorrerá da técnica FMEA com o intuito de apresentar possíveis soluções.

Tabela 4.3 - Resumo dos dados coletados para OEE e OEE-E

<b>OEE Geral</b>																				
Conjuntos	Minutos disponíveis	Minutos paralisados	Peças planejadas	Peças produzidas	Diferença Produção	Peças com problemas														
AB	13032	5651	16775	13776	2999	5														
CD	13482	6731	15415	12851	2564	34														
EF	12978	4236	22472	18399	4073	5														
GH	22620	9107	30069	27619	2450	35														
IJ	50565	22029	61480	52462	9018	106														
KL	25200	7297	39903	34087	5816	108														
MN	14238	8762	11338	10416	1867	46														
OP	24000	10675	29089	23133	5956	48														
QR	21294	7766	30625	27663	2836	116														
<b>Total</b>	<b>197409</b>	<b>82254</b>	<b>257166</b>	<b>220406</b>	<b>37579</b>	<b>503</b>														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">IA</td> <td style="width: 15%;">58,33%</td> <td colspan="2"></td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>OEE geral</b></td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>49,70%</b></td> </tr> <tr> <td>IP</td> <td>85,39%</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>IQ</td> <td>99,77%</td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>							IA	58,33%			<b>OEE geral</b>	<b>49,70%</b>	IP	85,39%			IQ	99,77%		
IA	58,33%			<b>OEE geral</b>	<b>49,70%</b>															
IP	85,39%																			
IQ	99,77%																			

<b>OEE-E Geral</b>																				
Conjuntos	Minutos disponíveis	Minutos paralisados	Peças planejadas	Peças produzidas	Diferença Produção	Peças com problemas														
AB	13032	738	16775	13776	61	0														
CD	13482	90	15415	12851	8	0														
EF	12978	607	22472	18399	132	0														
GH	22620	360	30069	27619	16	0														
IJ	50565	2131	61480	52462	202	12														
KL	25200	245	39903	34087	46	0														
MN	14238	120	11338	10416	4	0														
OP	24000	420	29089	23133	73	0														
QR	21294	210	30625	27663	9	0														
<b>Total</b>	<b>197409</b>	<b>4921</b>	<b>257166</b>	<b>220406</b>	<b>551</b>	<b>12</b>														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">IAE</td> <td style="width: 15%;">97,51%</td> <td colspan="2"></td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>OEE-E geral</b></td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>97,29%</b></td> </tr> <tr> <td>IPE</td> <td>99,79%</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>IQE</td> <td>99,99%</td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>							IAE	97,51%			<b>OEE-E geral</b>	<b>97,29%</b>	IPE	99,79%			IQE	99,99%		
IAE	97,51%			<b>OEE-E geral</b>	<b>97,29%</b>															
IPE	99,79%																			
IQE	99,99%																			

## 4.8 FMEA

Após a demonstração do cálculo do OEE-E com a utilização das árvores de falhas observa-se o quanto se pode vir a melhorar o indicador propondo e executando soluções para os modos de falhas podem vir a ocorrer. Para apresentar tais ações a serem tomadas, retorna-se às etapas descritas no método de pesquisa desta dissertação, sendo este o sétimo passo: a aplicação do FMEA.

Segundo Oliveira, Paiva e Almeida (2010), FMEA é uma técnica que considera uma taxa crítica por meio de índices de ocorrência, detecção e severidade, de forma a ranquear as falhas para que as com maior grau de risco sejam solucionadas primeiro.

Para tanto, os passos descritos na Figura 3.4 serão explorados mais a fundo, salientando as falhas ilustradas nos FTA para melhoria do indicador pesquisado nesta dissertação.

#### 4.8.1 Identificar falhas potenciais

Primeiramente, devem-se separar as falhas potenciais a serem averiguadas pelo FMEA. Para tanto, cada FTA mapeado no tópico 4.6 foi analisado e reorganizado, com a finalidade de extrair apenas as falhas provenientes de problemas relacionados à energia elétrica. Com isto, o

Quadro 4.3 foi montado, apresentando para cada um dos índices do OEE padrão, as falhas expostas, separadas por cada maquinário.

Quadro 4.3 - Falhas potenciais nos setores

Índice OEE	Setor/Equipamento em estudo		
	<i>FORNOS POR INDUÇÃO</i>	<i>TANQUES DE CROMAÇÃO</i>	<i>RETÍFICAS TRAPEZOIDAIS</i>
<i>Indisponibilidade</i>	Queima de tiristores	Falta de energia	Falha na distribuidora
	Falha na distribuidora	Harmônicos na chave do fusível	Curto circuito na rede
	Curto circuito na rede	Mal contato do eletrodo	Oscilação de energia
		Desgaste do eletrodo	
<i>Queda de desempenho</i>		Oscilação de energia	
	Harmônicos	Harmônicos no cabo de abastecimento	Oscilação de energia na bomba interna
	Pico de consumo de energia	Desarme dos disjuntores	Oscilação de energia no compressor
		Queima do fusível	Falha na distribuidora
		Falha na distribuidora	Curto circuito na rede
<i>Não-qualidade</i>		Curto circuito na rede	
		Falha na distribuidora	Oscilação de energia no magnético
		Curto circuito na rede	Oscilação de energia na bomba interna
		Oscilação de energia	Oscilação de energia nos equip. de inspeção
			Falha na distribuidora
		Curto circuito na rede	

Para cada falha separada, deve-se calcular o número de risco de prioridade (RPN) e ranqueá-las para combater as que mais afetam os índices do OEE, tendo, por consequência, um percentual maior de eficácia global dos equipamentos.

#### 4.8.2 Determinar níveis críticos

O segundo passo dentro do FMEA é a determinação dos níveis de ocorrência, detecção e severidade, para lançamento das notas, falha a falha, e posterior cálculo e ranqueamento.

Utilizando o trabalho de Oliveira, Paiva e Almeida (2010) por base, os autores selecionaram níveis para os três índices do FMEA de acordo com o Quadro 4.4. Nele, a escala utilizada é de cunho qualitativo levando a dados qualitativos, ou seja, para o índice de ocorrência, caso uma das falhas seja classificada como improvável, o número a ser lançado

será 1; caso seja classificada como muito pequena, poderá ser lançado os números 2 ou 3; e assim sucessivamente, de acordo com dados ou entrevistas com especialistas do setor.

No caso desta pesquisa, para lançamento dos dados em cada falha potencial, foi realizada uma nova entrevista com os gestores dos três setores e inclusos os valores, conforme o tópico 4.7.3 apresentará em seu contexto.

Quadro 4.4 - Índices FMEA

Ocorrência		Detecção		Severidade									
Improvável	1	Alta	1	Apenas perceptível	1								
Muito pequena	2 a 3	Moderada	2 a 3	Pouca importância	2 a 3								
Moderada	4 a 6	Pequena	4 a 6	Moderada	4 a 6								
Alta	7 a 8	Muito pequena	7 a 8	Grave	7 a 8								
Alarmante	9 a 10	Improvável	9 a 10	Gravíssima	9 a 10								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Graus de prioridade de risco</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Baixo</td> <td>1 a 100</td> </tr> <tr> <td>Moderado</td> <td>101 a 300</td> </tr> <tr> <td>Alto</td> <td>301 a 1000</td> </tr> </tbody> </table>						Graus de prioridade de risco		Baixo	1 a 100	Moderado	101 a 300	Alto	301 a 1000
Graus de prioridade de risco													
Baixo	1 a 100												
Moderado	101 a 300												
Alto	301 a 1000												

Fonte: Adaptado de Oliveira, Paiva e Almeida (2010)

### 4.8.3 Calcular e ranquear RPN

Com as falhas potenciais enfatizadas com relação a problemas causados por energia elétrica nos equipamentos dos três setores estudados e com os índices para pontuação pelo FMEA, cabe agora a montagem do quadro classificando as falhas com maiores graus de prioridade de risco para serem corrigidas em primeira instância, e assim, aumentar o nível do indicador OEE-E.

Para execução de tal quadro, foram realizadas entrevistas com os gestores das áreas, os quais pontuaram cada falha em cada índice. A

Tabela 4.4 apresenta a máscara estruturada para a coleta do FMEA durante as entrevistas, sendo utilizada como modelo, a tabela de coleta de dados apresentada no trabalho de Oliveira, Paiva e Almeida (2010).

Tabela 4.4 - Máscara da tabela para coleta de dados FMEA

FMEA energético							
FTA	Modos de falha	Controles atuais	Índices			RPN	Ação recomendada
			O	D	S		
Indisponibilidade						0	
Queda desemp.						0	
Não qualidade						0	



Explanando a tabela, a mesma conta com a primeira coluna relacionando os três índices do OEE-E para com seus modos de falhas apresentados pelas árvores de falhas de cada setor, na segunda coluna. A terceira coluna apresenta um campo para inserção, caso já exista, de algum controle para a falha apresentada na linha. Para o cálculo do RPN faz-se necessário agora a obtenção dos valores dirigidos pela entrevista e pelo Quadro 4.4 dos graus de ocorrência (O), detecção (D) e severidade (S), sendo inseridos e multiplicados já pela planilha, de acordo com a equação (9). Por fim, um último campo para entrada de ações recomendadas pelos próprios entrevistados para minimizar ou extinguir a falha relacionada. Por fim, a planilha é remanejada a fim de se obter a ordem decrescente do RPN de cada setor, para buscar a melhoria nos de maior valor primeiramente.

$$RPN = O \times D \times S \quad (9)$$

#### **4.8.4 Propor e executar melhorias**

Com os dados coletados, conforme ditado anteriormente, os Quadros 4.5, 4.6 e 4.7 são apresentados demonstrando as falhas com maior interferência, segundo os especialistas e as possíveis soluções para as mesmas, aumentando o percentual deste indicador.

No Quadro 4.5, explanando seu conteúdo, apresenta-se o FMEA para o setor de fundição da empresa, separando os modos de falhas conforme

Quadro 4.3 e pontuando os índices de acordo com o Quadro 4.4, sendo classificados do maior para o menor segundo o RPN. Na última coluna, recomendam-se ações a serem tomadas para a eliminação ou redução dos modos de falhas, enfatizando contratos de demanda de energia maiores em caso de aumento de produção, manutenção preventiva nas linhas de transmissão, manutenção de estoques de tiristores e manutenção preventiva nas linhas de produção, bem como inserção de disjuntores e de geradores internos para melhorar a qualidade das operações executadas no setor.

Quadro 4.5 - FMEA energético do setor de fundição

FMEA energético - Fornos/Fundição						
Modos de falha	Controles atuais	Índices				Ação recomendada
		O	D	S	RPN	
Manobra do controlador de demanda	Redução na capacidade dos fornos	3	2	8	48	Contrato maior com a concessionária de energia quando aumentar demanda
Curto circuito na rede	Sem controle	1	3	10	30	Manutenção preventiva nas linhas de transmissão
Fuga de tensão por picos de consumo de energia	Sem controle	1	4	6	24	Inserção de disjuntores ao longo da rede interna
Fuga de tensão por harmônicos	Sem controle	1	4	5	20	Mapeamento da rede elétrica e aterramentos do sistema
Engaiolamento dos fornos por queima dos tiristores	Redução na capacidade dos fornos	2	1	7	14	Manutenção de estoque de tiristores para trocas
Falha no recebimento de energia da distribuidora de energia	Manutenção por boletins de ocorrência	1	1	10	10	Gerador interno/no-break

Os Quadros 4.6 e 4.7 apresentam na mesma formatação, os dados referentes ao FMEA dos setores de cromação e de retificação, respectivamente, também classificando os modos de falhas pelo RPN de acordo com os índices de ocorrência, detecção e severidade já apontados.

Quadro 4.6 - FMEA energético setor de Cromação

FMEA energético - Tanques/Cromação						
Modos de falha	Controles atuais	Índices				Ação recomendada
		O	D	S	RPN	
Desgaste do eletrodo	Sem controle	8	7	6	336	Manutenção e troca periódica da ferramentaria
Mal contato do eletrodo	Documentação e ferramentaria levadas para setor de ferramentas	7	8	5	280	Manutenção periódica no ferramental
Oscilação de energia	Sem controle	3	10	7	210	- -
Harmônicos no cabo de abastecimento	Sem controle	1	5	5	25	Manutenção preventiva nas linhas de transmissão
Desarme dos disjuntores	Levantamento das ocorrências na manutenção	1	3	8	24	Estoque e manutenção dos disjuntores
Falha no recebimento de energia da distribuidora de energia	Levantamento das ocorrências na manutenção	3	1	7	21	Gerador interno/ No-break
Curto circuito na rede	Sem controle	1	2	7	14	Manutenção preventiva nas linhas de transmissão
Harmônicos na chave do fusível	Sem controle	1	3	4	12	- -
Queima do fusível	Sem controle	2	1	4	8	Estoque e manutenção dos fusíveis

Quadro 4.7 - FMEA energético setor de Retificação trapezoidal

FMEA energético - Retíficas trapezoidais						
Modos de falha	Controles atuais	Índices				Ação recomendada
		O	D	S	RPN	
Oscilação de energia no magnético	Relatório de defeitos no contator do maquinário	2	7	9	126	Revisão superficial do operador em cada peça retificada
Falha no recebimento de energia da distribuidora de energia	Levantamento das ocorrências na manutenção	3	1	7	21	Gerador interno/ No-break
Curto circuito na rede	Sem controle	1	2	7	14	Manutenção preventiva nas linhas de transmissão
Oscilação de energia nos equipamentos de inspeção	Sem controle	2	2	2	8	Aferição dos equipamentos periodicamente
Oscilação de energia na bomba interna	Reuniões internas para averiguação de problemas e substituição de equipamentos	1	3	1	3	- -
Oscilação de energia no compressor	Reuniões internas para averiguação de problemas e substituição de equipamentos	1	3	1	3	- -

Recomendam-se para ambos os setores ações a serem tomadas para redução ou eliminação dos modos de falhas, com a finalidade de melhorar a eficiência energética dos mesmos. Notam-se principalmente quesitos de manutenção periódica preventiva das ferramentas e das linhas de transmissão, mantendo também estoques de peças e equipamentos de menor custo para trocas, como disjuntores e fusíveis.

Lembra-se ainda que, eliminando ou reduzindo os modos de falha de maior RPN, há maiores possibilidades de se melhorar de forma mais rápida os indicadores para eficiência energética, incluindo o indicador proposto neste trabalho: OEE-E.

Finaliza-se aqui a coleta de dados para esta dissertação e reúnem-se os mesmos para criação do redesenho do processo, com o objetivo de reduzir desperdícios principalmente no que se refere à energia consumida pelos setores.

#### **4.9 Primeira versão do redesenho**

Com os dados coletados e analisados, cabe aos pesquisadores propor soluções para melhoria dos índices. Por se tratar de operações primordiais, os mapas de processos apresentados por IDEF0 no tópico 4.5 não podem ser reduzidos, aglutinados ou eliminados, conforme Kintsehner e Bresciani Filho (2005) propõem.

Entretanto, com a observação das árvores de falhas e do FMEA, torna-se possível vislumbrar melhorias nos procedimentos e diretrizes dos setores, com a finalidade de se minimizar ou eliminar os desperdícios de energia, convergindo para um melhor percentual do indicador OEE-E.

Dentre as sugestões ditadas pelos gestores e especialistas das áreas, notam-se algumas que convergem para a literatura (BAJAY e SANTANA, 2010; ROCHA e MONTEIRO, 2005), podendo propiciar progressos interessantes no meio. Citam-se: a inserção de geradores internos para horários de pico ou para não permitir ultrapassar a demanda contratada; a manutenção preventiva de linhas e equipamentos elétricos para evitar perdas na transmissão interna do insumo energético; e a reunião de opiniões dentro de um grupo de controle de falhas para buscar soluções aos problemas que aparecem nos processos industriais.

Com a direção norteada por estas proposições (pela teoria e pela experiência dos gestores), busca-se, nesta primeira versão do redesenho, atingir níveis de excelência global, conforme Maskell (1991) e Marugessan, Kumar e Kumar (2012) apresentam em seus textos, sugerindo um OEE com um mínimo de 85% de eficácia.

Utilizando-se do mapa de processos do setor piloto do OEE-E que é o de Retificação Trapezoidal, notam-se nos dados inclusos na Figura 4.26 as melhorias propostas para o setor,

como por exemplo, a revisão visual em todas as peças pelo operador na atividade R6 (Inspeção Visual). Busca-se, com isto, a redução nos problemas relacionados à energia elétrica e, por consequência, o aumento do indicador OEE-E.

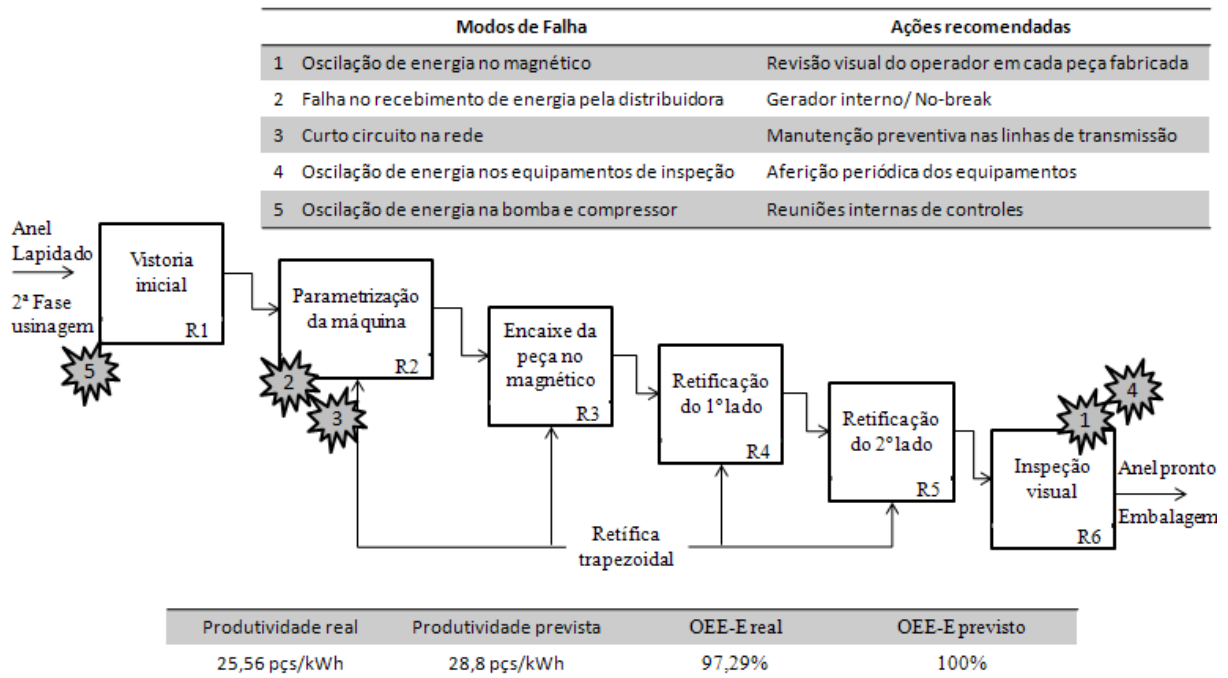


Figura 4.26 - Melhorias propostas para setor piloto

## 4.10 Revisão e testes pelos gestores

Com as melhorias moldadas pelos pesquisadores e especialistas no tópico 4.9, as mesmas são encaminhadas para os gestores no objeto de estudo para a avaliação e conformidade com as políticas da empresa.

Os gestores, com isto, observaram a viabilidade de se implantar tais sugestões e analisaram o que podem executar ou não, informando aos pesquisadores qual a melhor estratégia para conquistar os objetivos de metas globais no indicador OEE-E.

Dentre as dificuldades e oportunidades deparadas, notam-se que a utilização de geradores elétricos para melhoria deste percentual não se torna viável e que a melhora na obtenção dos dados para o OEE e OEE-E devem ser mais bem realizadas, com o intuito de se aprimorar as observações dos modos de falhas e minimizá-los ou eliminá-los.

## 4.11 Versão final do mapa

Conforme especificado nos tópicos anteriores, por o mapa de processos não poder ser alterado em suas atividades, foi-se sugerido melhorias nas diretrizes e procedimentos internos

dos setores pesquisados nesta dissertação, a fim de melhorar o indicador OEE-E, mesmo naqueles os quais não foram ainda coletados os dados referentes a este apontador.

Discutido entre os pesquisadores do projeto de P&D, os especialistas da área e os gestores do objeto de estudo, separaram-se algumas medidas a serem tomadas com a finalidade de melhoria do OEE-E, tanto na coleta dos dados quanto em ações propriamente ditas. Os pontos de maior valia a serem citados, segundo os especialistas, são a inserção de cálculos por *software* para facilitação na coleta de dados além das ações de manutenção preventiva e organização de estoques de peças de baixo custo para parte elétrica do setor.

Com esta etapa concluída, o ciclo parcial de pesquisa-ação desenvolvido nesta dissertação se finaliza, apresentando o conceito por trás do OEE-E e sua aplicação bem como proposição de melhorias para a empresa de autopeças do estudo. Conforme já elucidado no Tópico 3 e nos objetivos da pesquisa, o cunho da mesma é na visualização do método e teorização deste novo indicador. Contribuindo com a literatura da área, artigos já foram publicados em anais de congressos e outros estão aguardando o aceite de periódicos indexados da área, conforme o Apêndice 3 demonstra.

Cabe, por fim, à equipe finalizar o desenvolvimento do projeto completo de P&D, atingindo os objetivos propostos pelo mesmo, sendo que tal execução não faz parte desta dissertação, conforme elucidado anteriormente.

## 5 Conclusões

A eficiência energética, em seu caráter multidisciplinar, atrela às empresas, conhecimentos diversos na busca por melhorias na utilização do insumo energia. Ferramentas e estratégias são utilizadas para a finalidade de se alcançar a melhoria neste insumo fundamental para o desenvolvimento industrial.

Uma destas estratégias é a utilização da melhoria contínua atrelada ao índice de desempenho do ambiente, sendo que este trabalho, em vista da melhoria energética, apresenta em seu objetivo o desenvolvimento do indicador OEE-E bem como sua aplicação em uma empresa do ramo de autopeças, utilizando para tal finalidade, um modelo integrativo baseado na pesquisa-ação.

Para entendimento das técnicas utilizadas na aplicação deste novo apontador, o tópico de revisão bibliográfica apresenta os quatro pontos de conhecimento necessários, sendo eles, o assunto da eficiência energética, do mapeamento de processos, do mapeamento de falhas e dos indicadores de desempenho.

Dentro do tópico de desenvolvimento da pesquisa, apresentou-se a concepção do OEE-E, atrelando a visão energética a um dos indicadores mais utilizados em empresas com alto grau de utilização de maquinário. Assim, a primeira etapa do objetivo desta dissertação se cumpriu, apresentando o apontador de Eficácia Global dos Equipamentos para Eficiência Energética.

Para a aplicação deste indicador, utilizou-se um modelo integrativo baseado na pesquisa-ação, onde, por meio de técnicas de mapeamento de processos e de falhas, pode-se entender o funcionamento do objeto de estudo e avaliar quais os setores a serem pesquisados, além de prover informações para que a coleta dos dados para o OEE-E fosse realizada de forma correta. Também por meio destes mapas tornou-se possível propor melhorias no ambiente estudado com o objetivo de melhorar o percentual do indicador.

Por meio da utilização destas técnicas no modelo integrativo, um dos objetivos específicos desta dissertação foi concluído, corroborando e acrescentando à literatura a execução em conjunto de mapas, como o SIPOC, IDEF0, FTA e FMEA, voltando-se para a melhoria do desempenho de empreendimentos, conforme a Figura 1.5 já demonstrava na introdução deste texto e no tópico de método de pesquisa.

Do objetivo de aplicação do indicador desenvolvido, dificuldades apresentaram-se, e apenas um dos setores pesquisados pode implantar o OEE-E em caráter de teste piloto. Tais problemas surgiram por questões temporais desta pesquisa, questões de procedimentos

internos e disponibilidade dos setores do objeto de estudo, entre outros pormenores do trabalho.

Contudo, mesmo diante de tais dificuldades tornou-se possível aplicar o indicador desenvolvido no setor de retificação trapezoidal, fornecendo dados sobre o quanto o insumo energia vem a agregar valor ao produto e o quanto a mesmo insumo pode ser melhorado em relação a sua utilização. Tal descrição, dada no tópico de desenvolvimento da pesquisa, trás consigo a realização do objetivo desta pesquisa em aplicar o indicador OEE-E e apresentar possibilidades de melhoria para a organização em vista da eficiência energética.

Também por meio deste indicador, tornou-se possível atrelar e convergir dados e informações pertinentes ao setor de manutenção energética e ao setor produtivo, garantindo assim o cumprimento deste objetivo específico ressaltado na introdução desta dissertação. Ousa-se, ainda, adiantar que para efetiva atuação nas diretrizes deste artigo, futuras equipes de projetos deverão prover pessoal multidisciplinar, pois não há como se gerenciar adequadamente a energia sem haver profunda convergência às questões da utilização desta energia, ou seja, do processo produtivo consumidor do recurso.

Do objetivo técnico, de prover dados e informações ao objeto de estudo para minimizar ou eliminar desperdícios de energia, a pesquisa o realiza ao repassar os dados analisados e as sugestões de progresso para o mesmo, sendo que a continuação do projeto de P&D, o qual esta pesquisa faz parte, aprimorará na sua execução em conjunto com as diretrizes processuais apresentadas.

Dos resultados obtidos, de forma resumida, pode-se salientar que o teste piloto tornou-se importante para avaliação do indicador OEE-E bem como para a melhoria na percepção de como os dados devem ser coletados. Também, como consideração sobre o resultado cabe ressaltar que, neste teste piloto do indicador, o OEE apresentou cerca de 50% de oportunidades de melhorias obteve um percentual de aproximadamente 3%, no qual os fatores energéticos influenciam negativamente o marcador, sendo de valia minimizar ou eliminar tais problemas para melhora do indicador e de todo o ambiente produtivo. Tal dado, proveniente de dados coletados no teste piloto, deve ser, para melhor conclusão do projeto de P&D, coletado novamente e em mais áreas, analisando os erros ocorridos neste teste para apuração com dados mais realistas.

Com isto, todos os objetivos da pesquisa foram executados, contribuindo para a literatura da área e inovando no desenvolvimento do indicador OEE-E atrelado ao método de pesquisa proposto e executado em parcialidade neste estudo. Pode-se salientar, portanto, que a execução etapa a etapa do modelo integrativo foi de vital importância para o entendimento

dos setores estudados bem como para a proposição de melhorias nos mesmos. Também é notório que a aplicação do indicador trás consigo uma perspectiva do quão eficaz e eficiente o ambiente pode ser sob o aspecto energético, o qual deve fazer parte do foco nos meios industriais.

Por fim, a pesquisa recomenda algumas ideias para trabalhos futuros, com o intuito de enriquecer e corroborar com a literatura do assunto, sendo elas:

- Finalizar o modelo integrativo proposto em conjunto com o projeto de P&D principal e estender a aplicação do indicador e do método de pesquisa para todo o objeto de estudo;
- Aplicar o indicador proposto nos outros setores do objeto de estudo bem como em outras empresas, preferencialmente em outros ramos industriais, com a finalidade de apresentar dificuldades, possibilidades e contribuir para o desenvolvimento deste apontador;
- Utilizar o modelo integrativo proposto completo para busca de melhoria contínua em outros estudos e observar oportunidades para desenvolvê-lo;
- Estender a pesquisa para setores de serviços, confrontando diferenças tanto na literatura quanto na execução da proposta deste trabalho.



## 6 Bibliografia

- ABDELAZIZ, E. A.; SAIDUR, R.; MEKHILEF, S. A review on energy saving strategies in industrial sector. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, p. 150-168, 2011.
- AGUILAR-SAVÉN, R. S. Business process modeling: Review and framework. **International Journal of Production Economics**, v. 90, p. 129-149, 2004.
- ALMEIDA, D. A.; FAGUNDES, L. D. Aplicação da Gestão do conhecimento no mapeamento de falhas em concessionárias do setor elétrico. **Revista Produto & Produção**, v. 8, n. 3, p. 63-79, 2005.
- ALVARENGA NETTO, C. A. **Proposta de modelo de mapeamento e gestão por macroprocessos**. Tese (Doutorado) – Engenharia de Produção, USP, São Paulo, 2004. 343p.
- ARAGÓN, C. S. **Identificação, avaliação e gestão de riscos de investimentos em eficiência energética**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, Unifei, Itajubá, 2011. 94p.
- BAGGINI, A. **Handbook of power quality**. England: John Wiley & Sons, Ltd., 2008.
- BAJAY, S. V.; SANTANA, P. H. M. **Oportunidades de Eficiência Energética para a indústria: Experiências internacionais em eficiência energética para indústrias**. Guia técnico. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp>. Acesso em: 20/03/2012.
- BELAN, R. **Modelo de gestão de suprimentos de insumos produtivos indiretos baseado na engenharia integrada cliente-fornecedor**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, Unifei, Itajubá, 2008. 211p.
- BERTOLINI, M.; BVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E.; GIACCHETTA, G. Business process re-engineering in healthcare management: a case study. **Business Process Management Journal**, v. 17, n. 1, p. 42-66, 2011.
- BRAGRIA, M.; FROSOLINI, M.; ZAMMORI, F. Overall Equipment Effectiveness of a manufacturing line (OEEML) – An integrated approach to assess systems performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 20, n. 1, p. 8-29, 2009.
- CARVALHO, E. G. **Sistema de Informação para gestão do desempenho operacional dos sistemas de energia de uma refinaria de petróleo**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, Unifei, Itajubá, 2005. 130p.
- CHA, S.; YOO, J. A safety-focused verification using software fault trees. **Future generation computer systems**, n. 28, p. 1272-1282, 2012.
- CHAE, B. Developing key performance indicators for supply chain: an industry perspective. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 46, p. 422-428, 2009.

CHAKRAVARTHY, G. R.; KELLER, P. N.; WEELER, B. R.; OSS, S. V.. A methodology for measuring, reporting, navigating and analyzing overall equipment productivity (OEP). *In: IEEE SEMI ADVANCED SEMICONDUCTOR MANUFACTURING CONFERENCE, 2007. Anais do IEEE/SEMI 2007.*

CHIARADIA, A. J. P. **Utilização do Indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos: um estudo de caso na indústria automobilística.** Dissertação (Mestrado Profissional) – Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

CONVERY, F. J. Reflections – Energy Efficiency Literature for those in the policy process. **Review of environmental economy and policy**, v. 5, n. 1, p. 172-191, 2011.

COSTA, P. R. C.; LIMA, E. P.; COSTA, S. E. G. Desenvolvimento de um plano de melhorias para a manufatura, a partir da análise de um indicador de eficiência global de equipamentos. *In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13, 2006. Anais do XIII SIMPEP 2006.*

COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations e Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. Avaliação da Qualidade da energia elétrica. Unicamp, 2010. Disponível em: <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a1.pdf>. Acesso em: 13/03/2013.

DRIESSEN, S.; HUIJSEN, W. O.; GROOTVELD, M. A framework for evaluating knowledge mapping tolls. **Journal of Knowledge Management**, v. 11, n. 2, p. 109-117, 2007.

FAGUNDES, L. D. **Mapeamento de falhas em concessionária do setor elétrico: gestão do conhecimento auxiliando a gestão da manutenção.** Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, Itajubá, Unifei, 2005.

FERREIRA, M. P.; ABREU, A. F.; ABREU, P. F.; TRZECIAK, D. S.; APOLLINÁRIO, L. G.; CUNHA, A. A. Gestão por indicadores de desempenho: resultados na incubadora empresarial tecnológica. **Revista Produção**, v. 18, n. 2, p. 302-318, 2008.

FERREIRA JUNIOR, J. S.; ALMEIDA, D. A.; LEAL, F.. Método particular de pesquisa-ação para mapeamento de processos e de falhas. *In: Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações internacionais, 15, 2012. Anais do XV SIMPOI 2012.*

FERREIRA JUNIOR, J. S.; ALMEIDA, D. M.; LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. Desenvolvimento do indicador Overall Equipment effectiveness for energy efficiency (OEE-

E) – Aprendizado e Conclusões. *In: Encontro Mineiro de Engenharia de Produção*, 8, 2012. **Anais do VIII EMEPRO 2012.**

FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M.; MAISANO, D.; MASTROGIACOMO, L. Properties of performance in operations management: a reference framework. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 57, n. 2, p. 137-155, 2008.

GORDIC, D.; BABIC, M.; JOVICIC, N.; SUSTRSIC, V.; KONCALOVIC, D.; JELIC, D. Development of energy management system – case study of Serbian car manufacturer. **Energy Conversion on Management**, v. 51, p. 2783-2790, 2010.

GREASLEY, A. Using process mapping and business process simulation to support a process-based approach to change in a public sector organization. **Technovation**, v. 26, p. 95-103, 2006.

HARUN, K.; CHENG, K. An integrated modeling method for assessment of quality systems applied to aerospace manufacturing supply chains. **Journal to intelligent Manufacturing**, n. 23, 2012.

KINTSEHNER, F. E.; BRESCIANI FILHO, E. Método de mapeamento e reorganização de processos: sistemografia. **Revista Produção Online**, v. 5, n.1, mar 2005.

KLOTZ, L.; HORMAN, M.; BI, H. H.; BECHTEL, J. The impact of process mapping on transparency. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 57, n. 8, p. 623-636, 2008.

KULKARNI, V. A.; KATTI, P. K. Efficient utilization of energy in industry – Energy Management Perspective. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON POWER SYSTEM TECHNOLOGY*, 2010. **Anais do ICPST 2010.**

KUMAR, S.; PHROMMATHED, P. Improving a manufacturing process by mapping and simulation of critical operations. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 17, n. 1, p. 104-132, 2006.

LAVY, S.; GARCIA, J. A.; DIXIT, M. K. Establishment of KPIs for facility performance measurement: review of literature. **Facilities**, v. 28, n. 9, p. 440-464, 2010.

LEAL, F. **Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados.** Tese (Doutorado) – Engenharia Mecânica, UNESP, Guaratinguetá, 2008. 237p.

LEAL, F. **Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através do mapeamento do processo e simulação computacional.** Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, Unifei, Itajubá, 2003. 224p.

- LEAL, F.; PINHO, A. F.; ALMEIDA, D. A. Análise de falhas através da aplicação do FMEA e da Teoria Grey. **Revista Gestão Industrial**, v. 2, n. 1, p. 78-88, 2006.
- LIU, W. B.; MENG, W.; MINGERS, J.; TANG, N.; WANG, W. Developing a performance management system using soft system methodology: a Chinese case study. **European Journal of Operational Research**, n. 223, p. 529-540, 2012.
- LOBATO, K. C. D.; LIMA, J. P. Caracterização e avaliação de processos de seleção de resíduos sólidos urbanos por meio de técnicas de mapeamento. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 347-356, out/dez 2010.
- MADISON, D. **Process Mapping, Process Improvement and Process Management**. California: Paton Press LLC, 2005.
- MARTINEZ, C. I. P. Analysis of energy efficiency development in the German and Colombian food industries. **International Journal of Energy sector Management**, v. 4, n. 1, p. 113-136, 2010.
- MARUGESSAN, T. K.; KUMAR, B. S.; KUMAR, M. S.. Competitive advantage of world class manufacturing system (WCMS) – A study of manufacturing companies in South India. **European Journal of Social Sciences**, v. 29, n. 2, p. 295-311, 2012.
- MASKELL, B. H. **Performance Measurement for world class manufacturing – a model for American companies**. Cambridge, Massachusetts: Productivity Press, 1991.
- MELLO, A. E. N. S. **Aplicação do mapeamento de processos e da simulação no desenvolvimento de projetos de processos produtivos**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, Unifei, Itajubá, 2008. 117p.
- MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; LEE HO, L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- OKRENT, M. D.; VOKURKA, R. F. Process mapping in successful ERP implementations. **Industrial Management & Data Systems**, v. 104, n. 8, p. 637-643, 2004.
- OLIVEIRA, U. R.; MARINS, F. A. S.; ALMEIDA, D. A. Integrando técnicas e procedimentos de gestão de operações: uma aplicação em um banco comercial brasileiro de grande porte. **Revista Produção**, v. 20, n. 2, p. 237-250, abr/jun 2010.
- OLIVEIRA, U. R.; PAIVA, E. J.; ALMEIDA, D. A. Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas. **Revista Produção**, v. 20, n. 1, p. 77-91, jan/mar 2010.

- PAIM, R.; CAULLIPAUX, H. M.; CARDOSO, R.. Process Management tasks: a conceptual and practical view. **Business Process Management Journal**, v. 14, n. 5, p. 694-723, 2008
- REIS, L. B.; SILVEIRA, S. **Energia Elétrica para o desenvolvimento sustentável**. 2 Ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- ROCHA, L. R. R.; MONTEIRO, M. A. G. **Guia Técnico: Gestão Energética**. Centrais elétricas brasileiras, FUPAI, Efficientia. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.elektrobras.com>. Acesso em: 20/03/2012.
- RON, A. J.; ROODA, J. E. Equipment Effectiveness: OEE Revisited. **IEEE Transactions on semiconductor manufacturing**, v. 18, n. 1, 2005.
- SHARMA, A. K.; SHUDHANSU; DHARDWAJ, A. Manufacturing performance and evolution of TPM. **International Journal of Engineering Science and Technology**, v. 4, n. 3, March, 2012.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3 Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.
- SOBREIRA NETTO, F.. **Medição de desempenho do gerenciamento de processos de negócios – BPM no PNAFE: uma proposta de modelo**. Tese (Doutorado) – Administração de Empresas, São Paulo, USP, 2006. 193p.
- STREIMIKIENE, D.; VOLOCHOVIC, A.; SIMANAVICIENE, Z. Comparative assessment of policies targeting energy use efficiency in Lithuania. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 16, p. 3613-3620, 2012.
- TERENCE, A. C. F.; ESCRIVÃO FILHO., E.. Abordagem quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26, 2006, Fortaleza. **Anais do XXVI ENEGEP 2006**.
- THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 18 Ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- TOLMASQUIM, M. **Plano Nacional de energia 2030**. Conselho nacional de política energética (CNPE), Brasília, 2007. Disponível em: <http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2063154.PDF>. Acesso em: 13/03/2013.
- TORRES JUNIOR, N.; MIYAKE, D. I. Melhoria do desempenho em serviços: alternativas para lidar com o trade-off entre eficiência e eficácia. **Produção Online**, v. 11, n. 1, mar 2011.
- WIREMAN, T. **Total Productive Maintenance**. 2. Ed. New York: Industrial Press, 2004.
- YIN, R. K. **Estudo de caso – Planejamento e métodos**. 3 Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- ZHU, X. Analysis and Improvement of enterprise's Equipment Effectiveness Based on OEE. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, COMMUNICATIONS AND CONTROL, 2011. **Anais do ICECC, 2011**.

# APÊNDICE 1

Exemplificação da coleta de dados para um dos conjuntos de máquinas do setor piloto estudada.

## COLETA DE DADOS SETOR DE RETIFICAÇÃO - OEE

### Controle do conjunto CD

DIA	TURNO	DISPONIBILIDADE					DESEMPENHO						QUALIDADE				
		Hora	Minutos disponíveis	Minutos paralisados	Modo de falha	Causa	PRE	Peças planejadas	Peças produzidas	Diferença Produção	Modo de falha	Causa	PRE	Peças com problemas	Modo de falha	Causa	PRE
21/11/2012	1º turno	06:00 às 07:00	60	60	ST			0	0	0				0			
		07:00 às 08:00	60	60	MM			0	0	0				0			
		08:00 às 09:00	60	60	SP			0	0	0				0			
		09:00 às 10:00	60	60	APL			0	0	0				0			
		10:00 às 11:00	60	15	APL			95	90	5				0			
		11:00 às 12:00	60	0				126	55	71				0			
		12:00 às 13:00	60	0				126	55	71				0			
		13:00 às 14:00	60	0				126	110	16				0			
	14:00 às 14:24	24	0				51	40	11				0				
	2º turno	14:24 às 15:24	60	0				126	106	20				0			
		15:24 às 16:24	60	30	AP			63	55	8				0			
		16:24 às 17:24	60	0				126	110	16				0			
		17:24 às 18:24	60	0				126	112	14				0			
		18:24 às 19:24	60	0				126	109	17				0			
		19:24 às 20:24	0	0	REF			0	0	0				0			
		20:24 às 21:24	60	0				126	110	16				0			
		21:24 às 22:24	60	30	AP			63	50	13				0			
	22:24 às 22:42	18	18	AP			0	0	0				0				
	3º turno	22:42 às 23:00	18	0				44	36	8				0			
		23:00 às 00:00	60	0				126	110	16				0			
		00:00 às 01:00	60	0				126	110	16				0			
01:00 às 02:00		60	0				126	110	16				0				
		02:00 às 03:00	0	0	REF		0	0	0				0				

		03:00 às 04:00	60	0			126	110	16				0		
		04:00 às 05:00	60	35	AP		52	78	-26				0		
		05:00 às 06:00	60	0			132	110	22				0		
22/11/2012	1º turno	06:00 às 07:00	60	20	TD		84	84	0				0		
		07:00 às 08:00	60	0			126	110	16				0		
		08:00 às 09:00	60	0			126	108	18				0		
		09:00 às 10:00	60	0			126	106	20				0		
		10:00 às 11:00	60	0			126	104	22				0		
		11:00 às 12:00	30	0	REF		63	55	8				0		
		12:00 às 13:00	30	0	REF		63	55	8				0		
		13:00 às 14:00	60	60	ST		0	0	0				0		
	14:00 às 14:24	24	24	ST		0	0	0				0			
	2º turno	14:24 às 15:24	60	60	AST		0	0	0				0		
		15:24 às 16:24	60	60	ST		0	0	0				0		
		16:24 às 17:24	60	60	ST		0	0	0				0		
		17:24 às 18:24	60	60	APL		0	0	0				0		
		18:24 às 19:24	60	60	APL		0	0	0				0		
		19:24 às 20:24	0	0	REF		0	0	0				0		
		20:24 às 21:24	60	0			126	101	25				0		
		21:24 às 22:24	60	15	AP		94	86	8				5		
		22:24 às 22:42	18	0			37	20	17				0		
	3º turno	22:42 às 23:00	18	0			44	36	8				0		
		23:00 às 00:00	60	0			126	110	16				0		
		00:00 às 01:00	60	0			126	110	16				0		
01:00 às 02:00		60	15	AP		94	85	9				0			
02:00 às 03:00		0	0	REF		0	0	0				0			
03:00 às 04:00		60	10	AQM		105	100	5				0			
04:00 às 05:00		60	0			126	110	16				0			
05:00 às 06:00		60	30	AP		69	58	11				0			
23/11/2012	1º turno	06:00 às 07:00	60	60	APL		0	0	0				0		
		07:00 às 08:00	60	15	APL		94	92	2				0		
		08:00 às 09:00	60	0			126	108	18				0		
		09:00 às 10:00	60	0			126	108	18				0		
		10:00 às 11:00	60	0			126	104	22				0		
		11:00 às 12:00	30	0	REF		63	55	8				0		
		12:00 às 13:00	30	0	REF		63	55	8				0		
		13:00 às 14:00	60	0			126	110	16				0		
14:00 às 14:24	24	0			51	38	13				0				

25/11/2012	2º turno	14:24 às 15:24	60	0			126	106	20				0			
		15:24 às 16:24	60	60	AP			0	0	0				0		
		16:24 às 17:24	60	0				126	110	16				0		
		17:24 às 18:24	60	0				126	110	16				0		
		18:24 às 19:24	60	0				126	110	16				0		
		19:24 às 20:24	0	0	REF			0	0	0				0		
		20:24 às 21:24	60	60	AST			0	0	0				0		
		21:24 às 22:24	60	60	SP			0	0	0				0		
		22:24 às 22:42	18	18	SP			0	0	0				0		
	3º turno	22:42 às 23:00	18	18	SP			0	0	0				0		
		23:00 às 00:00	60	60	APL			0	0	0				0		
		00:00 às 01:00	60	50	APL			21	10	11				0		
		01:00 às 02:00	60	0				126	110	16				0		
		02:00 às 03:00	0	0	REF			0	0	0				0		
		03:00 às 04:00	60	0				126	110	16				0		
		04:00 às 05:00	60	0				126	110	16				0		
		05:00 às 06:00	60	0				126	46	80				0		
1º turno	06:00 às 07:00															
	07:00 às 08:00															
	08:00 às 09:00															
	09:00 às 10:00															
	10:00 às 11:00															
	11:00 às 12:00															
	12:00 às 13:00															
	13:00 às 14:00															
	14:00 às 14:24															
	2º turno	14:24 às 15:24														
		15:24 às 16:24														
		16:24 às 17:24														
		17:24 às 18:24														
		18:24 às 19:24														
		19:24 às 20:24														
		20:24 às 21:24														
		21:24 às 22:24														
		22:24 às 22:42														
3º turno	22:42 às 23:00	18	20	AQM			84	73	11				0			
	23:00 às 00:00	60	0				126	81	45				0			
	00:00 às 01:00	60	60	SP			0	0	0				0			



		01:00 às 02:00	60	60	SP			0	0	0				0			
		02:00 às 03:00	0	0	REF			0	0	0				0			
		03:00 às 04:00	60	60	SP			0	0	0				0			
		04:00 às 05:00	60	0				126	110	16				0			
		05:00 às 06:00	60	0				132	99	33				0			
26/11/2012	1º turno	06:00 às 07:00	60	60	SP			0	0	0				0			
		07:00 às 08:00	60	60	SP			0	0	0				0			
		08:00 às 09:00	60	60	SP			0	0	0				0			
		09:00 às 10:00	60	30	SP			63	48	15				0			
		10:00 às 11:00	60	0				126	108	18				0			
		11:00 às 12:00	30	0	REF			63	55	8				0			
		12:00 às 13:00	30	0	REF			63	55	8				0			
		13:00 às 14:00	60	0				126	104	22				0			
	2º turno	14:00 às 14:24	24	0				50	40	10				0			
		14:24 às 15:24	60	30	AP			63	51	12				0			
		15:24 às 16:24	60	0				126	106	20				0			
		16:24 às 17:24	60	0				126	104	22				0			
		17:24 às 18:24	60	0				126	102	24				0			
		18:24 às 19:24	60	0				126	104	22				0			
		19:24 às 20:24	0	0	REF			0	0	0				0			
		20:24 às 21:24	60	45	AST			39	280	-241				0			
	3º turno	21:24 às 22:24	60	60	ST			0	0	0				0			
		22:24 às 22:42	18	18	ST			0	0	0				0			
		22:42 às 23:00	18	18	ST			0	0	0				10			
		23:00 às 00:00	60	60	ST			0	0	0				0			
		00:00 às 01:00	60	60	ST			0	0	0				0			
		01:00 às 02:00	60	60	ST			0	0	0				0			
		02:00 às 03:00	0	0	REF			0	0	0				0			
		03:00 às 04:00	60	60	APL			0	0	0				0			
	27/11/2012	1º turno	04:00 às 05:00	60	40	APL			42	26	16				0		
			05:00 às 06:00	60	0				126	100	26				0		
			06:00 às 07:00	60	60	AP			0	0	0				0		
			07:00 às 08:00	60	0				126	104	22				0		
08:00 às 09:00			60	0				126	108	18				0			
09:00 às 10:00	60	15	AUX			94	93	1				0					
10:00 às 11:00	60	60	AUX			0	0	0				0					
11:00 às 12:00	60	60	ST			0	0	0				0					
12:00 às 13:00	0	0	REF			0	0	0				0					

		13:00 às 14:00	60	60	ST			0	0	0				0			
		14:00 às 14:24	24	24	AP			0	0	0				0			
	2º turno	14:24 às 15:24	60	25	SP			73	68	5				3			
		15:24 às 16:24	60	0				126	105	21				0			
		16:24 às 17:24	60	0				126	104	22				0			
		17:24 às 18:24	60	0				126	105	21				0			
		18:24 às 19:24	60	0				126	104	22				0			
		19:24 às 20:24	0	0	REF			0	0	0				0			
		20:24 às 21:24	60	30	MM	Mau contato - ajuste magnetismo		63	46	17				7			
		21:24 às 22:24	60	60	MM	Mau contato - ajuste magnetismo		0	0	0				0			
		22:24 às 22:42	18	18	MM	Mau contato - ajuste magnetismo		0	0	0				0			
		3º turno	22:42 às 23:00	18	18	ST			0	0	0				9		
	23:00 às 00:00		60	60	ST			0	0	0				0			
	00:00 às 01:00		60	60	ST			0	0	0				0			
	01:00 às 02:00		60	60	ST			0	0	0				0			
	02:00 às 03:00		0	0	REF			0	0	0				0			
	03:00 às 04:00		60	60	APL			0	0	0				0			
	04:00 às 05:00		60	15	APL			94	82	12				0			
	05:00 às 06:00		60	0				132	103	29				0			
	28/11/2012	1º turno	06:00 às 07:00	60	60	AP			0	0	0				0		
			07:00 às 08:00	60	60	AP			0	0	0				0		
			08:00 às 09:00	60	60	AP			0	0	0				0		
09:00 às 10:00			60	60	AP			0	0	0				0			
10:00 às 11:00			60	30	AP			63	60	3				0			
11:00 às 12:00			30	0	REF			63	55	8				0			
12:00 às 13:00			30	0	REF			63	55	8				0			
13:00 às 14:00			60	0				126	110	16				0			
14:00 às 14:24			24	0				50	40	10				0			
2º turno			14:24 às 15:24	60	0				126	106	20				0		
		15:24 às 16:24	60	0				126	107	19				0			
		16:24 às 17:24	60	0				126	106	20				0			
		17:24 às 18:24	60	0				126	105	21				0			
		18:24 às 19:24	60	0				126	104	22				0			
		19:24 às 20:24	0	0	REF			0	0	0				0			
		20:24 às 21:24	60	30	FME		X	63	55	8			X	0			
		21:24 às 22:24	60	60	TREI			0	0	0				0			
tur		22:24 às 22:42	18	18	APL			0	0	0				0			
	22:42 às 23:00	18	18	MM			0	0	0				0				

		23:00 às 00:00	60	60	MM		0	0	0				0			
		00:00 às 01:00	60	60	MM		0	0	0				0			
		01:00 às 02:00	60	60	MM		0	0	0				0			
		02:00 às 03:00	0	0	REF		0	0	0				0			
		03:00 às 04:00	60	60	MM		0	0	0				0			
		04:00 às 05:00	60	60	MM		0	0	0				0			
		05:00 às 06:00	60	60	MM		0	0	0				0			
29/11/2012	1º turno	06:00 às 07:00	60	60	AST		0	0	0				0			
		07:00 às 08:00	60	60	ST		0	0	0				0			
		08:00 às 09:00	60	60	ST		0	0	0				0			
		09:00 às 10:00	60	60	MM	Curto circuito - troca de placa	0	0	0				0			
		10:00 às 11:00	60	60	MM	Curto circuito - troca de placa	0	0	0				0			
		11:00 às 12:00	30	0	REF		78	60	18				0			
		12:00 às 13:00	30	0	REF		78	60	18				0			
		13:00 às 14:00	60	0			156	120	36				0			
	2º turno	14:00 às 14:24	24	0			62	50	12				0			
		14:24 às 15:24	60	0			156	128	28				0			
		15:24 às 16:24	60	0			156	127	29				0			
		16:24 às 17:24	60	15	AP		117	105	12				0			
		17:24 às 18:24	60	0			117	103	14				0			
		18:24 às 19:24	60	30	TR		78	55	23				0			
		19:24 às 20:24	0	0	REF		0	0	0				0			
		20:24 às 21:24	60	0			156	129	27				0			
	3º turno	21:24 às 22:24	60	30	AP		78	67	11				0			
		22:24 às 22:42	18	0	0		46	35	11				0			
		22:42 às 23:00	18	18	AP		0	0	0				0			
		23:00 às 00:00	60	60	AP		0	0	0				0			
		00:00 às 01:00	60	30	AP		78	61	17				0			
		01:00 às 02:00	60	0			156	126	30				0			
		02:00 às 03:00	0	0	REF		0	0	0				0			
		03:00 às 04:00	60	0			156	126	30				0			
	30/11/2012	1º turno	04:00 às 05:00	60	0			156	126	30				0		
			05:00 às 06:00	60	0			163	127	36				0		
			06:00 às 07:00	60	15	TD		117	100	17				0		
			07:00 às 08:00	60	0			156	128	28				0		
08:00 às 09:00			60	0			156	135	21				0			
09:00 às 10:00			60	0			156	135	21				0			
10:00 às 11:00			60	0			156	135	21				0			

		11:00 às 12:00	30	0	REF			78	65	13				0		
		12:00 às 13:00	30	0	REF			78	65	13				0		
		13:00 às 14:00	60	0				156	135	21				0		
		14:00 às 14:24	24	0				62	52	10				0		
	2º turno	14:24 às 15:24	60	0				156	130	26				0		
		15:24 às 16:24	60	0				156	130	26				0		
		16:24 às 17:24	60	0				156	127	29				0		
		17:24 às 18:24	60	45	AUX			39	33	6				0		
		18:24 às 19:24	60	60	AUX			0	0	0				0		
		19:24 às 20:24	0	0	REF			0	0	0				0		
		20:24 às 21:24	60	60	AUX			0	0	0				0		
		21:24 às 22:24	60	60	AUX			0	0	0				0		
		22:24 às 22:42	18	18	AUX			0	0	0				0		
		3º turno	22:42 às 23:00	18	0				54	42	12				0	
	23:00 às 00:00		60	0				136	126	10				0		
	00:00 às 01:00		60	0				156	126	30				0		
	01:00 às 02:00		60	0				156	126	30				0		
	02:00 às 03:00		0	0	REF			0	0	0				0		
	03:00 às 04:00		60	15	AP			117	92	25				0		
	04:00 às 05:00		60	0				156	84	72				0		
	05:00 às 06:00		60	60	AST			0	0	0				0		
1/12/2012	1º turno	06:00 às 07:00	60	60	FA			0	0	0				0		
		07:00 às 08:00	60	60	FA			0	0	0				0		
		08:00 às 09:00	60	60	FA			0	0	0				0		
		09:00 às 10:00	60	60	FA			0	0	0				0		
		10:00 às 11:00	60	60	FA			0	0	0				0		
		11:00 às 12:00	60	60	FA			0	0	0				0		
		12:00 às 13:00	0	0	REF			0	0	0				0		
		13:00 às 14:00	60	60	MM			0	0	0				0		
	2º turno	14:00 às 14:24	24	24	MM			0	0	0				0		
		14:24 às 15:24	60	60	FA			0	0	0				0		
		15:24 às 16:24	60	60	FA			0	0	0				0		
		16:24 às 17:24	60	60	FA			0	0	0				0		
		17:24 às 18:24	60	60	FA			0	0	0				0		
		18:24 às 19:24	60	60	FA			0	0	0				0		
19:24 às 20:24	0	0	REF			0	0	0				0				
20:24 às 21:24	60	60	FA			0	0	0				0				
21:24 às 22:24	60	60	FA			0	0	0				0				

	3° turno	22:24 às 22:42	18	18	FA		0	0	0			0			
		22:42 às 23:00	18	18	MM		0	0	0			0			
		23:00 às 00:00	60	60	MM		0	0	0			0			
		00:00 às 01:00	60	60	MM		0	0	0			0			
		01:00 às 02:00	60	60	MM		0	0	0			0			
		02:00 às 03:00	0	0	REF		0	0	0			0			
		03:00 às 04:00	60	60	MM		0	0	0			0			
		04:00 às 05:00	60	60	MM		0	0	0			0			
		05:00 às 06:00	60	60	MM		0	0	0			0			
3/12/2012	1° turno	06:00 às 07:00	60	60	MM		0	0	0			0			
		07:00 às 08:00	60	60	MM		0	0	0			0			
		08:00 às 09:00	60	60	MM		0	0	0			0			
		09:00 às 10:00	60	60	FA		0	0	0			0			
		10:00 às 11:00	60	60	FA		0	0	0			0			
		11:00 às 12:00	0	0	REF		0	0	0			0			
		12:00 às 13:00	60	60	FA		0	0	0			0			
		13:00 às 14:00	60	60	FA		0	0	0			0			
			14:00 às 14:24	24	24	FA		0	0	0			0		
	2° turno	14:24 às 15:24	60	60	FA		0	0	0			0			
		15:24 às 16:24	60	60	FA		0	0	0			0			
		16:24 às 17:24	60	60	FME	X	0	0	0			0			
		17:24 às 18:24	60	60	ST		0	0	0			0			
		18:24 às 19:24	60	60	ST		0	0	0			0			
		19:24 às 20:24	0	0	REF		0	0	0			0			
		20:24 às 21:24	60	60	ST		0	0	0			0			
		21:24 às 22:24	60	60	ST		0	0	0			0			
			22:24 às 22:42	18	18	ST		0	0	0			0		
	3° turno	22:42 às 23:00	18	18	SP		0	0	0			0			
		23:00 às 00:00	60	60	TREI		0	0	0			0			
		00:00 às 01:00	60	60	TREI		0	0	0			0			
		01:00 às 02:00	60	60	APL		0	0	0			0			
		02:00 às 03:00	0	0	REF		0	0	0			0			
		03:00 às 04:00	60	0			156	127	29			0			
04:00 às 05:00		60	0			156	126	30			0				
05:00 às 06:00		60	0			163	120	43			0				
4/12/2012	1° turno	06:00 às 07:00	60	30	APL		78	52	26			0			
		07:00 às 08:00	60	0			156	104	52			0			
		08:00 às 09:00	60	0			156	108	48			0			

09:00 às 10:00	60	0			156	110	46				0			
10:00 às 11:00	60	0			156	108	48				0			
11:00 às 12:00	30	0	REF		78	55	23				0			
12:00 às 13:00	30	0	REF		78	55	23				0			
13:00 às 14:00	60	0			156	108	48				0			
14:00 às 14:24	24	0			62	40	22				0			

<b>Somatória OEE</b>	<b>13482</b>	<b>6731</b>
<b>Somatória OEE-E</b>	<b>13482</b>	<b>90</b>

<b>15415</b>	<b>12851</b>	<b>2564</b>
<b>15415</b>	<b>12851</b>	<b>8</b>

<b>34</b>
<b>0</b>

<b>IA</b>	<b>50,07%</b>
<b>IAE</b>	<b>99,33%</b>

<b>IP</b>	<b>83,37%</b>
<b>IPE</b>	<b>99,95%</b>

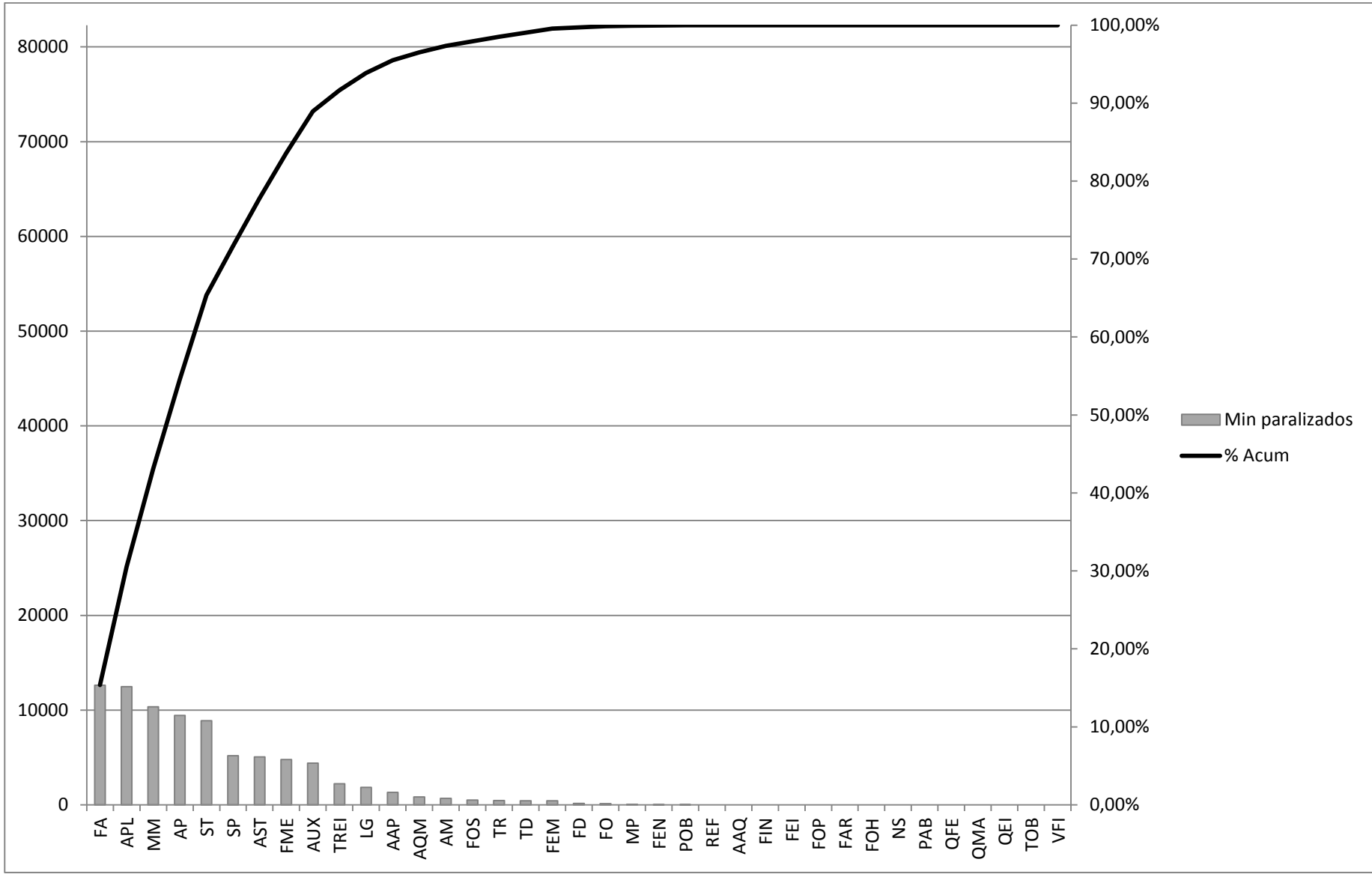
<b>IQ</b>	<b>99,74%</b>
<b>IQE</b>	<b>100,00%</b>

<b>OEE</b>	<b>41,63%</b>
<b>OEE-E</b>	<b>99,28%</b>

## APÊNDICE 2

Resumo das falhas apuradas durante o período com destaque para as ocorrências de problemas relacionados à energia elétrica e Gráfico Pareto das mesmas.

Descrição da Falha	Sigla	Min Paralizados	%	% Acum.
Falta de peças	FA	12634	15,36%	15,36%
Aguardando Primeiro Lado	APL	12476	15,17%	30,53%
Manutenção Mecânica	MM	10339	12,57%	43,10%
Ajuste de Processo	AP	9446	11,48%	54,58%
Setup total	ST	8867	10,78%	65,36%
Setup parcial	SP	5178	6,30%	71,66%
Aguardando Setup	AST	5060	6,15%	77,81%
<b>Falhas de manutenção elétrica</b>	<b>FME</b>	<b>4771</b>	<b>5,80%</b>	<b>83,61%</b>
Auxílio a outra operação	AUX	4402	5,35%	88,96%
Treinamento	TREI	2214	2,69%	91,65%
Limpeza Geral	LG	1833	2,23%	93,88%
Aguardando Autorização Processo	AAP	1324	1,61%	95,49%
Aquecimento de máquina	AQM	834	1,01%	96,50%
Amostra	AM	678	0,82%	97,33%
Falta de óleo solúvel	FOS	500	0,61%	97,94%
Troca de rebolo	TR	465	0,57%	98,50%
Troca de diamante	TD	435	0,53%	99,03%
Falta de Equipamento de medição	FEM	420	0,51%	99,54%
Ferramental danificado	FD	138	0,17%	99,71%
Falta de operador	FO	120	0,15%	99,85%
Manutenção Preventiva	MP	60	0,07%	99,93%
<b>Falta de energia</b>	<b>FEN</b>	<b>30</b>	<b>0,04%</b>	<b>99,96%</b>
Pressão de óleo baixa	POB	30	0,04%	100,00%
Refeição	REF	0	0,00%	100,00%
Aguardando Autorização Qualidade	AAQ	0	0,00%	100,00%
Falha de instrução	FIN	0	0,00%	100,00%
Falha nos equipamentos de inspeção	FEI	0	0,00%	100,00%
Falha operacional	FOP	0	0,00%	100,00%
Falta de ar	FAR	0	0,00%	100,00%
Falta de óleo hidráulico	FOH	0	0,00%	100,00%
Não sei	NS	0	0,00%	100,00%
Pressão do ar baixa	PAB	0	0,00%	100,00%
Qualidade da ferramenta	QFE	0	0,00%	100,00%
Qualidade do material	QMA	0	0,00%	100,00%
Queima de equipamentos	QEI	0	0,00%	100,00%
Temperatura do óleo baixa	TOB	0	0,00%	100,00%
Variação na fixação	VFI	0	0,00%	100,00%
<b>TOTAL</b>		<b>82254</b>	<b>100,00%</b>	





## APÊNDICE 3

Alguns artigos originados desta dissertação já foram publicados. São eles:

- FERREIRA JUNIOR, J. S.; ALMEIDA, D. A.; LEAL, F.. Método particular de pesquisa-ação para mapeamento de processos e de falhas. *In*: Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações internacionais, 15, 2012. **Anais do XV SIMPOI 2012.**
- FERREIRA JUNIOR, J. S.; ALMEIDA, D. M.; LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. Desenvolvimento do indicador Overall Equipment effectiveness for energy efficiency (OEE-E) – Aprendizado e Conclusões. *In*: Encontro Mineiro de Engenharia de Produção, 8, 2012. **Anais do VIII EMEPRO 2012.**

Outros artigos foram submetidos às revistas e estão em fase de avaliação, sendo eles:

- FERREIRA JUNIOR, J. S.; LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. Mapeamento de processos e falhas para eficiência energética – Modelo integrativo. Artigo submetido à Revista Produção.
- FERREIRA JUNIOR, J. S.; LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. Development and application of Overall Equipment Effectiveness for Energy Efficiency (OEE-E). Artigo submetido à Revista IEEE Latin America.

