



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

APLICAÇÃO DE MÉTODO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO PARA SELEÇÃO DE KAIZENS DIRECIONADOS PELA MATRIZ QA DO WORLD CLASS MANUFACTURING

ANDRÉ TAVARES DE AQUINO

Orientador (a): Prof. RENATA MACIEL DE MELO

**CARUARU
2017**

ANDRÉ TAVARES DE AQUINO

**APLICAÇÃO DE MÉTODO MULTICRITÉRIO DE
APOIO A DECISÃO PARA SELEÇÃO DE KAIZENS
DIRECIONADOS PELA MATRIZ QA DO WORLD
CLASS MANUFACTURING**

Trabalho apresentado ao curso de engenharia de produção do centro acadêmico do agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para aprovação na disciplina projeto final de curso.

Área de concentração: Gestão da Qualidade

Orientador (a): Renata Maciel de Melo

Caruaru

2017

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Marcela Porfírio – CRB/4-1878

A657a Aquino, André Tavares de.
Aplicação de método multicritério de apoio a decisão para seleção de kaizens direcionados pela matriz QA do world class manufacturing. / André Tavares de Aquino. – 2017.
45f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Renata Maciel de Melo.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2017.
Inclui Referências.

1. Gestão da qualidade total. 2. Processo decisório por critério múltiplo.
3. Engenharia de Produção. I. Melo, Renata Maciel de (Orientadora). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2017-116)

ANDRÉ TAVARES DE AQUINO

Aplicação de método multicritério de apoio a decisão para seleção de kaizens direcionados pela matriz QA do world class manufacturing

Trabalho apresentado ao curso de engenharia de produção do centro acadêmico do agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para aprovação na disciplina projeto final de curso.

Área de concentração: Gestão da Qualidade

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato ANDRÉ TAVARES DO CAMPO, APROVADO COM NOTA ____.

Caruaru, ____ de _____ de 2017.

Banca examinadora:

Prof. Renata Maciel de Melo, DSc _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof. Maisa Mendonça da Silva, DSc _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Tharcylla Rebecca Negreiros Clemente, DSc _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Lúcio Câmara e Silva, DSc _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas que certamente fizeram parte deste importante acontecimento na minha vida não serão abordadas nestes parágrafos; a estes peço desculpas, mas tenham certeza de que fazem parte da minha gratidão, pensamentos e lembranças.

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me feito sentir sua presença em diversos momentos da vida, me dado saúde e forças para superar cada dificuldade. Inúmeras foram as vezes em que o conforto, a motivação e o direcionamento vieram de ti, Pai.

Aos meus pais, Andril Tavares do Campo e Noêmia Figueiredo de Aquino Tavares que nunca me deixaram faltar amor, carinho e cuidados. Por sempre se sacrificarem para me dar o melhor de tudo. Eis os dois pilares da minha vida.

Aos meus irmãos Andreza e Diel, pelo amor, respeito, e por sempre me fazerem lembrar quem sou e onde posso chegar. Obrigado aos meus primos Fábio, Renan, Raul, Bruno, Erika e Hugo (ordenados aleatoriamente para não haver discussões) por terem sido protagonistas da melhor infância que pude ter, pela camaradagem e aventuras dos dias atuais.

A Nathália Menezes Medeiros, pessoa incrível que Deus colocou em minha vida, por me dar todo amor, carinho e companheirismo que alguém pode receber. Obrigado por todos os dias, de alguma forma, me fazer uma pessoa melhor e por ser minha melhor amiga!

A todos meus amigos em que aqui não conseguirei listar, mas em especial Sandoval, Samuel, Débora, Luana, Héber, Wladson, Igor, Neto, Geisi, Rayana, Rebeka e Bruno. Um abraço especial a todos meus amigos que compõe os grupos Anônimos sem fronteiras, Os Caruaru, Gal, Equipe Colméia, Filônimos anônimos e COBAES. Apesar da distância existente entre vários de vocês impedir um abraço, nunca afetará a cumplicidade da amizade.

Agradeço a Dr^a Renata Maciel de Melo, que me orientou por toda minha graduação, sendo um exemplo de professora, cientista, pessoa e líder. Obrigado não só por me orientar todos esses anos, mas por fazer parte das minhas principais conquistas acadêmicas. Tenho certeza que deixo a graduação levando uma amiga, a qual nunca esquecerei.

Agradeço a Acumuladores Moura por durante meu tempo de estágio complementar de forma extraordinária minha graduação, provendo ricos conhecimentos e experiências. Agradeço a UN05 e ao Controle de Qualidade desta unidade, a qual faço parte a mais de um ano, e a todos os amigos que fiz neste período, particularmente a Silvanio, Ygor, Emanuel, Diego, Adjailto, Berto e Silas. Sem dúvida, esta experiência superou todas as expectativas.

Por fim agradeço a UFPE, ao departamento de engenharia de produção, todos seus docentes e ao GAMA, grupo de pesquisa que fiz parte e me trouxe muitos momentos de orgulho.

RESUMO

Periodicamente as organizações são induzidas a passarem por mudanças nos aspectos de melhoria da qualidade dos processos e produtos para se adequarem às exigências do meio externo (mercado consumidor e concorrente) e interno, decidindo, então, melhorar seu sistema de gestão ou até implantar um novo. Mudanças deste porte demandam esforço, planejamento e envolvimento de todos, principalmente da alta gerência. O sistema de gestão *World Class Manufacturing* é um novo sistema com o foco na identificação e eliminação total das perdas da fábrica, utilizando-se para isto ferramentas direcionadoras para priorizar estas perdas. A matriz QA é uma destas ferramentas e prioriza as maiores perdas da fábrica em termos de qualidade. No entanto, uma lacuna na metodologia existe entre a aplicação das novas ferramentas e a tomada de decisão para atacar tais perdas; é a lacuna do suporte à decisão. O referido trabalho traz a aplicação de um método MCDM, mais especificamente o PROMETHEE II, para demonstrar o preenchimento desta lacuna, evidenciando uma possibilidade de melhoria dentro do sistema de gestão. Além da aplicação, o referido trabalho busca criar uma ponte entre os estudiosos e especialistas do WCM e dos métodos MCDM, destacando a necessidade que a gerência e alta direção das organizações tem com relação a um suporte às tomadas de decisão dentro deste novo programa.

Palavras-chave: Gestão da Qualidade, MCDM, WCM, Promethee II

ABSTRACT

Periodically, organizations are lead to go through changes in aspects such as process and product quality improvement, in order to adequate the external (market and competitors) and internal requirements, deciding then, to improve its management system or implementing a new one. Changes at this level demand effort, planning and everyone's comitemment, mainly from the high management. The management system World Class Manufacturing is a new system with focus on indentifying and eliminating completely the factory losses, using for this, directing tools to prioritize those losses. The QA matrix is one of these directing tools of losses, and it prioritizes the worst losses of the factory in terms of quality. However, there is a gap in the methodolgy between the use of the directing tools and the decision making process to attack those losses; this gap is the supoort for the decision. This study demonstrate the application of a MCDM method, specifically the PROMETHEE II, in order to demonstrate the filling of this gap, highlighting the possibility of improvements within this management system. Besides the application, this work seeks to create a bridge between the WCM and MCDM scholars, evidencing the need that the high management of the organizations have about a better decision support in the WCM program.

Keywords: Quality management, MCDM, WCM, Promethee II

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Pilares do WCM</i>	18
<i>Figura 2 – Mentalidade no gerenciamento da rotina</i>	19
<i>Figura 3 – Matriz QA da empresa em estudo</i>	34
<i>Figura 4 – Plano GAIA</i>	39
<i>Figura 5 – PROMETHEE ranking</i>	39

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Definições clássicas da qualidade</i>	14
<i>Tabela 2 – Relações básicas de preferência</i>	25
<i>Tabela 3 – Critérios gerais para o PROMETHEE</i>	29
<i>Tabela 4 – Pontuação para frequência</i>	32
<i>Tabela 5 – Pontuação para custo</i>	33
<i>Tabela 6 – Pontuação para gravidade</i>	33
<i>Tabela 7 – Pontuação parcial para detectabilidade.....</i>	33
<i>Tabela 8 – Conjunto de alternativas.....</i>	35
<i>Tabela 9 – Família de critérios</i>	36
<i>Tabela 10 – Matriz de decisão.....</i>	37
<i>Tabela 11 – Fluxos de sobreclassificação</i>	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

WCM – World Class Manufacturing (Manufatura de classe mundial)

QC – Quality Control (Controle de Qualidade)

TQC – Total Quality Control (Controlde da Qualidade Total)

PPM – Partes por milhão

SIMA – Segurança industrial e meio ambiente

MCDA – Multi-Criteria Decisiona Analysis (Métodos Multicritério de Apoio a Decisão)

MCDM – Multi-Criteria Decision Methods (Métodos Multicritério de Decisão)

ISO – International Standard Organization

GQT – Gestão da Qualidade Total

PDCA – Metodologia de Melhoria Contínua (Plan, Do, Check, Act)

MAUT – Multi-Attribute Utility Theory (Teoria da Utilidade Multi-Atributo)

Sumário

1	<i>INTRODUÇÃO</i>	12
1.1	Objetivo Geral.....	13
1.2	Objetivos Específicos	13
2	<i>REFERÊNCIAL TEÓRICO</i>	14
2.1	Definições clássicas da Qualidade.....	14
2.2	Princípios do WCM.....	15
2.3	Aplicações do WCM	17
2.4	Melhoria contínua	18
3	<i>ALINHAMENTO ENTRE MCDM E WCM</i>	19
3.1	Apoio multicritério à decisão	21
3.2	Composição do problema decisório.....	21
3.3	Tipos de problemática	23
3.4	As famílias dos métodos de apoio multicritério à decisão	23
3.5	Modelagem das preferências.....	24
3.6	Escolha do método multicritério	26
3.7	A família dos métodos PROMETHEE	28
4	<i>ESTUDO DE CASO</i>	30
4.1	Característica da empresa.....	30
4.2	O perfil do decisor.....	31
4.3	Apresentação dos resultados	31
5	<i>CONCLUSÕES</i>	34
6	<i>REFERÊNCIAS</i>	40
7	<i>APÊNDICES</i>	45

1 INTRODUÇÃO

O termo *World Class Manufacturing* (WCM) foi pela primeira vez usado por Hayes e Wheelwright em 1984. Desde então, o conceito tem se expandido e aprimorado por diversos autores que tem reafirmado algumas das ideias de Hayes e Wheelwright e rejeitado outras (Flynn et al, 1998). Enquanto para alguns o WCM é visto como uma filosofia, para outros se trata de um inovador sistema focado na melhoria contínua ao qual proporciona a eliminação de todos os tipos de perdas e desperdícios de produção a partir do envolvimento de todos os tipos de níveis hierárquicos e departamentos de uma empresa. Este sistema é composto por dez pilares, abrangendo os principais departamentos e setores de uma organização. Segundo Jazayeri e Hopper (1999), o mesmo pode ser definido como uma síntese das técnicas de gestão em um ambiente de manufatura contemporânea e está fundamentado em pilares de atuação a nível gerencial e técnico. Dentro dos pilares está o pilar de Quality Control (QC), que tem como função eliminar as principais perdas (defeitos em produtos) da fábrica atacando as suas causas raízes. Este pilar tem como principal ferramenta direcionadora a matriz QA (matriz de garantia da qualidade), que é uma ferramenta usada para identificar relações críticas entre problemas de qualidade e a fase do processo na qual os problemas acontecem. Na abordagem de melhoria focada, os defeitos mais prioritários são ordenados com base em uma pontuação que leva em consideração a frequência, custo, gravidade e detectabilidade.

Um dos principais problemas enfrentados em grandes empresas durante a seleção dos projetos de melhoria focada, a partir do direcionamento da matriz QA é o empate na pontuação de priorização das alternativas, fazendo com que na maioria das vezes, na ocorrência destes casos, que os temas sejam selecionados com base na experiência ou preferência do líder do pilar ou gerente industrial; ou seja, não existe estruturação para decisões quando ocorre empate nas priorizações. Outro problema que vale a pena evidenciar é a diferença entre duas perdas é muito baixa, fazendo com que o decisor apresente resistência e dificuldades durante o processo de escolha. A seleção correta de projetos é fundamental, uma vez que estes projetos receberão diversos recursos e serão responsáveis pelo atingimento dos indicadores de desempenho do pilar. Em muitos casos, os indicadores do pilar são os próprios indicadores de desempenho do setor. Estas dificuldades indicam uma necessidade de suporte a tomada de decisões dentro deste inovador programa.

A fim de auxiliar os líderes e gestores na tomada de decisão, os métodos multicritério de apoio a decisão podem ter um papel relevante neste contexto.

1.1 Objetivo Geral

O referido trabalho tem por objetivo geral selecionar projetos direcionados pela Matriz QA do WCM em uma empresa de médio porte, utilizando a abordagem multicritério de apoio a decisão (MCDM).

1.2 Objetivos Específicos

Tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Coleta de dados realísticos para elaboração da ferramenta matriz QA;
- Definição dos indicadores da matriz, e parametrização da matriz de acordo com as características da empresa;
- Construção da matriz QA e análise dos seus direcionamentos;
- Aplicação do método MCDM;
- Análise dos resultados

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Definições clássicas da Qualidade

Não existe ao certo uma definição global de qualidade, uma vez que diferentes definições são apropriadas em diferentes circunstâncias e que autores acabam por colocar ênfase em diferentes aspectos quando se trata sobre definir qualidade. O termo em si é aberto a um leque de interpretações e a formação de uma definição padrão se mantém elusivo (Dale e Plunkett, 1990). A tabela a seguir exhibe algumas das mais clássicas definições de qualidade:

Tabela 1 – Definições clássicas da qualidade

Qualidade é a adequação ao uso	Juran (1979)
Qualidade é o atendimento aos requisitos	Crosby (1979)
Qualidade é o grau previsível da uniformidade e confiabilidade a baixo custo e adequado ao mercado	Deming (1986)
Qualidade é em sua essência a forma de gerenciar uma organização	Feigenbaum (1983)
Qualidade é atender os requisitos do cliente	Oakland (1989)
Qualidade é a totalidade de características de uma entidade que suporta sua habilidade de satisfazer necessidades implícitas ou declaradas.	International Standard Definition (1994)
Qualidade é um sistema de significados para economicamente produzir bens ou serviços, aos quais satisfazem requisitos de clientes.	Japan Industrial Standards – JIS (1981)

Fonte: Adaptado de Butler (2009)

Reeves e Bednar (1994) categorizam definições de qualidade segundo as seguintes posições:

- 1) Excelência
- 2) Valor
- 3) Conformidade a especificações
- 4) Atendimento e/ou exceder expectativas

Tais autores afirmam que a qualidade é melhor mensurada quando definida como conformidade a atender especificações, sendo ela mais difícil de ser mensurada quando definida

sob a ótica de excelência.

Outra classificação é proposta por Garvin (1988) ao qual divide a definição de qualidade em cinco abordagens:

- 1) Transcendental – qualidade é sinônimo de excelência;
- 2) Baseada no produto – qualidade é precisa, mensurável e inerentemente presente nas características naturais do produto;
- 3) Baseada no uso – qualidade é definida pelo usuário i.e. Juran (1979);
- 4) Baseada na manufatura – O foco aqui é a conformidade, confiabilidade e produção eficiente;
- 5) Baseada no valor – Se relaciona com quem paga pelo produto.

Apesar da flexibilidade com relação à conceituação de qualidade, esta tem evoluído ao longo dos anos. Nas décadas de 1950 e 1960, controle da qualidade era a chave, com ênfase em inspeção através de encontrar defeitos, retrabalhar ou inutilizar produtos inconformes e garantir a não recorrência (Garvin, 1988).

Enquanto o controle da qualidade focava principalmente em correção, uma mudança ocorreu nas décadas de 1970 e 1980 quanto a evitar mensurações, e o termo ‘qualidade assegurada’ se tornou popular. O avanço da qualidade assegurada conduziu ao desenvolvimento dos sistemas de qualidade e de normas de padrão de qualidade e. g. ISO 9001.

O próximo passo na evolução da qualidade foi o conceito de melhoria, e no intuito de não somente melhorar, mas também melhorar continuamente. O conceito considerou todas as partes e atividades da organização e também envolveu todos os empregados da organização. Este estágio de evolução levou ao surgimento do Gerenciamento da Qualidade Total (GQT).

Logo, os quatro estágios da evolução da qualidade são inspeção, controle da qualidade, qualidade assegurada e GQT (Dale, Lascelles e Plunkett, 1990; Yong e Wilkinson, 2002; Garvin, 1988). Garvin (1988) se refere a estes estágios como as quatro eras da qualidade.

2.2 Princípios do WCM

Ao longo das últimas décadas, o mundo vem se tornando, de forma cada vez mais rápida, um mundo sem fronteiras, onde o avanço tecnológico principalmente no campo das comunicações e dos transportes tornam as empresas, instituições e pessoas cada vez mais próximas em uma escala temporal. Ou seja, tudo ocorre cada vez mais rápido, como o envio de informações e o transporte de pessoas e recursos. A este fenômeno se dá o nome globalização.

Em uma perspectiva empresarial, a globalização acaba elevando os níveis de competitividade, onde antes uma empresa teria que ser a melhor dentro de um mercado específico onde atuava, hoje (esta mesma empresa) precisa lutar para ser a melhor do mundo para sobreviver.

Ou seja, privilégio geográfico não é mais um fator de competitividade. Dentre os termos mais populares no léxico empresarial está o termo “*world-class*”, onde o interesse em ser *world-class*, ou de classe mundial se dá por um único fator – crescimento da competitividade internacional (K.C. Chan, 1993).

Desde quando o termo WCM foi pela primeira vez usado por Hayes e Wheelwright em 1984, muito tem-se evoluído e adaptado. Uma das primeiras formulações para o programa foi feita por Schonberger em 1986, que propôs dezesseis princípios para o *World Class Manufacturing*, alguns apoiados pelas seis dimensões práticas proposta em 1984 por Hayes e Wheelwright:

- Princípios Gerais:

1 – Relações estreitas com seus clientes.

2 – Conhecimento dos seus clientes, dos seus competidores e da melhor prática.

3 – Contínua e rápida melhoria baseada nas necessidades dos clientes.

4 – Times de frente envolvidos na mudança e planejamento estratégico.

- Princípio do design, fornecedores e parceiros:

5 – Ter os melhores componentes, operações e fornecedores.

- Princípios das operações:

6 – Pequenos tempos de execução das atividades, de reinícios, de setup e distâncias.

7 – Produza o mais próximo da taxa de uso ou demanda dos clientes.

- Princípios dos recursos humanos:

8 – Treinamento contínuo para novas funções.

9 – Expansão das variedades de recompensas, reconhecimento e pagamento.

- Princípios da qualidade e melhoria dos processos:

10 – Reduzir continuamente variação e acidentes.

11 – Times de frente para registrar e possuir dados de processos no local de trabalho.

- Princípios da informação para operações e melhoria (controle):

12 – Controle das causas raízes para eliminar transações internas.

13 – Alinhamento da mensuração da performance com as necessidades dos clientes.

- Princípios da capacidade:

14 – Melhorar a capacidade presente antes da obtenção de novos equipamentos ou tecnologias.

15 – Buscar equipamentos simples, flexíveis, móveis e de baixo custo.

- Princípio do marketing e apresentação ao cliente:

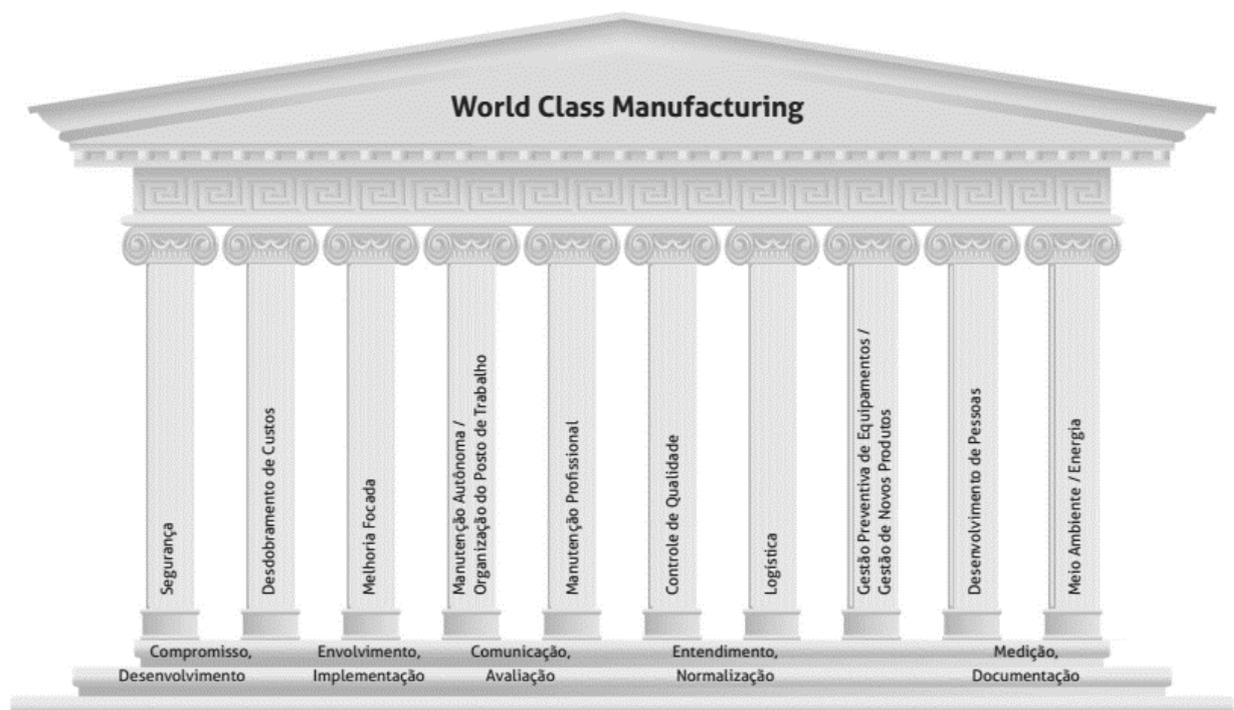
16 – Promover, divulgar e vender cada melhoria.

2.3 Aplicações do WCM

Os clientes de hoje em dia, se comportam de forma totalmente diferente de anos atrás. Estes quando compram qualquer produto não estão somente interessados no produto em si, mas também em diversos serviços extras oferecidos dentro desta compra (Palucha, 2012). Logo, as políticas de diversas empresas estão sendo criadas/reformadas com base em princípios do tipo: satisfação do cliente com os produtos e serviços, valor agregado, proteção ao meio ambiente e valorização dos empregados (Palucha, 2012). Alcançar estes objetivos só é possível através de um aspecto: um sistema que promova e gerencie a melhoria contínua, aprendendo com ela.

O WCM é basicamente um sistema que se aplica para o alcance destes objetivos. Segundo Dogan (2013), O WCM possui uma estrutura que promove o aprendizado contínuo e aplica tudo que a fábrica acaba aprendendo dentro da sua atuação. A base deste sistema são dez pilares gerencias interligados ilustrados na figura abaixo:

Figura 1 - Pilares do WCM



Fonte: Traduzido de J. Matuszek, M. Gregor, D. Plinta, D. Kurczyk (2011)

A fábrica da Fiat Auto na Polônia e a Fiat Powertrain Technologies foram as empresas pioneiras em introduzir o novo sistema (Palucha, 2012), mas atualmente a maioria das empresas a adotar o programa estão dentro das indústrias de projeto, manufatura e vendas.

2.4 Melhoria contínua

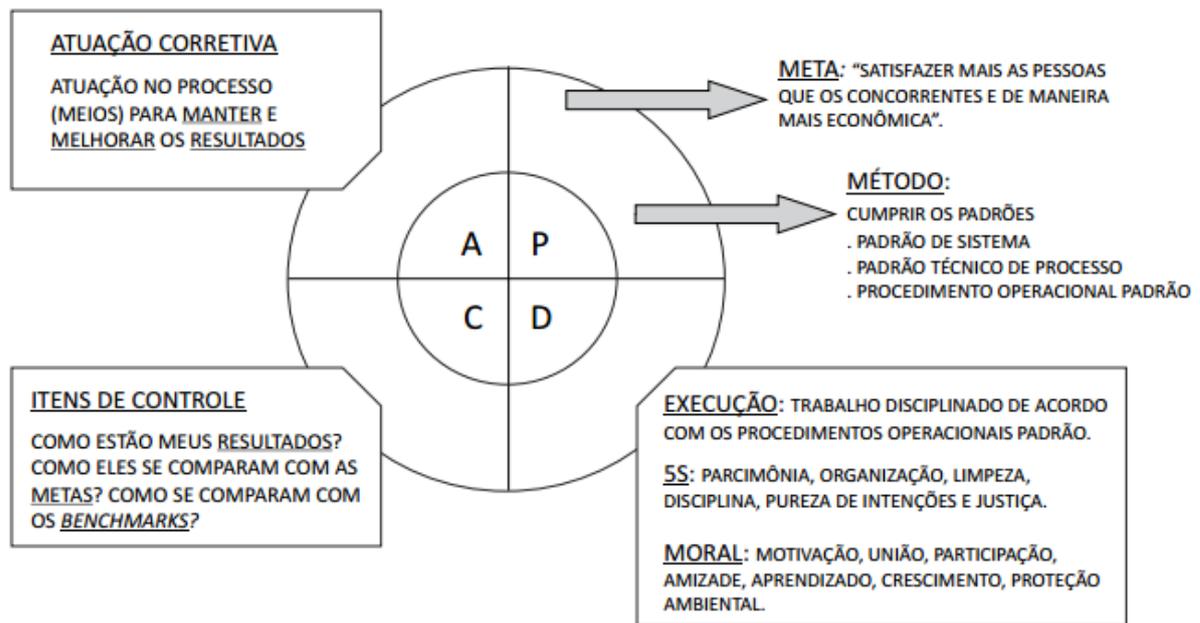
Segundo Garvin (1988), a terceira era da qualidade surgiu com o Gerenciamento da Qualidade Total (GQT) e o que conduziu o início desta nova era foi a introdução do conceito de melhoria contínua dentro das organizações. As raízes dos programas modernos de melhoria podem ser traçadas a partir de iniciativas de várias empresas na década de 1980, onde gerentes encorajaram melhorias direcionadas por seus colaboradores, e programas incentivadores foram postos em prática para recompensar empregados que trouxessem positivas mudanças na organização (Schroeder e Robinson, 1991). Desde então, programas de melhoria contínua tem evoluído de sistemas focados na manufatura tradicional, que concentram a produção em linha para reduzir perdas e melhorar a qualidade do produto, em compreensivas e sistemáticas metodologias que focam em toda a organização, dos mais altos níveis hierárquicos até os operadores do chão de fábrica.

Dado o alto nível de agressividade do mercado nos dias de hoje, empresas tem que cada vez conhecer bem seus problemas e ter alta capacidade em solucioná-los. Reich (1991) apud Nonaka; Takeuchi (1997, p.6) afirma que a única verdadeira vantagem competitiva pertencerá àqueles a quem chama de ‘analistas simbólicos’, equipados com conhecimento para identificar, solucionar e avaliar novos problemas”.

Sob a ótica do GQT, o gerenciamento de processos deve ser conduzido por meio do giro do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*). Assim, para o melhoramento e planejamento da qualidade deve haver o PDCA. Campos (1996) define o método de melhorias, ou ciclo PDCA, da seguinte maneira: “O PDCA é um método de gerenciamento de processos ou de sistemas. É o caminho para se atingirem as metas atribuídas aos produtos dos sistemas empresariais”.

A aplicação do ciclo PDCA tem se mostrado altamente eficiente. Utilizar o ciclo significa olhar continuamente por melhores métodos de melhoria. Campos (2004) explicita como funciona a aplicação do ciclo dentro da rotina do trabalho conforme a figura 2.

Figura 2 – Mentalidade no gerenciamento da rotina



Fonte: Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia: Vicente Falconi (2004)

O programa WCM utiliza o processo de melhoria contínua através do conceito *Kaizen*, termo japonês não muito bem definido pelo JUSE (*Japanese Union for Scientists and Engineers*), mas utilizado para definir diversos conceitos. As melhorias focadas, realizadas dentro dos *kaizens* do WCM é totalmente baseado na metodologia PDCA. Imai (1986) propõem que existe pelo menos três tipos de *kaizens*: gerencial, de grupo e individual e que TQC pode ser definida como atividades de *kaizen* organizadas de forma a envolver todos na empresa, gerentes e trabalhadores, em um esforço integrado total em direção a melhoria de performance em todos os níveis.

3 ALINHAMENTO ENTRE MCDM E WCM

Dentre as várias técnicas e metodologias existentes, o WCM surge como uma metodologia eficaz na eliminação de perdas e vêm ganhando cada vez mais espaço dentro das organizações que buscam recursos cada vez mais eficientes para obter um nível de excelência em seus negócios (Borges et al, 2013). O WCM busca atingir resultados em seus primeiros meses de implantação devido ao trabalho focado nas principais perdas da fábrica. Tais perdas são evidenciadas através de três ferramentas direcionadoras de perdas:

- a) Matriz C: Também conhecida como matriz de perdas casuais/custos. Esta evidencia os custos provenientes das perdas dos vários processos existentes na fábrica. A matriz C produz um conjunto de dados que devem ser analisadas pela extratificação em

diferentes formas para fornecer informações relativas ao tipo e ao valor das perdas geradas, a localização das perdas, a relação entre custos de transformação e a estrutura de custos das perdas.

- b) Matriz S: Responsável por evidenciar as condições de acidentes na fábrica. Direcionando oportunidades de melhoria na busca por não só zero acidentes, mas por zero condições/possibilidade de acidentes.
- c) Matriz QA: conforme Yamashina (2009) é uma ferramenta utilizada para os estudos das condições atuais do controle da qualidade. Segundo o autor, ela é uma metodologia para se garantir que as ações tomadas sejam realmente na área e ou operação mais relevante. Esta ferramenta relaciona a frequência de ocorrência dos defeitos, o custo da mão de obra, o reparo dos defeitos e o nível de gravidade dos defeitos que está relacionado com o ponto de detecção do mesmo a fim de se conhecer o estado atual de qualidade da fábrica.

Estas três ferramentas, são as que indicam os processos onde estão as maiores perdas da fábrica, em termos de custo, segurança e qualidade. Os esforços e recursos da fábrica serão aplicados para se atingir os ganhos através da eliminação destas perdas e custos resultantes (Midor, 2012). No entanto, após a construção das matrizes, os gestores realizam análises sobre seus direcionamentos a fim de abrir projetos e alocar recursos sobre as perdas apresentadas, e é neste momento em que a metodologia se omite, não dando nenhum suporte aos gestores para a tomada de decisão. Algumas das dificuldades dos gestores na hora de tomar decisões sobre em quais direcionamentos das matrizes investir para atingimento das metas são:

- Gráfico de pareto das perdas sem destaque evidente, ou com mesma criticidade;
- Escala de priorização diferente entre as matrizes;
- Ferramentas não levam em consideração as preferências do decisor;
- Falta de conhecimento aprofundando na construção das ferramentas;
- Ações estratégicas futuras que não são levadas em consideração na construção das ferramentas, etc.

Todas essas causas fazem com que gestores sintam enorme dificuldade durante a tomada decisão. Uma das consequências é acabar escolhendo temas de projetos que de alguma forma são conhecidos por eles, ou que eles se sintam mais seguros em alocar recursos, fazendo com que muitas vezes a fábrica enfrente dificuldades em atingir o que o programa WCM promete. Neste *gap* é que podem entrar os métodos multicritério de apoio a decisão, auxiliando os gestores no processo de tomada de decisão, fazendo com que as preferências do decisor sejam levadas em consideração e decisões sejam tomadas de forma mais assertiva.

3.1 Apoio multicritério à decisão

Os métodos multicritério de apoio à decisão (MCDM) abordam problemas de decisão que consistem em uma situação onde há pelo menos duas alternativas de ação, no qual tal escolha busca atender diversos objetivos onde às vezes conflitem entre si (Almeida, 2011). Aos objetivos são relacionadas variáveis ou critérios que representam e permitem a avaliação de cada alternativa. Para representar e estudar um problema dessa situação utilizam-se modelos de decisão. O MCDM (Multi-Criteria Decision Methods) abrangem vários métodos com o objetivo de obter o estabelecimento de uma estrutura de preferências de um decisor, relacionando às consequências no problema de decisão e fazendo as avaliações das alternativas existentes. De acordo com Hwang & Yoon (1981), os MCDM se referem a triagem, priorização, ordenação ou seleção de um conjunto de alternativas sob uso independente, incomensurável ou atributos conflitantes.

Ao longo dos anos, vários métodos têm sido propostos. Os métodos diferem em vários sentidos – fundamentações teóricas, tipos de abordagens e formas de fornecimento de resultados (Hobbs & Meier, 1994). Alguns métodos foram criados particularmente para um único problema específico, outros não são úteis para certos tipos de problemas, outros são mais universais, e outros tem obtido muita popularidade em áreas específicas (Mahmoud et al, 2009). No entanto, a ideia principal de todos os métodos é criar uma formalização e mais informado processo de decisão.

Há várias situações com analistas que mesmo tendo uma boa base de conhecimento com boas fundamentações metodológicas não consegue desenvolver uma modelagem adequada de problemas reais. O que se destaca de forma geral é a junção do conhecimento teórico dos métodos com a experiência no seu uso (De Almeida, 2011)

3.2 Composição do problema decisório

Apesar de não se perceber, ao longo do dia inúmeras decisões são tomadas, simples, complexas, de forma consciente, de forma inconsciente, de baixo e alto impacto na nossa vida. O mesmo ocorre em um ambiente corporativo, onde gestores através delas buscam atingir seus resultados e metas. Neste sentido, Roy e Bouyssou (1993) definem processo de decisão (ou processo de tomada de decisão) como um mecanismo interativo de aprendizagem resultante do desenvolvimento e evolução das confrontações e interações entre os diferentes intervenientes, regulado por mecanismos próprios do domínio do problema em causa. O processo de decisão, em muitos casos, consiste no esforço para resolver o dilema de critério ou objetivos conflituosos, conduzindo, por vezes, à procura de uma solução de compromisso e não à procura da solução ótima (Zeleny, 1982; Lai et al., 1994). Winterfeld e Edwards (1986) resumem-nos em cinco pontos:

1. Identificação de opções ou reformulação de opções já existentes;

2. Definição de objetivos a serem alcançados;
3. Fornecimento de uma linguagem comum para comunicação e consenso de opiniões;
4. Especificação de critérios/atributos e quantificação de variáveis subjetivas;
5. Desenvolvimento de índices de valores relevantes.

O processo decisório é composto principalmente pelos atores, conjunto de alternativas, critérios, a problemática, a modelagem (estrutura e relação) de preferências e o método. Os atores, são aqueles que de alguma forma influenciam sobre o processo de decisão. O decisor, protagonista deste elenco é o responsável pela tomada de decisão, ou seja, possui poder total sobre qual alternativa (s) adotar. Sequentemente, existem vários atores que podem ser considerados em um problema decisório e existem diversas classificações dos mesmos na literatura. Dentre estes, se destacam o analista, o cliente e o especialista. De Almeida (2011) define muito bem estes atores:

1. Analista: fornece suporte metodológico ao processo decisório. Pode também exercer o papel de facilitador;
2. Cliente: Intermediário entre o decisor e o analista. Geralmente exerce papel de assessor do decisor;
3. Especialista: Profissional que conhece os mecanismos de comportamento do sistema objeto de estudo e do seu ambiente que influenciam variáveis relacionadas ao problema de decisão em questão.

Ainda existem os *stakeholders*, definidos como aqueles que influenciam o decisor de qualquer outra forma, através de algum tipo de pressão.

Com relação ao conjunto de alternativas, se trata basicamente das ações potenciais que representam a contribuição da mudança do nível neutro para o bom em cada um dos pontos de vista em análise, assim como uma ação de referência com desempenho neutro para todos os critérios (Machado, T.P.S.; Ensslin, L.; Ensslin, S. R., 2012).

Dentro de um processo decisório também temos os critérios de decisão. Critérios de forma simplória são as representações da preferência do decisor frente a um objetivo (ou ponto de vista). Estes podem ser classificados em:

1. Critério verdadeiro: a estrutura de preferência é uma pré-ordem completa;
2. Semi-critério: a estrutura de preferência associada é uma semi-ordem, que corresponde um modelo com limiar;
3. Critério de intervalo: a estrutura de preferência associada é uma ordem de intervalo, que corresponde ao modelo com limiar variável;
4. Pseudo-critério: a estrutura de preferência associada é uma pseudo-ordem, que corresponde ao modelo com limiar duplo.

Para um melhor entendimento e organização, a problemática, a modelagem de preferências e os métodos serão abordados em categorias independentes a seguir.

3.3 Tipos de problemática

Um fator que influencia totalmente a escolha do método é a problemática. Roy (1996) apresenta uma visão ao qual o resultado almejado em um problema pode ser identificado em 4 tipos de problemática:

- a) Problemática $P.\alpha$ (Escolha) – Tem o objetivo de deixar clara a decisão;
- b) Problemática $P.\beta$ (Classificação) – Aloca-se de cada ação uma classe, cada classe é definida a priori por normas aplicáveis ao conjunto de ações;
- c) Problema $P.\gamma$ (Ordenação) – Ordenam-se as ações. O objetivo é ordenar as diferentes ações por ordem de preferência, sendo necessário compará-las entre si;
- d) Problemática $P.\delta$ (Descrição) – Apoia-se a decisão através de uma descrição das ações e de suas consequências. Busca descrever as possíveis ações e as consequências que a escolha de cada uma delas acarreta.

Além dessas, pode ser considerada a problemática de portfólio, que tem o objetivo de escolher de todas as alternativas um subconjunto que atenda aos objetivos, sob algumas restrições.

3.4 As famílias dos métodos de apoio multicritério à decisão

Vincke (1992) apresenta as famílias de abordagens das metodologias de suporte à decisão, classificadas em três grandes grupos:

- a) Função Síntese ou Teoria da Utilidade Multiatributo (Multiple Attribute Utility Theory – MAUT), que consiste na agregação de diferentes pontos de vista em uma única função que deve ser sequencialmente otimizada (escola Americana). Exemplos de modelos que podem ser considerados: MAUT; AHP; SMART.
- b) Métodos de Subordinação e Síntese (escola Francesa), que a partir da construção das relações de sobreclassificação (outranking), as quais representam as preferências estabelecidas pelo decisor, buscam explorá-las de tal forma que auxiliem o decisor na solução do problema. Diferenciam-se, principalmente da escola americana, por admitir a possibilidade de incomparabilidade entre alternativas. Exemplos de modelos que podem ser considerados: ELECTRE; PROMETHÉE; QUALIFLEX; OROEST; MELCHIOR.
- c) Métodos Interativos, consistem, em geral, numa sequência de passos de diálogo e cálculos, onde é feita uma exploração sistemática do espaço de decisão. Exemplos de modelos que podem ser considerados: STEM; TRIMAP.

Modelagem das preferências

A modelagem de preferências foi desenvolvida na década de 70 por Roy, sendo esta base da escola Francesa de apoio (ou auxílio) multicritério à decisão (Roy,1993). Sua grande importância é a função de:

- I) Permitir modelar opiniões dos tomadores de decisão;
- II) Conjuguar características matemáticas com características da subjetividade humana para a obtenção de resultados em apoio ao processo decisório.

Na abordagem de Boyssou et al (2006), a modelagem de preferência é a modelagem que trata com o significado dos dados no contexto da decisão. Em termos gerais, a modelagem da preferência ocorre através de relações binárias. Roy (1993) diz que uma relação binária está associada a duas ações e descreve a presença ou ausência de determinada propriedade.

A relação binária S no conjunto A , cuja notação é aSb , para $(a,b) \in S$, é definida por Bouyssou e Pilort (2005) como:

- Reflexiva se $[aSa]$;
- Irreflexiva se $[\text{não } aSa]$;
- Simétrica se $[aSb \text{ ou } bSa]$;
- Assimétrica se $[aSb] \rightarrow [\text{não } bSa]$;
- Transitiva se $[aSb \text{ e } bSc] \rightarrow [aSc]$, para todo $a,b,c \in A$.

Vincke (1992), define que o sistema de preferência de uma ação a em relação a b se manifesta sob três situações: preferência (P), indiferença (I) e incomparabilidade (R). Diz-se que a é preferível a b da seguinte forma: aPb . Em caso de a ser indiferente a b , têm-se: aIb . Para situações de incomparabilidade: aRb .

Conforme Roy (1996), as relações de preferência são exibidas no quadro a seguir:

Tabela 2 – Relações básicas de preferências

Situação	Definição	Relação Binária
Indiferença (I)	Corresponde à existência de razões claras que justifiquem a equivalência entre duas ações.	I: Reflexiva aIa e Simétrica $aIb \rightarrow bIa$
Preferência Estrita (P)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma das duas ações.	P: Assimétrica $aPb \rightarrow bPa$.

Preferência Fraca (Q)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que invalidem a preferência estrita em favor das ações, mas essas razões são insuficientes para deduzir uma preferência estrita em favor da outra, seja uma indiferença entre essas duas ações, portanto não é possível diferenciar nenhuma das duas situações.	Q: Assimétrica $aQb \rightarrow bPa$.
Incomparabilidade (J)	Corresponde à ausência de razões claras e positivas para justificar qualquer das três situações precedentes.	J: Simétrica
Não preferência (\sim)	Ausência de situações claras e objetivas para justificar a preferência estrita ou fraca em favor de um dos elementos	$\sim \rightarrow aIb$ ou aRb
Sobreclassificação (S)	Existência de razões claras e objetivas que justifiquem a preferência ou a preferência J em favor de um dos dois elementos	$S \rightarrow aPb, aQb$ ou aIb

Fonte: Adaptado por Roy (1996)

Uma vez conhecida as relações binárias e suas propriedades, podemos abordar a estrutura das preferências sobre o conjunto de alternativas. Os conceitos sobre o tipo de estrutura são definidos conforme os ensinamentos de Vincke (1992).

- Pré-ordem completa: manifesta-se quando um par de relações binárias (a,b) em um conjunto de ações potenciais A, corresponde a noção intuitiva de classificação em que há possibilidade de empate por similaridade. Essa estrutura representa as seguintes propriedades: a e b são exaustivas e mutuamente excludentes; b é assimétrica e transitiva; e a é simétrica e transitiva.
- Ordem completa: Ocorre quando um par de relações binárias (a,b), em um conjunto A de ações potenciais, corresponde à noção intuitiva de classificação sem a possibilidade de empate por similaridade.
- Semiordem: Existe um limiar no qual o decisor não consegue explicitar a diferença ou se recusa a declarar a preferência na relação binária.
- Ordem de intervalo: Tipo de estrutura em que apresenta um limiar que varia ao longo da escala de valores. Representa-se esse tipo de estrutura da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \forall a, b \in A \quad aPb &\leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b)) \\ aIb &\leftrightarrow g(a) \leq g(b) + q(g(b)) \\ g(b) &\leq g(a) + q(g(a)) \end{aligned}$$

- Pseudo-ordem: Apresenta um limiar de indiferença (q) no qual é clara a indiferença, e um limiar de preferência (p), em que não há dúvida sobre a preferência entre uma relação binária.

$$\begin{aligned} \forall a, b \in A \quad aPb &\leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b)) \\ aQb &\leftrightarrow g(b) + p(g(b)) \geq g(a) > g(b) + q(g(b)) \\ aIb &\leftrightarrow g(b) + q(g(b)) \geq g(a) \\ g(a) + q(g(a)) &\geq g(b) \end{aligned}$$

Vincke (1992) considera também as seguintes estruturas que aceitam incomparabilidade:

- Pré-ordem parcial: Ocorre quando os elementos de um subconjunto A podem ser ordenados do melhor ao pior, sem eventual ligação. A pré-ordem parcial apresenta as seguintes propriedades:

$$\begin{aligned} \forall a, b \in A \quad aPb \text{ e } bPc &\rightarrow aPc: P \text{ é transitivo} \\ aIb \text{ e } bIc &\rightarrow aIc: P \text{ é transitivo} \\ aPb \text{ e } bPc &\rightarrow aPc \\ aIb \text{ e } bPc &\rightarrow aPc \end{aligned}$$

Neste caso, existe uma função g que:

$$\begin{aligned} aPb &\rightarrow g(a) > g(b) \\ aIb &\rightarrow g(a) = g(b) \end{aligned}$$

- Ordem parcial: Aqui se revelam as mesmas propriedades da estrutura de semiordem completa, mas nesse caso, aceitam-se situações de incomparabilidade.
- Ordem de intervalo parcial: Essa estrutura é semelhante à ordem de intervalo com a permissão de incomparabilidade.

3.5 Escolha do método multicritério

A escolha do método multicritério depende principalmente do contexto da decisão, dos stakeholders e do que se busca com a decisão. Esta situação é também típica em um problema de decisão multicritério, onde as preferências da análise e do tomador de decisão influenciam diretamente em qual método escolher (Lopes e Almeida, 2013). Segundo Almeida e Costa (2003), a escolha do método depende de vários fatores, destacando-se as seguintes características:

- O problema analisado;
- A problemática;
- O contexto considerado;
- A estrutura de preferência do decisor.

Neste trabalho, pode ser observado como problema analisado a falta de suporte à decisão por parte do programa WCM para seleção de projetos direcionados pelas matrizes direcionadores de perdas, sendo uma delas a matriz QA. Buscou-se a utilização de um método MCDM que fosse apropriado e ajudasse o decisor a organizar e sintetizar as informações de uma maneira que ele se sintasse mais confortável e confiante na tomada da decisão. O método utilizado neste trabalho foi o PROMETHEE II, pelas seguintes razões:

- a) A problemática. Para o problema em questão a problemática adequada é a $P.\gamma$ (ordenação), uma vez que o objetivo é ordenar as diferentes perdas de qualidade em ordem de preferência, sendo necessário compará-las entre si.
- b) O contexto do problema. Onde se dá principalmente em termos de restrições por parte dos recursos para execução dos projetos selecionados, onde o decisor ao ver a fábrica implantando o programa do WCM, apesar da falta de suporte do programa às decisões e resistência sobre os direcionamentos das perdas, busca tomar decisões que maximizem as chances de atingir as metas anuais da fábrica proposta pela alta cúpula e diretores.
- c) Por ser um método não compensatório. Segundo Silva, Schrammb e Carvalho (2013), os diferentes métodos podem ser classificados de acordo com o significado das constantes nas funções de agregação. Quando as constantes conduzem a trade-offs entre os critérios, os métodos são compensatórios, permitindo que a desvantagem em alguns critérios seja compensada pela vantagem em outros. Nesses casos, essas constantes recebem a denominação de constantes de escala. Quando as constantes representam apenas medidas de importâncias relativas dos critérios, os métodos são denominados não compensatórios e a denominação utilizada para elas é peso. Nos métodos não compensatórios não há trade-offs entre os critérios; isto significa que um mau desempenho em um dos critérios não pode ser compensado por um bom desempenho em outro. Os métodos baseados em relações de sobreclassificação são classificados como métodos não compensatórios.
- d) Facilidade na modelagem de preferências do decisor. No que concerne aos métodos PROMETHEE, um fator importante é a facilidade dos decisores entenderem os conceitos e parâmetros inerentes aos métodos, o que simplifica o processo de modelagem de preferências e, conseqüentemente, aumenta a efetividade da

aplicação do método multicritério (SILVA; SCRAMM; CARVALHO, 2013). Esse aspecto representa uma grande vantagem dos métodos PROMETHEE sobre outros métodos de sobreclassificação, tais como os métodos ELECTRE. A família ELECTRE usa os conceitos de concordância e discordância para medir as vantagens e desvantagens entre pares de alternativas; muitas vezes, esses conceitos não são devidamente compreendidos pelos decisores, dificultando a implementação do método (SILVA, MORAIS; ALMEIDA, 2010).

- e) Estrutura de preferências do decisor. Uma vez que se adequa a estrutura de ordem completa, onde um par de relações binárias (a,b), em um conjunto A de ações potenciais, corresponde a noção intuitiva de classificação sem a possibilidade de empate por similaridade. O método PROMETHEE II Estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas, destinada à problemática de ordenação.

Além disso, os métodos PROMETHEE podem ser facilmente implementados em uma linguagem de computador. Talvez isso justifique o crescente número de aplicações com PROMETHEE (Behzadian et al, 2010).

3.6 A família de Métodos Promethee

A família de métodos PROMETHEE consiste na construção de uma relação de sobreclassificação, agregando informações entre as alternativas e os critérios e exploração dessa relação para apoio a decisão.

No PROMETHEE, a preferência do decisor em favor de uma alternativa a em detrimento de uma outra opção b aumenta com uma maior diferença $[f_j(a) - f_j(b)]$ entre a performance das alternativas para cada critério j ; sendo $f_j(a)$ e $f_j(b)$, respectivamente, os valores do desempenho das alternativas a e b no critério j . Brans & Vincke (1985) apresentam seis formas diferentes para determinar tal preferência, que assume valores entre 0 e 1, a partir da definição dos critérios gerais ou funções de preferência de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 3 - Critérios gerais para o PROMETHEE

Tipo I – Critério usual. Não há parâmetro a ser definido	$f_j(a) - f_j(b) > 0$ $f_j(a) - f_j(b) \leq 0$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 0$
Tipo II– Quase-critério. Define-se o parâmetro q (limite de indiferença)	$f_j(a) - f_j(b) > q$ $f_j(a) - f_j(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 0$
Tipo III– Limite de preferência. Define-se o parâmetro p	$f_j(a) - f_j(b) > p$ $f_j(a) - f_j(b) \leq p$ $f_j(a) - f_j(b) \leq 0$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = f_j(a) - f_j(b) / p$ $F(a,b) = 0$

(limite de preferência)		
Tipo IV – Pseudocritério. Definem-se os parâmetros q (limite de indiferença) e p (limite de preferência)	$ f_j(a) - f_j(b) > p$ $q < f_j(a) - f_j(b) \leq p$ $ f_j(a) - f_j(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 1/2$ $F(a,b) = 0$
Tipo V – Área de indiferença. Definem-se os parâmetros q (limite de indiferença) e p (limite de preferência)	$f_j(a) - f_j(b) > p$ $q < f_j(a) - f_j(b) \leq p$ $f_j(a) - f_j(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = (f_j(a) - f_j(b) - q)/(p - q)$ $F(a,b) = 0$
Tipo VI – Critério Gaussiano. O desvio-padrão deve ser fixado	$f_j(a) - f_j(b) > 0$ $f_j(a) - f_j(b) \leq 0$	<i>A preferência aumenta segundo uma distribuição normal</i> $F(a,b) = 0$

Fonte: Adaptado de Brans & Vincke (1985)

A depender do critério geral definido para o critério j, pode ser requisitada ao decisor a definição dos parâmetros q_j , p_j e s_j . Estes parâmetros têm o seguinte significado, de acordo com Brans & Mareschal (2002):

- Limiar de indiferença (q_j): representa a maior diferença entre $f_j(a)$ e $f_j(b)$ abaixo da qual o decisor considera que a e b são indiferentes;
- Limiar de preferência (p_j): é o menor valor dessa diferença acima da qual o decisor exprime uma preferência estrita em favor de uma das ações;
- Limiar (s_j): corresponde a um grau de preferência médio e se situa entre um limiar de preferência q e um limiar de preferência estrita p.

Comparando as alternativas a e b, o grau de sobreclassificação $\pi(a,b)$ é, segundo Vincke (1992):

$$\pi(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^n p_j F_j(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \quad (1)$$

em que:

$$\mathbf{P} = \sum_{j=1}^n p_j \quad (2)$$

Em seguida, as alternativas são ordenadas da seguinte forma:

- Ordem decrescente de $\phi^+(a)$, em que $\phi^+(a) = \pi \Sigma(\mathbf{a}, \mathbf{b})$, chamado de fluxo de saída, representa a intensidade de preferência de a sobre todas as alternativas. Quanto maior $\phi^+(a)$, melhor a alternativa.
- Ordem crescente de $\phi^-(a)$, em que: $\phi^-(a) = \pi \Sigma(\mathbf{b}, \mathbf{a})$, chamado de fluxo de entrada, representa a intensidade de preferência de todas as outras alternativas sobre a. Quanto menor $\phi^-(a)$, melhor a alternativa.

As seguintes implementações do PROMETHEE são descritas na literatura (Brans &

Vinck, 1985; Brans et al., 1986; Brans & Mareschal, 1992; Taleb & Mareschal, 1995):

- PROMETHEE I – A interseção entre os fluxos anteriores estabelece uma relação de sobreclassificação parcial entre as alternativas;
- PROMETHEE II – Classifica as alternativas, estabelecendo uma ordem decrescente de $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$ (fluxo líquido); estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas;
- PROMETHEE III e IV – Foram desenvolvidas para o tratamento de problemas de decisão mais sofisticados, em particular com um componente estocástico;
- PROMETHEE V – Nesta implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (PROMETHEE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema para as alternativas selecionadas, incorporando uma filosofia de otimização inteira.
- PROMETHEE VI – Quando o decisor não está apto ou não quer definir precisamente os pesos para os critérios, podem-se especificar intervalos de possíveis valores em lugar de um valor fixo para cada peso. Nesses casos, a implementação do PROMETHEE VI é recomendada.

Cada um dos métodos é apropriado para uma situação particular de decisão. Para o estudo conduzido neste trabalho, o PROMETHEE II foi considerado mais adequado.

Há poucos exemplos de aplicações de apoio a decisão multicritério (MCDM) no contexto de Gestão da Qualidade Total e melhoria contínua. Alguns exemplos podem ser listados: a seleção de tecnologias que irão apoiar os objetivos da gestão estratégica da qualidade total (N. MADU et al, 1996); priorização de fatores críticos para a implementação do TQM indústrias de transformação em Xangai (CHIN et al, 2002); modelo de ranqueamento de preferências para avaliação da qualidade em web sites hospitalares (BILSEL et al, 2006), seleção de consultor externo em programas de Total Quality Management (TQM) em pequenas e médias empresas (SAREMI et al, 2009); seleção de sistemas de manufatura enxuta (GURUMURTHY & KODALI, 2008) , seleção de iniciativas e abordagens de melhoria em três empresas na Tailândia (THAWESAENGSKULTHAI, 2010), desdobramento da função Qualidade (QFD) combinada com a um sistema de apoio a decisão multicritério (ANDRONIKIDIS et al, 2009; BEHZADIAN, et al, 2011).

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Característica da empresa

A empresa em estudo atua no ramo de fabricação de acumuladores elétricos e conta com seis plantas industriais, dois centros técnicos e logísticos avançados, além de mais de setenta centros de distribuição comercial no Brasil, na Argentina e no Uruguai. Sua atuação no desenvolvimento de inovações sustentáveis e qualidade eleva seu destaque no mercado, sendo

seus produtos reconhecidos como de alta performance, nos quesitos segurança, confiabilidade e alta tecnologia. O referido estudo foi aplicado em uma de suas unidades que tem como negócio a fabricação de conjuntos plásticos a partir de injeção plástica de polipropileno, fundição, forja e usinagem de chumbo. Esta unidade conta com cerca de 250 funcionários, sendo classificada como uma empresa de médio porte segundo as faixas de classificação do SEBRAE.

4.2 O perfil do decisor

No referido trabalho, o decisor, figura que fornece suas preferências para alimentar o modelo, se trata do gerente industrial. O gerente industrial dentro do escopo da unidade se trata da alta gerência e foi responsável por fomentar o desempenho dos critérios e seus pesos.

4.3 Apresentação dos resultados

4.3.1 Coleta de dados realísticos

No intuito de elaborar a matriz QA, diversas informações relacionada a organização foram coletadas, tais como fluxos de processo, modos de falha do produto, scrap interno (peças inutilizadas por defeito de qualidade), scrap externo (peças de cliente inutilizadas por defeitos de qualidade dos produtos da organização em estudo), reclamações formais e informais do cliente, devolução de produtos, etc. Os dados coletados foram referentes ao primeiro trimestre de 2017.

4.3.2 Definição dos indicadores e parametrização da matriz QA

Os indicadores da matriz, os quais são responsáveis por classificar os defeitos no quesito ‘frequência’ foram definidos entre os integrantes do pilar e logo após foi aprovado pelo gerente industrial. Na visão da equipe, os indicadores mais apropriados são aqueles que também representam os principais indicadores do setor: scrap interno, scrap externo e reclamações do cliente (formais e informais). Desta forma não existe conflito de gestão entre as atividades de rotina do setor e o programa WCM, uma vez que indicadores diferentes induzissem os colaboradores a dualizar o foco das suas funções.

4.3.3 Construção da matriz QA

Como já referido anteriormente, a matriz QA é uma direcionadora de perdas da fábrica em termos de qualidade (defeitos no produto). Na abordagem de melhoria focada, as perdas mais prioritárias são ordenadas com base em uma pontuação que leva em consideração a frequência, custo, gravidade e detectabilidade, segundo a seguinte fórmula:

$$\textit{Pontuação total} = A * B * C * \sum D, \text{ onde:}$$

A = Pontuação para a frequência da perda.

B = Pontuação para o custo unitário da perda.

C = Pontuação para a gravidade da perda.

D = Pontuação para a detectabilidade.

A frequência é medida em termos de partes por milhão (PPM) para cada perda sob a perspectiva de cada indicador e uma pontuação A é atribuída levando em consideração o indicador que gerou maior PPM de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 4 – Pontuação para frequência

Frequência do maior indicador (ppm)	Pontuação
≤ 10.000	1
> 10.000 e ≤ 30.000	2
> 30.000 e ≤ 100.000	3
> 100.000 e ≤ 300.000	4
> 300.000	5

Fonte: Autor

O custo da perda por peça se trata da perda financeira para a fábrica pelo tipo de perda unitária evidenciada. Neste caso, o valor foi obtido no setor de gerenciamento e suporte da fábrica. Uma pontuação B é atribuída de acordo com a faixa de intervalo em que o custo de cada perda se encontra, conforme tabela a seguir:

Tabela 5 – Pontuação para custo

Custo unitário da perda (R\$)	Pontuação
$\leq R\$10$	1
$> R\$10$ e $\leq R\$30$	2
$> R\$30$ e $\leq R\$50$	3
$> R\$50$ e $\leq R\$70$	4
$> R\$70$	5

Fonte: Autor

A gravidade da perda é um quesito referente ao dano potencial que a perda pode causar ao cliente interno ou aos usuários do produto final, caso tal defeito chegue até o cliente. Esta gravidade é dada na perspectiva de segurança e meio ambiente. Se trata de uma avaliação

subjetiva definida por uma equipe multidisciplinar envolvendo engenharia de produto, assistência técnica e a SIMA. A tabela abaixo demonstra como pontuação é definida para cada perda:

Tabela 6 - Pontuação para gravidade

Efeito potencial	Pontuação
Problema não percebido pelo cliente	1
Problemas estéticos do produto	2
Problema compromete cliente interno	3
Compromete o funcionamento do produto final (cliente externo)	4
Problema de segurança ou meio ambiente	5

Fonte: Autor

A detectibilidade se trata do local onde a perda ocorre ou é detectada. Quão mais longe dentro do processo produtivo, ou seja, quão mais avançado no processo de fabricação do produto ocorre o defeito ou é detectado o problema, pior é para a organização. Abaixo está os limites que definem como é determinada a pontuação para as perdas:

Tabela 7 - Pontuação parcial para detectibilidade

Deteccção	Pontuação parcial
Detectado internamente durante a produção	1
Detectado internamente após a produção	2
Detectado externamente antes de entrar na linha do cliente	3
Detectado externamente na linha de produção da montagem do cliente	4
Detectado externamente na linha de produção de acabamento do cliente	5
Detectado no cliente final	6

Fonte: Autor

O quesito detectibilidade é composto de forma diferente, pois a mesma perda pode ser detectada em diferentes locais. Por exemplo, produtos com falha podem ser produzidos e parte deles são detectados ao fim da produção do dia, enquanto os demais acabaram passando e sendo detectados apenas dentro da linha de montagem do cliente. Neste caso, esta perda (defeito) vai ter duas classificações de acordo com a tabela 6 e a pontuação dessas duas classificações vão ser

somadas para gerar a pontuação final neste quesito.

Após esta avaliação uma pontuação total é gerada para cada perda e estas são ranqueadas da mais crítica para menos crítica. No apêndice 1, encontra-se a parte principal da matriz QA, gerada em um software computacional. A mesma figura é exibida abaixo.

Figura 3 - Matriz QA da empresa em estudo

PERDAS POR NÃO - QUALIDADE					Indicador de maior frequência	PPN	Peso FREQ.	CUSTO UNITÁRIO (maior representativ.)	Peso CUSTO	Peso GRAY.	D (*)						AxBxCxD		
INDICADOR INTERNO PRÓXIMO DO CLIENTE	DESCRIÇÃO DA PERDA	DESCRIÇÃO DETALHADA DA ANOMALIA	MAQUINA	METODO							MÃO DE OBRA	MATERIA PRIMA	INTERNO	INTERNO	INTERNO	INTERNO		INTERNO	INTERNO
Inutilizado	FALHA	Cavidade preenchida parcialmente com vestígios de deformação	1				INUTILIZADO	485467	5	De 50 até 70	4	5	1	2		4			700
Inutilizado	BICO FURADO	Ponto de injeção com furo	1				SCRAP	14501	4	De 50 até 70	4	5	1	2			5		640
Inutilizado	DEFLEXÃO	Empeno no labirinto da tampa	1				SCRAP	442428	5	De 50 até 70	4	4	1	2			5		640
Inutilizado	BUCHA COM	Bucha com falha de fundição		1			SCRAP	37241	3	De 50 até 70	4	5	1	2		4			420
Inutilizado	BUCHA COM	Trinca na parte dos anéis ou cone da bucha	1				RECLAMAÇÃO	537449	5	De 50 até 70	4	5							400
Inutilizado	VAZ. BUCHA	Vazamento pela bucha negativa	1				SCRAP	130390	4	De 50 até 70	4	5	1			4			400
Inutilizado	BOLHA	Formação de bolsa de ar no interior da peça	1				INUTILIZADO	73489	3	De 50 até 70	4	4	1	2		4			336
Inutilizado	VAZ. BUCHA	Vazamento pela bucha positiva	1				INUTILIZADO	271251	4	De 10 até 30	2	5	1	2		5			320
Inutilizado	EMPENHO	Empenamento no plano	1				INUTILIZADO	10949	2	De 50 até 70	4	4	1	2		4			274
Inutilizado	PAPEDE BARRA	Parafusos internos	1				RECLAMAÇÃO	139619	4	De 50 até 70	4	3							192
Inutilizado	BUCHA	Dímetro interno da bucha menor que o especificado	1				SCRAP	13407	2	De 50 até 70	4	3	1	2		4			168
Inutilizado	DUAS BUCHAS NEGATIVAS	Presença de duas buchas negativas na mesma peça		1			SCRAP	25324	2	De 50 até 70	4	4	1			4			160
Inutilizado	FRICÇÃO	Dois produtos em um mesmo lote			1		RECLAMAÇÃO	12706	2	De 50 até 70	4	3				4			96
Inutilizado	RESSALTO NAS	Bucha apertada, com ressalto no seu	1				RECLAMAÇÃO	18634	2	De 50 até 70	4	3				4			96
Inutilizado	VAZAMENTO DE	Vazamento entre bucha e tampa	1				RECLAMAÇÃO	839	1	De 50 até 70	4	5				4			80
Inutilizado	REPULE	Deformação da peça no momento da	1				INUTILIZADO	10172	4	De 10 até 30	2	3	1	2					72

Fonte: Autor

Como pode ser visto, a matriz QA ordenou as perdas mais críticas para a fábrica no período de análise. Neste momento, após a finalização da construção da matriz, o líder do pilar de qualidade se reúne com o gerente da fábrica para selecionar quais as perdas que serão eliminadas através de projetos *kaizens*. Algumas características que dificultam o processo de decisão do gerente estão presentes nesta matriz, por exemplo:

- Empate na pontuação da segunda e terceira colocação entre as perdas ‘Bico furado’ e ‘Deflexão’ ambas com 640 pontos;
- Diferença de apenas 16 pontos entre a sétima e oitava colocação, sendo ‘Bolha’ com 336 pontos e ‘Vazamento de bucha’ com 320 pontos.

4.3.4 Aplicação do método MCDM

Com o objetivo de prover suporte na tomada de decisão do decisor, foi realizada uma aplicação numérica com os dados realísticos da empresa para o cenário atual, cenário em que foi construído a matriz QA. O gerente (decisor) optou por selecionar três perdas dentre as seis mais críticas direcionadas pela matriz QA. Logo, o conjunto de alternativas são:

Tabela 8 - Conjunto de alternativas

Colocação na matriz QA	Descrição da perda
------------------------	--------------------

1 ^a	Falha
2 ^a	Bico Furado
3 ^a	Deflexão
4 ^a	Bucha com falha
5 ^a	Bucha com trinca
6 ^a	Vazamento da bucha negativa

Fonte: Autor

A família de critérios foi definida levando em consideração Almeida (2013): “ Uma família consistente de critérios deve atender a várias propriedades, dentre as quais: ser capaz de representar todos os aspectos (objetivos) do problema (exaustivamente) sem que haja redundâncias. ” Os pesos dos critérios foram determinados através das preferências do decisor, tendo eles pesos diferentes; ou seja, assumiu-se uma hierarquia de importância entre os critérios.

Tabela 9 - Família de critérios

Critério	Avaliação	Tipo
C1 – Conhecimento sobre o defeito	Escala Likert: 1 – Muito ruim 2- Ruim 3 - Médio 4 - Bom 5 – Muito bom	Usual
C2 – PPM	PPM calculado pelo indicador de maior frequência	Usual

C3 – Custo unitário da perda	Custo unitário da perda para a fábrica em reais	Usual
C4 – Gravidade	<p>Escala Likert:</p> <p>1 – Problema não percebido pelo cliente</p> <p>2 – Problemas estéticos do produto</p> <p>3 - Problema compromete cliente interno</p> <p>4 – Problema compromete funcionamento do produto final (cliente externo)</p> <p>5 – Problema de segurança ou meio ambiente</p>	Usual
C5 - Rastreabilidade	<p>Escala Likert:</p> <p>1 – Detectado internamente durante a produção</p> <p>2- Detectado internamente após a produção</p> <p>3 – Detectado externamente antes de entrar na linha do cliente</p> <p>4 – Detectado externamente na linha de produção do cliente</p> <p>5 – Detectado no cliente</p>	Usual

	final	
--	-------	--

Fonte: Autor

Estando de posse do conjunto de alternativas e dos critérios de seleção, pode-se gerar então uma matriz de decisão.

Tabela 10 - Matriz de decisão

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Preferências					
Min/Max	Min	Min	Min	Min	Min
Peso	0.15	0.2	0.3	0.3	0.05
Limiar de Indiferença (q)	-	-	-	-	-
Avaliações					
Falha	Bom	465467	R\$2,10	Problema de segurança ou meio ambiente	Detectado externamente na linha de produção do cliente
Bico Furado	Muito bom	114501	R\$2,41	Problema de segurança ou meio ambiente	Detectado externamente na linha de produção do cliente
Deflexão	Muito ruim	442428	R\$2,35	Problema compromete funcionamento do produto final (cliente externo)	Detectado externamente na linha de produção do cliente
Bucha com falha	Bom	37241	R\$1,65	Problema de segurança ou meio ambiente	Detectado externamente na linha de produção do cliente
Bucha com trinca	Bom	537449	R\$1,35	Problema de segurança ou meio ambiente	Detectado externamente na linha de produção do cliente
Vazamento da bucha negativa	Ruim	131090	R\$2,06	Problema de segurança ou meio ambiente	Detectado externamente na linha de produção do cliente

Fonte: Autor

Para o referido trabalho foi utilizado o software Visual PROMETHEE. Este por ser o mais completo e o mais recente desenvolvido. Ele inclui todas as características multicritério padrão: PROMETHEE rankings, plano GAIA 2D e 3D, ferramentas de análise de sensibilidade, e de

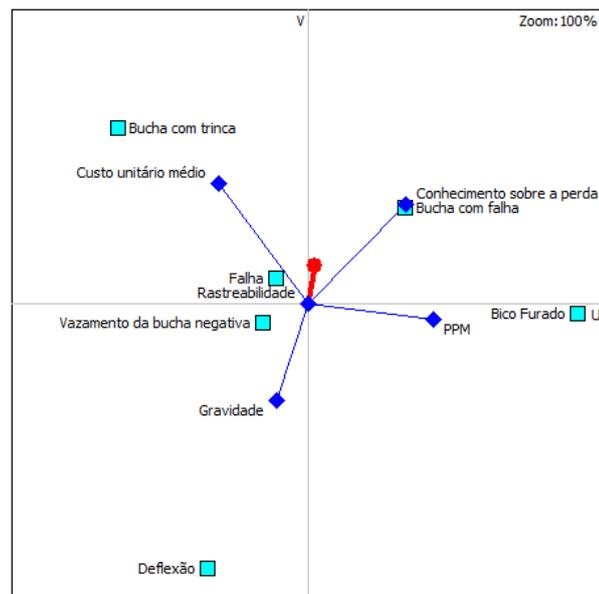
gestão de dados. Além disso, o modelo de multi-cenários herdado do software Decision lab foi estendido para melhorar as capacidades do GDSS (group decision support system) (Mareschal e Brans, 2002). Alimentando os dados da matriz decisão para o software e executando o método foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 11 - Fluxos de sobreclassificação

	$\phi^+(a)$	$\phi^-(a)$	ϕ
Bucha com falha	0,5	0,15	0,35
Bucha com trinca	0,36	0,29	0,07
Vazamento da bucha negativa	0,33	0,38	-0,05
Deflexão	0,44	0,51	-0,07
Bico Furado	0,31	0,4	-0,09
Falha	0,22	0,43	-0,21

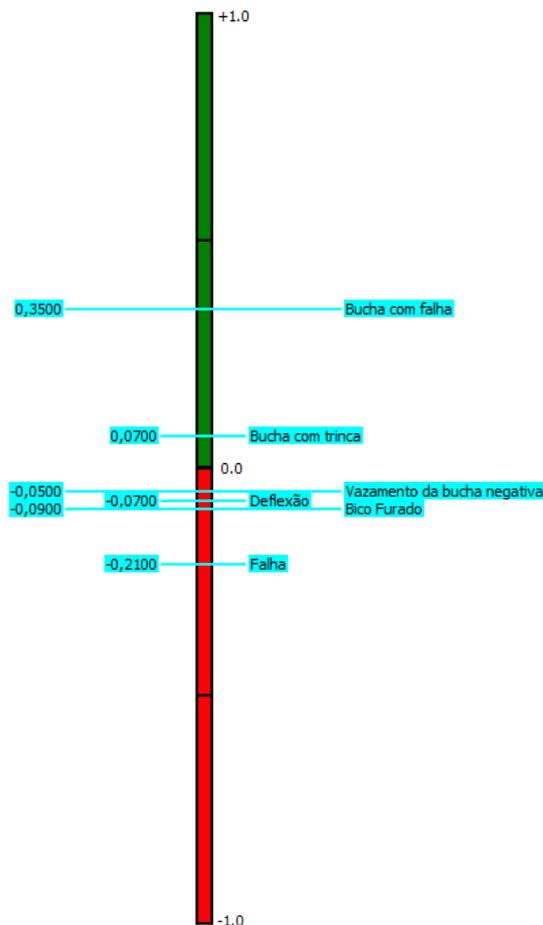
Fonte: Autor

Figura 4 - Plano GAIA



Fonte: Visual Promethee Software

Figura 5 - Promethee Ranking



Fonte: Visual Promethee Software

4.3.5 Análise dos resultados

O plano GAIA permite uma análise visual do problema de decisão. A alternativa ‘Bucha com falha’ apresentou maior fluxo líquido (ϕ), como pode ser visto na figura 5– Promethee ranking. Ao analisar o plano GAIA verifica-se que esta alternativa, das que se encontram mais longe do eixo de origem, é a que de fato se encontra mais próxima do eixo de decisão π (em vermelho na figura 4), tendo maior desempenho no critério ‘conhecimento sobre a perda’. Da mesma forma pode-se ver que a alternativa ‘Falha’ se encontra no quadrante oposto ao eixo de decisão com relação ao eixo das ordenadas e mais próxima a origem.

O resultado foi então apresentado ao gerente (decisor) e o mesmo decidiu por selecionar as três perdas de acordo com o ranqueamento feito através do método multicritério, ao invés de selecionado as três primeiras perdas direcionadas pela matriz QA. Segundo o decisor, estes foram escolhidos não só pelo método levar em consideração as preferências dele para dentro do processo decisório, mas pelo fato destas três perdas (bucha com falha, bucha com trinca e vazamento da

bucha negativa) estarem dentro de um mesmo escopo: problemas com as buchas. Trabalhando com estes projetos, muito menos recurso será necessário investir, pois as causas destes problemas estarão totalmente relacionadas e se encontram nos mesmos processos de produção (manufatura das buchas). Segundo o decisor: “Será um trabalho sistemático sendo executado pelo direcionamento focado dos três projetos”. Desta forma espera-se que até o tempo de desenvolvimento dos projetos para eliminação destas perdas sejam diminuídos, uma vez que as ações de cada um impactarão nos resultados dos outros, de forma positiva.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou a demonstração da aplicação dos métodos multicritério de apoio a decisão, mais especificamente do PROMETHEE II, dentro do novo sistema de produção *World Class Manufacturing*. Assim como vários sistemas produtivos, é comum existir um *gap* entre as ferramentas direcionadoras de perdas (ou possibilidades de melhorias) que requerem alocação de recursos e as tomadas de decisões da gerência. Quando o sistema está em fase de implantação, este *gap* acaba provocando um impacto muito maior, no que se refere a resistência do decisor, retardando assim o aparecimento dos benefícios do novo conceito de sistema fabril. Além da aplicação, o referido trabalho busca criar uma ponte entre os estudiosos e especialistas do WCM e os métodos MCDM, evidenciando a necessidade que a gerência e alta direção das organizações tem com relação a um suporte maior às tomadas de decisão dentro do programa.

Os resultados da aplicação mostraram que quando se leva em consideração as preferências do decisor na estruturação de uma ferramenta, os direcionamentos podem mudar completamente, além fazer com que o decisor esteja mais confortável e confiável com a tomada de decisão. A escolha dos projetos foi muito bem vista por toda a fábrica, por parte dos operários de chão de fábrica, as perdas selecionadas faziam, de fato, parte da rotina deles e os mesmos ficaram confiantes que a eliminação destas acarretaria ganhos em termos de produtividade nas suas funções. Por parte das chefias e supervisores, entendeu-se que a escolha das perdas estava alinhada com o conceito de manufatura enxuta e trabalhar de forma sistemática engajaria melhor a fábrica no entendimento do novo sistema, ao invés de times independentes trabalhando cada um com perdas bastantes diferente uma das outras.

6 REFERÊNCIAS

Almeida, A. T. de; Costa, A.P.C.S. (2003), “Aplicações com métodos multicritério de apoio a decisão.”, Editora Universitária.

Almeida, A.T. (2011). “O Conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão”, Recife: Editora Universitária UFPE.

- Andronikidis, A. et al. (2009), "The application of quality function deployment in service quality management.", *The TQM Journal*, v. 21, n. 4, p. 319-333.
- Behzadian K.; Ardeshir A.; Mahdavi M.M.; Hosseini K.; Jaliliani F. (2011), "Leakage control management in water distribution systems by a multi-objective approach", *Urban Water Management: Challenges and Opportunities - 11th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI 2011*, volume 2.
- Behzadian, M.; Kazemzadeh, R.B.; Albadvi, A.; Aghdas, M. (2010), "Promethee: A comprehensive literature review on methodologies and applications", *European Journal of Operational Research*, 200(1), 198–215.
- Bilsel, R. U.; Büyüközkan, G.; Ruan, D. (2006), "A fuzzy preference-ranking model for a quality evaluation of hospital web sites.", *Int. J. Intell. Syst.*, 21: 1181–1197. doi:10.1002/int.20177
- Borges, R. C; Oliveria, E. H; Oliveira, A S. (2013), "Estudo da implantação do pilar controle da qualidade da metodologia world class manufacturing (wcm) em uma empresa do setor automotivo no sul de minas gerais", *SIMPOI*.
- Bouyssou, D.; Marchant, T.; Pirlot, M.; Tsoukis, A.; Vincke, P. (2006), "Evaluation and decisions models with multiple criteria.", Springer.
- Boyssou, D.; Pirlot, M. A. (2005), "Characterization of concordance relations.", *European Journal of Operations Research* v.167, n. 2, p. 427-433.
- Brans, J. P.; Mareschal, B. (1992), "PROMETHEE V: MCDM problems with segmentation constraints.", *INFOR*, v. 30, n. 2, p. 85-86.
- Brans, J. P.; Mareschal, B. (2002), "PROMETHEE – GAIA: une méthodologie d'aide à La décision em présence de critères multiples. Bruxelles", Éditions de L'Université de Bruxelles.
- Brans, J. P.; Vincke, P.; Mareschal, B. (1986), "How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method.", *European Journal of Operational Research*, v. 24, n. 2, p. 228-238.
- Brans, J.P ; Vincke, P.H. (1985). "A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM.", *Management Science*. v. 31, p. 647-656.
- Campos, V. F. (1996), "Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia". Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 1996.
- Campos, V. F. (1996), "Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia. 8. Ed". Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial.
- Chin, K.-S.; Pun, K.-F.; Xu, Y.; Chan, J. (2002), "An AHP based study of critical factors for TQM implementation in Shanghai manufacturing industries", *Technovation*, Vol. 22 No. 11, pp. 707-715.
- Crosby, P. (1979), "Quality is Free: The Art of making quality certain", New York: Mc Graw-Hill.
- Dale, B. G., Lascelles, D. M., and Plunkett, J. J. (1990), "The Process Of Total Quality Management: Managing Quality", Hertfordshire :Philip Allan.

- Dale, B.G.; Plunkett, J.J. (1990). "The Case for Costing Quality", London: Department of Trade and Industry.
- De Almeida, A.T. (2011), "O conhecimento e uso de métodos multicritério de apoio a decisão", 2 ed., ver. E ampl. – Recife: Ed. Universitária.
- Deming, W. E. (1986), "Quality, Productivity and Competitive Position", Cambridge: Cambridge University Press.
- Dogan, O.I. (2013), "The Impact on the Operational Performance of World Class Manufacturing Strategies: A Company Application", International Journal of Business, Humanities and Technology, Vol.3 No. 8.
- Feigenbaum, A.V. (1983), "Total Quality Control", New York: McGraw Hill.
- Flynn, B.B.; Schroeder, R.G.; Flynn, E.J. (1999), "World class manufacturing: an investigation of Hayes and Wheelwright's foundation", Journal of Operations Management, 249-269.
- Garvin, D. (1988), "Managing Quality", New York: Free Press.
- Gurumurthy, A.; Kodali, R. (2008), "A multi-criteria decision-making model for justification of lean manufacturing systems.", International Journal of Management Science and Engineering Management. Vol.3, n.2, pp.100-118.
- Hayes, R.H.; Wheelwright, S.C. (1984), "Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing", Wiley, New York, NY.
- Hobbs, B. F.; Meier, P. M. (1994), "Multi criteria methods for resource planning: An experimental comparison." IEEE Transactions on Power Systems, 9(4), 1811–1817.
- Hwang, C. L.; Yoon, N. (1981), "Multiple attributes decision making methods and application". Berlin: Springer-Verlag.
- Imai, M. (1986), "Kaizen: A estratégia para o sucesso competitivo", 1ª Ed., Instituto IMAM, 235 p.
- ISO 8402, (1994), Quality Management and Quality Assurance-Vocabulary, Geneva: International Organisation for Standardisation.
- Jazayeri, M; Hopper, T. (1999), "Management Accounting within World Class Manufacturing: A Case Study", Management Accounting Research.
- John, M. J.; Butler, B.E. (2009), "Implementation of quality management in the public sector versus the private sector: a cultural analysis", Dublin City University Business School.
- Juran, J. M. (1979), "Juran's Quality Control Handbook", New York: McGraw-Hill
- K.C. Chan, (1993), "Intelligent Corporate Strategy: Beyond World-class Manufacturing", Industrial Management & Data Systems, Vol. 93 Iss 2 pp. 1 – 64.
- Lai Y.J.; Liu T.Y.; Hwang, C.L. (1994), "TOPSIS for MODM", European Journal of Operational Research 76: 486-500.
- Lopes, Y.G.; Almeida, A.T. (2013), "A multicriteria decision model for selecting a portfolio of oil and gas exploration projects.", Pesquisa Operacional, 33, 417-441.

- Machado, T. P. S.; Ensslin, L.; Ensslin, S. R. (2015), “Desenvolvimento de produtos usando a abordagem MCDA-C”. Production, São Paulo.
- Madu, C.N.; Aheto, J.; Kuei, C.H.; Winokur, D. (1996) "Adoption of strategic total quality management philosophies Multi-criteria decision analysis model", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 13 Issue: 3, pp.57-72.
- Mahmoud, S.; Mousavi, S. F.; Sanayaei, A. (2009). “TQM consultant selection in SMEs with TOPSIS under fuzzy environment.”
- Mareschal, B.; Brans, J.P. (2002) “PROMÉTHÉE-GAIA Une Méthodologie D’Aide à la Décision en Présence de Critères Multiples. Bruxelles”, Éditions de l’Université de Bruxelles.
- Matuszek, J.; Gregor, M; Plinta, D; Kurczyk, D. (2011), “Tendencies of development of production management methods and technique”, J. Pyka (Ed.), Concept, methods and tools of modern management, Scientific Society for Organization and Management.
- Midor, K. (2012), “World Class Manufacturing – characteristics and implementation in an automotive enterprise.”, Scientific Journals, 32(104) 42-47.
- Nonaka, I.; Takeuchi, H. (1997), “Criação de conhecimento na empresa.” Rio de Janeiro: Campus.
- Oakland, J. S. (1989), “Total Quality Management”, Oxford: Heinemann.
- Palucha, K. (2012), “World class manufacturing model in production management”, International Scientific Journal, Vol.58, Issue 2, 227-234.
- Pardalos, P.M.; Siskos, Y; Zopounidis, C. (1995), “Advances in multicriteria analysis.” (Non-convex optimization and its application. v.5). Dordrecht, Netherlands: Kluwer, 1995. 249 p.
- Reeves, C.A.; Bednar, D.A. (1994), “Defining Quality: Alternatives and Implications”, Academy of Management Review, 19, (3), pp.419-445.
- Reich, R.B. (1991), “The Work of Nations”, Alfred A. Knopf, New York, NY, 1991.
- Roy B.; Bouyssou D. (1993), “Aide multicritère à la décision : Methodes et cas”, Economica, Paris.
- Roy, B. (1996), “Multicriteria methodology for decision aiding”, Kluwer Academic, Dordrecht (Tradução de: Méthodologie multicritère d’aide à la décision, Economica, Paris, 1985).
- Roy, B.; Bouyssou, D. (1993), “Aide à la décision fondée sur une PAMC de type ELECTRE”, páginas 270; 271 e 414 a 433; Editora Econômica.
- Saremi, M.; Mousavi; F.; Sanayei (2009), “TQM consultant selection in SMEs with TOPSIS under fuzzy environment”, Expert Systems with Applications, Volume 36, Issue 2, Part 2, pp. 2742-2749.
- Schonberger, R.J. (1986), “The vital elements of world-class manufacturing”, International Management, Vol. 41 No. 5, pp. 76-8.
- Schroeder, D.M.; Robinson, A.G. (1991), “America’s most successful export to Japan: continuous improvement programs”. Sloan Manage. Rev., 32: 67-81

Silva, V. B. S. S.; Schrammb, F.; Carvalho, H.R.C. (2013), “O uso do método PROMETHEE para seleção de candidatos à bolsa-formação do Pronatec”, *Revista Produção*.

Silva, V. B. S.; Morais, D. C.; Almeida, A. T. A. (2010), “Multicriteria Group Decision Model to Support Watershed Committees in Brazil”. *Water Resources Management*, v. 24, n. 14, p. 4075-4091.

Taleb, M. F. A.; Mareschal, B.(1995), “Water resources planning in the middle east: application of the PROMETHEE V multicriteria method.”, *European Journal of Operational Research*, v.81, p. 500-511.

Thawesaengkulthai, N. (2010), “An empirical framework for selecting quality management and improvement initiatives.”, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 27 Iss: 2, pp.156 – 172.

Vincke, P. (1992), “Multicriteria decision-Aid.”, New York: John Wiley.

Winterfeldt, D. V.; Edwards, W. (1986), “Decision Analysis and Behavioral Research.”, New York, Cambridge University Press.

Yamashina, H. (2009), “World class manufacturing: Métodos e instrumentos. Material interno de aplicação WCM da empresa em estudo.”

Yong, J.; Wilkinson, A. (2002), “The Long and Winding Road: The Evolution of Quality Management”, *Total Quality Management*, 13, (1), pp.101-121.

Zeleny, M. (1982), “Multiple Criteria Decision Making.” New York, McGraw-Hill.

7 APÊNDICES

7.1 Apêndice 1 – Matriz QA da empresa em estudo

PERDAS POR MÃO - QUALIDADE																			
INDICADOR INTERNO PRÓXIMO DO CLIENTE	DESCRIÇÃO DA PERDA	DESCRIÇÃO DETALHADA DA ANOMALIA	MÁ QUINA	MÉTODO	MÃO DE OBRA	MATERIA PRIMA	Indicador de maior frequência	PPM	Peso FREQ.	CUSTO UNITÁRIO (maior representativ.)	Peso CUSTO	Peso GRAV.	DEFETO DETECTADO DURANT						PRORIDADE
													INTERNO			ESTERNO			
													A	B	C	ANTES DE ENTRA	DURANT	DEPOIS DE SAIR	EM
Inutilizado	FALHA	Capacidade preenchida parcialmente com vestígios de deformação	1				INUTILIZADO	469467	5	De 50 até 70	4	5	1	2					700
Inutilizado	BICO FURADO	Forno de injeção com furo	1				SCRAP	114501	4	De 50 até 70	4	5	1	2					640
Inutilizado	DEFLIXAO	Empeno no labirinto da tampa	1				SCRAP	442428	5	De 50 até 70	4	4	1	2				5	640
Inutilizado	BUCHA COM	Bucha com falha de fundição	1				SCRAP	37241	3	De 50 até 70	4	5	1	2					470
Inutilizado	BUCHA COM	Trinca na parte dos anéis ou cone da bucha	1				RECLAMACAO	537449	5	De 50 até 70	4	5	1	2					400
Inutilizado	VAZ. BUCHA	Vazamento pela bucha negativa	1				SCRAP	130980	4	De 50 até 70	4	4	1	2					400
Inutilizado	BOLHA	Formação de bolhas de ar no interior da peça	1				INUTILIZADO	73489	3	De 50 até 70	4	4	1	2					336
Inutilizado	VAZ. BUCHA	Vazamento pela bucha positiva	1				INUTILIZADO	27281	4	De 10 até 30	2	5	1	2					320
Inutilizado	EMPEÑO	Empenamento no plano	1				RECLAMACAO	10949	2	De 50 até 70	4	4	1	2					224
Inutilizado	PARBEE BALVA	Parêdes internas baixas	1				RECLAMACAO	138619	4	De 50 até 70	4	3	1	2					192
Inutilizado	BUCHA	Diâmetro interno da bucha menor que o especificado	1				SCRAP	13407	2	De 50 até 70	4	4	1	2					168
Inutilizado	ABERTADA	Presença de duas buchas negativas na mesma peça	1				SCRAP	25324	2	De 50 até 70	4	4	1	2					160
Inutilizado	DUAS BUCHAS NEGATIVAS						SCRAP	12706	2	De 50 até 70	4	4	1	2					96
Inutilizado	PRODUTO	Dois produtos em um mesmo lote	1		1		RECLAMACAO	19834	2	De 50 até 70	4	3	1	2					96
Inutilizado	RESSALTO NAS	Bucha apertada com ressalto no seu vazamento de	1				RECLAMACAO	8919	1	De 50 até 70	4	5	1	2					80
Inutilizado	PEPUXE	Deformação da peça no momento da	1				INUTILIZADO	110172	4	De 10 até 30	2	3	1	2					72

(*) = Max valor de gravidade