

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**KEMILY BEATRIZ RODRIGUES DA CRUZ LOPES
LARISSA SAKATE PAIS**

**MODELO DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO
EM MANUTENÇÃO COM BASE EM INDICADORES DE
DESEMPENHO DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2018**

**KEMILY BEATRIZ RODRIGUES DA CRUZ LOPES
LARISSA SAKATE PAIS**

**MODELO DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO
EM MANUTENÇÃO COM BASE EM INDICADORES DE
DESEMPENHO DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de TCC 2, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures

**CURITIBA
2018**

Kemily Lopes
Larissa Sakate

MODELO DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO EM MANUTENÇÃO COM BASE EM INDICADORES DE DESEMPENHO DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira de Controle e Automação, do curso de Engenharia de Controle e Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 21 de junho de 2018.

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Esp.
Coordenador de Curso
Engenharia de Controle e Automação

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Eduardo de Freitas Rocha Loures, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Eduardo de Freitas Rocha Loures, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcelo Rodrigues, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Daniel Balieiro Silva, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Controle e Automação.

RESUMO

LOPES, Kemily B. R. C.; PAIS, Larissa S.; **Modelo de avaliação multicritério para priorização em manutenção com base em indicadores de desempenho de uma indústria automotiva**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

A atividade de manutenção é responsável pela disponibilidade dos bens produtivos. Dessa forma, representa um papel indispensável ao setor produtivo. A utilização crescente de meios automatizados e com funções operacionais precisas faz a disponibilidade dos itens produtivos se tornarem prioridade. Essa priorização é feita conforme a criticidade dos itens que constituem as linhas de produção, cujos critérios fundamentais para defini-la possuem, em sua maioria, aspectos subjetivos ou que sofrem interferência por meio das próprias preferências do decisor. A análise multicritério surge como uma alternativa eficiente, capaz de diminuir a incerteza da tomada de decisão e por sistematizar as variáveis que interferem na decisão a ser tomada. Dessa forma, este trabalho apresenta uma sugestão de modelo a fim de obter os componentes de máquina mais críticos existentes na linha de produção, ou seja, componentes de itens que estão mais sujeitos a afetar diretamente a disponibilidade da linha de usinagem, dentro de uma empresa automotiva. O modelo foi realizado utilizando análises multicritérios, por meio dos métodos AHP (Analytic Hierarchy Process) e PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), e terá como base os dados de indicadores de desempenho OLE (Overall Line Efficiency) e MTTR (Mean Time To Repair). A definição da criticidade dos componentes dos itens produtivos pode ser estabelecida conforme a indicação dos especialistas da manutenção, juntamente com política de gestão adotada pela empresa para tomada de decisão. Os resultados obtidos revelam que a análise multicritério pode ser uma ferramenta de estratégia na indústria automotiva, fazendo a análise conforme diferentes cenários reais ou analíticos, auxiliando fortemente nas tomadas de decisões.

Palavras-chave: Manutenção, tomada de decisão, disponibilidade, análise multicritério, AHP, PROMETHEE.

ABSTRACT

LOPES, Kemily B. R. C.; PAIS, Larissa S.; **Multicriteria evaluation model for maintenance prioritization based on performance indicators of an automotive industry.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

The maintenance activity is responsible for the availability of productive assets. In this way, it represents an indispensable role for the productive sector. The increasing use of automated means and precise operational functions makes the availability of productive items a priority. This prioritization is made according to the criticality of the items that constitute the production lines, whose fundamental criteria for defining it are mostly subjective or interfered with by the decision maker's own preferences. The multicriteria analysis emerges as an efficient alternative, able to reduce the uncertainty of decision making and to systematize the variables that interfere in the decision to be made. This paper presents a model suggestion in order to obtain the most critical machine components on the production line, which means machine components of items that are more likely to directly affect the availability of the machining line, within an automotive company. The model was performed using multi-criteria analysis, using the AHP (Analytic Hierarchy Process) and PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) methods, and will be based on OLE (Overall Line Efficiency) and MTTR (Mean Time To Repair). The definition of the criticality of the components of the productive items can be established according to the indication of the maintenance specialists, together with the management policy adopted by the company for decision making. The results show that the multicriteria analysis can be a strategy tool in the automotive industry, making the analysis according to different real or analytical scenarios, helping strongly in the decision making.

Keywords: Maintenance, decision making, availability, multicriteria analysis, AHP, PROMETHEE.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 TEMA	7
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	10
1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS	11
1.4 OBJETIVO	12
1.4.1 Objetivo Geral	12
1.4.2 Objetivos Específicos	12
1.5 JUSTIFICATIVA	12
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	13
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 BASE CONCEITUAL	16
2.1 A MANUTENÇÃO	16
2.2 APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO	18
2.2.2 AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>)	20
2.2.3 PROMETHEE (<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>)	23
2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO	27
2.3.1 A EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO	27
2.3.2 O MTTR (<i>Main Time to Repair</i>)	31
3 CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA	33
3.1 <i>WHY NOT</i> 100% OLE	33
3.2 ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS DADOS	35
3.3 MTTR (<i>Mean Time To Repair</i>)	38
3.4 ORDENS DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO EM 2017	39
4 ANÁLISE E DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO	43
4.1 CRITÉRIOS OBJETIVOS	44
4.1.1 Análise das classificações de tipos componentes	48
4.2 CRITÉRIOS SUBJETIVOS	51
4.3 PESOS DOS CRITÉRIOS	53
5 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
5.1 CENÁRIO ANALÍTICO	61
5.1.1 Análise por tipo de componente	62

5.1.2 Análise por componente	66
5.2 CENÁRIO REAL	73
5.2.1 Cenário 1: análise 4.1 e 4.2	73
5.2.2 Cenário 2: análise 5.1 e 5.2	76
5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS	78
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
6.1 CONCLUSÃO	80
6.2 DIFICULDADES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE A	85

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

A atividade de manutenção tem papel fundamental no setor produtivo, pois é ela a responsável por manter a maior disponibilidade dos recursos produtivos. A evolução da manutenção pode ser dividida em quatro gerações, a partir da década de 1930 (MOUBRAY, 1997).

A primeira geração, abrange o período até a Segunda Guerra Mundial. A indústria não era altamente mecanizada, então o tempo de parada de máquinas não era um grande problema, o que, por consequência, não tornava a prevenção de falhas uma prioridade. Ao mesmo tempo, a maioria dos equipamentos eram simples e muitos deles eram superdimensionados, o que os tornavam confiáveis e de fácil reparo. Não havia necessidade de uma manutenção sistemática, apenas atividades de manutenção simples como limpeza e rotina de lubrificação (MOUBRAY, 1997).

A segunda geração foi quando a manutenção mudou drasticamente durante a Segunda Guerra Mundial. No início dos anos 1950, a demanda por todos os tipos de bens cresceu. Alguns postos de trabalho foram substituídos por máquinas, sendo estas dos mais diversos tipos, em grande número e de funcionamento mais complexo.

Com o aumento da dependência dessas máquinas para a produção, o tempo de parada de máquinas por falhas começou a ser uma preocupação, trazendo a ideia de que as falhas de equipamentos poderiam e deveriam ser prevenidas, o que conduziu o setor industrial ao conceito de manutenção preventiva. O custo de manutenção também começou a crescer de maneira elevada em relação aos outros custos de manutenção, o que levou ao crescimento do sistema de planejamento e controle de manutenção, que hoje faz parte da prática de manutenção (MOUBRAY, 1997).

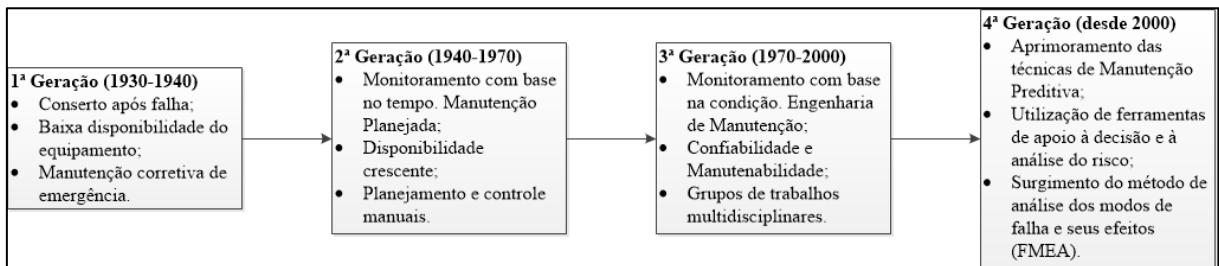
A terceira geração, em meados da década de 70, foi marcada pelo processo de mudanças ainda maiores na indústria. Tais mudanças podem ser classificadas como novas expectativas, novas pesquisas e novas técnicas, em que se reforça o conceito de manutenção preditiva. Passou-se a priorizar a alta disponibilidade e

confiabilidade dos itens produtivos, com a política de evitar a geração de danos ao meio ambiente, obter maior segurança, qualidade dos produtos e controle de custos (MOUBRAY, 1997).

E, por fim, a quarta geração é marcada pelo objetivo de se evitar quebras, em vez de preveni-las ou predizê-las. Conforme Dunn (2007), esta fase abrange o aprimoramento das técnicas de monitoramento de condição, a utilização de ferramentas de auxílio à decisão e à análise de risco, dando-se destaque ao método de análise dos modos de falha e seus efeitos (*Failure Modes and Effects Analysis – FMEA*) e de sistemas especialistas.

A figura 1 sintetiza as quatro gerações.

Figura 1 - Síntese das quatro gerações da evolução da manutenção.



Fonte: Adaptado de Estanqueiro, 2008.

Os gerentes devem selecionar a melhor política de manutenção para cada componente de um equipamento ou sistema a partir de um conjunto de possíveis alternativas (BEVILACQUA; BRAGLIA, 2000). Rastegari e Mobin apresentam as atividades de manutenção em tipos, que pode significar ação, estratégia e política.

A Manutenção Corretiva, definida como BM, do inglês *Breakdown Maintenance*, também é conhecida por operar até que haja falha ou por manutenção reativa. É uma estratégia utilizada para restauração, reparo ou substituição de determinado equipamento ou de uma operação a fim de retorná-la à sua função requerida (RASTEGARI; MOBIL, 2016, p.1).

Manutenção Baseada no Tempo, TBM, do inglês *Time Based Maintenance*, é realizada de acordo com intervalos de tempo estabelecidos ou quantidade de uso, como manutenção programada, mas sem investigação prévia de condição do item (RASTEGARI; MOBIL, 2016, p.1).

Manutenção Baseada na Condição, definida como CBM, do inglês *Condition Based Maintenance* é uma atividade de manutenção baseada no desempenho e/ou

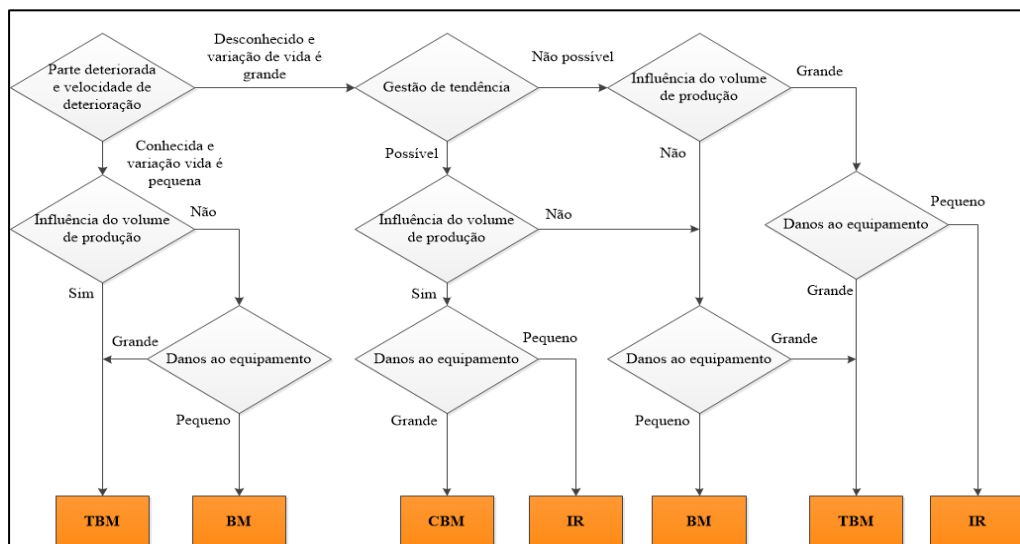
em um parâmetro de monitoramento e ações subsequentes (RASTEGARI; MOBILIN, 2016, p.1).

Rastegari e Mobin também definem outro tipo de atividade de manutenção na qual o foco é melhorar o projeto de produção para tornar a manutenção mais fácil ou até eliminá-la, chamada de Melhorias e Restauração, IR, do inglês *Improvement and Restoration*. Aspectos de ergonomia de confiabilidade são importantes nesta política.

Vários são os fatores que influenciam na tomada de decisão referente a qual tipo de manutenção determinar para cada equipamento, segundo Loures (2015), alguns deles podem estar ligados ao aprimoramento da verificação antecipatória de condições inadequadas de operação, ao aumento de reatividade do sistema de produção a condições degenerativas de operação, à otimização no tempo de retomada de uma planta frente a uma parada programada e não programada devido a uma falha, dentre outros fatores.

A Figura 2 mostra um fluxograma que auxilia na tomada de decisão de qual tipo de manutenção a ser definido, de acordo com os conceitos apresentados por Rastegari e Mobin:

Figura 2 - Fluxograma com os tipos de manutenção identificados.



Legenda - Significados das siglas:

TBM, Manutenção Baseada no Tempo (*Time Based Maintenance*);

CBM, Manutenção Baseada na Condição (*Condition Based Maintenance*);

BM, Manutenção Corretiva (*Breakdown Maintenance*); e

IR, Melhorias e Restauração (*Improvement and Restoration*).

Fonte: Adaptado de Rastegari e Mobin, 2016, p.3.

Há diversos métodos de análise de situações que apresentam multicritérios, MCDA/MCDM (*Multi-criteria Decision Analysis/Making*), e estes são de grande importância para facilitar a tomada de decisão a respeito da melhor política/estratégia de manutenção a ser utilizada em cada componente ou sistema de um equipamento de operação, tais como o Método de Análise Hierárquica (AHP, *Analytic Hierarchy Process*) e o PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations). Além da escolha sobre a melhor estratégia de manutenção, a dimensão da tomada de decisão sobre a priorização de ativos é igualmente relevante sobre os indicadores de desempenho de manutenção, encontrando em tais métodos adequado potencial de avaliação.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O trabalho aqui desenvolvido faz uso dos dados da linha de usinagem de uma fábrica de montagem de motores e caixas de câmbio de caminhões. Na linha de usinagem, os equipamentos são robustos, sujeitos à contaminação devido ao sistema de usinagem onde são utilizados óleo e água para manter a lubrificação contínua durante o processo de usinagem dos motores. É uma linha automatizada, onde é necessário um número pequeno de operadores.

Todos os dados trabalhados são do período de janeiro a dezembro do ano de 2017. Foram analisados o histórico de ocorrências de falhas durante todo esse intervalo e informações sobre fluxo de trabalho e de experiências de especialistas na área para definição de fatores relevantes para o levantamento da criticidade de componentes pelo seu tipo e também de acordo com a máquina onde o mesmo está alocado.

O estudo abrangeu os fatores que influenciam na priorização da manutenção de componentes dos sistemas produtivos com base nos indicadores de desempenho OLE, do inglês *Overall Line Effectiveness*, e do MTTR (*Main Time to Repair*), utilizando para tomada de decisão multicritério.

A empresa possui um grande esforço na área de produção e manutenção afim de poder fazer a análise de causa raiz e estabelecimento das atividades relacionadas a manutenção na coleta, documentação e mapeamento dos dados. Os dados aqui utilizados são referentes a todo o período do ano de 2017, mais

especificamente aos dados apresentados a controladoria em relatórios diários.

Para o auxílio da análise multicritério, utilizar-se-ão as ferramentas AHP e PROMETHEE, em que o AHP auxiliará no levantamento do grau de importância dos critérios (indicadores) a serem utilizados na matriz de avaliação com base no método PROMETHEE - que auxiliará na tomada de decisão referente à priorização dos componentes para a manutenção.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

A fabricação de veículos automotores em sua maior parte é realizada por máquinas robustas, pois os componentes fabricados, como motores, chassis, caixa de câmbio, entre outros, são pesados, de grande dimensão e necessitam de funções operacionais precisas. A mão de obra passa a ser realizada por pessoas habilitadas a comandar as máquinas, empilhadeiras, CLPs, computadores industriais, trazendo maior segurança na execução do trabalho e maior qualidade aos itens produtivos.

A automatização das indústrias fez com que a disponibilidade dos itens produtivos se tornasse prioridade. Nesse sentido, pode-se afirmar que, em todos os segmentos industriais, os períodos de indisponibilidade dos equipamentos afetam a capacidade produtiva de uma empresa, aumentando os custos operacionais e, em consequência, interferindo na qualidade do produto final e no atendimento aos clientes (NUNES, 2001).

A função manutenção tem presença significativa em todos os segmentos do negócio, por exemplo, segurança, integridade ambiental, eficiência energética, qualidade do produto, disponibilidade, confiabilidade e custos operacionais (NUNES, 2001). Portanto, a função manutenção possui papel fundamental na área produtiva, buscando a melhoria contínua no gerenciamento dos processos de trabalho. Em outras palavras, pode-se dizer que ela é uma das principais responsáveis por reduzir os custos operacionais.

A priorização da manutenção requer conhecimento sobre o funcionamento do equipamento. A vida útil dos componentes pode variar de acordo com o ambiente em que a máquina onde eles estão contidos opera. Como os critérios para priorização da manutenção podem ser bastante amplos, a implementação de um método de tomada de decisão pode tornar a tarefa de elaboração desse plano menos complicada.

Em meio a ambientes de gestão de manutenção carentes de recursos e metodologias, a tomada de decisão torna-se onerosa, aumentando o nível de complexidade e o tempo de execução do trabalho do suporte da manutenção. Como a produção não pode ser prejudicada, uma forma viável que forneça auxílio na tomada de decisão pode ser de grande utilidade, trazendo agilidade ao trabalho do suporte da manutenção.

1.4 OBJETIVO

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de avaliação multicritério capaz de inferir sobre a criticidade de componentes em termos de sua influência sobre indicadores de desempenho da área de manutenção e produção.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a. Compreender o indicador OLE, MTTR e o histórico de dados;
- b. Estudar o método MCDM AHP e PROMETHEE;
- c. Entender as atividades de manutenção da empresa sob análise;
- d. Determinar os critérios de priorização;
- e. Desenvolver modelo de avaliação com base nos métodos AHP e PROMETHEE para priorização de componentes de máquina, com base nos indicadores de desempenho;
- f. Aplicar o modelo desenvolvido;
- g. Avaliar a criticidade dos componentes de máquina conforme diferentes cenários.

1.5 JUSTIFICATIVA

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, a manutenção é a

combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual este possa desempenhar uma função requerida (NBR 5462, 1994). Nunes (2001) afirma que os custos de manutenção transformaram as áreas de manutenção em um segmento estratégico para o sucesso empresarial. Decorrendo desta afirmação, pode-se então afirmar que a redução de custos proporciona vantagem competitiva (PERES; LIMA, 2008).

Para que os custos de manutenção sejam reduzidos, é necessário que haja um plano de manutenção correto. Por exemplo, segundo a NBR 5462 (1994) a manutenção preditiva é realizada com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva. Por mais que este tipo de manutenção pareça ser o ideal, suas técnicas de análise podem ser de alto custo. Não haveria sentido aplicar a manutenção preditiva em todos os equipamentos, já que alguns já têm a vida útil pré-determinada ou são de simples correção.

A elaboração de um plano de manutenção, quando há poucos recursos dispostos, pode ser onerosa, tornando o trabalho complexo e demorado. Como a produção não pode ser prejudicada, um sistema que auxilie na tomada de decisão pode vir a ser de grande utilidade, agilizando o trabalho do suporte da manutenção.

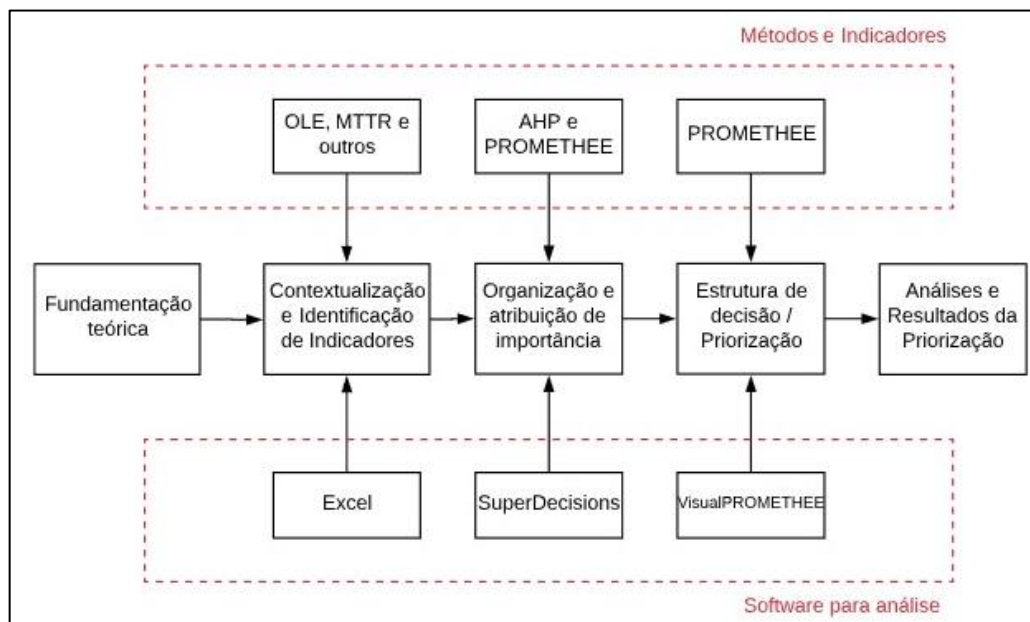
Neste contexto, visto o esforço na empresa em definir a priorização de máquinas à manutenção, e no intuito de trazer essa análise a um nível mais aprofundado de componentes definidos como causa de tempos de indisponibilidade do processo de produção, aliado ao rico histórico gerado pelo monitoramento de dados, vê-se a oportunidade de trazer mais eficiência na tomada de decisão dentro da área, e até mesmo oferecer uma visão estratégica em nível gerencial baseada na visão de especialistas da área.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, é requerido em um primeiro momento um embasamento teórico com informações sobre a área de manutenção e sobre métodos de tomada de decisão. Para tanto é necessário buscar informações

em artigos, dissertações, teses, livros, revistas, sites acadêmicos e normas técnicas. O trabalho é estruturado conforme a figura 3.

Figura 3 - Estrutura do trabalho.



Fonte: Autoria própria.

A partir da fundamentação teórica estabelecida, foi feita a análise do banco de dados junto à definição das informações, mais especificamente das ordens de serviço do período estabelecido, e outros históricos necessários à realização deste trabalho.

Foram analisados os critérios que compõem o OLE e as informações oriundas da área de manutenção para definição dos mais relevantes ao modelo a ser indicado na priorização dos componentes.

Em seguida aplicou-se os métodos multicritérios, AHP e PROMETHEE; o primeiro para levantar o grau de importância dos critérios e o segundo para a definição de criticidade na priorização de atividades para a manutenção.

Por último foram propostos diferentes cenários e consideradas as criticidades dos tipos de componentes e componentes específicos, junto às suas respectivas análises afim de fornecer informações, de acordo com a estratégia da empresa, de maneira a priorizar a manutenção frente a tais cenários.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 tratou da apresentação do tema, objetivo geral e os objetivos específicos, justificativa e os procedimentos metodológicos do trabalho. O Capítulo 2 abordou o referencial teórico, a fim de entender o funcionamento dos métodos multicritérios, e mais especificamente os métodos AHP e PROMETHEE. Também foi feito um estudo sobre o OEE, e sua derivação OLE, além do indicador de desempenho MTTR.

O Capítulo 3 faz uma contextualização das atividades de manutenção e a apresentação dos dados que foram considerados para a análise multicritério e posterior definição de criticidade de componentes da linha. No Capítulo 4 são definidos e analisados os critérios que foram utilizados nas análises, além de mostradas algumas classificações que justificam a utilização do uso de métodos multicritérios.

O Capítulo 5 apresenta a parametrização dos dados conforme os métodos escolhidos e os *softwares* de sua aplicação. Foram considerados diversos cenários de priorização com o intuito de destacar suas diferentes perspectivas sobre os componentes que mais influenciaram no histórico trabalhado. O Capítulo 6 trata das conclusões obtidas com o trabalho desenvolvido, explanando algumas dificuldades encontradas, além de desafios futuros sobre o tema.

2 BASE CONCEITUAL

Este capítulo tem por finalidade abordar os principais conceitos no qual está baseado o trabalho aqui desenvolvido. Inicialmente destacam-se os conceitos relativos à manutenção. Em seguida, o apoio à decisão multicritério e a apresentação dos métodos AHP e PROMETHEE, cuja abordagem mais aprofundada é demonstrada na fase de análise dos dados.

Na sequência, são descritos os indicadores de eficiência global do equipamento, o OEE, e também da linha, chamado de OLE, e suas relações com a manutenção. Por fim, a apresentação do indicador MTTR que é uma das bases para as análises de multicritério realizadas.

2.1 A MANUTENÇÃO

Em 1992, Motter definiu a manutenção como uma atividade que por meio de um conjunto de técnicas e de organização é capaz de manter bens, como as máquinas, edificações e instalações, da mais conservada maneira, quando comparados a sua condição quando novos.

Pinto e Nascif (2001), apresentam uma perspectiva moderna para o conceito e missão da manutenção como sendo a função de garantir o funcionamento de equipamento e instalações “de modo a atender um processo de produção com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados”. Essa visão, mais abrangente, cita itens que, historicamente, não eram levados em conta para na execução da manutenção, assim como citado no decorrer das quatro gerações da manutenção, no início do item1 deste mesmo trabalho.

Ainda de acordo com Motter (1992) a manutenção objetiva, essencialmente, “manter em boas e seguras condições de utilização os ativos da organização”. Para tal objetivo ser cumprido há a necessidade de entender o processo onde a manutenção foi aplicada, uma vez que cada processo é relativo à cada organização, linha de produção ou equipamento que necessitam melhorar seu desempenho.

Sendo assim, para atingir o que a manutenção visa, o mesmo autor (1992) indica a elaboração de um plano básico de operações que seja essencialmente

composto pelas etapas apresentadas a seguir:

- 1) A definição do propósito da área que a manutenção é necessária ao processo;
- 2) As atividades fundamentais para que esse propósito seja atingido;
- 3) A fixação das diretrizes coerentes ao processo;
- 4) A definição de linhas de ação e responsabilidades dentre os responsáveis do setor de manutenção da empresa ou até mesmo setores relacionados;
- 5) O estudo e entendimento das relações entre os setores responsáveis ou que estejam ligados a manutenção.

A efetivação desse plano ocorre, basicamente, por meio da determinação de metas gerais e específicas para com o processo. Envolvendo técnicas modernas de manutenção e o uso de cronogramas previamente estabelecidos (MOTTER, 1992).

O quadro 1 mostrado a seguir resume os principais tipos da manutenção, apresentadas por Pinto e Nascif (2001).

Quadro 1 – Tipos de manutenção

Manutenção Corretiva	Trata-se da atuação para a correção de falhas e quando há a indicação de um desempenho menor que o esperado. É dividida entre: - Não planejada: quando a falha ocorre de maneira aleatória. - Planejada: Ocorre por decisão gerencial, quando há desempenho menor que o esperado.
Manutenção Preventiva	A atuação é realizada com intuito de evitar que haja perda de funcionamento e conseqüentemente, evitar que a queda de desempenho aconteça de fato.
Manutenção Preditiva	Visa que a operação de um equipamento seja feita de forma contínua. Atuando quando há variação de fatores que influenciam no desempenho medido nos equipamentos.
Manutenção Detectiva	Como o nome diz, trabalha com propósito de detectar a presença de falhas ocultas nos equipamentos, que passam despercebidas pelo pessoal de manutenção e operação.
Engenharia de Manutenção	Utiliza dados obtidos da manutenção para, de maneira geral, aplicar e determinar previamente os tipos de manutenção necessária ao processo.

Fonte: Adaptado de Pinto e Nascif, 2001.

O planejamento e a organização da manutenção são tratados de maneira extensa por Pinto e Nascif (2001), que constantemente ressaltam o valor de custo associado à prática, ou a falta dela, dos diferentes tipos de manutenção na empresa. Prever a atuação de engenharia de manutenção dentro da empresa, ou pelo menos a implantação da melhor política de manutenção para o processo, acarreta na modificação do processo produtivo sem a presença de problemas crônicos à linha.

A escolha do método, com o qual é lidado o problema de decisão para melhoria de desempenho, é de fundamental importância para escolha da mais correta política de manutenção, adequada ao ambiente de produção. A seção seguinte tem por objetivo esclarecer o uso dos métodos multicritérios na decisão de problemas complexos.

2.2 APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

Os Métodos Multicritério de Tomada de Decisão (MMTD) ou, como são mais conhecidos, em inglês, *Multicriteria Decision Making/Analysis* (MCDM ou MCDA) representam um meio de avaliar a tomada de decisão, levando-se em consideração múltiplos critérios que estão inseridos nos cenários que estão sendo trabalhados. Tais critérios são organizados de diferentes maneiras estruturadas através de métodos numéricos, por cálculo e/ou comparação, são os chamados métodos multicritérios.

Segundo Baran (2014) a justificativa de utilização de uma ferramenta de análise de multicritério provém do fato de que “muitos dos critérios apresentam natureza qualitativa” e, portanto, apresenta-se a necessidade de utilização de “um método de avaliação eficiente, que diminua a incerteza e subjetividade durante sua avaliação”. Sendo assim responsável por agregar, de uma ampla maneira, todas as características relevantes ao processo, sendo elas qualitativas ou quantitativas, possibilitando a transparência e uma sistematização completa do problema de decisão (GOMES et al., 2004).

As etapas que envolvem um processo de decisão multicritério, não necessariamente em uma ordem sequencial, e de uma maneira abrangente, são indicadas por Gomes et al. (2004) e são compostas pela recompilação da informação, modelagem, seleção e revisão. Para que a resolução de um problema e

o entendimento do seu processo de decisão seja feito de maneira eficiente, é necessário o entendimento de conceitos básicos citados por Gomes et. al (2004), inseridos dentro do contexto da decisão, são eles: o decisor, o analista, o conjunto de alternativas, os atributos, os critérios e os pesos.

Para o decisor será atribuída a responsabilidade do juízo final na avaliação e aplicação do método, e para o analista, será dada a responsabilidade de fazer a modelagem do problema em si. O conjunto de alternativas ou escolhas é o objeto no qual o decisor se deparará. Cada critério “é uma função que reflete as preferências do decisor quanto a um atributo” (GOMES et al, 2004), os atributos referem-se às características de preferência dado pelo decisor.

Os atributos e critérios são postos em eixos de avaliação, e assim faz-se possível a criação de comparações entre as alternativas que passam, por fim, à análise do decisor. Os pesos são “a medida da importância relativa dos atributos para com o decisor ” (GOMES et al, 2004).

Os critérios que forem selecionados para análise do problema serão responsáveis pela comparação e avaliação das alternativas que cabem a resolução do problema abordado. Sendo assim, é de fundamental importância que sejam excluídos os critérios que são considerados irrelevantes ao processo, a fim de se atingir da maneira mais direta possível o objetivo da análise (SANTOS, 2015).

A metodologia proposta por Gomes et al. (2004) para a resolução do problema de decisão, e da elaboração das quatro etapas citadas acima, incluem primeiro a definição do objeto ou problema de decisão que precisa ser resolvido, seguida da elaboração de critérios de acordo com a análise e estudo do problema. Após este estudo, faz-se a modelagem das preferências globais e abordagem operacional do problema, propondo assim um modelo analítico do mesmo. Por último é feita a análise dos resultados, que inclui a avaliação das alternativas quando postas de acordo com os critérios estabelecidos, seus pesos e com o ambiente no qual está sendo aplicado.

Portanto, para simplificar, o MCDA/MCDC é composto por vários métodos que tem como um dos objetivos garantir o estabelecimento da estrutura de preferências de um decisor, que está relacionada às consequências do problema de decisão, propondo uma avaliação das alternativas do problema decisório de acordo com os diferentes critérios e seus respectivos pesos (ALMEIDA, 2013 apud SANTOS, 2015). Fazendo assim, nas palavras de Gomes et al. uma “simbiose

perfeita entre a qualidade da informação e a qualidade do apoio à tomada de decisão” (2004).

Neste trabalho serão tratados como meio de análise e decisão os métodos AHP e PROMETHEE, fundamentados nas duas seções a seguir.

2.2.2 AHP (*Analytic Hierarchy Process*)

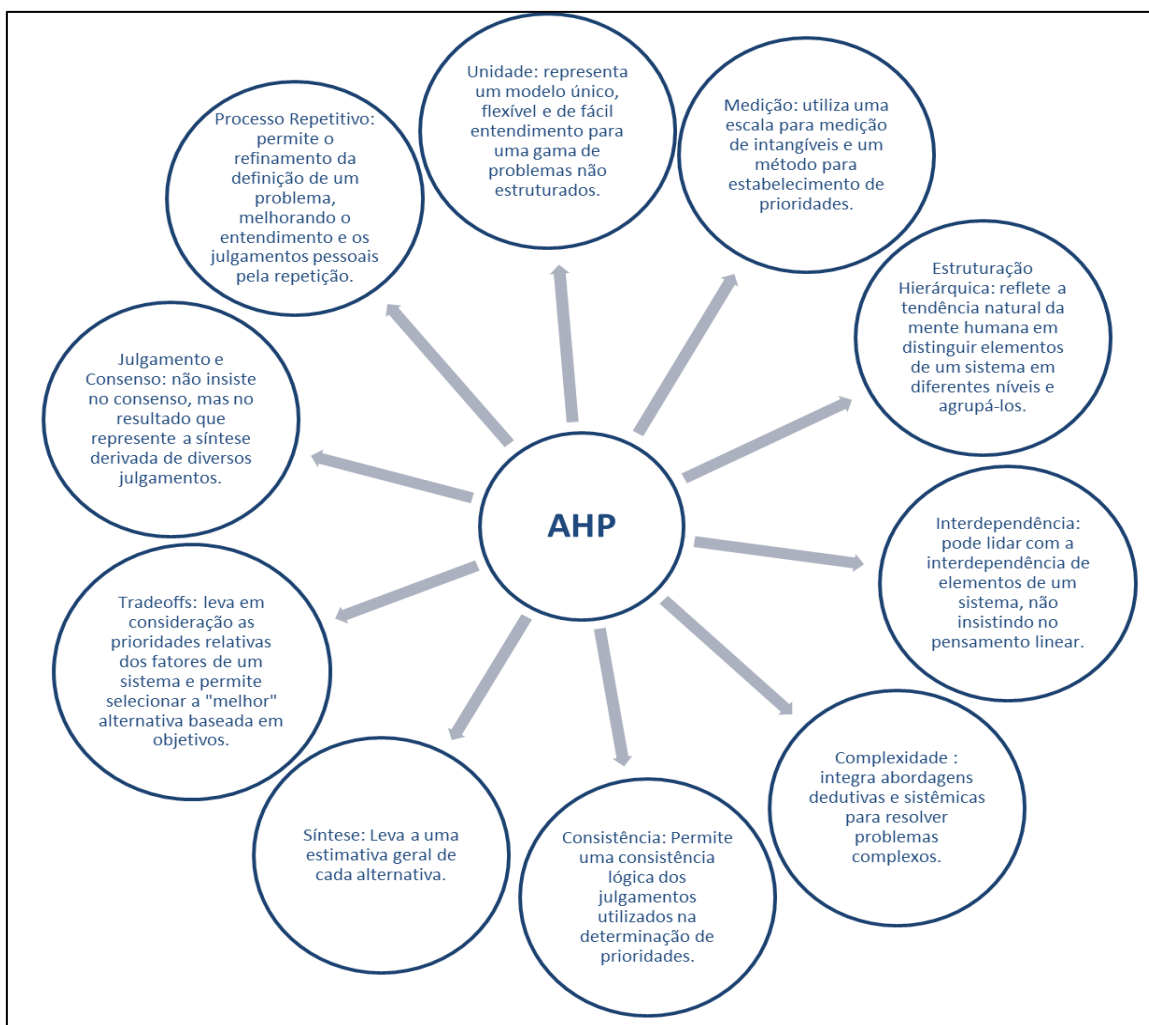
A Análise Hierárquica de Processo é uma abordagem sistemática desenvolvida na década de 1970 para fornecer a tomada de decisão baseada na experiência, intuição e heurística de uma metodologia bem definida, derivada de princípios matemáticos (BHUSHAN, RAI, 2004, p. 15).

A AHP é baseada na experiência de seu desenvolvedor Saaty, ao dirigir projetos de pesquisa na Agência de Controle de Armas e Desarmamento dos EUA. Foi desenvolvido como uma reação à descoberta de que existe carência de metodologia de fácil compreensão e implementação, que favoreçam a tomada de decisões complexas.

Desde então, a simplicidade e o poder da AHP levaram ao seu uso generalizado em vários domínios em todas as partes do mundo. A AHP encontrou uso em negócios, governo, estudos sociais, P&D, defesa e outros domínios que envolvem decisões nas quais a escolha, a priorização ou a previsão são necessárias (BHUSHAN, RAI, 2004, p. 15).

A Figura 4, a seguir, cita algumas das vantagens do uso do método AHP, segundo Saaty apud Gomes.

Figura 4 - Vantagens do AHP.



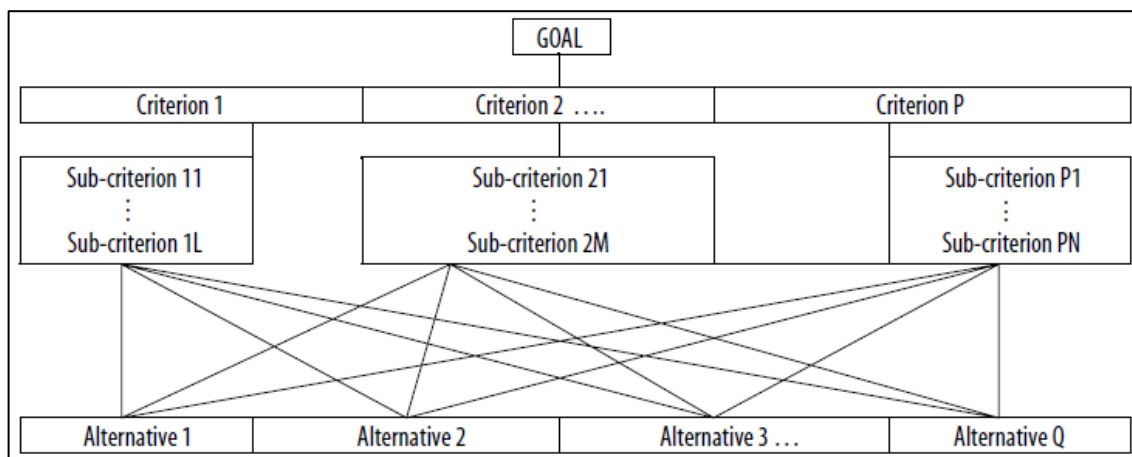
Fonte: Adaptado de Gomes, 2009.

A método AHP fornece uma forma de decompor um problema em uma hierarquia de sub-problemas, afim de serem mais facilmente compreendidos e avaliados subjetivamente. As avaliações subjetivas são convertidas em valores numéricos e processados para classificar cada alternativa em uma escala numérica (SAATY, 1990, p.15). Saaty ainda explica a metodologia AHP em seis passos:

Passo 1) O problema é decomposto em uma hierarquia contendo objetivo, critérios, sub-critérios e alternativas. Esta é a parte mais importante da tomada de decisão, pois é a estruturação do problema como uma hierarquia processo do AHP. Hierarquia indica uma relação entre elementos de um nível com aqueles de nível subsequentemente a seguir. Esta relação faz-se até o menor nível da hierarquia e, desta maneira, os elementos são conectados um com o outro, no mínimo de maneira indireta. A Figura 5 mostra uma estrutura de hierarquia genérica, em que na

raiz da hierarquia está o objetivo do problema a ser estudado ou analisado. Os ramos são as alternativas a serem comparadas. Entre esses dois níveis há vários critérios e subcritérios. É importante notar que, quando comparados elementos de cada nível, um tomador de decisão deve apenas comparar com respeito à contribuição dos elementos do nível menor para o nível maior.

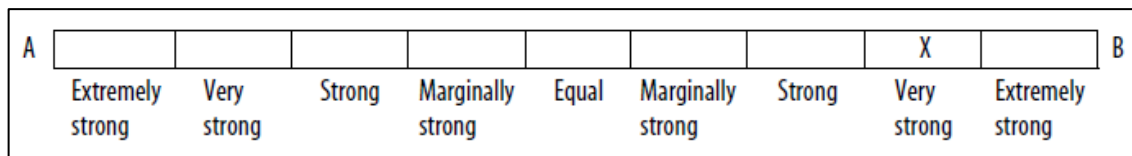
Figura 5 - Estrutura hierárquica genérica.



Fonte: Saaty, 1990, p. 16.

Passo 2) Os dados são coletados a partir de tomadores de decisão correspondendo à estrutura hierárquica, numa comparação emparelhada de alternativas em uma escala qualitativa. Ao comparar, tais tomadores de decisões podem avaliar como igual, marginalmente mais relevante, relevante, muito relevante ou extremamente relevante, como descrito na figura 6.

Figura 6 - Modelo para comparações emparelhadas.



Fonte: Saaty, 1990, p. 16.

Passo 3) As comparações emparelhadas dos vários critérios geradas no passo 2 são organizadas em uma matriz quadrada, onde os elementos da diagonal são iguais a 1. O critério do índice referente à linha da matriz (i) é maior do que o critério referente à coluna (j) se o valores do elemento (i, j) é maior do que 1; caso contrário, o critério na coluna (j) é maior do que na linha (i).

Passo 4) O principal vetor e valor normalizado correspondente da matriz de comparação fornece a relativa importância de vários critérios a serem comparados. Os elementos do vetor normalizados possuem pesos com respeito aos critérios ou subcritérios e classificação com respeito às alternativas.

Passo 5) A consistência da matriz de ordem n é validada. Comparações feitas por este método são subjetivas e a AHP tolera inconsistências através da quantidade de redundâncias na abordagem. Se o índice de consistência falha ao pesquisar um nível requerido, então as respostas para as comparações podem ser reexaminadas. O índice de consistência CI é calculado por:

Equação 1 - Índice de consistência.

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

onde λ_{max} é o máximo autovalor da matriz de julgamento.

Passo 6) A classificação de cada alternativa é multiplicada pelos pesos dos subcritérios e agregados ao local de classificação com respeito a cada critério.

A AHP produz valores com pesos para cada alternativa baseados no grau de importância de uma alternativa com relação à outra com base em um critério comum (SAATY, 1990, p. 17).

Para que a matriz seja considerada consistente, ou seja, coerente, a relação de consistência (CR) deve ter um grau de incerteza inferior a 10%:

Equação 2 - Relação de consistência.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

2.2.3 PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*)

O método PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) foi desenvolvido para tratar de problemas multicritério discretos (GOMES, 2004, p. 124).

As quatro primeiras vertentes do PROMETHEE (I, II, III, IV) foram criadas para solucionar os problemas de forma a apresentar alternativas em ordem de prioridade. Neste estudo, serão estudados o PROMETHEE I e II, nos quais, assim

como o III e o IV, comparam os desempenhos das alternativas dispostas critério a critério. São também utilizados pseudocritérios para associar limites de indiferença de ordem de preferência das alternativas, sendo possível para o agente de decisão variar seu grau de preferência de uma alternativa em relação a outra.

No método I do PROMETHEE, é obtida uma pré-ordenação parcial, sendo possível a visualização de incompatibilidade entre as alternativas. Já no PROMETHEE II, se obtém uma pré-ordem total, não sendo admitida a relação de incompatibilidade.

a) PROMETHEE I

Como mencionado acima, este método visa resolver problemas de ordenação (do tipo P^{YY}), fornecendo uma pré-ordenação parcial das ações analisadas. Gomes diz que, para aplicar este método, é preciso definir uma matriz de decisão com m ações a serem analisadas (alternativas) e n critérios. Nesta matriz são inseridas informações como:

- os pesos (w_j) relativos a cada critério;
- os tipos de pseudocritérios considerados;

Gomes cita três passos para a aplicação deste método I:

Passo 1) Deixar claro como se relacionam 2 alternativas com base em cada critério.

Aqui é feito o cálculo para cada par de alternativas da diferença de desempenho da alternativa x_i com a x_k , relativa ao critério j :

Equação 3 - Diferenças.

$$\delta_{ik} = |u_j(x_i) - u_j(x_k)|$$

A função de preferência relativa de cada critério j é dada por:

Equação 4 - Preferência relativa.

$$P_j(x_i, x_k) = P_j(|u_j(x_i) - u_j(x_k)|) = P_j(\delta_{ik})$$

Passo 2) Comparar a alternativa x_i com a x_k , afim de calcular o índice de preferência S_{ik} . Tal índice expressa o grau de preferência da alternativa x_i sobre a x_k , considerando todos os critérios simultaneamente:

Equação 5 - preferência da alternativa $x_i x_i$ sobre a $x_k x_k$

$$s_{ik} = \frac{\sum_j w_j P_j(x_i, x_k)}{\sum_j w_j} = \frac{\sum_j w_j P_j(\delta_{ik})}{\sum_j w_j}$$

Passo 3) é feito o cálculo de superação positivos, que mostra como $x_i x_i$ supera e é superado pelas demais alternativas, dado por $\phi_i^+ \phi_i^+$ para quando $x_i x_i$ supera e $\phi_i^+ \phi_i^+$ para quando $x_i x_i$ é superada:

Equação 6 - Fluxo de superação positivo.

$$\phi_i^+ = \sum_k s_{ik}$$

Equação 7 - Fluxo de superação negativo.

$$\phi_i^- = \sum_k s_{ki}$$

Passo 4) Obtém-se a interseção das pré-ordens obtidas no passo 3, encontrando, assim, a pré-ordenação parcial:

- $x_i x_i$ supera $x_k x_k$ se:

$$\phi_i^+ > \phi_k^+ \phi_i^+ > \phi_k^+ \text{ e } \phi_i^- > \phi_k^- \phi_i^- > \phi_k^- \text{ ou}$$

$$\phi_i^+ > \phi_k^+ \phi_i^+ > \phi_k^+ \text{ e } \phi_i^- = \phi_k^- \phi_i^- = \phi_k^- \text{ ou}$$

$$\phi_i^+ = \phi_k^+ \phi_i^+ = \phi_k^+ \text{ e } \phi_i^- < \phi_k^- \phi_i^- < \phi_k^-$$
- $x_i x_i$ é indiferente de $x_k x_k$ se:


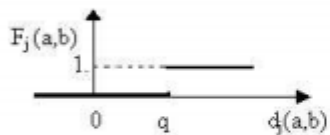
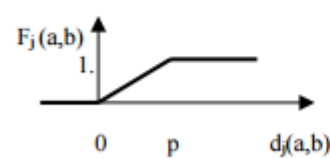
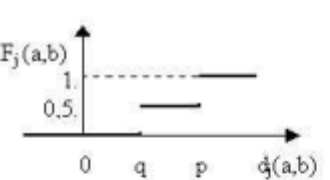
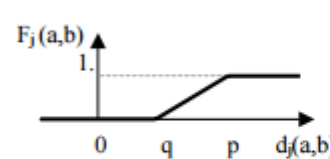
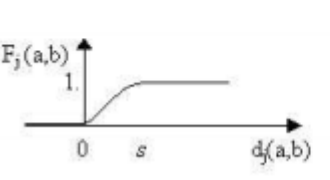
$$\phi_i^+ = \phi_k^+ \phi_i^+ = \phi_k^+ \text{ e } \phi_i^- = \phi_k^- \phi_i^- = \phi_k^-$$
- $x_i x_i$ é incomparável a $x_k x_k$ se:

$$\phi_i^+ > \phi_k^+ \phi_i^+ > \phi_k^+ \text{ e } \phi_i^- > \phi_k^- \phi_i^- > \phi_k^- \text{ ou}$$

$$\phi_i^+ < \phi_k^+ \phi_i^+ < \phi_k^+ \text{ e } \phi_i^- < \phi_k^- \phi_i^- < \phi_k^-$$

Bastos e Almeida mostram na figura 7 os modelos de Preferência Relativa:

Figura 7 - Função de preferência relativa.

<p>1ª</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Imediata Preferência Estrita; • Não há parâmetros a ser definido. $d_j(a,b) \leq 0, F_j(a,b) = 0$ $d_j(a,b) > 0, F_j(a,b) = 1$
<p>2ª</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe um limiar de indiferença (q), o qual deve ser fixado. $d_j(a,b) \leq q, F_j(a,b) = 0$ $d_j(a,b) > q, F_j(a,b) = 1$
<p>3ª</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Preferência crescente até um limiar de preferência (p) determinado. $d_j(a,b) > p, F_j(a,b) = 1$ $d_j(a,b) < 0, F_j(a,b) = 0$ $0 \leq d_j(a,b) \leq p, F_j(a,b) = (1/p) * d(a,b)$
<p>4ª</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Existem limiares de indiferença e preferência, os quais devem ser fixados; entre os dois, a preferência é média. $d_j(a,b) > p, F_j(a,b) = 1$ $d_j(a,b) \leq q, F_j(a,b) = 0$ $q < d_j(a,b) \leq p, F_j(a,b) = 0,5$
<p>5ª</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Existem limiares de indiferença e preferência, os quais devem ser fixados; entre os dois, a preferência é crescente. $d_j(a,b) > p, F_j(a,b) = 1$ $d_j(a,b) < q, F_j(a,b) = 0$ $q \leq d_j(a,b) \leq p, F_j(a,b) = [1/(p,q)] * [d(a,b),q]$
<p>6ª</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Preferência crescente seguindo uma distribuição normal, o desvio padrão deve ser fixado. $\frac{-d(a,b)^2}{2s^2}$ $d_j(a,b) \geq 0, F_j(a,b) = 1 - e$ $d_j(a,b) < 0, F_j(a,b) = 0$ $d_j(a,b) \rightarrow +\infty, F_j(a,b) \rightarrow 1$

Fonte: Almeida e Bastos, 2003.

b) PROMETHEE II

Tem como intuito resolver problemas de prioridades de alternativas, realizando uma pré-ordenação completa. Segundo Gomes, utiliza-se os mesmos procedimentos descritos no método PROMETHEE I, acrescentando um fluxo de superação neto (ϕ_i^+) entre alternativas, obtido pela diferença dos fluxos positivos e negativos já calculados no método anterior:

Equação 8 - Fluxo de superação neto.

$$\phi_i = (\phi_i^+ - \phi_i^-)$$

A partir disso, é possível obter a ordenação completa das alternativas, de mais eficientes à de menor eficiência, obtendo-se, assim, uma pré-ordem total.

2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO

2.3.1 A EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO

O *Overall Equipment Failure* (OEE) é um índice de desempenho utilizado por empresas de classe mundial, fazendo por meio de cálculos a avaliação da eficiência de um equipamento. (HANSEN, 2006). A utilização deste índice é um meio de evitar que paradas não programadas aconteçam, ou seja, que não foram previstas pela manutenção previamente, consequentemente aumentando a eficiência geral do equipamento e até mesmo da produção em geral. Hansen indica a aplicação dos índices OEE primeiramente nos gargalos das linhas de produção ou em pontos que sejam cruciais, e que garantam a continuidade da linha.

Uma vez que se objetiva minimizar no processo o número e o tempo de paradas não programadas, faz-se necessário entender a diferença entre as paradas de máquina que podem ser consideradas durante a produção. As paradas programadas são previstas pela área de manutenção, pelo que se diz ser, de acordo com Hansen (2006), por “motivos legais”. São incluídos nessa programação o tempo estipulado para o cumprimento da legislação do trabalho, planejamento dos setores relativos à qualidade, segurança e confiabilidade do equipamento.

Nas paradas não programadas são consideradas as falhas de funcionamento, que ocorrem inesperadamente e acarretam a perda de função, as falhas de *setup* e ajustes, ligadas a termos de condição técnica de funcionamento do equipamento, como a perda de tempo para que sejam feitas regulagens para atingir as especificações do produto. Também são incluídas as falhas de trocas de ferramenta, tempo de início de funcionamento e o tempo de espera por fatores adversos, como problemas organizacionais de operadores (HANSEN, 2006).

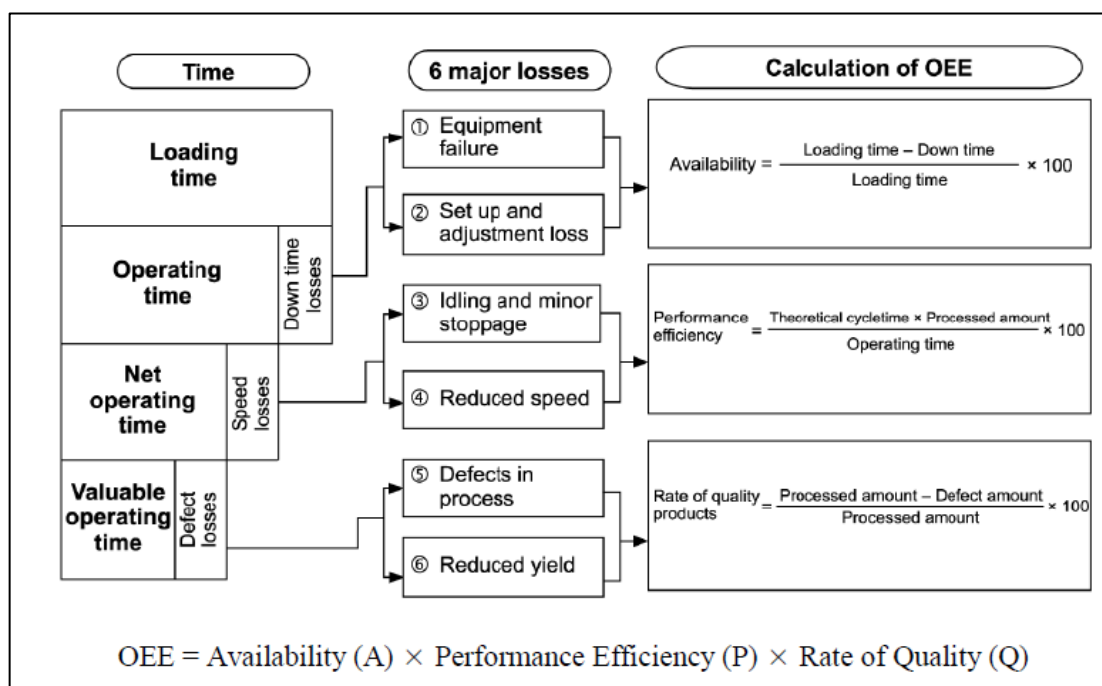
O cálculo do índice OEE, é apresentado pela Equação 9, a seguir, e leva em conta os indicadores de desempenho, qualidade e disponibilidade da produção. Na

Figura 8 cada um desses indicadores é apresentado de uma maneira abrangente, diante dos das perdas presentes durante a produção e os tempos relativos ao processo.

Equação 9 - Cálculo OEE.

$$OEE (\%) = Disponibilidade * Desempenho * Qualidade$$

Figura 8 - A formulação do OEE.



Fonte: Hansen, 2006.

De acordo com a NBR 5462-1994 o conceito de disponibilidade (*availability*) é relativo à condição que um equipamento tem de executar sua designada função, tendo em conta um certo intervalo de tempo ou até mesmo um instante de tempo de funcionamento determinado à sua especificação. O cálculo do desempenho é dado pela equação a seguir (Equação 10).

Equação 10 - Disponibilidade.

$$Disponibilidade (\%) = \frac{(Tempo\ de\ carga - Tempo\ de\ Parada)}{Tempo\ de\ Carga} * 100$$

Onde tempo de carga é o tempo considerado de produção programada, são incluídas nesse tempo as interrupções da manutenção não planejada, o tempo de parada não-programada (*downtime*) (HANSEN, 2006).

O indicador de eficiência é indicado pela equação a seguir. O tempo de operação é o aquele onde há efetivamente a produção ocorrendo. Pode-se dizer que o tempo de operação é a diferença entre o tempo de carga e o tempo de manutenção não-programado (HANSEN, 2006).

$$\text{Equação 11 - Desempenho ou Eficiência.}$$

$$\text{Desempenho ou Eficiência (\%)} = \frac{(\text{Tempo de ciclo ideal} * \text{Volume processado})}{\text{Tempo de operação}} * 100$$

O último indicador, da qualidade (*quality*), está representado pela Equação 12. Este simplesmente indica a razão entre o número de peças boas produzidas e o número total da produção.

$$\text{Equação 12 - Qualidade.}$$

$$\text{Qualidade (\%)} = \frac{\text{Número de peças boas}}{\text{Número da produção total}} * 100$$

A análise e identificação das perdas de produção durante o processo são consideradas fundamentais para a atuação da manutenção na melhoria do índice do OEE. Segundo Nakajima (1988 apud Piechnicki, 2013), as perdas que influenciam no indicador de disponibilidade são relacionadas às falhas que afetam o desempenho da função normal do equipamento, e, portanto, no tempo de operação em si da máquina – são as falhas por quebras e ajustes.

Quando as perdas interferem diretamente reduzindo a velocidade em que a produção está ocorrendo, diz-se que estas são as perdas que afetam a eficiência/desempenho do equipamento. São as perdas por pequenas paradas e por velocidade reduzida. E por fim, as perdas por efeitos de retrabalho e por *startup* afetam o índice final da qualidade, estas falhas incluem os itens que são produzidos, porém rejeitados pela qualidade.

2.3.1.1 O OLE (*Overall Line Effectiveness*)

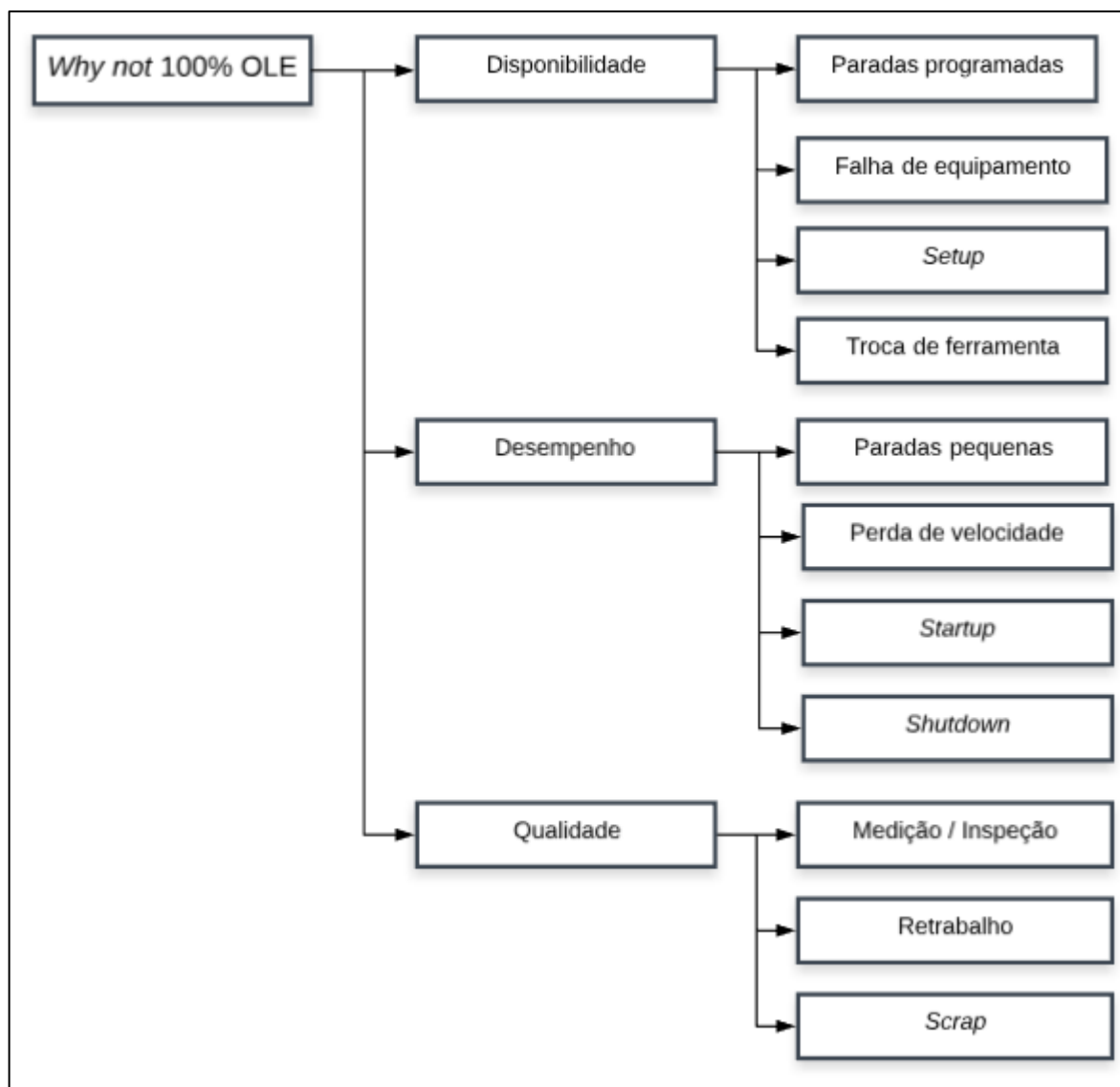
Nachiappan e Anantharaman (2006) fazem analogia ao indicador OLE (*Overall Line Effectiveness*) como sendo uma extensão ao OEE, com sua base de cálculo diferenciado pela inclusão aos fatores de perdas existentes, abordadas anteriormente, de disponibilidade, performance e qualidade, aqueles relacionados ao tipo de manutenção planejada da linha envolvida.

Nos estudos de Busso e Mathias, que leva em consideração quais os tipos de perdas e paradas estão envolvidos no cálculo de eficiência de diferentes indicadores, dentre outros, indica-se o OLE como uma ferramenta que quando atrelada às atividades de melhoria contínua pode ser usado para estratégias de negócio, devido sua visão sistêmica das perdas de todos os componentes presentes na linha (2013).

Segundo Raja (2008), o OLE é um novo modelo focado na medida da qualidade da linha de produção, ou seja, a qualidade do produto no final do processo. Os fatores critérios para o cálculo do OLE passam a ser a disponibilidade, o desempenho e a qualidade da linha, ou seja, de máquinas e/ou estações que afetam o desempenho final da linha de produção.

A empresa em estudo calcula o OLE tomando como base o tempo planejado de produção, que é diretamente ligado ao volume de produção planejado, de forma a estratificar toda e qualquer parada que possa interferir o planejamento. Os critérios disponibilidade, qualidade e desempenho continuam a fazer parte do cálculo, agora da eficiência da linha, no entanto, são mostrados de forma estratificada, ditos tipos de perdas, que podem ser vistas na figura 9 a seguir:

Figura 9 - Critérios utilizados para calcular o OLE, juntamente com seus subcritérios.



Fonte: Autoria própria.

2.3.2 O MTTR (*Main Time to Repair*)

De forma direta, Filho (2008) afirma que o MTTR (*Main Time to Repair*, ou Tempo Médio de Reparo) é a média das somas de tempo necessários aos reparos efetuados em um equipamento específico, quando ocorrida uma falha, sem considerar os tempos de ajustes e *setup* (apud BARAN, 2014, p.28). O cálculo do MTTR apresentado na equação 13.

Equação 13 - MTTR

$$MTTR = \frac{(\sum_{i=1}^n TTRi)}{n}$$

Sendo $TTRi$ o tempo de reparo do equipamento de cada ocorrido, em horas, e n o número de falhas ocorridas ao longo do período que está sendo realizada a análise das falhas.

Segundo Baran, o MTTR é essencial às atividades de manutenção por indicar qual foi o tempo de manutenção de fato para um equipamento quando ocorrida a falha. Assim, mesmo que um equipamento não possua um histórico de falhas frequentes, um valor de MTTR elevado indica uma criticidade maior quando comparada a outros considerados na mesma análise (2014). A diminuição do MTTR tem impacto direto na disponibilidade que um equipamento apresenta à produção.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

Esta seção faz a contextualização das atividades de manutenção dentro da empresa. Serão considerados os dados da linha de usinagem, que, como já citado anteriormente, possui máquinas mais robustas e com um grau de automatização mais elevado quando comparado às outras linhas da mesma fábrica, como por exemplo, a linha de montagem do motor, que necessita de mais operadores e de mais trabalhos manuais.

Serão abordados os dois principais indicadores de desempenho considerados pela empresa para priorização de atividades: o OLE, que é reportado diariamente pela área da produção e é o indicador que mostra o qual eficiente a linha está, e o MTTR, que é controlado e acompanhado pela área da manutenção e, se muito alto, afeta diretamente no OLE no critério disponibilidade.

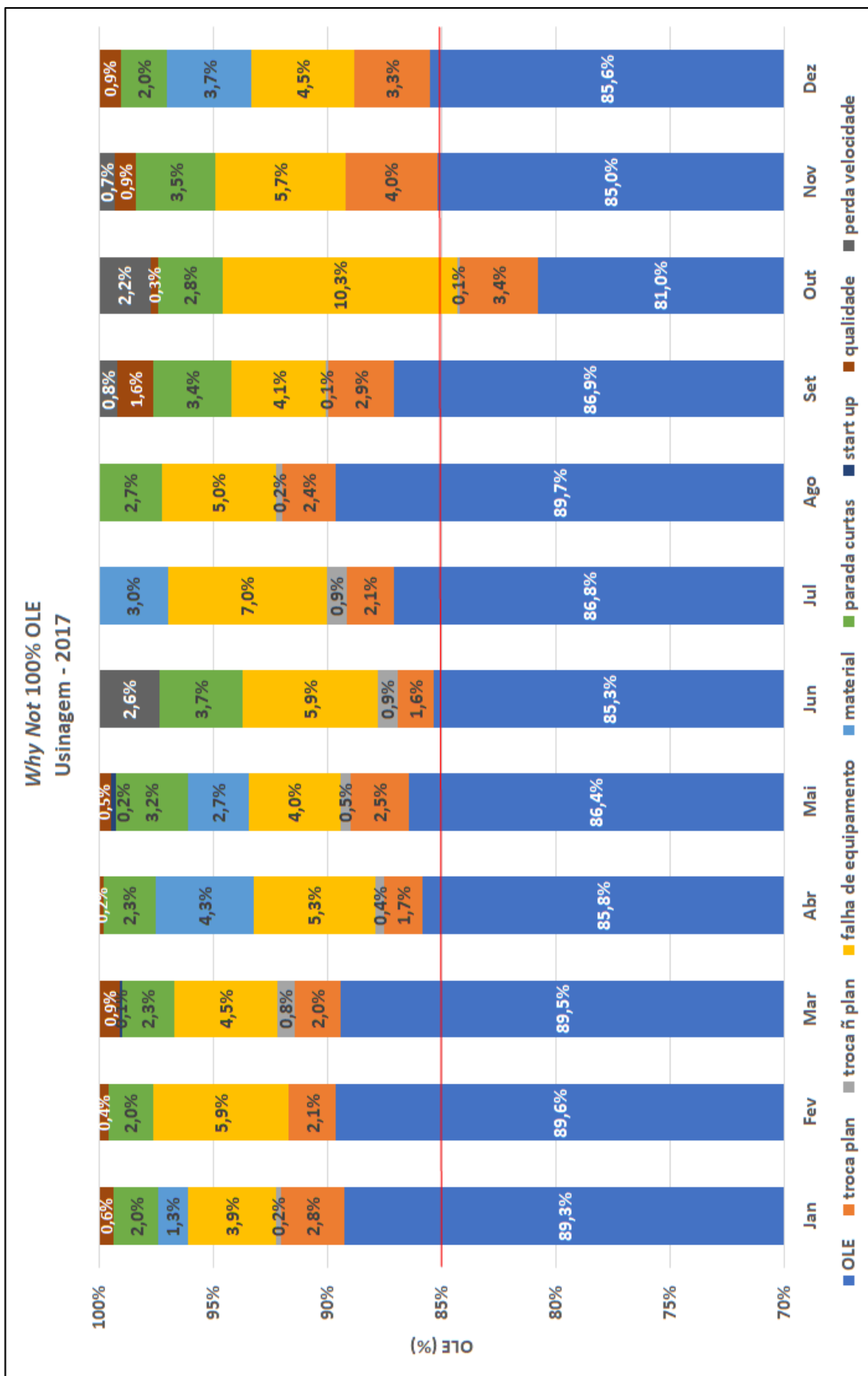
Para o OLE, será apresentado o gráfico com os principais fatores que influenciaram tal indicador na linha de usinagem, coletados pelos responsáveis que trabalham na produção, no período de janeiro à dezembro de 2017 e; para o MTTR, serão apresentados os dados referentes a falha de equipamento do mesmo período, que são consolidados no CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) pelos responsáveis que atuam na manutenção.

3.1 WHY NOT 100% OLE

Diariamente os líderes de equipe de cada turno de produção apontam, ao final do expediente, os fatores que influenciaram para que o OLE não atingisse 100%. Na linha da usinagem em estudo, há fatores que podem influenciar no OLE, como troca de ferramentas e pequenas falhas. Portanto, cada linha de produção determina um objetivo diário, comumente chamado de *target*, para se ter o controle da boa eficiência produtiva.

A figura 10 mostra o gráfico consolidado do ano de 2017, e que contém as informações que afetam os critérios para o cálculo do OLE:

Figura 10 - Gráfico relativo ao OLE do ano 2017 na linha de Usinagem em estudo.



Fonte: Empresa automotiva em estudo.

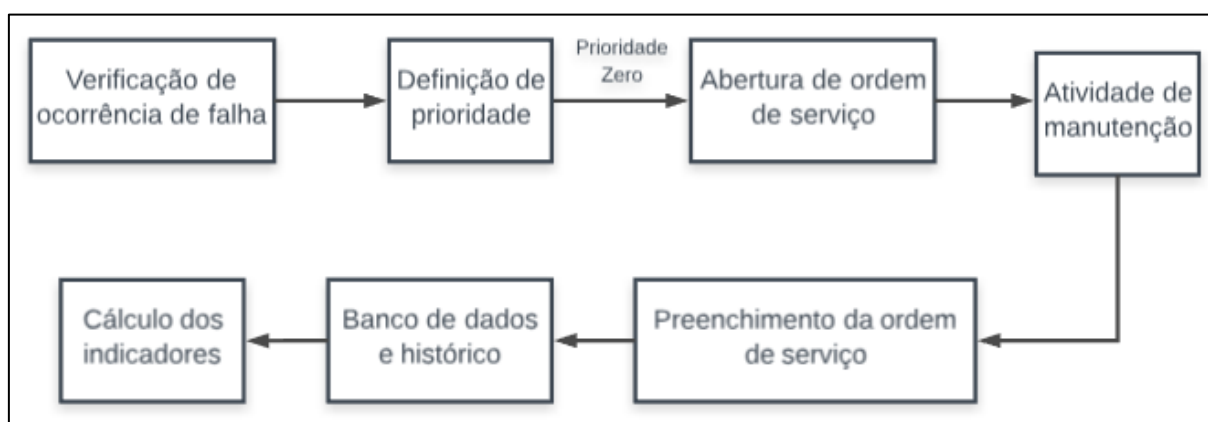
É possível perceber que, em todos os meses, o fator falha de equipamento foi o que mais afetou no valor do OLE, pois interfere diretamente o critério disponibilidade. Como são os técnicos de manutenção que atendem aos chamados de falha, logo todos os dados relacionados a este fator estão sob a gestão da manutenção. O histórico de falha e manutenção de cada um dos itens produtivos da linha de produção, se bem gerenciados e analisados, podem fornecer informações a respeito de componentes que podem ser críticos e também podem auxiliar nas futuras ações a ser tomadas.

Neste trabalho, serão analisados os dados de falha de equipamento e, na próxima seção, será mostrado como funciona a coleta dos dados pela área de manutenção referentes a este fator.

3.2 ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

As atividades de manutenção da empresa cujos dados foram extraídos para a realização deste trabalho estão descritas, de maneira simplificada, no fluxograma representado pela figura 11. O fluxo é iniciado a partir da identificação de ocorrência de uma falha em determinado item produtivo pelo operador. Como as falhas interferem na disponibilidade do equipamento, elas recebem a prioridade máxima de execução do reparo, chamada Prioridade Zero (P0).

Figura 11 - Fluxograma das atividades de manutenção.



Fonte: Autoria própria.

A disponibilidade é um critério para a composição do indicador OEE e, no caso deste estudo, do OLE. Portanto, as falhas de equipamento estão diretamente ligadas a este critério, acarretando impactos negativos na eficiência da linha. As ordens de serviço que demandam atividades que não geram impactos diretos no OLE, possuem prioridades diferentes, de acordo com o tipo de atividade.

A ordem do tipo "P0" possui um formulário diferenciado, onde o técnico preenche diversas informações a respeito da componente produtivo que falhou, tempo do atendimento e ainda faz uma análise de causa raiz, afim de solucionar o problema e eliminar as chances de ele ocorrer de volta pelo mesmo motivo. Na figura 12, é possível visualizar um exemplo do formulário de uma P0.

Figura 12 - Ordem de serviço de manutenção de prioridade zero.

Ordem de Serviço P0										Nº			
Localização e Área: US200 - Mandrilamento		Equipamento e Componente: US200-C0043 - Correia Sincronizadora		Estação: NC	Conta: 5511-01	Aceite Produção	Aprovação Manutenção	Sistema Controle					
Solicitante: João Cruz		Atendido por: José Silva		Data/Hora da emissão: 30/10/2017 17:45			30/10	30/10	31/10				
Problema: ALARME DE SUPERVISAO EIXO X													
Descrição do Problema / Anomalia					Descrição da Intervenção (Contramedidas)								
Correia de transmissão do Eixo X rompida.					Substituído correia sincronizada da transmissão do eixo X. Obs: Revisado sistema de medição da régua do eixo X, inspecionado fuso esférico e rolamento dos mancais.								
Definição do Fenômeno (Defeito)	5WIH (coleta de dados/fatos na máquina)				Descrição e Esboço ou Desenho do Fenômeno Baseado no 5WIH								
	O que:	Falha de supervisão do eixo X;											
	Quando:	OP200, Eixo X, correia;											
	Onde:	Durante o ciclo de usinagem;											
	Quem:	Márcio;											
	Qual Frequência:	1 vez no turno;											
Como:	Ao usar o 4º cilindro do bloco.												
Listagem e Teste de Possíveis Causas					OK/ NOK	Análise da Causa Raiz (5 Por quês)							
1 - Inspeção da régua cônica de ajuste do barramento;					OK	1 - Falha de medição do motor;							
2 - Revisado funcionamento da régua de medição do eixo X;					OK	2 - Falha na transmissão mecânica;							
3 - Teste do cabo de medição da régua;					OK	3 - Correia sincronizada rompida;							
4 - Teste do módulo de regulação do eixo X;					NOK	4 - Desgaste / Deterioração.							
5 -						5 -							
Componentes Utilizados: Correia Sincronizadora Sincroflex 75 T10/840													
Ações Complementares			Quem	Quando									
Instalar sensor para verificar a presença da correia.			Marcelo	30/10/2017									
Verificar a instalação da seletora para desabilitar um sistema de medição.			Ricardo	30/10/2017									
Incluir na SMP troca da correia baseado no tempo.			Afonso	10/11/2017									
					<ul style="list-style-type: none"> Falha para Manter Condições Básicas: <ul style="list-style-type: none"> > Contaminação > Lubrificação > Aperto Falha na Observação das Condições de Operação: <ul style="list-style-type: none"> > Vazamentos > Temperatura nok > Pressão nok > Ajustes e desvios > Diferença Falha para Restaurar/Eliminar Deterioração: <ul style="list-style-type: none"> > Desgaste em: Componente Elét, Componente Mec > Ausência de Atividades de PM Habilidade Insuficiente do Operador ou Manutentor: <ul style="list-style-type: none"> > Erro Humano Operação > Erro Humano Manutenção > Erro Humano Especialista Fragueza do Projeto: <ul style="list-style-type: none"> > Erro ou Fraqueza de Projeto ou Construção Influência Externa: <ul style="list-style-type: none"> > Compon. Novo > Meio Ambiente > Matéria Prima > Utilidades (ar, energia, combustível etc) 								
Ações de Sustentação	Expansão			Quem	Quando								
	AM - Implementar ou rever o calendário de AM					Padrão de AM							
	PD - Restabelecer a máquina ou criar e treinar OPL / SMP :					OPL para Condições de Operação							
	PM - Implementar ou rever o calendário de PM			Afonso	10/11/2017	Padrão de PM							
	PD - Analisar a causa raiz do erro humano e/ou rever matriz conhecimento					Calendário de PM							
	FI / EEM - Implementar melhoria ou novo projeto aperfeiçoar a TS via Mpi					HERCA / MHERCA							
PM - Informar a Engemman para contactar fornecedor					Rever o Padrão de Projeto								
MTTR	Dia e Hora Início		Dia e Hora Final		Tempo Operador	Tempo Segurança	Tempo Deslocamento	Tempo Diagnose	Tempo Ferramentaria e Almox	Tempo Reparo	Tempo Teste e Liberação	Tempo Total Reparo	Tempo Máq. Parada
	30/10 11:45		30/10 19:00		11:47	11:50	12:00	13:00	13:30	17:30	18:00	05:12:00	07:15
Mão de Obra	Dia e Mês		30/10/2018		30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	APR: Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>			
	Centro de Custo		17190		17190	17190	17190	17190	17190	Justificativa: Alarme de supervisão do Eixo X			
	Horas		7		5	5	2	7					
Executante		Macelo		Ricardo	Julio	Valdinei	Rafael						
Outros Comentários													

Fonte: Empresa automotiva em estudo.

Após a ordem P0 ser preenchida, os dados são inseridos no CMMS, que torna possível a geração dos relatórios de manutenção, com gráficos e cálculo dos indicadores, proporcionando melhoria nas análises e tomadas de decisão na empresa. Assim, é possível fazer os acompanhamentos periódicos conforme as políticas da empresa, atividades de melhoria, calendário de manutenção, etc.

3.3 MTTR (*Mean Time To Repair*)

No exemplo da ordem de manutenção P0 (Figura 12) há, na região inferior, a estratificação dos tempos do reparo, que totalizam o tempo de parada do objeto produtivo que falhou.

Para realizar o cálculo do MTTR, a empresa considera a diferença dos tempos referentes exclusivamente à manutenção, ou seja, o tempo total apenas do reparo. Este vai desde o horário do deslocamento do técnico de manutenção até a estação em que o chamado foi aberto, até o tempo em que o reparo foi finalizado. Já o tempo de parada total, se refere a diferença de tempo de todos os eventos da P0, que é desde o momento em que o operador identificou que havia uma falha, até o momento em que a estação foi liberada novamente e aceita pela produção.

A figura 13 mostra a estratificação dos tempos da P0:

Figura 13 - Estratificação dos tempos da P0.

1	2	3	4	5	6	7
Operador	Segurança	Deslocamento	Diagnose	Almoxarifado	Reparo	Teste e Liberação
		Tempo de reparo				
Tempo total de parada						

Fonte: Autoria própria.

Logo, o MTTR calculado para o exemplo da ordem P0 (Figura 12) é:

$$\text{MTTR} = \text{Hora } 5,2/1 = 5,2 \text{ (5h12)}$$

Portanto, o cálculo do tempo total de parada pode ser maior do que o tempo apenas do reparo, de acordo com o tempo que operador pode levar para abrir o chamado, assim como o tempo para que o local possa estar seguro para atividade e o tempo de teste e liberação da estação de operação.

O MTTR pode ter uma análise de diversos pontos de vista, dependendo do que a empresa julgue ser importante (MTTR por máquina, por componente, por tipo de causa raiz, por período, por área, etc.). No quadro 2 seguem as informações contidas nas ordens de serviço que podem ser importantes na hora da empresa priorizar as análises para tomar decisões na programação das atividades de manutenção.

Quadro 2 – Descrição dos campos da ordem P0

Informação	Descrição
Nº	Número de registro da ordem de serviço
Data/Hora da emissão:	Data de registro da ordem
Localização e Área:	Linha produtiva onde ocorreu a falha
<i>Equipamento e Componente:</i>	Identificação do equipamento e do componente que falhou
Problema	Descrição da falha
Descrição da intervenção	Detalhes do serviço realizado para realização da reparo
Causa raiz	Tipo de causa para que o problema viesse a ocorrer

Fonte: Autoria própria.

Como já apresentado, neste trabalho, o fator componente foi estudado. Ou seja, quais os tipos de componente mais falham e depois, mais especificamente, quais os principais componentes que falham, com o intuito de definir quais são os mais críticos na linha de usinagem.

3.4 ORDENS DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO EM 2017

No ano de 2017 foi registrado um total de 104 ordens de serviço de prioridade zero dentro das atividades de manutenção, na linha de usinagem da fábrica em estudo. Este número corresponde a falhas que ocorreram em 82 componentes de

itens produtivos, sendo que a linha de produção possui 32 máquinas, dos quais 28 tiveram alguma falha, como pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das máquinas e quantidade de componentes com falha em 2017.

Máquina produtiva	Falhas	Componentes que falharam
US020	9	9
US025	1	1
US030	4	4
US040	1	1
US045	3	3
US050	3	3
US060	12	11
US080	5	4
US085	1	1
US090	5	4
US110	1	1
US130	1	1
US140	2	2
US145	1	1
US160	3	3
US165	1	1
US170	1	1
US180	2	1
US190	1	1
US198	14	8
US200	11	8
US210	1	1
US220	6	5
US221	2	2
US240	2	1

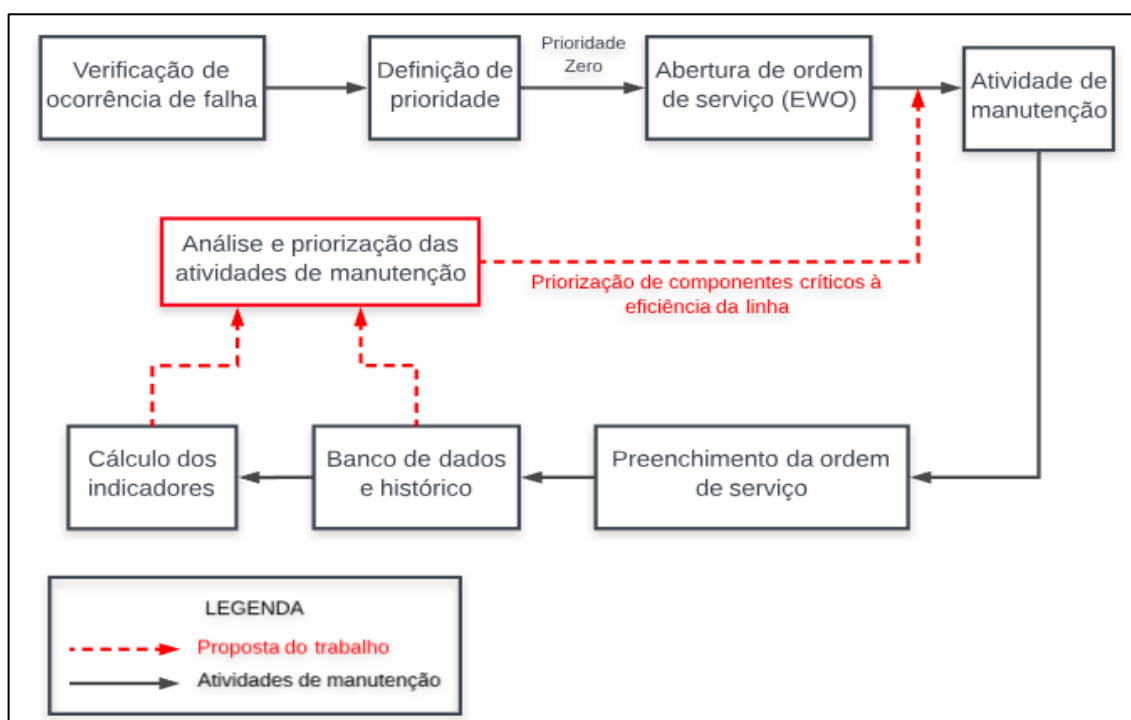
Máquina produtiva	Falhas	Componentes que falharam
US250	2	2
US011	1	1
US012	1	1

Fonte: Empresa automotiva em estudo.

A tabela apresenta as 28 máquinas de produção que sofreram algum tipo de falha, sendo que na primeira coluna está o código do objeto que falhou, na segunda coluna está o número de falhas em cada um deles e na terceira coluna está o número de componentes diferentes de cada objeto que sofreram falha.

O estudo deste trabalho visa conhecer a criticidade dos componentes das máquinas e equipamentos produtivos, principalmente àqueles que influenciam diretamente a produção quando sofrem alguma falha. O fluxo da falha de equipamento pode ser verificado na figura 14.

Figura 14 - Proposta de estudo deste trabalho.



Fonte: Autoria própria.

Os blocos indicados pela cor preta, indicam o fluxo normal das ordens de manutenção P0. Já o fluxo em vermelho, indica a proposta deste trabalho, inserido

dentro do fluxo normal, com o propósito de oferecer base para as tomadas de decisões na programação e priorização das atividades de manutenção.

Nas próximas seções, serão definidos critérios para a análise de todos os componentes que falharam, a fim de definir quais são os mais críticos, de acordo com o histórico do ano de 2017, na linha de usinagem da empresa em estudo.

4 ANÁLISE E DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO

Os critérios aqui estabelecidos têm o objetivo de realizar a comparação e avaliação de tipos componentes e componentes específicos dentro da linha de usinagem, de forma separada, em termos de sua criticidade na linha de produção. Foram considerados apenas aqueles fatores julgados como mais relevantes ao processo, que possuem impacto no cálculo do MTTR e do OLE, e outros fatores também considerados essenciais na avaliação das atividades de manutenção.

Os critérios definidos para aplicação dos métodos multicritérios, foram escolhidos conforme o quadro 3.

Quadro 3 – Definição dos critérios.

Categoria	Critério	Nome	Avaliação
Objetivos	CR1	Frequência	Por unidade
	CR2	Tempo médio de falha	Quantidade de horas
	CR3	MTTR	Quantidade de horas
	CR4	Hora-Homem médio (HH)	Quantidade de horas
	CR5	Afeta a Produção?	Sim ou não
Subjetivos	CR6	Efeito sobre a qualidade do produto	Escala de 0 a 5
	CR7	Custo da não qualidade	Escala de 1 a 5
	CR8	Perdas de energia	Escala de 1 a 5
	CR9	Impacto da avaria na segurança das pessoas	Sim ou não
	CR10	Impacto de avaria sobre o ambiente	Escala de 1 a 5

Fonte: Autoria própria.

Os critérios julgados mais relevantes para priorização e definição das criticidades dos componentes foram divididos em duas diferentes categorias:

objetivos e subjetivos. Para os cinco primeiros critérios (objetivos) é possível obter-se as informações de forma direta, olhando-se as informações contidas no histórico das ordens de serviços de manutenção, apresentadas na seção anterior.

É importante ressaltar que, para as análises feitas conforme o tipo de componente, foram calculados os valores médios necessários sem discriminar por exemplo o local onde os mesmos se encontram e as máquinas onde estão instalados. Assim, sendo considerado por “tipo de componente”, diferentemente de quando se refere ao “componente específico” que por sua vez pode ser identificado por código, de maneira a rastrear onde o mesmo se encontra.

As duas seções seguintes (4.1 e 4.2) definem de maneira mais específica cada um dos critérios mostrados no quadro 3. Para cada um dos critérios objetivos, são apresentadas as classificações dos tipos dos componentes e dos componentes específicos, conforme seu o critério correspondente.

Vale destacar que, com intuito de se preservar o nome das máquinas presentes na linha e conseqüentemente os processos executados para a usinagem dos itens, em alguns casos estes tiveram seus nomes modificados.

4.1 CRITÉRIOS OBJETIVOS

CR1) Frequência: O critério de frequência considera a quantidade de falhas ocorridas. Este é obtido ao analisar e ao fazer a contagem de cada tipo de componente que falhou, identificado nas ordens de serviços P0. A tabela 2 mostra os seis primeiros tipos de componentes e também os componentes específicos que foram causa de falha de equipamento.

Tabela 2 - Classificação conforme número de ocorrências por tipo de componente.

Classificação	Tipo de Componente	Frequência	Componente	Frequência
1	Sensor	21	T9 - Transdutor de Medição	5
2	Módulo de Rede	5	Fonte De Alimentação Siemens G5101 Fonte Cnc / 6SN1145-1BB00-0EA1 80kw	4
3	Transdutor de Medição	5	Motor Elétrico M16.3 - Unidade Refrigeração	4

Classificação	Tipo de Componente	Frequência	Componente	Frequência
4	Motor Elétrico	4	S57.1 - Unidade 04.2A Fluxo fuso	4
5	Módulo de Potência	3	Mesa Giratória 180°	3
6	Relé	3	Módulo de Potência Eixo SP1	3

Fonte: Autoria própria.

CR2) Tempo médio de falha: O tempo médio de falha contabiliza o tempo total no qual o equipamento ficou indisponível, diferentemente do cálculo do tempo do indicador MTTR, que não inclui os tempos de ajustes e *setup* após a atividade de manutenção finalizada. A tabela 3 mostra a classificação conforme os tipos de componentes e componentes com o critério principal de tempo médio de falha.

Tabela 3 - Classificação conforme tempo médio de falha.

Classificação	Tipo de Componente	Tempo médio de falha (horas)	Componente	Tempo médio de falha (horas)
1	Unidade de Refrigeração	6,33	Módulo SMB	4,02
2	Cabo Sensor	3,7	Unidade de Refrigeração	3,17
3	Motoredutor	3,33	G5101 - Fonte Simodrive 80/104 KW	2,3
4	Cilindro	3,062	T9 - Transdutor de Medição	2,29
5	Contator	3	Valvula Pneumatica (Piloto) - Coolant Alta Pressão	2,16
6	Conjunto Braço De Fixação	3	A28001 - Móddulo de rede ETX 200	2,04

Fonte: Autoria própria.

CR3) Tempo médio de reparo (MTTR): O MTTR é utilizado como indicador de desempenho da área de manutenção da empresa e existe um esforço muito grande nas atividades da área a fim de reduzir o tempo de reparo dos equipamentos. Assim, ele é visto como um critério importante na priorização de componentes para

manutenção. Na tabela 4 são indicados os tipos de componentes e os componentes que tiveram os maiores índices de MTTR no ano de 2017.

Tabela 4 - Ranking conforme maiores índices de MTTR.

Classificação	Tipo de Componente	MTTR (horas)	Componente	MTTR (horas)
1	Unidade de Refrigeração	6,08	Módulo SMB	3,93
2	Cabo Sensor	3,5	Unidade de Refrigeração	3,04
3	Motoredutor	3,08	G5101 - Fonte Simodrive 80/104 KW	2,17
4	Cilindro	2,83	T9 - Transdutor de Medição	2,10
5	Contator	2,68	Valvula Pneumatica (Piloto) - Coolant Alta Pressão	2,02
6	Conjunto Braço De Fixação	2,5	A28001 - Módulo de rede ETX 200	1,75

Fonte: Autoria própria.

CR4) Hora-Homem: O valor total das horas que os técnicos de manutenção levaram para efetuar o reparo do objeto que falhou. Essa informação é demonstrada as horas trabalhadas por cada funcionário e possui impacto direto na quantidade de pessoas necessárias para manter o funcionamento saudável da linha, suprimindo a demanda de atividades de manutenção.

Este critério possui uma relação direta com a complexidade do reparo e pode auxiliar na tomada de decisões quanto ao investimento necessário à manutenibilidade de pessoal, ou até mesmo em aspectos que não cabem no momento da falha, como treinamentos específicos, entre outros fatores.

A tabela 5 indica os tipos de componentes e os componentes que demandam as maiores médias de tempo de trabalho, chamado Hora-Homem.

Tabela 5 - Componentes que mais demandaram de “Horas-Homem

Classificação	Tipo de Componente	Hora-Homem médio (horas)	Componente	Hora-Homem médio (horas)
1	Unidade de Refrigeração	12	Módulo SMB	14,5
2	Cabo Sensor	11,5	Motor Elétrico Fuso Principal M5301, Siemens, 1PH7-163-2NF03-0BJ0	10,0
3	Motoredutor	11	T9 - Transdutor de Medição	7,7
4	Célula de Carga	10,5	P353801 - Célula de Carga Dr. Staiger Mohilo	7,0
5	Conjunto Braço De Fixação	10	G5101 - Fonte Simodrive 80/104 KW	6,5
6	Transdutor	10	Garra	6,5

Fonte: Autoria própria.

CR5) Afeta a produção? (OLE): Outro fator determinante para definição de prioridades de manutenção, uma vez identificada a falha, é a informação da falha como agente responsável por afetar a disponibilidade da linha de produção. Essa informação é reportada por meio de *reports* diários que informam se a falha ocorrida deve constar na parcela de indisponibilidade da linha, no cálculo do OLE.

Essas falhas consideradas como “afeta a produção” estão normalmente presentes nas máquinas gargalos à produção. Neste caso, na linha de usinagem, são aquelas identificadas pelos códigos US198 e US200, que possuem operações em sequências e são considerados vitais à eficiência da linha.

Analisando todo o histórico com atividades ocorridas no período, filtrando aquelas ocorridas nessas duas máquinas, e então evidenciando os componentes, obtém-se os dados contidos na tabela 6.

Tabela 6 - Número de falhas que afetaram a produção.

Componente	Código da máquina	
	US198	US200
Ar Condicionado	2	-
Célula de Carga	2	-
Controlador Lógico Programável	-	1
Correia Sincronizadora	-	1
Disjuntor	1	-
Módulo de Monitoração	-	1
Módulo Distribuidor	1	-
Motor Elétrico	3	-
NCU	1	-
Painel Pneumático 4B	-	1
Pressostato	1	-
Sensor	3	1
Sistema de Refrigeração	-	1
Transdutor de Medição	-	5

Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Análise das classificações de tipos componentes

Estão listados na tabela 7 todos os tipos de componentes que constam nas classificações feitas na seção 4.1, com informações acerca de cada um dos critérios considerados. Para facilitar a análise, apresentam-se pintadas em cinza, as células cujos valores aparecem nas classificações mostradas previamente.

Tabela 7 - Análise das classificações por tipo de componente

Componente	Frequência	Tempo Médio de Falha (Horas)	MTTR (horas)	Hora-Homem (horas)	Afeta a produção?
Módulo de Rede	5	3,06	2,49	8,308	Não
Transdutor de Medição	5	2,43	2,23	7,90	Não
Módulo de Potência	3	1,78	1,61	5,22	Não
Sensor	21	1,13	0,96	2,69	Sim
Relé	3	1,03	0,86	1,61	Não
Motor Elétrico	4	1,17	0,72	6,54	Não
Unidade de Refrigeração	1	6,33	6,08	12,00	Não
Componente	Frequência	Tempo Médio de Falha (Horas)	MTTR (horas)	Hora-Homem (horas)	Afeta a produção?
Cabo Sensor	1	3,70	3,50	11,50	Sim
Motoredutor	1	3,33	3,08	11,00	Não
Conjunto Braço De Fixação	1	3,00	2,50	10,00	Não
Cilindro	1	3,00	2,83	6,00	Não
Contator	1	2,77	2,68	0,50	Não
Célula de Carga	2	2,13	2,00	10,50	Não
Transdutor	1	2,00	1,42	10,00	Sim

Fonte: Autoria própria.

Por meio desta tabela 7, pode-se concluir o quão parcial é uma classificação, quando levada em consideração apenas um critério de priorização. Com o intuito de justificar essa afirmação e ilustrar o problema, propõe-se ao leitor uma reflexão sobre a priorização de atividade de manutenção quando levado em consideração

apenas o critério de frequência, por exemplo. Conforme esse cenário, o tipo de componente mais crítico na linha de usinagem é, indiscutivelmente, o sensor, que somou um total de 21 ocorrências ao longo de todo o ano de 2017.

Uma vez estabelecido este cenário, propõe-se então um olhar analítico quanto os valores obtidos nos outros critérios: o MTTR para esse tipo de componente é de 0,96 horas, valor dentro da meta estabelecida de 1 hora para as atividades relativas ao seu cálculo. Portanto, não é considerado tão crítico quanto a unidade de refrigeração, por exemplo, que mesmo tendo a frequência no valor mais baixo possível (um), obteve o maior valor de MTTR relacionado à linha de usinagem no mesmo período.

Outra questão que deve ser refletida é da diversidade de fatores que estão acerca das funções desempenhadas pelo sensor. Para casos diferentes, o sensor pode ser considerado crítico ou não ao funcionamento da máquina, ao mesmo tempo este pode estar alocado em local de fácil ou difícil acesso para que a manutenção seja feita, necessitando assim desmontar ou não a máquina, o que acarreta diretamente no tempo necessário ao reparo.

Vistos esses questionamentos quanto ao caso anteriormente levantado, é que se inclui a importância da análise multicritério para a avaliação das alternativas que dizem respeito à priorização da manutenção na empresa. Também faz-se importante a presença de especialista que, atrelado aos métodos multicritérios, são capazes de analisar e determinar quais critérios são de fundamental importância na tomada de decisão de atividades, que venham a otimizar a utilização dos recursos dispostos ao processo.

Assim, além da análise utilizando os critérios já apresentados, é proposta uma segunda análise multicritério para a avaliação de aspectos (critérios) considerados subjetivos, que também devem ser levados em consideração, mas que não possuem sua definição obtida de forma direta quando comparados aos critérios diretos.

Os critérios descritos na próxima seção, foram estabelecidos conforme informações obtidas por profissionais da área de manutenção, segundo suas experiências, e também de acordo com a acessibilidade de informações dispostas para análise. Assim, entende-se que há a necessidade da revisão desses critérios estabelecidos, de forma que estes condizem com as políticas gerenciais e

específicas à área de manutenção, em termos das suas relevâncias (ou não) quanto ao processo considerado.

4.2 CRITÉRIOS SUBJETIVOS

Os critérios subjetivos aqui estabelecidos estão de acordo com a estratégia da empresa para a linha de usinagem e delimitam-se em quatro, como podem ser vistos a seguir. Pode-se no entanto ser utilizada uma quantidade maior ou reduzida de critérios, variando-se os seus respectivos pesos, conforme melhor atender às necessidades da aplicação.

CR6) Efeito sobre a qualidade do produto: O efeito sobre a qualidade do produto acontece quando se verifica que a falha em questão provocou alguma avaria de qualidade reportada à área responsável. Para essa análise foi definida uma escala de 1 a 5, de acordo com o tipo de falha detectada, apresentada no quadro 4.

Quadro 4 – Efeito sobre a qualidade do produto

Classificação	Definição
0	Sem avaria
1	Avaria aceitável
3	Retrabalho
5	Descarte

Fonte: Autoria própria.

CR7) Custo da não qualidade: este critério é avaliado considerando-se um possível retorno do cliente por um produto com avaria aceitável, ou de peça retrabalhada. Esse critério é originalmente avaliado de acordo com a máquina onde ocorreu a falha, porém neste momento, oferece-se uma visão de acordo com componente responsável pela falha do equipamento. Os intervalos de custos considerados apresentam-se no quadro 5.

Quadro 5 – Efeito sobre a qualidade do produto

Classificação	Definição
1	Menor que R\$3.000,00
3	Maior ou igual a R\$3.000,00 e menor ou igual a R\$30.000,00
5	Maior que R\$30.000,00

Fonte: Autoria própria.

CR8) Perdas de energia: As perdas de energia são definidas conforme a máquina e ao tipo de falha ou defeito detectado. Elas podem ser calculadas de forma exata, porém essa análise demanda que técnicos e especialistas façam um trabalho mais elaborado e que estão relacionados ao planejamento das áreas e paradas na produção. Assim, a classificação foi feita conforme o quadro 6, de acordo com intervalos de perdas estimados.

Quadro 6 – Perdas de energia.

Classificação	Definição (consumo/ciclo)
1	Menor que 5KWh
3	Maior ou igual a 5KWh e menor ou igual a 10KWh
5	Maior que 10KWh

Fonte: Autoria própria.

CR9) Impacto da avaria na segurança das pessoas: Este critério é muito relevante quando posta em evidência a segurança dos técnicos de manutenção para a realização das atividades de reparo. Por exemplo, para trabalhos de manutenção em altura ou em espaço confinado, é necessária a presença e autorização prévia do técnico de segurança do trabalho, e, que, dependendo do momento, pode ser que leve algum tempo até que tudo esteja pronto e aprovado para realizar a manutenção. A classificação estabelecida para esse critério é o “sim/não”.

CR10) Impacto de avaria sobre o ambiente: Considerando que o ambiente na linha de usinagem é mais robusto e trabalha com operações pesada, algumas falhas podem ter impacto sobre o ambiente. Este impacto pode levar a uma interrupção de outros processos que acontecem de forma paralela. A classificação estabelecida para o impacto de avaria sobre o ambiente é mostrada no quadro 7.

Quadro 7 – Impacto de avaria sobre ambiente.

Classificação	Definição
1	Sem risco
3	Moderado
5	Alto

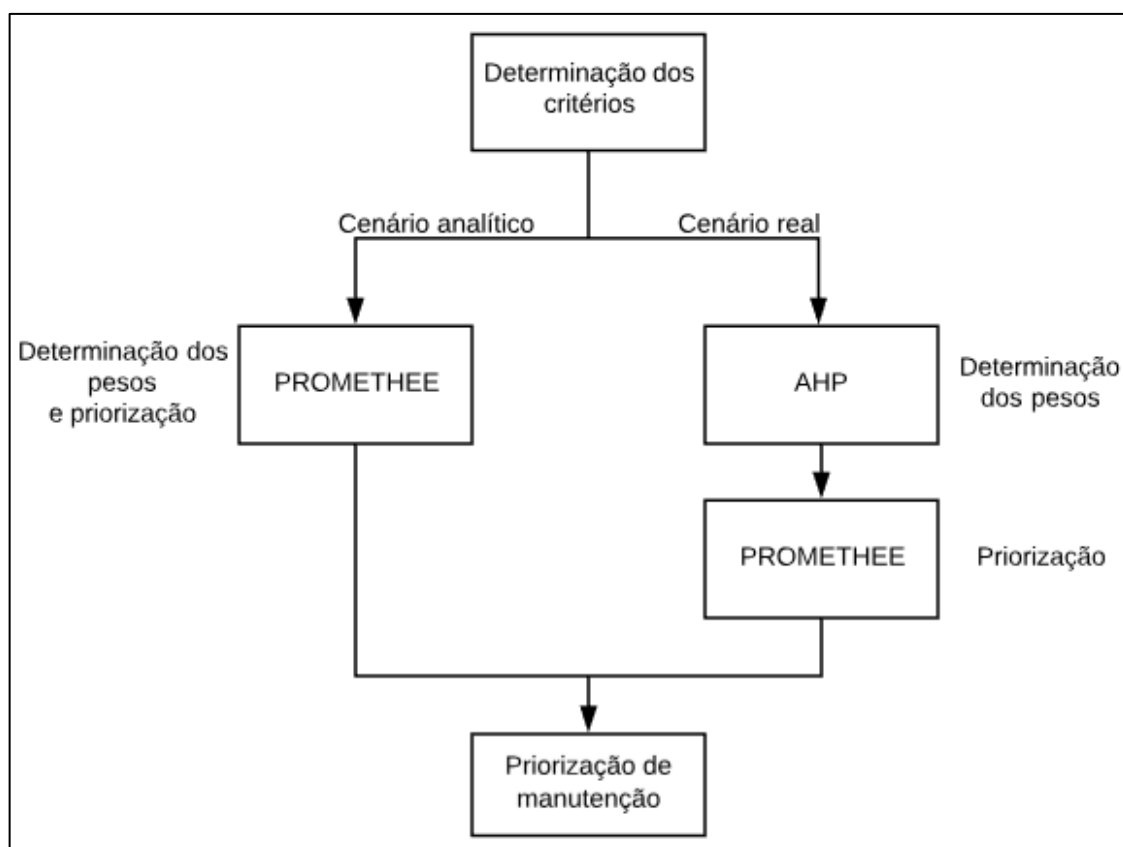
Fonte: Autoria própria.

É importante ressaltar que os critérios subjetivos aqui estabelecidos já são utilizados dentro da empresa na definição de criticidade para máquinas que compõem as linhas de produção, portanto, tratam-se de terminologias já conhecidas e não há a introdução de novos conceitos para as classificações. Com a utilização desses critérios sugere-se uma visão micro sobre essas máquinas, visando assim os componentes que as compõem.

4.3 PESOS DOS CRITÉRIOS

A determinação dos pesos dos critérios é feita considerando dois diferentes cenários: analítico, onde foi feito uso apenas do método Promethee, e real, onde sugere-se a utilização da determinação dos pesos dos critérios por meio do método AHP e a priorização de fato por meio do método Promethee. A figura 15 mostra de forma esquematizada como são estabelecidos os pesos conforme cada cenário.

Figura 15 - Determinação dos pesos dos critérios



Fonte: Autoria própria.

Em um primeiro momento, considerando um cenário analítico, a determinação do peso de cada critério foi feito diretamente no software VisualPROMETHEE®, que oferece uma análise de sensibilidade em relação a cada critério, permitindo assim, dar-lhes diferentes pesos para visualização do impacto na priorização do componente. Para esse cenário, foram feitas três diferentes análises, de acordo com a tabela 8.

Tabela 8 - Peso dos critérios - cenário analítico.

Análise	Cenário Analítico				
	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5
Análise 1	50%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%
Análise 2	12,5%	12,5%	50%	12,5%	12,5%
Análise 3	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	50%

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, na análise de cenário real, foram considerados os pesos conforme a política adotada pela empresa, estabelecidos pelos especialistas da área. Para tanto, far-se-á a determinação dos pesos, utilizando o *software* SuperDecisions®, por meio do método AHP.

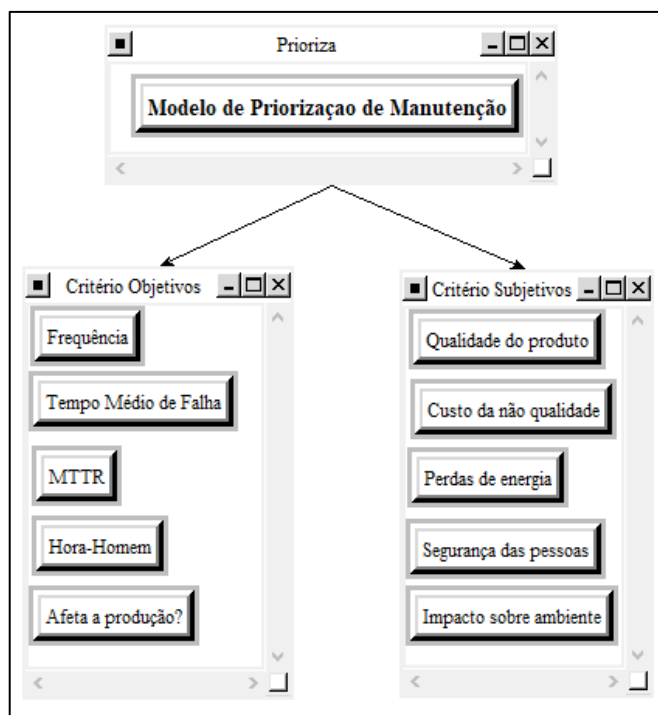
Tabela 9 - Peso dos critérios - cenário real

Cenário real					
Critérios objetivos	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5
Análise 4.1	15,00%	10,00%	20,00%	15,00%	40,00%
Análise 5.1	35,00%	10,00%	30,00%	10,00%	15,00%

Fonte: Autoria própria.

Para a determinação dos pesos informados acima (tabela 9), de acordo com o método AHP, estabeleceu-se uma hierarquia simples como demonstrado na figura 16. Com o objetivo centrado na priorização de componente para a área de manutenção, os critérios foram separados em duas diferentes categorias, como já explicado anteriormente: objetivos e subjetivos. Dentro de cada categoria, os critérios devem somar 100%, o mesmo como quando somados os pesos estabelecidos para cada uma das categorias.

Figura 16 - Hierarquização AHP



Fonte: Autoria própria.

O peso das categorias definidas é ponderado conforme a figura 17, a primeira linha da figura diz respeito aos critérios objetivos, com um peso de 80%. A segunda diz respeito aos critérios subjetivos, com o peso de 20%. Essa diferença entre os dois pesos pode ser minimizada conforme o aumento na confiabilidade das avaliações feitas acerca dos critérios subjetivos, que neste momento não possui um banco de dados para análise quando se diz respeito aos componentes, mas sim das máquinas em geral.

Figura 17 - Peso das categorias em relação ao objetivo (priorização).

3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency: 0.00000		
Critério ~	<div style="width: 80%; background-color: blue;"></div>	0.80000
Critério ~	<div style="width: 20%; background-color: blue;"></div>	0.20000

Fonte: Autoria própria.

As análises 4.1 e 5.1 tem seus pesos demonstradas nas figuras 18 e 19 que foram feitas, apenas com critérios diretos, priorizando-se em primeiro lugar os itens

que afetam a produção, em um primeiro caso onde não há presença de *buffer*. Em seguida, levando em consideração que há o *buffer* e que, em uma ocorrência de falha, podem ser priorizados os componentes de acordo com sua frequência e MTTR. Essas condições de análises serão melhores explicadas na seção 5.2

Figura 18 - Peso dos critérios objetivos (Análise 4.1)

3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency:		
Afeta a p~	<div style="width: 40%;"></div>	0.40000
Frequência	<div style="width: 15%;"></div>	0.15000
Hora-Homem	<div style="width: 15%;"></div>	0.15000
MTTR	<div style="width: 20%;"></div>	0.20000
Tempo Méd~	<div style="width: 10%;"></div>	0.10000

Fonte: Autoria própria.

Figura 19 - Peso dos critérios objetivos (Análise 5.1)

3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency: 0.00000		
Afeta a p~	<div style="width: 15%;"></div>	0.15000
Frequência	<div style="width: 35%;"></div>	0.35000
Hora-Homem	<div style="width: 10%;"></div>	0.10000
MTTR	<div style="width: 30%;"></div>	0.30000
Tempo Méd~	<div style="width: 10%;"></div>	0.10000

Fonte: Autoria própria.

Na categoria de critérios subjetivos, os pesos foram distribuídos no *software* conforme a figura 20, determinou-se mais importância aos dois critérios de segurança e qualidade do produto (30%), seguidos pelo critério de impacto ao ambiente (20%) e finalmente aos critérios de custo da não qualidade e perda de energia (10%). Esses critérios foram utilizados nas análises 4.2 e 5.2, o cálculo final de sua aplicação conforme o método AHP está organizado pela tabela 10.

Figura 20 - Peso dos critérios subjetivos (Análise 5.1)

+ 3. Results		
Normal	Hybrid	
Inconsistency: 0.00000		
Custo da ~	<input type="text"/>	0.10000
Impacto s~	<input type="text"/>	0.20000
Perdas de~	<input type="text"/>	0.10000
Qualidade~	<input type="text"/>	0.30000
Segurança~	<input type="text"/>	0.30000

Fonte: Autoria própria.

Tabela 10 - Peso final dos critérios conforme método AHP

Cenário real					
Critérios objetivos	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5
Análise 4.2	12,0%	8,0%	16,0%	12,0%	32,0%
Análise 5.2	28,0%	8,0%	24,0%	8,0%	12,0%
Critérios subjetivos	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10
Análise 4.2	6,0%	2,0%	2,0%	6,0%	4,0%
Análise 5.2	6,0%	2,0%	2,0%	6,0%	4,0%

Fonte: Autoria própria.

O resultado do cálculo dos pesos, mostrado na tabela 10, feito pelo *Superdecisions* é simples devido à hierarquia estabelecida ao cenário deste trabalho. É possível notar que se trata de uma ferramenta que pode ser melhor explorada ao se considerar um número maior de critérios estabelecidos e a definição mais complexa de sua hierarquia.

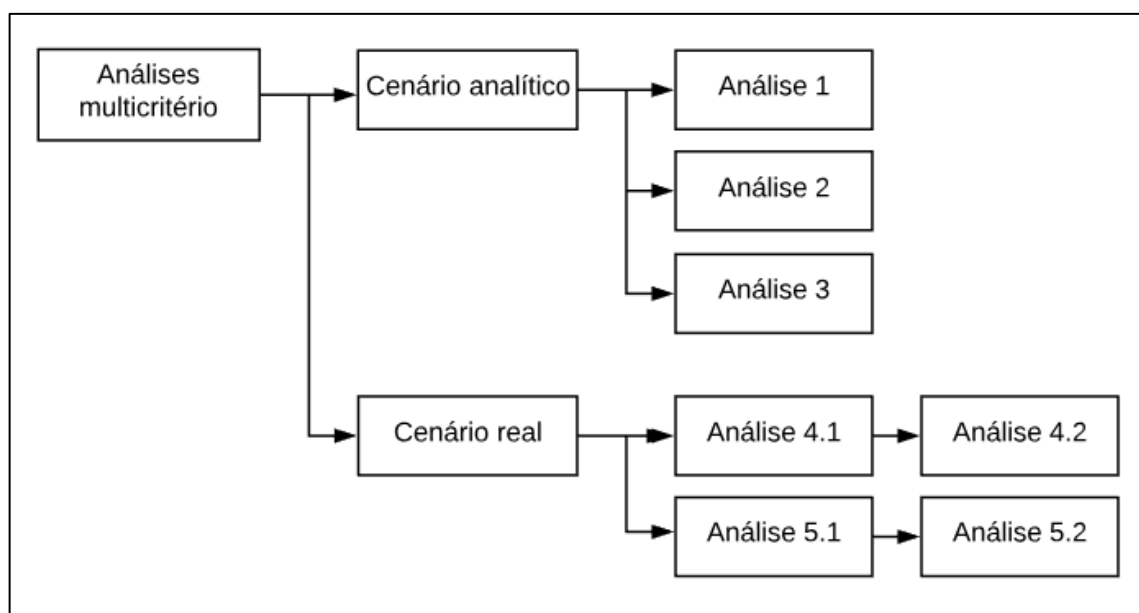
Vale ressaltar que a definição e relação dos pesos estabelecidos fez-se conforme informações obtidas dos especialistas do time da área de manutenção, não envolvendo a parte gerencial ou de gestão - aqueles que possuem autonomia na tomada de decisão da empresa.

5 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta seção tem por objetivo fazer a aplicação do método multicritério para priorização de componentes na manutenção da linha de usinagem, utilizando os critérios definidos anteriormente. Para tanto foi feita utilização do *software* VisualPROMETHEE® versão *academic*, cujo uso é de fácil acesso, muito intuitivo, uma vez em que se possui a base teórica do método em questão.

Primeiro foram tratadas as configurações básicas necessárias à utilização da ferramenta, parametrizadas diretamente no *software*. Seguidas de uma explicação aprofundada dos cenários propostos às diferentes análises feitas, com os pesos estabelecidos, esquematizadas conforme a figura 21. E por fim a aplicação do método em si junto à análise de seus respectivos resultados.

Figura 21 - Esquematização das análises.



Fonte: Autoria própria.

A figura 22 mostra a estrutura do programa utilizado para análise multicritério PROMETHEE. Cada coluna representa um critério estabelecido conforme a relevância acerca da decisão a ser tomada. Todas as cinco análises propostas contam com os critérios objetivos, em ambos os cenários. As análises que utilizam os critérios subjetivos são as de número quatro e cinco.

Todo critério precisa ser parametrizado conforme uma função de preferência, como explica a seção 2.2.3. Para cada um deles, usou-se uma função automatizada

do programa, onde são analisados os dados declarados para cada critério, por meio de perguntas que analisam as preferências do decisor. Estes parâmetros estão demonstrados no campo *preferences*, conforme a figura 22.

Os objetos a serem analisados estão presentes nas linhas da figura 22 campo *evaluations*. Cada objeto que faz parte do grupo de itens considerados à priorização, é posto em uma linha diferente. A interseção da linha com cada coluna representante dos critérios representados, condiz ao valor do item relacionado ao respectivo critério.

Figura 22 - Configurações do software VisualPROMETHEE®.

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Scenario1	Frequência	Tempo médi...	MTTR	Hora-Homem	Afeta a prod...	
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	
Preferences						
Min/Max	max	max	max	max	max	
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Preference Fn.	Linear	V-shape	V-shape	V-shape	Usual	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	3,65	n/a	n/a	n/a	n/a	
- P: Preference	5,14	2,15	2,12	6,75	n/a	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics						
Minimum	1,00	0,32	0,13	0,18	0,00	
Maximum	21,00	6,33	6,08	12,00	1,00	
Average	1,89	1,54	1,30	3,97	0,25	
Standard Dev.	2,76	1,07	1,05	3,37	0,44	
Evaluations						
<input checked="" type="checkbox"/>	Acoplamento	1,00	0,92	0,87	4,49	no
<input checked="" type="checkbox"/>	Acumulador	1,00	0,63	0,42	2,00	no
<input checked="" type="checkbox"/>	AdmissãoBroca	1,00	0,98	0,93	4,50	no
<input checked="" type="checkbox"/>	ArCondicionado	2,00	0,49	0,35	0,83	yes
<input checked="" type="checkbox"/>	CaboSensor	1,00	3,70	3,50	11,50	no

Fonte: Autoria própria.

Ao definir-se um critério, é selecionada uma escala para eles, numérica ou qualitativa. Para os casos considerados como critérios objetivos, onde pode-se retirar as informações de forma direta da ordem de serviço, salvo pelo critério “afeta

a produção?” (CR5), todos os critérios foram considerados numéricos, medidos em unidades (CR1) e em horas (CR2, CR3 e CR4). Para os critérios subjetivos, todas as escalas são qualitativas, salvo o critério CR9, que teve sua análise por meio do “sim ou não”, foram estabelecidos com uma escala de 0 até 5, onde cada nível tem um significado particular para cada critério.


5.1 CENÁRIO ANALÍTICO

O cenário analítico aqui proposto tem o objetivo de mostrar o efeito da priorização, quando um critério se destaca dos demais, mantendo os outros com valores relativamente baixos.

Em um primeiro momento, as análises são de acordo com o tipo do componente e em seguida com os componentes específicos a cada máquina, registrados como causa de indisponibilidade no histórico trabalhado. O levantamento desses dados foi feito através de filtros e pela contagem de quantas vezes esses componentes foram responsáveis pela falha. A tabela 1 do apêndice A indica os dados usados nas 3 análises seguintes.

A parametrização das funções de preferências dos critérios utilizados nas análises um, dois e três é a mesma, pois tratam-se dos mesmos dados. Os parâmetros estão mostrados na figura 23.

Figura 23 - Funções de preferência para análise 1, 2 e 3.

 Scenario1	Frequência	Tempo médi...	MTTR	Hora-Homem	Áfeta a prod...
Unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences					
Min/Max	max	max	max	max	max
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preference Fn.	Linear	V-shape	V-shape	V-shape	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	3,65	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	5,14	2,15	2,12	6,75	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Fonte: Autoria própria.

O campo a ser definido como “Min/Max” (minimizar ou maximizar) diz respeito às preferências do autor quanto a sua preferência para que os critérios sejam minimizados ou maximizados. Como neste caso procura-se o item que possua a característica de maior criticidade, ou seja, cujos índices declarados possuam maior influência na decisão, todos são declarados como “max”.

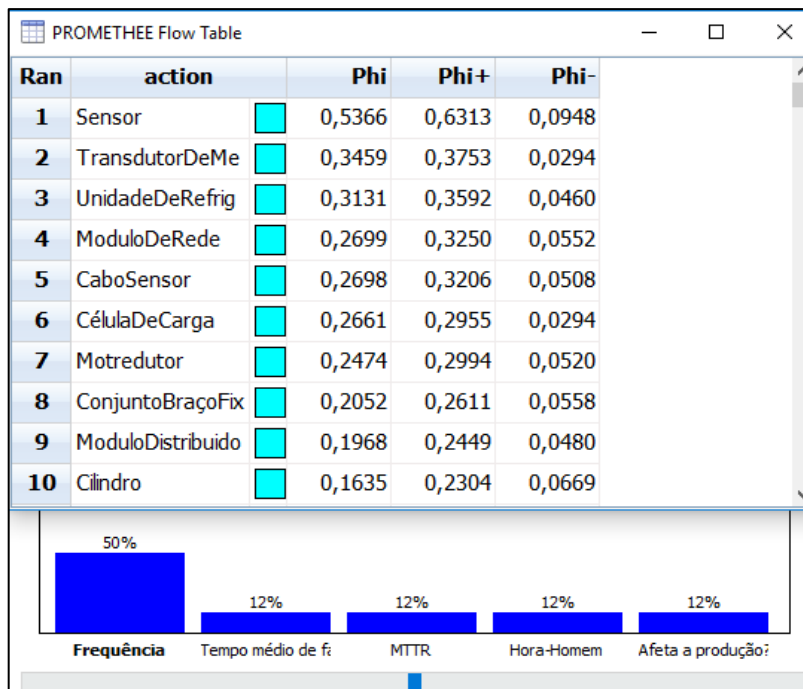
O campo “*weight*” diz respeito ao peso que cada critério possui. Em um primeiro momento todos foram declarados como sendo iguais, utilizando-se em sequência uma ferramenta do próprio programa, que permite a mudança manual dos pesos e a visualização da classificação dada por ela.

Os campos “*Preference Fn.*” (Preference Function), “*Thresholds*” “*Q: Indifference*”, “*P: Preference*” e “*S: Gaussian*” são relativos à função de preferência escolhida a cada critério. Para o CR1 chegou-se à conclusão de que uma função “Linear” é a que mais se enquadra às características dos dados apresentados. A função “*V-shape*” foi definida aos critérios CR2, CR3 e CR4, enquanto que para o critério CR5, estabeleceu-se a função “*Usual*”.

5.1.1 Análise por tipo de componente

Uma vez estabelecidas as funções parametrizadas, é possível fazer diferentes priorizações com diferentes pesos para cada critério. As figuras 24, 25 e 26 representam cada uma das três análises, respectivamente. A seguir, cada uma delas foi analisada separadamente.

Figura 24 - Priorização por tipo de componente (análise 1).



Fonte: Autoria própria.

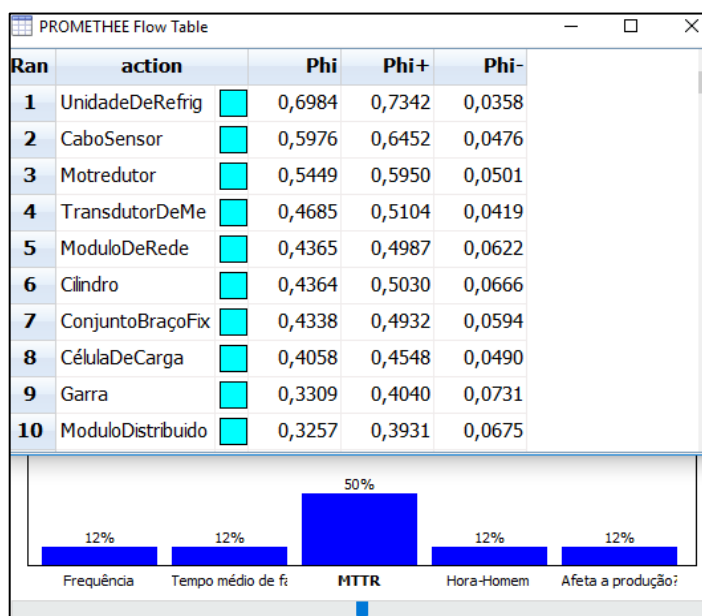
A primeira análise, como demonstra a figura 24, foi feita considerando um peso de 50% para o critério de frequência e com o peso igual a 12,5% para os outros quatro critérios. A priorização feita pelo método mostrou como item mais crítico, o componente do tipo sensor, que totalizou em 21 ocorrências ao longo do período. Seguido do sensor, apresenta-se o transdutor de medição, que obteve um total de cinco falhas.

Quando comparada essa priorização à tabela 2 (seção 4.1) que contém a classificação dos tipos de componentes considerando apenas o critério de frequência, é possível notar a diferença entre as duas. Apenas o item sensor é classificado em primeiro lugar ambos os casos. As classificações seguintes são diferentes em nível de criticidade. Em terceiro lugar na análise feita aqui está a unidade de refrigeração, que na classificação anterior não apareceu dentro dos 6 itens mais críticos.

Essa diferença nas classificações quando observado os dados gerais (Apêndice A), pode-se notar que está diretamente ligada ao critério “afeta a produção”, este é responsável por evidenciar os itens respondidos como “sim”,

mostrando-os como mais críticos, mesmo que estes não possuam a frequência tão elevada quando comparados a outros com resposta “não”.

Figura 25 - Priorização por tipo de componente (análise 2).



Fonte: Autoria própria.

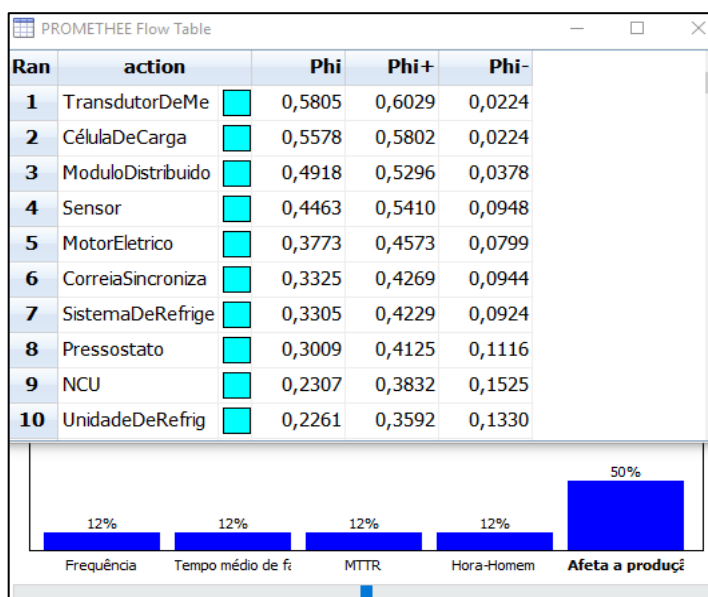
A segunda análise (figura 25) considera uma ponderação de 50% ao critério MTTR, os outros critérios têm os pesos distribuídos igualmente com 12,5%. Assim, a priorização é feita com a unidade de refrigeração como tipo de componente mais crítico à linha. O valor alto de MTTR registrado para o item indica uma complexidade de manutenção elevada, comprovada pelo tempo de médio de falha registrado, o maior dentre todas as ocorrências, como indicado pela tabela 5 (seção 4.1).

O segundo item priorizado à manutenção, conforme análise 2, é o cabo do sensor, cujas características dos dados analisados são bem semelhantes ao item explicado anteriormente. O tempo médio de falha do cabo sensor é o segundo na classificação considerando apenas o critério de tempo médio de falha.

Uma diferença significativa quando comparadas a classificação feita considerando apenas o critério de MTTR e a priorização feita na análise 2 é o tipo de componente transdutor de medição. O mesmo aparece em décimo lugar quando visto no primeiro caso, enquanto aparece em quarto lugar nesta segunda análise. Este “salto” acontece devido à influência dos outros critérios: o critério de “afeta a produção” indica que sim e o número de ocorrências é de 5 para tal componente.

Em sequência ao transdutor de medição está o módulo de rede. Este possui um valor que mais alto registrado (3,06 horas) quando comparado ao transdutor (2,43 horas), além do mesmo número de ocorrências (5). Porém, outro critério é determinante quando se indica que este não afetou a produção, fazendo sua criticidade ser menor ao item transdutor de medição.

Figura 26 - Priorização por tipo de componente (análise 3).



Fonte: Autoria própria.

Por fim, a análise de número três (figura 26) leva em consideração o critério de “afeta a produção” como aquele que mais influencia na priorização dos tipos de componentes. Este critério possui um diferencial que, quando comparado aos outros, sua avaliação ocorre na forma “sim ou não”, não sendo de uma maneira numérica. A avaliação dos itens acaba colocando em evidência, em um primeiro momento aqueles identificados como itens que afetam.

Os outros critérios, que possuem pesos iguais, tem sua análise de forma paralela e determinam a priorização de fato. Assim, obtém-se como item mais crítico o transdutor de medição. Seguindo por nível de maior criticidade estão a célula de carga, que possui um elevado valor de hora-homem, e o módulo distribuidor.

Dessas três análises, é possível concluir que os critérios de MTTR e de tempo médio de falha, pela sua correlação, e por um estar contido dentro do outro, não possuem muita distinção quando usados na análise de priorização proposta neste trabalho, sendo assim apenas um dos dois necessários às análises feitas.

Sendo o MTTR preferível ao tempo médio de falha por ser o indicador de desempenho da área.

Para a verificação dentro do contexto proposto aqui e com o histórico trabalhado, da relevância ou não do critério de tempo médio de falha, sugere-se o cálculo da diferença entre os dois. Assim seria possível obter informações relativas aos procedimentos posteriores às atividades de manutenção. Como este ponto foge às atividades de manutenção, as análises propostas não foram feitas neste momento.

Ao se considerar apenas o critério de frequência na análise de criticidade para priorização na manutenção, como já explicado anteriormente na seção 4.1.1, é possível notar que há uma parcialidade muito grande, fator que é amenizado quando considerada uma análise multicritério. É possível notar no detalhamento das ordens de serviço que muitos foram causas de indisponibilidades devido a condições que não dizem respeito ao seu funcionamento em si, mas sim de fatores de fatores como sujeira do ambiente externo e instalação dos sensores em lugares cujo seu *range* é bloqueado ou direcionado a sentidos incorretos.

Entretanto, essas informações podem também ser relevantes no desenvolvimento de planos de ações para área, visando um procedimento com instruções na instalação desse item que evitaria problemas causado por influências externas ou de instalação, por exemplo. Nesse sentido seria possível perceber uma diminuição considerável de falhas causadas por esse tipo de componente e, conseqüentemente, no aumento dos indicadores de desempenho da área.

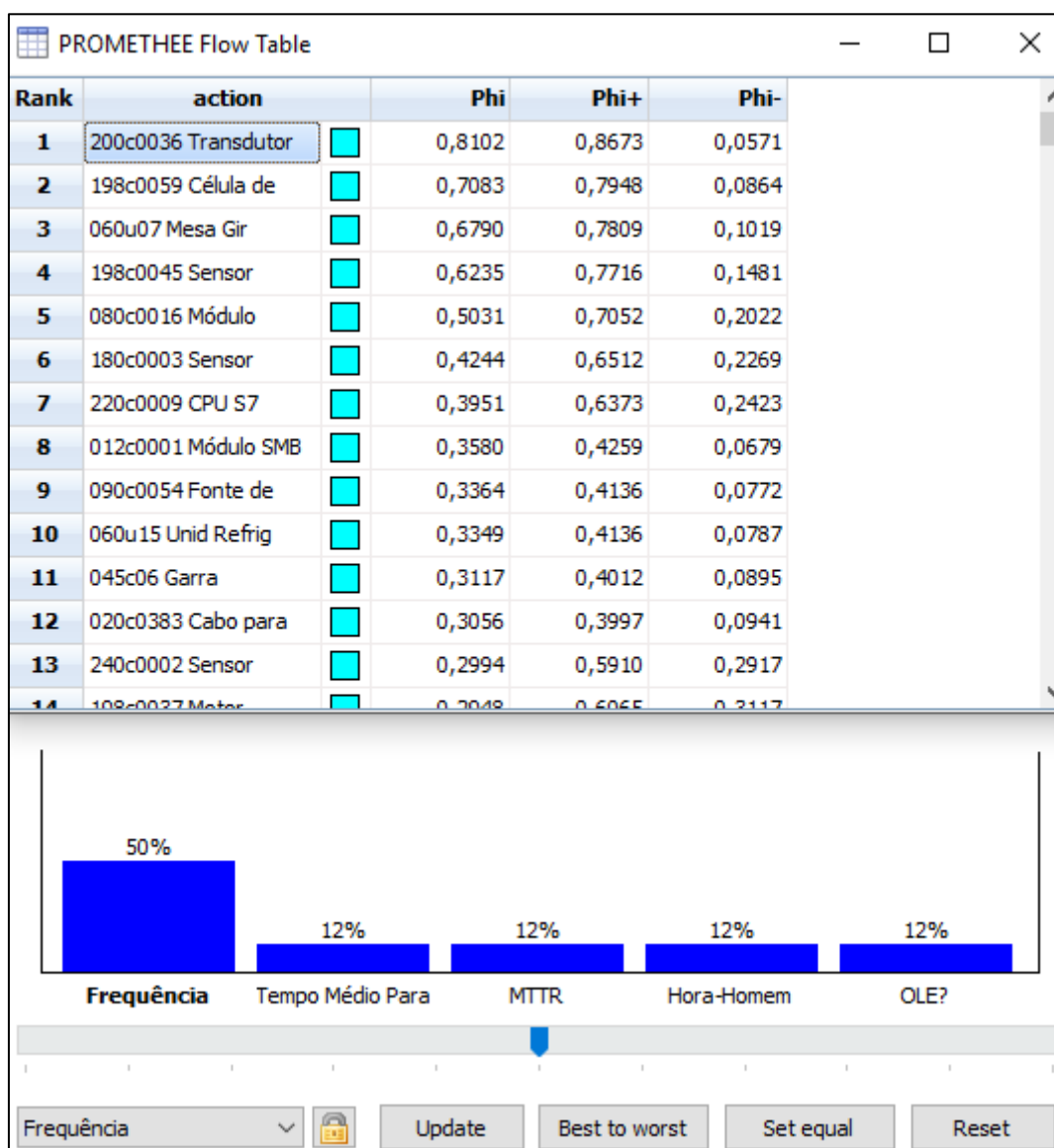
Esse primeiro cenário analítico foi aqui visto, principalmente, como uma ferramenta de cunho gerencial, pela sua carência de algumas análises mais aprofundadas, que dizem respeito aos especialistas, mas que mesmo assim oferece diversas perspectivas quanto às atividades de manutenção e aos itens que compõem as linhas de produção. Sendo assim, oferecendo a oportunidade de atuação em ações futuras na determinação de políticas que amenizem as criticidades aqui expostas.

5.1.2 Análise por componente

Nesta segunda análise, agora por componentes, foram considerados os mesmos 5 critérios objetivos que foram considerados na análise 5.1.1. Para um resultado mais analítico e específico, foram inseridos todos os componentes que tiveram falhas durante o ano de 2017, ou seja, 82 componentes, identificados também pelas máquinas onde estão alocados. Para cada componente foi inserido o seu respectivo valor relativo a frequência, tempo médio de parada, tempo médio de reparo (MTTR), hora-homem e se afeta a produção (OLE). Neste último critério, considera-se a resposta igual a sim ou não.

A figura 27 mostra uma análise considerando o critério frequência como 50% e os outros critérios sendo de iguais pesos, como 12,5%.

Figura 27 - Componentes mais críticos, considerando o critério Frequência como o mais relevante.



Fonte: Autoria própria.

Nesta análise, pelo método Promethee, é possível observar que o componente mais crítico é o Transdutor de Medição. Em segundo, terceiro e quarto lugar, são os componentes célula de carga, mesa giratória e sensor, respectivamente. A tabela 11 mostra os detalhes dos 10 componentes mais críticos, para esta análise:

Tabela 11 - Componentes mais críticos, considerando o critério Frequência como o mais relevante.

Criti- cida- de	ID Objeto	Descrição Objeto	Freq	Tempo Médio Parada (h)	MTTR (h)	Hora- Homem (h)	OLE?
1	OP200- C0036	T9 - Transdutor de Medição	4	2,86	2,63	9,63	yes
2	OP198- C0059	P353801 - Célula de Carga Dr. Staiger Mohilo	2	2,14	2,00	10,50	yes
3	OP060-U07	Mesa Giratoria 180°	2	2,13	1,88	9,25	yes
4	OP198- C0045	S57.1 - Unidade 04.2A Fluxo fuso OK	3	2,17	1,95	1,83	yes
5	OP080- C0016	Módulo de Potência Eixo SP1	2	1,71	1,55	5,83	no
6	OP180- C0003	S38.5 - Controle de apoio Ok	2	1,02	0,92	1,84	yes
7	OP220- C0009	CPU S7	2	1,16	0,62	1,50	yes
8	rb012- C0001	Módulo SMB	1	8,03	7,85	29,00	yes
9	OP090- C0054	G5101 - Fonte Simodrive 80/104 KW	1	4,60	4,33	13,00	yes
10	OP060-u15	Unidade de Refrigeração	1	6,33	6,08	12,00	yes

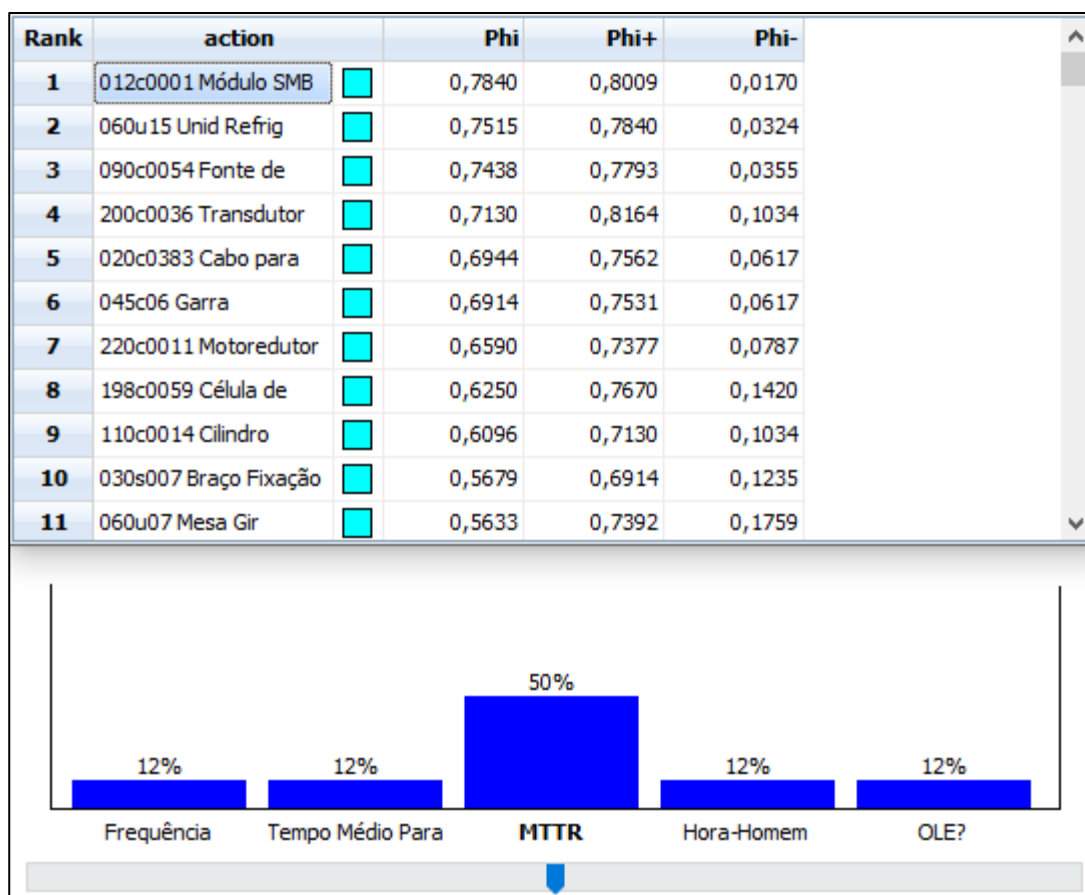
Fonte: Autoria própria.

Nota-se que, na análise por tipo de componente, 5.1.1, a tipologia sensor foi a que ficou em primeiro lugar. Isso quer dizer que na visão geral da linha, os sensores são os que mais falham, no entanto, se analisarmos as falhas pontuais, o

transdutor de medição T9, fica em primeiro lugar, pois ele apenas sofreu 4 falhas no período de 1 ano.

Em uma segunda análise, considerando-se 50% para o critério MTTR, e 12,5% para os outros quatro critérios, obtém-se o seguinte resultado, mostrado na figura 28.

Figura 28 - Componentes mais críticos, considerando o critério MTTR como o mais relevante.



Fonte: Autoria própria.

Mudando agora o ângulo da análise com o maior peso para o critério MTTR, pode-se verificar que em primeiro lugar encontra-se o Módulo SMB e logo após, em segundo, terceiro e quarto lugar, os componentes mais críticos são a unidade de refrigeração, a fonte de alimentação e o transdutor de medição, respectivamente. A tabela 12 mostra os detalhes dos 10 componentes mais críticos.

Tabela 12 - Detalhes dos 10 componentes mais críticos, considerando o critério MTTR como o mais relevante.

Critici- dade	ID Objeto	Descrição Objeto	Freq	Tempo Médio Parada (h)	MTTR (h)	Hora- Homem (h)	OLE?
1	US012-C0001	Módulo SMB	1	8,03	7,85	29,00	yes
2	US060-U15	Unidade de Refrigeração	1	6,33	6,08	12,00	yes
3	US090-C0054	G5101 - Fonte Simodrive	1	4,60	4,33	13,00	yes
4	US200-C0036	T9 - Transdutor de Medição	4	2,86	2,63	9,63	yes
5	US020-C0383	S30 - Cabo para Sensor Ferramenta Solta no Trocador	1	3,70	3,50	11,50	yes
6	US045-U06	Garra	1	3,35	3,33	13,00	yes
7	US220-C0011	Motoredutor do girador	1	3,33	3,08	11,00	yes
8	US198-C0059	P353801 - Célula de Carga Dr. Staiger Mohilo	2	2,14	2,00	10,50	yes
9	US110-C0014	Cilindro Dupla Ação Rexroth Porta do Trocador de Ferramentas / Cd 160Mx132/22110 0Z10B/01C Hdm11	1	3,00	2,83	6,00	yes
10	US030-S007	Conjunto Braço De Fixação	1	3,00	2,50	10,00	yes

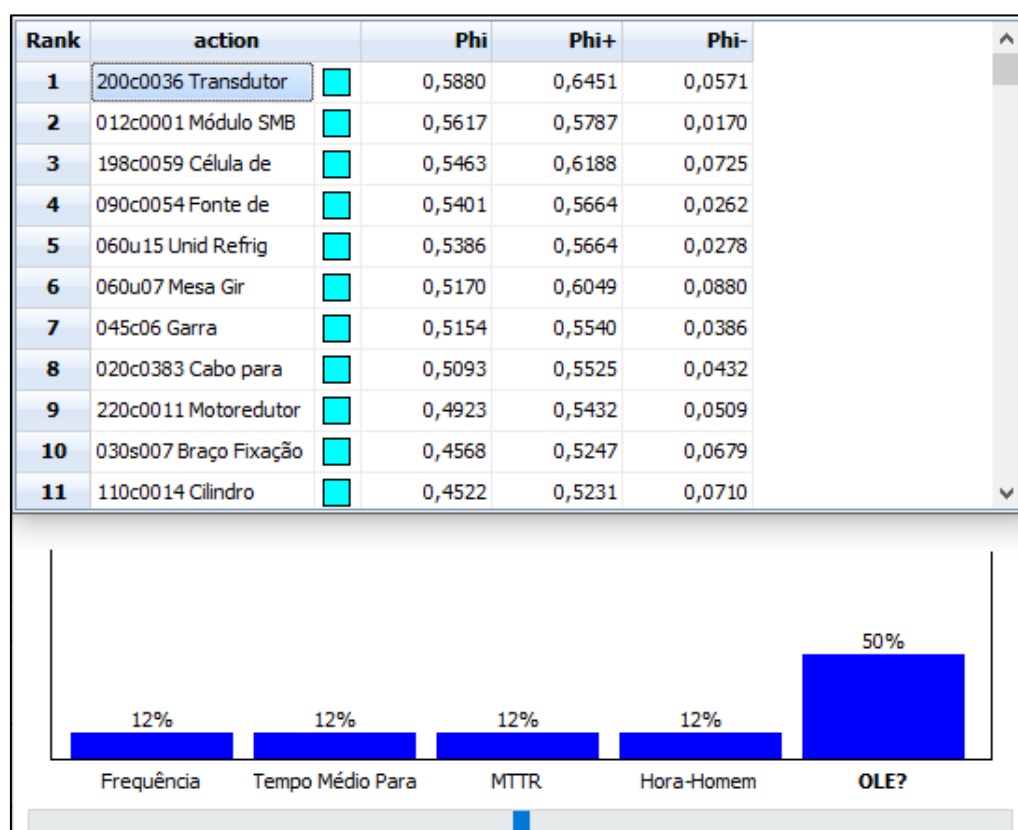
Fonte: Autoria própria.

Se comparado com a análise 2 do item 5.1.1, a unidade de refrigeração passa para o segundo colocado, pois o MTTR para o módulo SMB demandou um tempo maior de reparo. Ou seja, mesmo o tipo de componente módulo não sendo o primeiro tipo mais crítico, quando analisada a prioridade verificando o MTTR, um módulo específico acaba sendo o mais crítico dos 82 componentes que tiveram falhas. Neste caso, o módulo SMB teve uma única falha, que teve um tempo de

reparo de 7,85 horas, o que quer dizer praticamente um turno inteiro de produção. Por este motivo este componente torna-se o mais crítico.

Nesta terceira análise, foi considerado o maior peso (50%) para o critério OLE, ou seja, se afeta ou não a produção diretamente. Para os outros critérios, foram mantidos os pesos iguais a 12,5%. O resultado pode ser visto na figura 29 a seguir:

Figura 29 - Componentes mais críticos, considerando o critério OLE como o mais relevante.



Fonte: Autoria própria.

Nesta última análise, se o critério OLE foi o mais importante, pode-se verificar que em primeiro lugar encontra-se o transdutor de medição T9 e logo após, em segundo, terceiro e quarto lugar, os componentes mais críticos são o módulo SMB, a célula de carga e a fonte simodrive, respectivamente.

O transdutor de medição T9 foi o mais crítico tanto para quando o peso maior era a frequência, quanto para quando o peso maior foi a interferência no OLE, ou seja, na primeira e nesta terceira análise. A tabela 13 mostra os detalhes dos 10 componentes mais críticos, para esta análise.

Tabela 13 - Detalhes dos 10 componentes mais críticos, considerando o critério OLE como o mais relevante.

Críticidade	ID Objeto	Descrição Objeto	Freq	Tempo Médio Parada (h)	MTTR (h)	Hora-Homem (h)	OLE?
1	US200-C0036	T9 - Transdutor de Medição	4	2,86	2,63	9,63	yes
2	US012-C0001	Módulo SMB	1	8,03	7,85	29,00	yes
3	US198-C0059	P353801 - Célula de Carga Dr. Staiger Mohilo	2	2,14	2,00	10,50	yes
4	US090-C0054	G5101 - Fonte Simodrive 80/104 KW	1	4,60	4,33	13,00	yes
5	US060-U15	Unidade de Refrigeração	1	6,33	6,08	12,00	yes
6	US060-U07	Mesa Giratoria 180°	2	2,13	1,88	9,25	yes
7	US045-U06	Garra	1	3,35	3,33	13,00	yes
8	US020-C0383	S30 - Cabo para Sensor Ferramenta Solta no Trocador	1	3,70	3,50	11,50	yes
9	US220-C0011	Motoredutor do girador	1	3,33	3,08	11,00	yes
10	US030-S007	Conjunto Braço De Fixação	1	3,00	2,50	10,00	yes

Fonte: Autoria própria.

Se comparado com a análise 3 do item 5.1.1, o tipo de componente transdutor de medição é o mais crítico e, ao analisar os componentes específicos, é possível verificar que o transdutor de medição T9 foi o componente que, com 4 falhas durante o ano de 2017, foi o componente que mais afetou o indicador OLE da produção.

5.2 CENÁRIO REAL

Nesta seção, foi realizada uma análise semelhante à do item 5.1.2, sendo que, agora, foi analisado um cenário de uma situação real dentro da fábrica. Dois cenários foram simulados, 4.1 e 5.1, e, primeiramente foram escolhidos os primeiros 5 componentes mais críticos de cada cenário, considerando os 5 critérios objetivos já observados na seção anterior. Após selecionados os componentes, foram acrescentados mais 5 critérios subjetivos. Estes últimos são classificados de acordo com o especialista de manutenção, pois necessitam de informações e conhecimentos específicos de cada componente.

A tabela 14 a seguir mostra como foram alocados os pesos para cada critério para análise de multicritério.

Tabela 14 - Peso dos critérios - cenário real

Cenário real					
Critérios objetivos	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5
Análise 4.1	12,0%	8,0%	16,0%	12,0%	32,0%
Análise 5.1	28,0%	8,0%	24,0%	8,0%	12,0%
Critérios subjetivos	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10
Análise 4.2	6,0%	2,0%	2,0%	6,0%	4,0%
Análise 5.2	6,0%	2,0%	2,0%	6,0%	4,0%

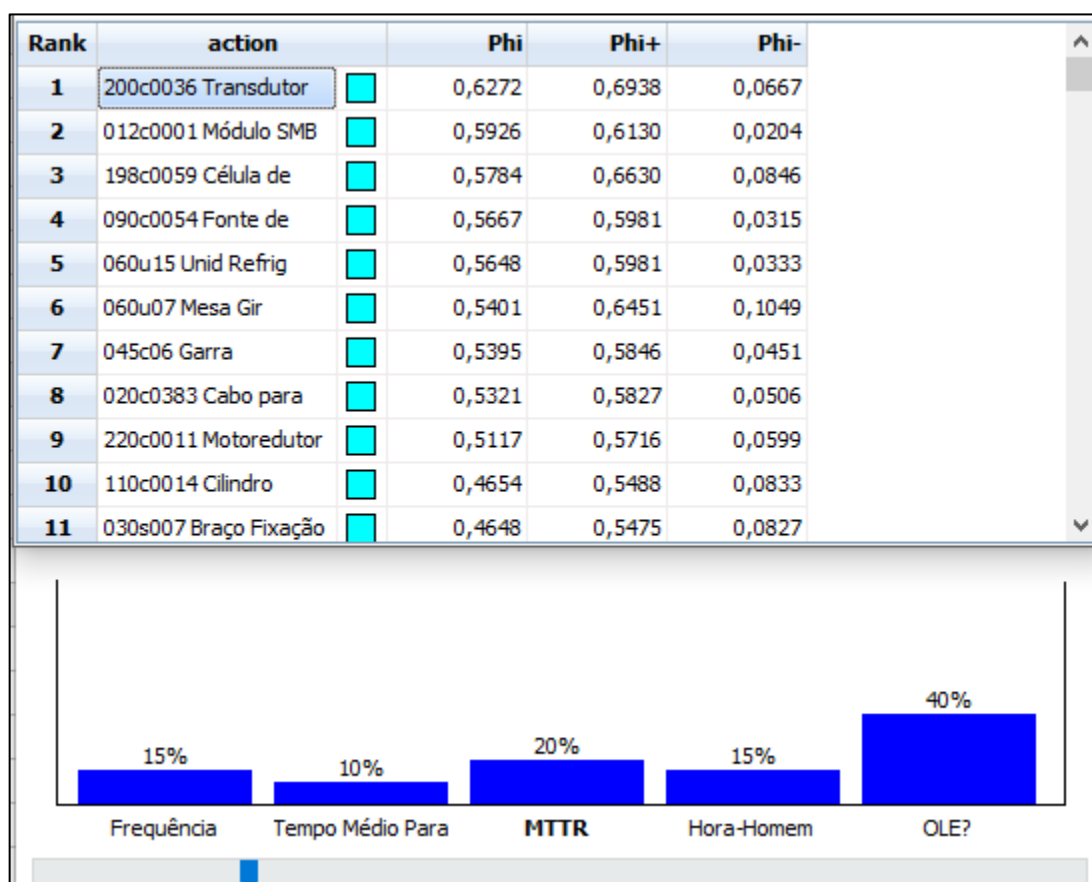
Fonte: Autoria própria.

Para a análise 4.1, o critério 5 (Afeta a Produção?) é o mais considerado para definir a criticidade do componente. Já na análise 5.1, os critérios 1 (Frequência) e 3 (MTTR) são os mais relevantes na alocação dos pesos. Nos tópicos seguintes serão exemplificados os 2 cenários reais da tabela 14.

5.2.1 Cenário 1: análise 4.1 e 4.2

Para o cenário 1, foi considerado que a linha de usinagem estivesse produzindo com o número de *buffer* limitado. Ou seja, se algum equipamento vier a falhar, pode ser que haja uma grande influência no resultado do OLE diário. Portanto, o maior peso está no critério 5, ou seja, se afeta ou não a produção. Seguindo os pesos da tabela 14, a figura 30 a seguir representa os componentes mais críticos para o cenário 1, considerando apenas os critérios objetivos.

Figura 30 - Componentes mais críticos de acordo com o cenário 1 (análise 4.1).



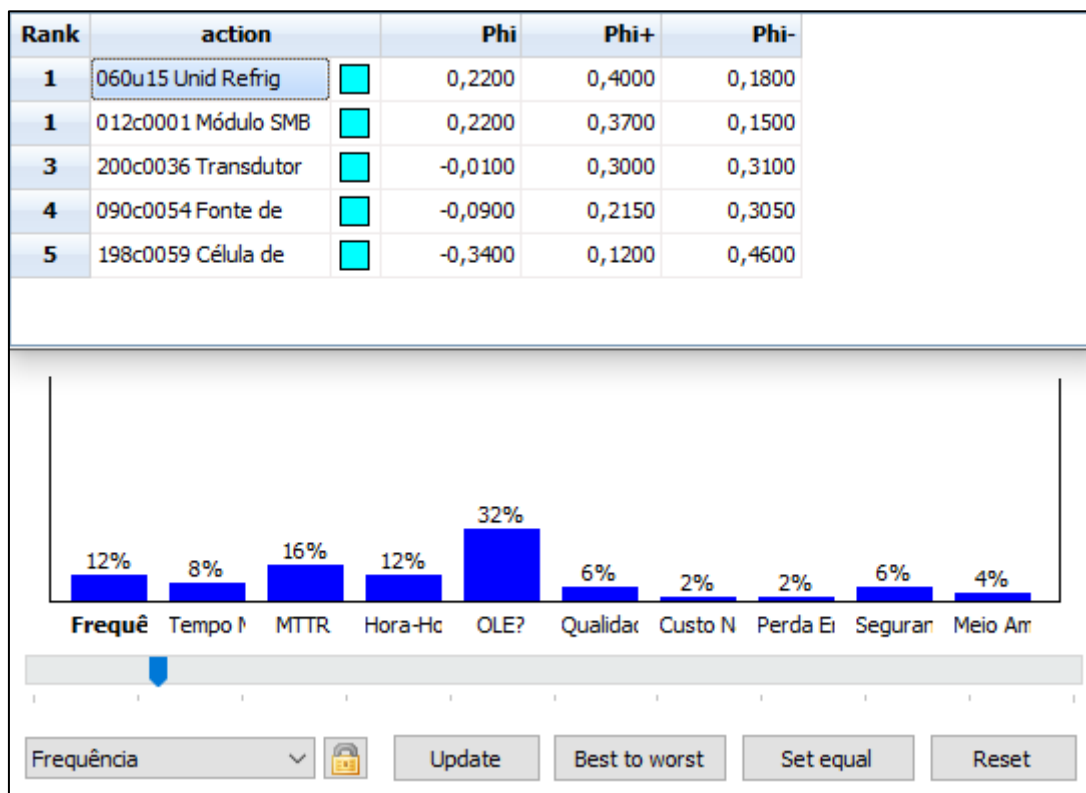
Fonte: Autoria própria.

Nota-se que os valores de proporção das porcentagens foram ajustados automaticamente. Na tabela 14, se considerada apenas a análise 4.1, ou seja, apenas os critérios objetivos, os pesos dos mesmos totalizam 80%. Neste caso, o Transdutor ficou em primeiro lugar como o mais crítico, seguido do módulo SMB, célula de carga e fonte de alimentação, em segundo, terceiro e quarto lugar, respectivamente.

Para uma análise completa, com peso para os critérios objetivos e subjetivos somando 100%, foram selecionados os 5 componentes mais críticos da análise 4.1

e inseridos os critérios subjetivos 6 até o 10, para cada um dos componentes selecionados. O resultado obtido foi o da figura 31 a seguir.

Figura 31 - Cenário 4.2



Fonte: Autoria própria.

É possível perceber que, nesta análise mais específica, considerando os primeiros 5 componentes que mais falharam, utilizando os critérios apenas objetivos, a unidade de refrigeração ficou em primeiro lugar, seguida do módulo SMB em segundo e do transdutor T9, agora em terceiro lugar. Isso quer dizer que, o componente mais crítico no período de 2017, para um cenário onde a linha de produção está com o estoque de buffer sensível a qualquer falha, o componente que mais teria influência no resultado do OLE seria a unidade de refrigeração, caso ocorresse uma falha do mesmo gênero novamente.

Neste caso, o OLE é o fator mais determinante para definir a criticidade do componente. Ou seja, as atividades de manutenção devem ser concentradas nos componentes mais críticos desta análise para evitar que os itens sofram falhas e afetem diretamente o OLE. Não pode ser deixado, no entanto, de manter o controle sobre os dados históricos da manutenção, como o tempo médio de reparo, tempo de parada, tempo médio entre falhas (MTBF), pessoas necessárias para o reparo, etc,

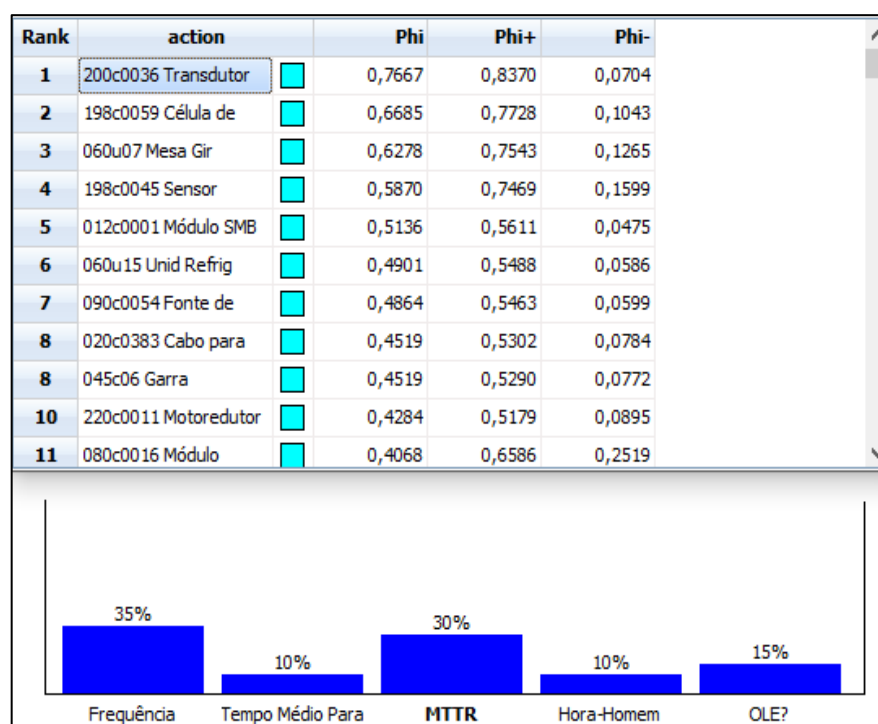
pois, caso algum outro fator tenha um descontrole, o cenário pode necessitar ser mudado, pois cada vez mais o OLE terá seu resultado afetado por conta desses fatores.

Num caso em que o OLE seja priorizado e o controle sobre os outros fatores sejam efetivos, a empresa pode se programar para aumentar o número de *buffers* na linha de produção, podendo ocorrer de o cenário 1 ser revertido para o cenário 2, adiante.

5.2.2 Cenário 2: análise 5.1 e 5.2

Para o cenário 2, foi considerado que a linha de usinagem esteja produzindo com o número de *buffer* suficiente para poder suprir algumas paradas ao longo do dia, sem que afete sua eficiência no fim do turno. Ou seja, se algum equipamento vier a falhar, dependendo do tempo total de parada, pode ser que a influência no OLE seja pouca ou quase nula ao final do expediente de produção. Portanto, os maiores pesos estarão nos critérios 1 e 3, ou seja, na frequência e no MTTR. Seguindo os pesos da tabela 14, a figura 32 a seguir representa os componentes mais críticos para o cenário 2, considerando apenas os critérios objetivos.

Figura 32 - Cenário 4.2

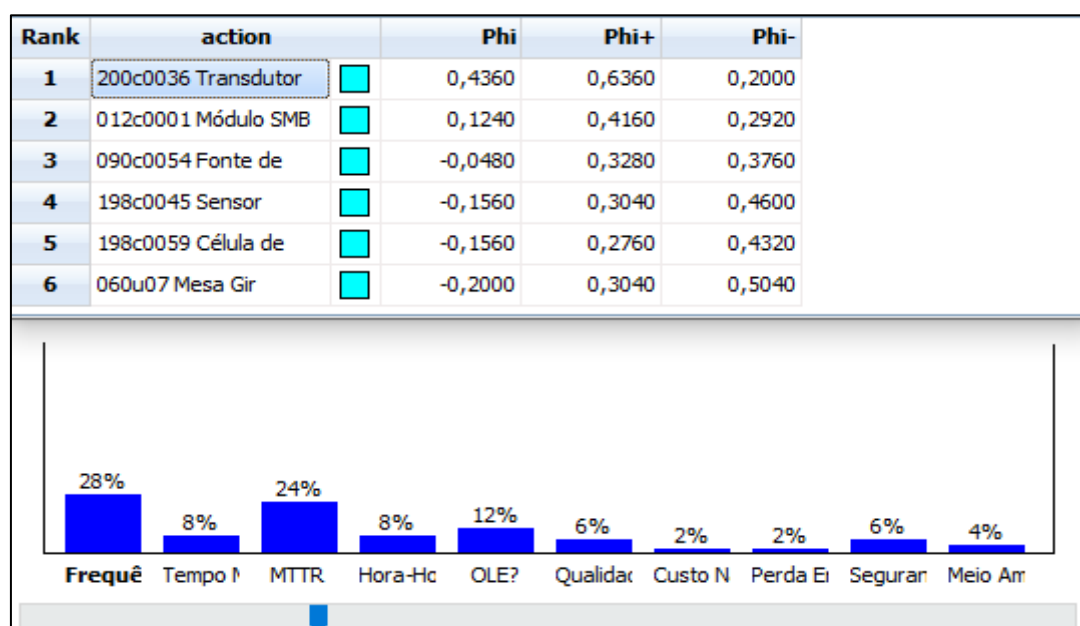


Fonte: Autoria própria.

Nota-se que os valores de proporção das porcentagens foram ajustados automaticamente nesta análise também. Na tabela 14, se considerada apenas a análise 5.1, ou seja, apenas os critérios objetivos, os pesos dos mesmos totalizam 80%. Neste caso, o Transdutor ficou em primeiro lugar como o mais crítico, seguido da célula de carga, mesa giratória e sensor de fluxo, em segundo, terceiro e quarto lugar, respectivamente.

Para uma análise completa, com peso para os critérios objetivos e subjetivos somando 100%, foram selecionados os 5 componentes mais críticos da análise 5.1 e inseridos os critérios subjetivos 6 até o 10, para cada um dos componentes selecionados. O resultado obtido foi o da figura 33.

Figura 33 - Cenário 5.2



Fonte: Autoria própria.

É possível perceber que, nesta análise mais específica, considerando os primeiros 5 componentes que mais falharam a partir da análise 4.1 com os critérios apenas objetivos, agora, com os critérios subjetivos também, o transdutor de medição ficou em primeiro lugar, seguido do módulo SMB em segundo lugar e da fonte de alimentação em terceiro lugar. Isso quer dizer que, o componente mais crítico no período de 2017, para um cenário onde a linha de produção está com o estoque de buffer suficiente, e que o MTTR e a frequência das falhas são priorizados

pela estratégia da empresa, o componente mais crítico é o transdutor de medição T9.

O cuidado com a frequência das falhas e com o MTTR torna-se importante pois, caso não haja esse controle com ações a serem tomadas após muitas falhas, ou após longas paradas, este problema pode influenciar no eficiência da linha, durante o dia ou em alguns dias depois, reduzindo o número de *buffers* e fazendo com que o cenário 2 possa ser revertido para o cenário 1, em que o OLE é o fator mais determinante para definir a criticidade dos componentes dos itens produtivos.

5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir das análises aqui realizadas, é possível perceber uma evolução da priorização dos tipos de componentes e, em seguida, dos componentes específicos.

Primeiramente existe a dificuldade em priorizar a ação da manutenção, pois, de acordo com a tabela 7 do item 4.1.1, existe mais de um critério a ser considerado. Desta forma, abrem-se as portas para a realização da análise multicritério, onde foram inseridos todos os principais critérios que pudessem tornar o componente crítico. Na primeira análise, utilizando os critérios objetivos apenas, já houveram bons resultados, onde foi possível visualizar a priorização com base em diferentes modos estratégicos de análise, por exemplo, dando maior peso para o critério frequência, ou MTTR, ou OLE.

Como em uma linha de produção, por mais que tudo ocorra sem falhas, sempre haverão fatores que podem influenciar na criticidade do componente da máquina de produção, como por exemplo, local de sua instalação, influência do mesmo no funcionamento da máquina ou até mesmo na continuidade do funcionamento da linha de produção. Para isto, existem os critérios, aqui chamados de subjetivos, que foram analisados individualmente pelos especialistas da área de manutenção. Estes que conhecem o funcionamento do componente, têm acesso a toda documentação e histórico de falhas, possuem informações a respeito das manutenções planejadas e também a respeito dos fornecedores. Portanto, ao inserir os critérios subjetivos, para a estratégia da empresa aqui estudada, foi possível conhecer quais foram os componentes mais críticos no ano de 2017.

Por fim, não se pode priorizar uma atividade apenas considerando o alto valor de frequência da falha, como também não é interessante considerar só os

índices mais altos de MTTR. Se fosse desta maneira, apenas um gráfico pareto traria a resposta rapidamente. Para que a análise fosse crítica e completa, foi importante que todos os fatores que envolvessem a falha do componente da máquina e que, desta forma, influenciassem em sua criticidade, fossem inseridos no estudo da priorização.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÃO

O trabalho aqui desenvolvido tem como objetivo a priorização do componentes das máquinas dentro da linha de usinagem da empresa, de acordo com a criticidade definida em diferentes cenários, afetando de maneira direta seus indicadores de desempenho e a eficiência dos meios produtivos. As análises feitas mostram diferentes perspectivas úteis à tomada de decisão dentro da empresa, alinhando, de forma analítica, a visão dos especialistas da área com as decisões tomadas em um nível gerencial.

O uso dos métodos multicritérios mostrou-se muito relevante na tomada de decisão, oferecendo uma visão esquemática das variáveis que interferem na priorização de componentes de máquina dentro da área de manutenção. O uso do método AHP para este caso poderia ter sido usado de maneira mais complexa, por meio de uma hierarquização diferente e quantidade maior de critérios considerados.

Na aplicação do trabalho aqui desenvolvido, existe a necessidade de revisão e aprofundamento dos estudos que dizem respeito a quais critérios subjetivos foram considerados e quais intervalos qualitativos dizem respeito à sua análise, envolvendo um número maior de especialistas e gestores. Dessa forma é possível aumentar a confiabilidade desses critérios, no que diz respeito a fatores que sejam mais fiéis às políticas da empresa.

Sabe-se que no meio industrial, principalmente automotivo, a política de redução de custos é muito significativa dentro das empresas, assim, uma atividade como esta é vista como uma oportunidade para superar metas estabelecidas para as áreas envolvidas nos processos de produção.

6.2 DIFICULDADES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tornar o trabalho aqui desenvolvido aplicável à realidade da empresa na qual os dados foram obtidos, mantendo o intuito de atuar na diminuição dos tempos e números de paradas, e, conseqüentemente o aumento dos indicadores de desempenho é o principal desafio a ser enfrentado. Um estudo de viabilidade de sua

aplicação é necessário, junto aos especialistas da área, capazes de identificar pontos de melhoria no trabalho e que tenham argumentos para atingir o nível de gestão das áreas, é importante para que estas criticidades relatadas possam de fato serem amenizadas.

É incontestável que o trabalho de priorização de atividades de manutenção e nas tomadas de decisão feitas pela gestão da empresa têm impacto final em custo. Assim, uma análise de impacto financeiro mais aprofundada, e que ofereça uma relação direta dos critérios estabelecidos com os custos implícitos a eles, é importante para explicitar e justificar de maneira mais eficaz a aplicação do trabalho aqui desenvolvido.

Levando em consideração uma eficiente aplicação do trabalho aqui proposto, faz-se necessário a implementação de um sistema supervisorio que torne a priorização uma atividade de rotina, dinâmica, feita em tempo real, que faça uso de uma base de dados mais recente e que proponha atividades de forma periódica, inseridas como atividades mais frequentes para a área de manutenção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Confiabilidade e Manutenibilidade. NBR 5462**. Rio de Janeiro, 1994.

BARAN, Leandro Roberto. **Proposta de um Modelo Multicritério Para Determinação Da Criticidade Na Gestão Da Manutenção Industrial**. 2015. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

BASTOS, Lilane N. V.; ALMEIDA, Adiel Teixeira. Artigo: Utilização do Método PROMETHEE II na Análise das Propostas de Preços em um Processo de Licitação. **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENGEPP**. Curitiba, 2002.

BEVILACQUA, M.; BRAGLIA, M. **Reliability Engineering and System Safety**. Elsevier. Italy, p. 70-83, mar. 2000.

BUSSO, Christianne Matias; MIYAKE, Dario Ikuo. Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica. **Produção**, v. 23, n. 2, p. 205-225, 2013.

DUNN, S. **The Fourth Generation of Maintenance**. Disponível em: http://www.plant-maintenance.com/articles/4th_Generation_Maintenance.pdf Acesso em 10/05/2016.

ESTANQUEIRO, R. **Práticas de simplificação na implementação do TMP - Total Productive Maintenance: estudo de caso em empresas do setor automobilístico**. Santa Bárbara, p. 18-21, 2008.

GOMES, Luiz Flavio A M. **Tomada de decisão em cenários complexos**. Pionera Thomson Learning. São Paulo. 2004.

HANSEN, Robert C. **Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

LOURES, Eduardo. **Avaliação e Implementação de Modelos de Tomada de Decisão associados à Função Manutenção em ambiente BPMS**. Curitiba, abr. 2015.

MOTTER, Osir. **Manutenção industrial - o poder oculto na empresa**. Editora Hemus. São Paulo. Brasil. 1992.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. Segunda Edição. Industrial Press Inc.: New York, 1997.

NACHIAPPAN, R. M.; ANANTHARAMAN, N. Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 17, n. 7, p. 987-1008, 2006.

NUNES, Enon. **Manutenção Centrada Em Confiabilidade (Mcc): Análise Da Implantação Em Uma Sistemática De Manutenção Preventiva Consolidada**. Florianópolis, out. 2001.

PERES, Carlos; LIMA, Gilson. **Proposta de modelo para controle de custos de manutenção com enfoque na aplicação de indicadores balanceados**. Gest. Prod., São Carlos, v. 15, n. 1, p. 149-158, jan.-abr. 2008.

PIECHNICKI, Ademir Stefano. **Identificação, priorização e análise dos fatores críticos para sucesso na implantação da TPM pelo método AHP**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013. Disponível em <http://ppgep.pg.utfpr.edu.br/site/wp-content/uploads/2015/05/PG_PPGEp_M_Piechnicki-Ademir_2013.pdf>

PINTO, Alan Kardec; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 2. ed. Rev. e Ampl. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2001.

RAJA, P. Nelson. **Strategic OEE models for assessing real effectiveness to improve the deployment of manufacturing resources**. 2008. 178f. Tese de doutorado – Anna University, Chennai, 2008.

RASTEGARI, Ali; MOBIN, Mohammadsadegh. Maintenance Decision Making, Supported By Computerized Maintenance Management System. **Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) - IEEE**. Tucson, AZ, USA, p. 3, jan. 2016.

SANTOS, Antonio Carlos de Queiroz. **Abordagem multicritério para classificação de equipamentos críticos e determinação de tempos de inspeções para manutenção**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2015.

VARGAS, Ricardo. **Utilizando a programação multicritério (ahp) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio.** Disponível em: https://rvcdownloads.s3.amazonaws.com/uploads/downloads/articles/2014/ricardo-vargas_article_ahp_pt.pdf. Acesso em 15/05/2017.

APÊNDICE A

Tabela 1 - Dados conforme tipo de componente.

Tipo do componente					
Nome	Frequência	Tempo Médio de Falha (horas)	MTTR (horas)	Homem-Hora Médio (horas)	Afeta a produção?
Acoplamento	1	0,92	0,87	4,49	Não
Acumulador	1	0,63	0,42	2,00	Não
Admissão Broca	1	0,98	0,93	4,50	Não
Ar Condicionado	2	0,50	0,35	0,83	Sim
Cabo Sensor	1	3,70	3,50	11,50	Não
Cabo Transdutor	1	1,50	1,28	3,00	Não
Câmera de Inspeção	1	1,02	0,83	1,50	Não
Célula de Carga	2	2,14	2,00	10,50	Sim
Chave Limite	2	0,68	0,53	2,08	Não
Chave Múltipla	1	1,00	0,80	3,83	Não
Cilindro	1	3,00	2,83	6,00	Não
Conjunto Braço De Fixação	1	3,00	2,50	10,00	Não
Contator	1	2,77	2,68	0,50	Não
Controlador Lógico Programável	1	0,32	0,13	0,83	Sim
Correia Sincronizadora	2	1,54	1,21	7,00	Sim
CPU	2	1,16	0,62	1,50	Não
Disjuntor	1	0,38	0,20	1,00	Sim
Dispositivo de Articulação	1	1,15	1,00	1,00	Não
Distribuidor	1	2,30	2,00	5,50	Não
Eixo B - Mesa	1	0,87	0,67	3,83	Não
Filtro	2	1,07	0,93	7,00	Não
Fonte	2	2,46	2,28	6,71	Não
Furação/Fresagem/Alargamento	1	0,53	0,42	1,00	Não

Nome	Frequência	Tempo Médio de Falha (horas)	MTTR (horas)	Homem-Hora Médio (horas)	Afeta a produção?
Gantry Loader	1	0,99	0,58	3,66	Não
Garra	2	2,34	2,29	7,83	Não
Inversor de Frequência	1	0,62	0,50	0,50	Não
Limite Magnético	1	1,58	1,45	2,00	Não
Mandrilamento	2	0,86	0,65	1,04	Não
Máquina De Furação Profunda	1	1,82	1,42	1,50	Não
Mesa Giratoria 180°	2	2,13	1,88	9,25	Não
Módulo de Monitoração	1	0,92	0,18	0,18	Sim
Módulo de Potência	3	1,78	1,61	5,22	Não
Módulo de Rede	5	3,06	2,49	8,30	Não
Módulo de Regulação	1	0,78	0,50	0,50	Não
Módulo Distribuidor	1	2,25	1,92	5,66	Sim
Motor Elétrico	4	1,17	0,72	6,54	Sim
Motoredutor	1	3,33	3,08	11,00	Não
NCU	1	0,63	0,38	1,00	Sim
Painel Operação Principal	1	0,75	0,57	2,00	Não
Painel Pneumático 4B	1	0,33	0,17	0,50	Sim
Pino Index	1	1,42	1,20	3,00	Não
Pressostato	2	0,76	0,60	4,00	Sim
Relé	3	1,03	0,86	1,61	Não
Revólver Multi-Cabeçote	1	0,92	0,77	1,00	Não
Robô De Rebarbação	1	0,75	0,58	1,34	Não
Sensor	21	1,13	0,96	2,69	Sim
Servomotor	2	2,04	1,57	6,50	Não
Sistema de Refrigeração	1	1,25	0,97	3,00	Sim
Termostato	2	0,60	0,50	0,99	Não
Transdutor	1	2,00	1,42	10,00	Não

Nome	Frequência	Tempo Médio de Falha (horas)	MTTR (horas)	Homem-Hora Médio (horas)	Afeta a produção?
Transdutor de Medição	5	2,43	2,23	7,90	Sim
Tubulação	1	0,75	0,50	0,58	Não
Unidade de Brochamento	1	2,12	1,75	3,33	Não
Unidade de Refrigeração	1	6,33	6,08	12,00	Não
Válvula	2	2,30	2,10	4,13	Não

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 – Dados conforme componentes específicos.

Componentes							
Nº	ID Objeto	Descrição Objeto	Freq	Tempo Médio Parada (h)	MTTR (h)	Hora-Homem (h)	OLE?
1	OP200-C0036	T9 - Transdutor de Medição	4	2,86	2,63	9,63	yes
2	OP198-C0059	P353801 - Célula de Carga Dr. Staiger Mohilo	2	2,14	2,00	10,50	yes
3	OP060-U07	Mesa Giratoria 180º	2	2,13	1,88	9,25	yes
4	OP198-C0045	S57.1 - Unidade 04.2A Fluxo fuso OK	3	2,17	1,95	1,83	yes
5	OP080-C0016	Módulo de Potência Eixo SP1	2	1,71	1,55	5,83	no
6	OP180-C0003	S38.5 - Controle de apoio Ok	2	1,02	0,92	1,84	yes
7	OP220-C0009	CPU S7	2	1,16	0,62	1,50	yes
8	rb012-C0001	Módulo SMB	1	8,03	7,85	29,00	yes
9	OP090-C0054	G5101 - Fonte Simodrive 80/104 KW	1	4,60	4,33	13,00	yes
10	OP060-u15	Unidade de Refrigeração	1	6,33	6,08	12,00	yes
11	OP045-u06	Garra	1	3,35	3,33	13,00	yes
12	OP020-C0383	S30 - Cabo para Sensor Ferramenta Solta no Trocador	1	3,70	3,50	11,50	yes
13	OP240-C0002	S116.1 - Sensor de Nível	2	0,54	0,36	2,09	yes
14	OP198-C0037	Motor Elétrico M16.3 - Unidade Refrigeração	3	0,31	0,18	2,05	yes
15	OP220-C0011	Motoredutor do girador	1	3,33	3,08	11,00	yes
16	OP030-s007	Conjunto Braço De Fixação	1	3,00	2,50	10,00	yes
17	OP110-C0014	Cilindro Dupla Ação Rexroth Porta do Trocador de Ferramentas / Cd	1	3,00	2,83	6,00	yes

Nº	ID Objeto	Descrição Objeto	Freq	Tempo Médio Parada (h)	MTTR (h)	Hora- Homem (h)	OLE?
18	OP198- C0001	AJ369 - Ar Condicionado	2	0,50	0,35	0,83	yes
19	OP198- C0064	Módulo Distribuidor ASI 4 Entradas A1/21 Disp. Fixação Para Cima/ IFM AC2410	1	2,25	1,92	5,66	yes
20	OP060- C0232	Filtro Automático Bollkirch	1	1,67	1,57	12,00	yes
21	OP080- C0002	Motor Elétrico Fuso Principal M5301, Siemens, 1PH7- 163-2NF03-0BJ0	1	3,75	2,33	20,00	no
22	OP040- C0014	PEW 480 - Transdutor de Medição Linear	1	2,00	1,42	10,00	yes
23	OP060- C0225	Valvula Pneumatica (Piloto) - Coolant Alta Pressão - Y1XX.x	1	4,32	4,03	8,00	no
24	OP020- C0155	S48.3 - Sensor Indutivo Posicionador Avançado / Balluff Bes-516-325-S4-C	1	2,95	2,75	13,00	no
25	OP020- C0100	M5701 - Servomotor Eixo B Siemens / 1FT6105-8AC71- 4AG0	2	2,42	2,04	6,50	no
26	OP220- C0010	A28001 - Módduo de rede ETX 200	1	4,07	1,83	2,00	yes
27	OP090- C0065	B43.7 - Termostato do Óleo Hidráulico	2	0,60	0,50	0,99	no
28	OP045- C0361	Módulo de Potência int. 80A A5 - Módulo Eixo Z1 / Siemens 6SN1123-1AA00- 0DA1	1	1,92	1,75	4,00	yes
29	OP200- C0043	Correia Sincronizadora Sincroflex 75 T10/840	1	1,25	0,92	9,99	yes
30	OP020- C1017	Módulo 32 Saídas Siemens	1	2,33	2,25	6,83	no
31	OP020- C1186	Distribuidor 8 Ent E48.0	1	2,30	2,00	5,50	no

Nº	ID Objeto	Descrição Objeto	Freq	Tempo Médio Parada (h)	MTTR (h)	Hora-Homem (h)	OLE?
32	OP160-C0015	W5303 - Cabo do Transdutor de Torque	1	1,50	1,28	3,00	yes
33	OP220-C0014	K13.5 - Contator de alimentação das resistências do banho	1	2,77	2,68	0,50	yes
34	OP085-u06	Garra	1	1,33	1,25	2,66	yes
35	OP210-C0002		0				
36	OP060-C0228	Admissão Broca Furo R81	1	0,98	0,93	4,50	yes
37	OP221-C0003	S51.3 - Sensor de Presença de Peça	1	1,40	1,00	2,34	yes
38	OP200-u14	Sistema de Refrigeração	1	1,25	0,97	3,00	yes
39	OP025-C0282	Relé K34.3 - Freio eixo C / Finder 60.13.9.024.0070	1	2,00	1,83	4,00	no
40	OP198-C0066	Pressostato digital IFM PN5002 - Mandril porta ferramenta solto	1	1,00	0,83	4,00	yes
41	OP050-u10	Unidade de Brochamento	1	2,12	1,75	3,33	no
42	OP090-C0055	Correia Dentada, BRECO, 10 AT5/1185 M	1	1,83	1,50	4,00	no
43	OP170-C0019	S43.0/ S43.1/ S43.2/ S43.3 - Chave Múltipla Eixo Z	1	1,00	0,80	3,83	yes
44	OP140-C0014	S50.6 - Verificação Esquerda	1	1,08	0,80	3,00	yes
45	OP060-C0083	S40.0/S40.1/S40.2/S40.3 - Chave Limite - Unidade 1 Carro de Encosto	1	1,00	0,80	3,50	yes
46	OP200-C0012	S53.3 - Pokayoke do Gabarito de Medição	1	1,22	1,08	1,08	yes
47	OP160-s006	Dispositivo de Articulação	1	1,15	1,00	1,00	yes
48	OP220-C0013	S28.7 - Sensor da trava da mesa avançada	1	0,78	0,45	5,00	yes
49	OP060-C0096	Conexão de Fluido Fêmea D - Pino Index na Posição Superior	1	1,42	1,20	3,00	no

Nº	ID Objeto	Descrição Objeto	Freq	Tempo Médio Parada (h)	MTTR (h)	Hora-Homem (h)	OLE?
50	OP250-C0003	Camera de Inspeção	1	1,02	0,83	1,50	yes
51	OP060-C0081	S51.0 - Peça Fixada	1	1,03	0,92	4,00	no
52	OP080-C0008	S48.3 - Sensor Fixado Fixação (CH7)	1	0,80	0,67	2,00	yes
53	OP145-C0293	Acoplamento de Nylon	1	0,92	0,87	4,49	no
54	rb011-C0004	Servomotor Eixo 3	1	0,83	0,50	2,00	yes
55	OP160-u07	Painel Operação Principal	1	0,75	0,57	2,00	yes
56	OP060-C0082	S51.1 - Peça Solta	1	0,92	0,78	3,33	no
57	OP030-u06	Eixo B - Mesa	1	0,87	0,67	3,83	no
58	OP200-C0041	T14 - Transdutor de Medição	1	0,72	0,62	1,00	yes
59	OP200-s010	Painel Pneumático 4B	1	0,33	0,17	0,50	yes
60	OP165-C0003	E117.6 - Peça Na Área de Colisão Esteira OP162	1	1,12	1,00	1,00	no
61	OP130-C0008	Filtro	1	0,47	0,28	2,00	yes
62	OP198-C0044	A18101 - NCU 573.5 Siemens / 6FC5357-0BB35-0AA0	1	0,63	0,38	1,00	yes
63	OP045-C0212	Sensor Indutivo 24VDC Balluff - S112.4 / BES 517-139-M5-H-S4	1	0,72	0,58	2,00	no
64	OP030-C0015	E45.3 - Pressostato de Lubrificação Guia/Fuso	1	0,52	0,37	4,00	no
65	OP200-C0013	G19301 - Módulo de Monitorização, SIEMENS, 6SN1112-1AC01-0AA0	1	0,92	0,18	0,18	yes
66	OP140-C0006	S44.5 - Nível de Óleo no Redutor OK	1	0,75	0,58	1,09	no
67	OP198-C0060	Q16.3 - Disjuntor Motor Bomba Alta Pressão	1	0,38	0,20	1,00	yes

Nº	ID Objeto	Descrição Objeto	Freq	Tempo Médio Parada (h)	MTTR (h)	Hora-Homem (h)	OLE?
68	OP050-C0008	S17.6 - Dispositivo solto CH10	1	0,58	0,50	2,00	no
69	OP020-C0671	Acumulador De Bexiga Hydac Contra Peso Do Eixo Y / Sb 330 1 A1/112 A 330 A	1	0,63	0,42	2,00	no
70	OP221-C0005	A25001 - Módulo da Rede Profibus Entrada	1	0,30	0,13	1,66	yes
71	OP020-C1020	Módulo 32 Saídas Siemens A9105	1	0,58	0,40	2,00	no
72	OP190-C0013	K2201 - Relé de Segurança Porta do Magazine de Ferramentas	1	0,67	0,58	0,58	no
73	OP200-s011	Controlador Lógico Programável	1	0,32	0,13	0,83	yes
74	OP050-C0006	Tubulação de entrada de coolant	1	0,75	0,50	0,58	no
75	OP080-C0017	Módulo de Regulação Siemens G5301	1	0,78	0,50	0,50	no
76	OP250-C0004	S32.0 - Produto na Esteira de Entrada	1	0,33	0,25	2,00	no
77	OP030-C0006	Inversor Freqüencia Fresa/Barra Mandrilar	1	0,62	0,50	0,50	no
78	OP020-C0270	S33 - Sensor Indutivo Sem Ferramenta No Fuso	1	0,42	0,33	1,34	no
79	OP060-C0080	S41.0/S41.1/S41.2/S41.3 - Chave Limite - Unidade 2 Carro de Encosto	1	0,35	0,25	0,66	no
80	OP020-C1035	Fonte De Alimentação Siemens G5101 Fonte Cnc /	1	0,32	0,23	0,42	no
81	OP090-C0064	K2701 - Rele de Segurança	1	0,41	0,17	0,25	no
82	OP060-C0233	Y124.2 - Bobina Index da Peça	1	0,27	0,17	0,25	no