



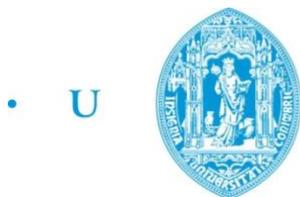
UNIVERSIDADE D
COIMBRA

João Pedro César Valamatos

**ANÁLISE E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS
NUMA LINHA DE MONTAGEM AUTOMÓVEL
ATRAVÉS DO MÉTODO TRIZ**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão
Industrial orientada pelo Professor Doutor Samuel de Oliveira
Moniz e apresentada no Departamento de Engenharia Mecânica
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de
Coimbra.**

Julho de 2020



• U C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Análise e resolução de problemas numa linha de montagem automóvel através do método TRIZ

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Analysis and problem-solving in an automotive assembly line using the TRIZ method

João Pedro César Valamatos

Orientador

Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz

Júri

Professor Doutor Pedro Mariano Simões Neto
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Presidente **Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz**
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Professor Doutor Paulo Joaquim Antunes Vaz
Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Viseu

Orientador **Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz**
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Mitsubishi Fuso
Trucks Europe
Sociedade Europeia de
Automóveis, S.A.

Coimbra, julho, 2020

“Simplicity is the ultimate sophistication”

fardo da Vinci

À minha família, namorada e amigos.

Agradecimentos

A concretização desta dissertação de mestrado é sem dúvida um grande marco na minha vida académica e pessoal. É um marco que só pôde ser atingido com o apoio de várias partes. Dessa forma, quero expressar o meu agradecimento e reconhecimento aos que tornaram este projeto possível.

Em primeiro lugar quero agradecer à minha família, aos meus pais e irmão, por confiarem em mim e me proporcionarem tudo. Aos meus avós, que estiveram sempre ao meu lado. Aos meus tios e primos que sempre tiveram uma palavra de apoio para me dar. E à minha namorada, que desde o primeiro dia me motivou a fazer mais e melhor.

Ao meu orientador, Professor Doutor Samuel Moniz, por ter estado sempre disponível e recetivo durante a elaboração deste trabalho, por me ter direcionado e aconselhado a seguir o caminho certo, sempre de uma forma profissional e amigável.

A todos os profissionais, principalmente ao Engenheiro Luís Melro, que confiou e me desafiou durante esta bonita passagem pela MFTE, e por toda a sua disponibilidade e ajuda desde o primeiro dia de estágio.

Por último, mas não menos importante, aos meus amigos mais antigos e aos que Coimbra me concedeu, o meu sentido agradecimento por todas as aventuras e aprendizagem que me proporcionaram.

A todos, um sentido e sincero obrigado!

Resumo

A presente dissertação resulta da implementação de uma metodologia de resolução de problemas em contexto de estágio curricular na *Mitsubishi Fuso Trucks Europe*, mais propriamente no departamento de produção e qualidade. Este projeto surgiu da necessidade de redução de defeitos no produto final que dão origem a elevados consumos de tempo e mão-de-obra em retrabalho.

O objetivo principal deste estudo, apostando numa política de melhoria contínua, visa a identificação de uma metodologia sistemática de resolução de problemas que traga robustez e inovação à identificação de causas raiz, potenciando a descoberta de soluções inovadoras e eficazes, permitindo a redução dos custos associados à reparação de defeitos, através da utilização do método da Teoria Inventiva da Resolução de Problemas (TRIZ), um instrumento recente, com um grande número de ferramentas disponíveis e com elevado potencial para resolver uma vasta gama de problemas.

Durante a aplicação do método, utilizou-se a técnica “Resultado Final Ideal” de forma a identificar o objetivo pretendido, de seguida foi aplicada a ferramenta “*Cause Effect Chain Analysis Plus*” com foco em encontrar as causas raízes dos defeitos, que por sua vez permite identificar as contradições, as direções de solução e as vantagens em corrigir as mesmas, e por fim o uso da “Matriz das Contradições” que, de uma forma engenhosa, revela princípios inventivos, direcionando o utilizador para possíveis soluções concretas.

Os problemas estudados e resolvidos durante o período de estágio foram selecionados devido à sua repetibilidade e criticidade, sendo que neste documento estão presentes dois muito repetitivos e um muito crítico, a título de exemplo.

Ao nível de resultados, é de referir que foi possível gerar soluções de contenção e erradicação eficazes para os problemas através da aplicação do método. No que diz respeito a indicadores de defeitos por unidade produzida, houve um decréscimo significativo desde o início deste trabalho.

Palavras-chave: Redução de defeitos, Resolução de problemas, Método TRIZ, Indústria automóvel.

Abstract

This dissertation results from the implementation of a problem-solving methodology in the context of an internship at Mitsubishi Fuso Trucks Europe, more specifically in the production and quality department. This project followed the need of reducing defects in the final product that results in high consumption of time and labor during reworks.

The main objective of this study, focusing on a policy of continuous improvement, aims to identify a systematic problem solving methodology that brings robustness and innovation to the identification of root causes, enhancing the discovery of innovative and effective solutions, allowing a cost reduction while repairing defects, through the use of the Inventive Theory of Problem Solving (TRIZ), a recent instrument, with a large number of tools available and with a high potential to solve a wide range of problems.

During the application of the method, the “Ideal Final Result” (RFI) technique was used in order to identify the desired objective, then the “Cause Effect Chain Analysis Plus” (CECA+) tool was applied with a focus on finding the root causes of the defects, identify the contradictions, the directions of solution and the advantages in correcting them. Finally, it was possible to implement the “Matrix of Contradictions” which, in an ingenious way, reveals inventive principles, directing the user to possible and concrete solutions.

The problems studied and solved during the internship period were selected due to their repeatability and criticality, and this document contains two very repetitive and one very critical, as examples.

In terms of results, it should be noted that it was possible to generate effective solutions for containment and eradication of the problems through the application of the method. Regarding the defect indicators per unit produced, there has been a significant decrease since the beginning of this work.

Keywords: Defect reduction, Troubleshooting, TRIZ method, Automotive industry.

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Siglas	xv
1. Introdução	1
1.1. Objetivo e motivação para o presente estudo	1
1.2. Metodologia Adotada	3
2. Enquadramento Teórico	5
2.1. Teoria da resolução inventiva de problemas	5
2.2. A história e evolução do método	7
2.3. Principais conceitos da TRIZ	8
2.3.1. Idealidade.....	8
2.3.2. Contradição.....	8
2.3.3. Níveis de Inovação	9
2.3.4. Padrões de Evolução.....	11
2.4. Ferramentas do TRIZ.....	11
2.4.1. Resultado Final Ideal (RFI)	12
2.4.2. Análise das causas-raiz.....	13
2.4.3. Cause and Effect Chain Analysis Plus	14
2.4.4. Matriz das contradições (MC) e os princípios inventivos (PI).....	16
2.5. Benefícios, conexões e casos de sucesso do TRIZ	20
2.6. Análise Custo-Benefício (ACB).....	22
3. Caso De Estudo	23
3.1. A Empresa	23
3.2. Condução do caso de estudo.....	25
3.3. Problemas alvo	26
4. Aplicação Da Metodologia	27
4.1. Descrição e resolução do Problema 1: Abas das cabines esfoladas	28
4.1.1. Aplicação do RFI no Problema 1	29
4.1.2. Aplicação do CECA+ no Problema 1 (Figura 14).....	29
4.1.3. Aplicação da MC no Problema 1	31
4.2. Descrição e resolução do Problema 2: Montagem para-choques não indicado ..	32
4.2.1. Aplicação do RFI no Problema 2	35
4.2.2. Aplicação do CECA+ para o Problema 2 (Figura 18).....	35
4.2.3. Aplicação da MC no Problema 2.....	36
4.3. Descrição e resolução do Problema 3: Manchas brancas no trim do pilar traseiro	38
4.3.1. Aplicação do RFI no Problema 3	40
4.3.2. Aplicação do CECA+ no Problema 3 (Figura 23).....	40
4.3.3. Aplicação do MC no Problema 3	41
5. Propostas De Melhoria	44

5.1.	Proposta de solução: Problema 1 – abas das cabines esfoladas	44
5.1.1.	Análise custo-benefício e tomada de decisão para o Problema 1	45
5.2.	Problema 2 – Montagem errática dos para-choques não indicados	47
5.2.1.	Análise custo-benefício e tomada de decisão	49
5.3.	Problema 3: Manchas brancas no <i>trim</i> do pilar traseiro.....	49
5.3.1.	Análise custo-benefício e tomada de decisão.....	50
6.	Conclusões	53
6.1.	Trabalho Futuro	54
	Referências Bibliográficas	55
	Tabela Dos Princípios Inventivos	57
	Matriz Das Contradições	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Literatura disponível sobre o método TRIZ.....	5
Figura 2. Resumo da utilização do método (Adaptado de Navas, 2013)	7
Figura 3. Natureza das contradições (Adaptado de Savranski, 2000).....	9
Figura 4. Ferramentas TRIZ (Spreafico et al., 2016)	12
Figura 5. Exemplo de uma análise CECA+: Elevado número de falsos alarmes (Lee et al., 2018).....	16
Figura 6. Exemplo de um cruzamento entre dois parâmetros na matriz das contradições ..	20
Figura 7. Frequência de combinações com o TRIZ (Spreafico et al., 2016).....	21
Figura 8. Modelos produzidos na MFTE (retirado de documento corporativo: apresentação oficial MFTE, 2020).....	24
Figura 9. Etapas da fase de estudo.....	25
Figura 10. Folha de apoio para tomada de conhecimento	26
Figura 11. Nomenclatura usada na CECA+	27
Figura 12 .Zona de conflito nas abas da cabine esfolada	28
Figura 13. Resultados obtidos pelo RFI para o problema das cabines esfoladas	29
Figura 14. Resultados obtidos na CECA+ para o problema das cabines esfoladas nas abas traseiras.....	30
Figura 15. Resultado da utilização da MC para o problema 1	32
Figura 16. Exemplo Conjunto: para-choques/ cabine. Com e sem orifício para radar de assistência à travagem (radar obrigatório para viaturas de classe N2 e opcional para viaturas de classe N1).....	34
Figura 17. Resultados obtidos pelo RFI para o problema da montagem do para-choques não indicado	35
Figura 18. Resultados obtidos na CECA+ para o problema para-choques não indicado	36
Figura 19. Resultado da utilização da MC para o problema 2	37
Figura 20. Peça: Trim pilar traseiro. Representação do defeito	39
Figura 21. Peça: Trim pilar traseiro. Análise de recorrência de manchas por zonas.....	39
Figura 22. Resultados obtidos pelo RFI para o problema das manchas no trim do pilar	40
Figura 23. Análise CECA+ no Problema 3	41
Figura 24. Resultado da utilização da MC para o problema 3	42

Figura 25. Proposta de alteração do trolley de transporte de cabine no processo de revestimento45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Níveis de inovação (adaptado de Navas, 2013).....	10
Tabela 2. Exemplo de um RFI (Adaptado de Marco Carvalho, 2017).....	13
Tabela 3. Comparação das características dos vários métodos (Adaptado de Lee et al., 2018).....	14
Tabela 4. Princípios Inventivos. Adaptado de Marco Aurélio de Carvalho (2017)	18
Tabela 5. Parâmetros de engenharia. Adaptado de Carvalho, M. A., (2017).....	19

SIGLAS

- TRIZ - Teoria da resolução inventiva de problemas
ARIZ – Algoritmo da resolução inventiva de problemas
CECA+ - *Cause Effect Chain Analysis plus*
RFI – Resultado final ideal
MC – Matriz das contradições
N1 – Categoria de veículos ligeiros
N2 – Categoria de veículos pesados
MFTE – Mitsubishi Fuso Trucks Europe
PI – Princípios Inventivos
PE – Parâmetros de Engenharia
ACB – Análise custo-benefício
DPU – Defeitos por unidade
QG – *Quality Gate*
CT – Contradição técnica
CF – Contradição física

1. Introdução

Atualmente, num mundo empresarial em constante mutação e evolução na procura de um sistema de produção *lean* otimizado ao máximo, capaz de entregar resultados de forma mais rápida, barata, e com a melhor qualidade possível, as indústrias são cada vez mais automatizadas, inteligentes e versáteis, no entanto, não obstante a evolução e investimento na robustez dos processos ainda assim continuam a existir erros e falhas (Ward, Shook, & Sobek, 2014).

Segundo Arcidiacono & Mirarchi (2014), a investigação de soluções ideais para problemas concretos debate-se com uma certa inércia psicológica que tende a seguir os pensamentos padronizados inerentes à experiência adquirida. Significa que, no momento de analisar e resolver um problema, o primeiro instinto é olhar para o passado, compará-lo a um igual ou semelhante e partir para uma solução idêntica (Arcidiacono et al., 2014). Não se tratando de um método incorreto, é importante perceber que se um problema é recorrente é porque não foi bem resolvido em primeira instância, sob pena de que de forma recorrente se impactem alguns dos indicadores chave de performance de processo, resultando em perdas de eficiência e por essa via no aumento de custos, nomeadamente ao nível do retrabalho, segundo Salamatov (1999) .

Um método que pode auxiliar as empresas a manterem-se competitivas e com uma política de “zero defeitos” é a Teoria de Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ). Tal método possui uma série de ferramentas analíticas que visam encontrar soluções inovadoras.

1.1. Objetivo e motivação para o presente estudo

Os processos de montagem da Mitsubishi Fuso Trucks Europe (doravante designada por MFTE) assentam essencialmente em mão-de-obra especializada, sendo que mais de 80% das operações de montagem têm intervenção manual, que apesar da evolução dos processos e mecanismos, bem como das práticas de engenharia dedicadas à prevenção do erro, não erradicam totalmente a possibilidade de ocorrência de falhas.

Tendo em mente o exposto acima, e incluindo os problemas com equipamentos, componentes e processos especiais, conclui-se à partida que existe potencial de falha durante

a montagem. Este facto é confirmado com a observação dos registos de ocorrência ao longo dos últimos anos, mais propriamente os dados de 2019 e 2020 para referência, onde se pode constatar níveis médios na ordem dos 5 defeitos por unidade (DPU) detetados em 2019 no somatório de todos os processos, tendo este nível médio subido no final de 2019 e crescido até cerca de 8 DPU no primeiro trimestre de 2020, em função de alterações introduzidas no produto (lançamento de novo modelo em setembro de 2019) bem como nos processos, com a necessidade de reorganização das distribuições de operações pelos diversos postos das linhas de montagem motivadas pelo aumento do volume de produção, do consequente encurtamento dos ciclos de trabalho e incorporação de mão de obra recém contratada. Sendo certo que nem todos os defeitos têm origem interna, uma grande parte destes tem.

Com base em estudos realizados pela MFTE em agosto de 2019, apurou-se que entre janeiro e junho do mesmo ano haviam sido detetados e reparados 23.841 defeitos, correspondendo a uma média diária de 180 ocorrências, resultando numa necessidade diária de 12 horas de mão de obra dedicada a retrabalho. Estes 23.841 defeitos foram subdivididos em 86 tipos distintos, tendo-se ainda concluído que 16 (19%) destas categorias representavam 60% do volume total de defeitos.

Reconhecendo a organização que a resolução simultânea de todos os defeitos resulta numa tarefa impossível, foi decidido em setembro de 2019 estabelecer uma abordagem sistemática de identificação do “top mensal” de defeitos por forma a permitir que num alinhamento conjunto entre as áreas de qualidade e produção fossem selecionados 5 desses defeitos para serem trabalhados no sentido de identificar a causa raiz dos mesmos de maneira a erradicar a sua origem. A lógica de identificação/resolução continuada permitiria então reduzir significativamente o número de defeitos e consequentemente todo o desperdício inerente ao retrabalho necessário para garantir os níveis finais de qualidade do produto.

Esta necessidade tornou-se ainda mais premente no primeiro trimestre de 2020, quando fruto das alterações anteriormente mencionadas, se observou a subida do indicador para 8 DPU, incrementando a mão de obra necessária à reparação dos mesmos para 24 horas diárias, ou seja, o equivalente a 3 colaboradores dedicados por dia.

Paralelamente a este incremento dos DPU, observou-se que apesar de se ter dado início à metodologia definida em setembro de 2019, de facto os problemas provaram ser de uma complexidade significativa, requerendo a aplicação de uma abordagem que trouxesse

complemento aos métodos já usados pela MFTE, tais como análises de Pareto, diagramas de Ishikawa, 5 porquê's, diagramas causa-efeito, P-FMEA, planos de controlo, 3C e 8D.

Assim sendo, o objetivo principal deste estudo, apostando numa política de melhoria contínua, visa a identificação de uma metodologia sistemática de resolução de problemas que traga robustez e inovação à identificação de causas raiz, potenciando a descoberta de soluções inovadoras e eficazes, permitindo a redução dos custos associados à reparação de defeitos. Custos esses que resulta do retrabalho, consumo de mão-de-obra, bens materiais e eventuais reclamações de clientes em casos de não deteção prévia.

1.2. Metodologia Adotada

De forma a combater estas falhas, criou-se um plano integrado que engloba três métodos de investigação e resolução de problemas pertencentes à Teoria Inventiva de Resolução de Problemas: o Resultado Final Ideal (RFI), a *Cause-Effect Chain Analysis Plus* (CECA+) e a Matriz das Contradições (MC).

No final desse mesmo plano, construiu-se uma análise custo-benefício perante as soluções encontradas e a proposta de implementação das mesmas. Desenvolvendo assim à empresa uma abordagem de melhoria contínua mais enriquecida, que fará reduzir sistematicamente o número de defeitos durante a montagem dos veículos e inovando o processo de colmatação dos mesmos.

Ao longo do documento podem-se encontrar, sequenciados de forma lógica e de maneira a seguir o trabalho realizado, os 6 seguintes capítulos:

- o 1º capítulo destina-se à introdução do tema, exposição da relevância e objetivos do mesmo e onde se exhibe qual a metodologia adotada;
- o 2º capítulo apresenta a literatura disponível sobre os temas referidos na introdução, que se resume essencialmente em três vertentes: o método da Teoria da Resolução Inventiva de Problemas que pode ser brevemente explicado pela sua história, conceitos, exemplos e analisando a sua utilidade, importância e pertinência. As ferramentas de *root-cause analysis* e *problem solving*, onde se identifica o funcionamento e pertinência das mesmas para este estudo. E a teoria adjacente à análise de custo benefício e como esta é importante perante qualquer tomada de decisão;

- o 3º capítulo traduz essencialmente uma explicação de forma mais pormenorizada acerca dos problemas selecionados, o enquadramento empresarial e o seguimento do estudo;
- o 4º capítulo tem como foco a aplicação da metodologia em 3 problemas distintos, começando pelo método RFI, seguido da análise CECA+ e da MC.
- no 5º capítulo faz-se exatamente a exposição dos resultados obtidos após a utilização dos métodos utilizados no capítulo 4, as propostas de resolução dos 3 casos e a devida fundamentação através da análise de custo-benefício;
- E finalmente no 6º capítulo enunciam-se as devidas conclusões e perspetivas futuras acerca dos resultados obtidos.

2. Enquadramento Teórico

No que diz respeito à pesquisa literária, utilizou-se essencialmente o *B-On* e o *Google Scholar* (Figura 1) verificando-se que existe literatura acerca do tema central – o TRIZ, no entanto, nenhuma das aplicações práticas se destina diretamente à redução de defeitos em linhas de montagem, o que torna a investigação ainda mais interessante e desafiante do ponto de vista científico.



Figura 1. Literatura disponível sobre o método TRIZ

2.1. Teoria da resolução inventiva de problemas

O TRIZ (*teoriya resheniya izobretatelskikh zadatch*), cujo acrónimo russo significa Teoria da Resolução Inventiva de Problemas, é um método algorítmico de resolução e análise de problemas derivado do estudo de milhões de patentes (Hur, Jang, & Kim, 1992) e tem vindo a ser aprofundado até aos dias de hoje, de forma a acompanhar o avanço industrial. Atualmente já existem evoluções do método como o I-TRIZ e o TRIZ-OTSM, que são utilizados por muitos engenheiros e gestores, mas que ainda não estão totalmente desenvolvidos e que por sua vez não são universalmente aceites (Litvin, Petrov, & Rubin, 2012).

Genrich Altshuller, o seu criador, durante o estudo do processo das patentes concluiu que existe um padrão inventivo para cada nível de inovação, formulando-o em

várias ferramentas de apoio à resolução de grande parte das categorias de problemas e lacunas na criatividade, tal como é descrito por Maia, Alves e Leão (2015) e Hur et al., (1992).

Este método não promete resolver problemas de cálculo ou otimização, no entanto serve como catalisador para resolver problemas alusivos a questões de melhoria de qualidade, diminuição de poluição, lançamento de novos produtos, aumento de performance e redução de custos (Spreafico & Russo, 2016), melhorando de forma eficaz e diminuindo o custo em qualquer processo ou produto alvo (Gadd, 2011). Tal afirmação baseia-se no facto do método possuir uma gama vasta de ferramentas para identificar e resolver problemas e que podem ser ajustadas e combinadas de diversas maneiras (Amer, Ong, Al-Zuheri, Doan, & Tran, 2019).

Independentemente do problema, segundo Altshuller (1995), deve-se sempre transformar o problema específico num problema geral (mais abstrato), encontrar uma solução geral para o problema geral e, de forma análoga, encontrar a solução específica (Figura 2), enquanto se segue as 4 regras básicas durante a aplicação das ferramentas que acabam por traçar os passos a dar de forma lógica, sendo elas:

1. Encontrar todas as causas-raiz possíveis alusivas ao problema e começar a desenhar algumas possíveis soluções;
2. Encontrar e eliminar os possíveis conflitos técnicos/contradições físicas: a melhoria na peça/propriedade que prejudica outra característica do sistema (Ex: aumentar a potência do motor, aumenta o peso do veículo);
3. Transformar o problema específico num problema geral, ou mais abstrato, utilizando, por exemplo, a ferramenta RFI (resultado final ideal) ou outras do mesmo tipo. Encontrar a solução mais adequada com a utilização de ferramentas como as 76 soluções padrão, matriz das contradições ou outras do mesmo cariz;
4. Depois de se obter uma solução padrão para um problema padrão, a equipa deve fazer uma analogia entre a solução padrão e a solução específica, baseando-se na sua experiência e “know-how”.

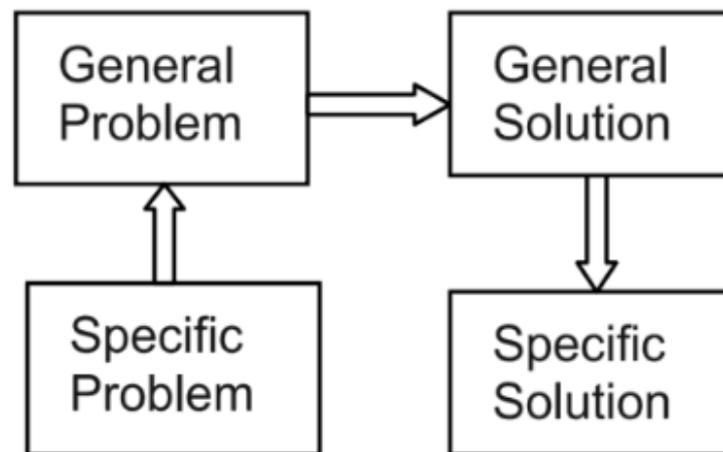


Figura 2. Resumo da utilização do método (Adaptado de Navas, 2013)

2.2. A história e evolução do método

Em 1980, dá-se a primeira conferência especializada em TRIZ e nasce oficialmente o método desenvolvido por G. Altshuller (Eng. Mecânico Soviético). Em 6 anos são desenvolvidas as primeiras ideias base e as ferramentas clássicas. No mesmo período temporal começam a aparecer os primeiros profissionais, seguidores e utilizadores do método, bem como o material disponível, ainda na antiga união soviética.

Entre 1986 e 1991 é fundada a primeira escola especializada no método, promovendo o mesmo e oferecendo serviços a várias empresas, que se demonstraram extremamente eficientes. É também nesta altura que são publicados muitos documentos técnicos e artigos ilustrativos com casos de sucesso.

De 1991 até à presente data, grande parte da documentação foi traduzida para inglês e as ferramentas, as patentes, os casos de sucesso e o método em si têm vindo a ser atualizados. Embora este método já tivesse vindo a ser lecionado em universidades, academias militares e outras entidades da união soviética, apenas saiu do seu país de origem nos anos 90, quando os conhecedores da matéria começam a exercer e lecionar noutros países como os Estados Unidos e o Japão, segundo Rantanen, e Domb (2008). É devido a isso que o método de TRIZ é considerado recente.

2.3. Principais conceitos da TRIZ

2.3.1. Idealidade

Os autores consideram que o conceito de idealidade não é fácil de sintetizar ou descrever, mas referem-se ao mesmo como um dos principais conceitos em que esta ideologia se baseia e Savranski (2000) relata “idealidade” como a capacidade mental de criar objetos abstratos que não podem existir na realidade e que não podem ser fruto de experiências. São também esses objetos ideais (Ex: gás ideal em física) que representam o limite para um objeto real e que por sua vez têm um papel principal em teorias axiomáticas e na análise de objetos reais. Em suma, a idealidade é a capacidade de abstração que representa a reflexão real e útil de vários fenómenos, formulando uma ideia utópica para a obtenção de um objetivo principal. A idealidade é algo que pode e é descrito através da expressão matemática:

$$Idealidade = \frac{\sum \text{Funções úteis}}{\sum (\text{Funções pejorativas} + \text{custos})}$$

2.3.2. Contradição

Outro conceito importante para o método é o de “contradição”. Tal conceito pode ser descrito como um acontecimento conflituoso num determinado tempo e espaço operacional, que ocorre quando, ao melhorar um parâmetro técnico, se influencia negativamente o mesmo (contradição física) ou outro parâmetro adjacente (contradição técnica).

A natureza das contradições (Figura 3) pode ser de origem natural, social e de engenharia. No entanto, para a aplicação do TRIZ, apenas as duas primeiras contradições da categoria de engenharia (técnicas e físicas) se têm em consideração (Savranski, 2000).

Mais uma vez, Savranski (2000) enuncia que as soluções inventivas mais eficientes ocorrem quando se supera um problema eliminando uma contradição e caso não se elimine, o problema provavelmente também não estará resolvido eficazmente.

Contradições		
Naturais: Cosmológicas Fundamentais	Sociais: Individuais Organizacionais Culturais	Engenharia: Técnicas Físicas Matemáticas

Figura 3. Natureza das contradições (Adaptado de Savranski, 2000)

2.3.2.1. Contradição Física

No que diz respeito às contradições físicas, estas tratam-se de alterações de uma propriedade ou parâmetro num subsistema que tem resultados ambíguos (Savranski, 2000). Ou seja, está-se perante uma contradição física quando, por exemplo, a um *chip* de computador se quer aumentar a sua resistividade elétrica. Ao alterar uma característica que beneficia a resistividade elétrica está-se também a prejudicar a performance do chip, algo que não é de todo pretendido.

2.3.2.2. Contradição Técnica

Relativamente às contradições técnicas, estas ocorrem quando uma ação causa efeitos benéficos e prejudiciais simultaneamente. Ao efetuar uma alteração num parâmetro que beneficia um subsistema está-se a influenciar negativamente outro subsistema (Savranski, 2000). Por exemplo, se for necessário acrescentar potência a um motor de combustão interna pode-se alterar e acrescentar certos parâmetros que façam o mesmo trabalhar mais e melhor, mas, por outro lado, está-se a criar condições para que o mesmo emita mais gases de efeito de estufa ou para que o sistema se torne mais complexo e pesado.

2.3.3. Níveis de Inovação

Durante o processo de desenvolvimento do método, G. Altshuller dividiu os níveis de inovação em 5, durante o estudo das patentes (Tabela 1). Esses 5 níveis são importantes para se perceber, perante um problema, quão inovadora é a solução do mesmo e em que categoria se encaixa.

Tabela 1. Níveis de inovação (adaptado de Navas, 2013)

NÍVEIS	DESCRIÇÃO	EXEMPLO
1	Soluções de rotina utilizando métodos bem conhecidos na respetiva área da especialidade. Cerca de 30% dos casos.	Diminuir consumos energéticos com uso de painéis solares.
2	Pequenas correções em sistemas existentes recorrendo a métodos conhecidos na indústria. Esta categoria constitui cerca de 45% da totalidade.	Uso de depósitos de ureia para reduzir emissões de GEE.
3	Melhorias importantes que resolvem contradições em sistemas típicos de um dado ramo da indústria. Esta categoria constitui cerca de 20% da totalidade. É onde aparecem soluções criativas de projeto.	Transformação de veículos de transmissão manual em transmissão automática.
4	Soluções baseadas na aplicação de novos princípios científicos. Esta categoria constitui cerca de 4% do total.	Corte por ultrassom.
5	Soluções inovadoras baseadas em descobertas científicas não anteriormente exploradas. Esta categoria constitui menos de 1% da totalidade.	Criação e invenção da lâmpada.

2.3.4. Padrões de Evolução

Aparentemente, definir um resultado ideal e encontrar as contradições seria suficiente para resolver um problema. No entanto, por vezes é necessário saber como resolver a contradição, gerir recursos e aproximar o sistema da solução ideal. Para tal é necessário ter em mente os padrões de evolução e posteriormente as ferramentas do TRIZ (Rantanen et al., 2008).

Mais uma vez, durante o estudo das patentes, Altshuller e a sua equipa identificam 8 regularidades inerentes à evolução de sistemas e processos técnicos. Conhecer estes 8 padrões de evolução torna-se bastante útil para gerar ideias para a resolução de problemas complexos e na prospeção da evolução de um certo sistema (Rantanen et al., 2008).

Desta forma, podem-se enumerar os 8 padrões de evolução, de acordo com N. Leon (2014):

- A tecnologia segue um ciclo de vida de nascimento, crescimento, maturidade e declínio;
- Crescimento de idealidade;
- Desenvolvimento desigual de subsistemas que resultam em contradições;
- Dinamismo e controlabilidade crescentes;
- Maior complexidade, seguida de simplicidade através da integração;
- Correspondência e incompatibilidade de peças;
- Transição de macrossistemas para microssistemas usando campos de energia de forma a alcançar melhor desempenho ou controle;
- Diminuição do envolvimento humano com o aumento da automação.

2.4. Ferramentas do TRIZ

A versatilidade das ferramentas que compõem o TRIZ e o facto do método se basear em conhecimentos adquiridos nas ciências da natureza, humanas e principalmente de engenharia, deixa que as mesmas se combinem entre elas e com outras não pertencentes ao método, para que se possa ajustar um plano de resolução de quase todo o tipo de problemas

(Savranski, 2000). Dessa forma, é de extrema relevância selecionar e entender quais as técnicas mais eficientes para cada caso.

Spreafico et al. (2016) enunciam que, relativamente às ferramentas pertencentes ao método, existe uma vasta gama das mesmas que são passíveis de se usar por utilizadores menos experientes, tais como a matriz das contradições (presente neste estudo), e outras não tão recomendadas para alguém que começou agora a estudar o método, por exemplo a ARIZ (algoritmo inventivo de resolução de problemas). De forma resumida, as principais técnicas ordenadas por ordem de maior número de utilizações presentes em artigos científico, como pode ser observado na seguinte figura.

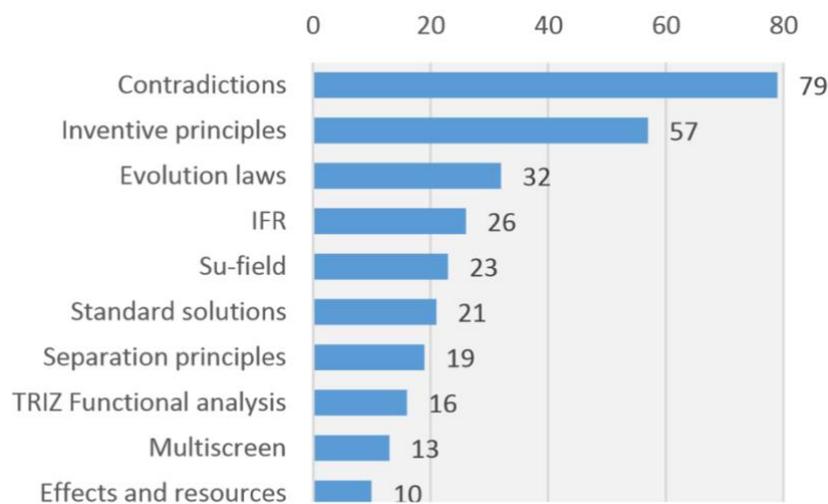


Figura 4. Ferramentas TRIZ (Spreafico et al., 2016)

2.4.1. Resultado Final Ideal (RFI)

O objetivo desta ferramenta, que deriva do conceito de idealidade, é imaginar como seria a situação real sem qualquer restrição física ou psicológica (situação utópica) e, caso não seja possível de se atingir, recuar um pouco na idealidade da solução, mas sem recuar mais do que é o estado atual (Carvalho & Back, 2001).

Esta técnica (Tabela 2) torna-se útil aquando da formulação de problemas e de situações consideradas ideais. Posteriormente esta abordagem pode e deve ser conjugada

com a análise de causas-raiz, mais concretamente através da ferramenta CECA+, e com a MC (ferramentas expressas nos seguintes subcapítulos).

Tabela 2. Exemplo de um RFI (Adaptado de Marco Carvalho, 2017)

QUESTÕES	FUNÇÃO “LAVAR ROUPAS”
1) Qual o objetivo final do sistema?	Lavar/limpar roupa
2) Qual o resultado final ideal?	Roupas que se limpa a si próprias
3) O que impede que se alcance o rfi?	Indisponibilidade de roupas que se limpam sozinhas
4) Qual é a razão?	As roupas não realizam essa função

2.4.2. Análise das causas-raiz

As organizações debatem-se diariamente com problemas triviais, complexos e outros que parecem ser impossíveis de resolver. Em boa verdade, para todo o problema existe uma solução, por vezes a dificuldade é caracterizar o problema e achar a causa raiz. De tal forma que os autores Carlson e Söderberg (2003) sublinham várias vezes o facto desta análise tornar o processo de resolução de problemas eficiente e bem-sucedido.

Segundo Andersen e Fagerhaug (2019), a análise da causa-raiz é um método que segue uma investigação estruturada com foco em identificar a causa e a solução para um problema. O método é conhecido em engenharia por possuir técnicas de grande utilidade e é tanto utilizado na indústria como nos sectores da saúde e educação. É essencialmente sobre esta análise que este estudo assenta.

Como já foi mencionado, existem diversas formas de estruturar uma investigação deste carácter, entre elas os diagramas de Ishikawa, os 5 porquês, a *fault-tree analysis* e outros. No entanto, Abramov (2015) e Lee, Chechurin e Lenyashin (2018)

concluem que, dentro do que são as diferentes técnicas de análise de causas raiz, a ferramenta mais sofisticada e completa é a *Cause and Effect Chains Analysis* ou a *Cause and Effect Chains Analysis Plus* (versão aperfeiçoada) - ferramentas de análise do método TRIZ.

Esta técnica distingue-se das mais convencionais por incluir uma análise de fluxo e função, por ser mais flexível em termos de análise, por ter em conta todas as variáveis, que por sua vez podem dar origem a causas-raiz desconhecidas, e por contabilizar as contradições do sistema. Outras disparidades que diferenciam o CECA+ podem ser constatadas na tabela seguinte.

Tabela 3. Comparação das características dos vários métodos (Adaptado de Lee et al., 2018)

			Métodos de "Root-Cause Analysis"					
			5 Porquê's	Mapa de Causas	CECA	Formulador de Problemas	RCA+	CECA+
Critérios de Avaliação	Métodos de Análise de Causa	Modelar causas comuns ou contraditórias	1	2	4	5	5	5
		Indicações para encontrar causas "escondidas"	2	2	4	4	4	4
		Clareza do método	2	3	4	4	4	4
		Facilidade em aprender	5	4	3	2	3	3
	Método de Resolução	Indicações para gerar boas direções de solução	2	2	4	5	5	5
	Integração de Conclusões	Integração da verificação de resultados	2	3	2	2	2	3
		Integração da verificação de ideias de solução	3	3	3	4	3	5
	Desenho intuitivo	Fácil desenho e leitura	2	3	3	4	4	5
		Organizado por importância	3	3	3	3	3	4
	Média da avaliação		2,4	2,8	3,3	3,7	3,7	4,2
Escala de avaliação			0	1	2	3	4	5
			N/A	Muito Mau	Mau	Normal	Bom	Muito Bom

2.4.3. Cause and Effect Chain Analysis Plus

O CECA+ é um novo método de análise de causas-raiz, derivado e aperfeiçoado do CECA, que por sua vez deriva dos métodos convencionais como a análise da árvore de falhas, 5 porquês ou mesmo a espinha de peixe, de acordo com Lee et al. (2018). Trata-se de uma análise que aglomera informação de forma sistemática e empírica com foco em resolver um problema, encontrando as suas causas-raiz que estão divididas em 5 categorias: homem, máquina, método, material e meios.

Para isso devem-se seguir os 4 passos essenciais:

1. Definir o problema – começa-se por explicar o problema que se quer erradicar (com o uso do RFI, por exemplo).

2. Construir e verificar as ligações de causa efeito – onde se deve desenhar e ligar através de setas (seguindo a nomenclatura) todas as causas que provocam ou podem provocar o tal efeito, sejam elas de carácter benéfico, prejudicial ou neutro. Depois disso, verificar o diagrama, validar a sua construção, retirar as causas irrelevantes para o problema principal, identificar as causas mais importantes e escrever algumas ideias recorrendo aos comentários.

3. Construir e verificar as ligações de direcção de solução – para cada causa prejudicial deve-se, através da utilização do RFI (por exemplo), começar a traçar algumas direcções de solução, com uso da simbologia da “nuvem”. Depois deve-se validar as direcções propostas e eliminar as que não são de todo exequíveis.

4. Construir e verificar as ligações de ideias – Começar a gerar ideias mais concretas para o caso de estudo e caso se verifiquem contradições, conflitos ou constrangimentos nas direcções propostas no ponto anterior, deve-se recorrer ao uso da matriz das contradições para os resolver e ir de encontro com a solução considerada ideal.

Posto isso, e segundo Lee et al. (2018), será possível para o utilizador, através de um software de diagramas (sugere o software *yWorks*) e das devidas convenções (recomendadas ou não), revelar causas desconhecidas, sobrepostas ou contraditórias e gerar direcções de solução de forma bastante intuitiva, como se pode verificar na figura seguinte.

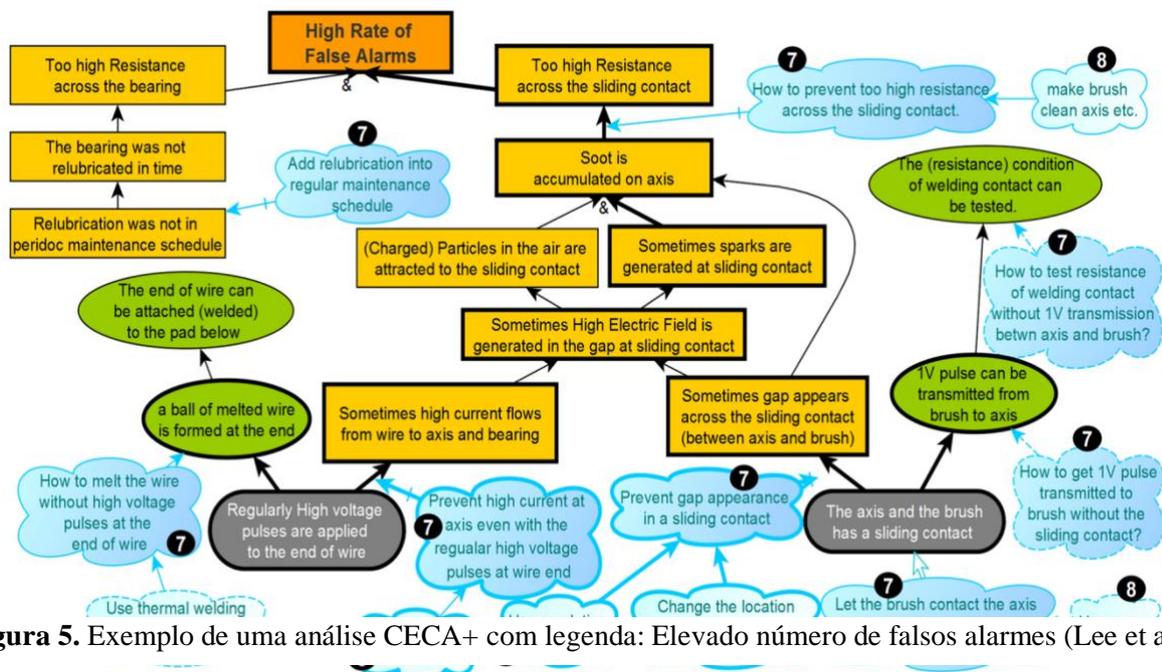
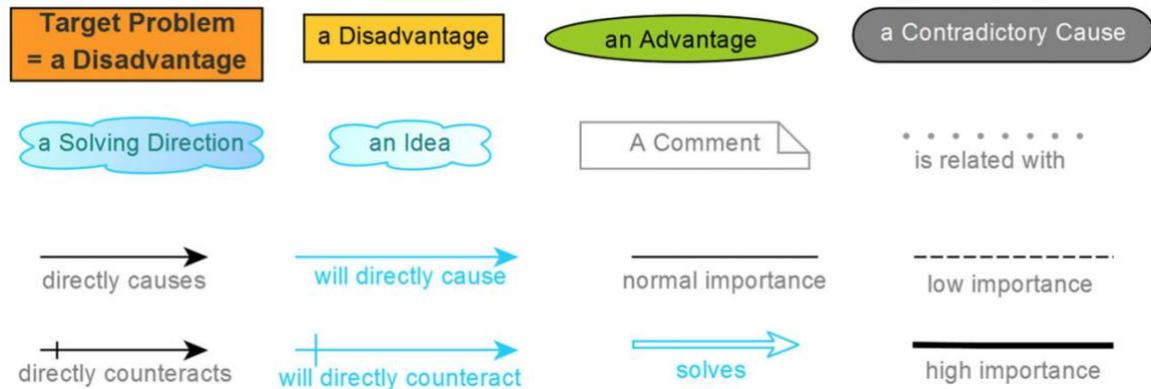


Figura 5. Exemplo de uma análise CECA+ com legenda: Elevado número de falsos alarmes (Lee et al., 2018)

2.4.4. Matriz das contradições (MC) e os princípios inventivos (PI)

Novamente, G. Altshuller, ao analisar milhares de patentes, apercebeu-se de que os problemas mais complexos em engenharia eram aqueles que envolviam conflitos técnicos ou contradições físicas, que acabaram por ser resolvidos, tradicionalmente, por *trade-offs* (Jianhong, Quan, Yanling, & Wei, 2009). Para esse efeito, foi criada a matriz das

contradições, uma das ferramentas mais importantes para a resolução inventiva de problemas.

A consulta da matriz tem como função extrair alguns dos 40 princípios inventivos através do cruzamento de, no mínimo, 2 dos 39 parâmetros de engenharia. Estes princípios tiveram origem na categorização das ideias datadas nos milhares de patentes estudadas por Altshuller e podem ser observados na Tabela 4 ou, em mais detalhe, no apêndice A. Os parâmetros de engenharia, que foram categorizados da mesma forma que os princípios e que constituem as linhas e colunas da matriz, podem ser consultados na Tabela 5. A utilização desta ferramenta passa por enumerar e cruzar os parâmetros de engenharia que se pretendem melhorar, nas linhas da matriz com os parâmetros prejudicados devidamente identificados nas colunas. Uma vez feito esse cruzamento, é possível identificar os princípios inventivos capazes de resolver essa contradição.

Tabela 4. Princípios Inventivos. Adaptado de Marco Aurélio de Carvalho (2017)

Nº	Princípio Inventivo	Nº	Princípio Inventivo
1	Segmentação	21	Aceleração
2	Remoção	22	Transformação do prejuízo em lucro
3	Qualidade Localizada	23	Feedback
4	Mudança de Simetria	24	Intermediação
5	União ou Consolidação	25	Autosserviço
6	Universalização	26	Cópia
7	Aninhamento	27	Objetos descartáveis
8	Contrapeso	28	Substituição dos meios mecânicos
9	Compensação Prévia	29	Pneumática e hidráulica
10	Ação Prévia	30	Membranas flexíveis e filmes finos
11	Proteção Prévia	31	Materiais porosos
12	Equipotencialidade	32	Mudança de cor
13	Inversão	33	Homogeneização
14	Recurvação	34	Descarte e regeneração
15	Dinamização	35	Mudança de parâmetros e propriedades
16	Ação Parcial	36	Mudança de fase
17	Outra Dimensão	37	Expansão térmica
18	Vibração Mecânica	38	Oxidantes fortes
19	Ação Periódica	39	Atmosferas inertes
20	Continuidade de ação útil	40	Materiais compostos

Tabela 5. Parâmetros de engenharia. Adaptado de Carvalho, M. A., (2017)

Nº	Parâmetro de Engenharia	Nº	Parâmetro de Engenharia
1	Peso de um objeto móvel	21	Potência
2	Peso de um objeto estacionário	22	Perda de energia
3	Comprimento de um objeto móvel	23	Perda de uma substância
4	Comprimento de um objeto estacionário	24	Perda de informação
5	Área de um objeto móvel	25	Perda de tempo
6	Área de um objeto estacionário	26	Quantidade de uma substância
7	Volume de um objeto móvel	27	Confiabilidade
8	Volume de um objeto estacionário	28	Exatidão da medição
9	Velocidade	29	Precisão de manufatura
10	Força	30	Fatores prejudiciais externos atuando no objeto
11	Pressão / Tensão	31	Efeitos prejudiciais causados pelo objeto
12	Forma	32	Facilidade de manufatura
13	Estabilidade da composição do objeto	33	Conveniência de uso
14	Resistência mecânica	34	Facilidade de reparo
15	Tempo de ação de um objeto móvel	35	Adaptabilidade ou versatilidade
16	Tempo de ação de um objeto estacionário	36	Complexidade de um dispositivo
17	Temperatura	37	Complexidade de controle
18	Intensidade luminosa	38	Nível de automação
19	Energia consumida por um objeto móvel	39	Produtividade ou capacidade
20	Energia consumida por objeto estacionário		

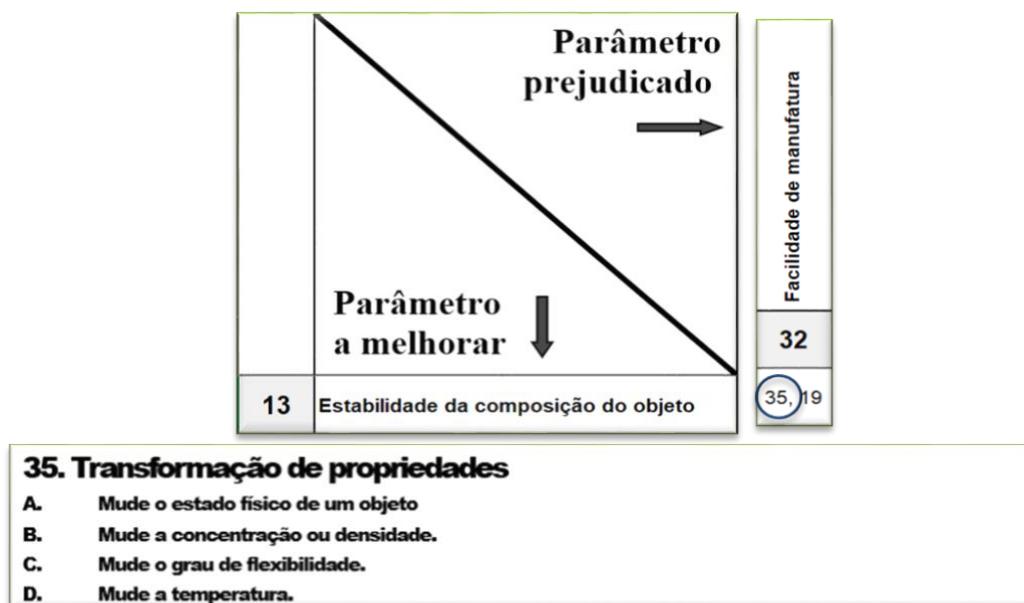


Figura 6. Exemplo de um cruzamento entre dois parâmetros na matriz das contradições

2.5. Benefícios, conexões e casos de sucesso do TRIZ

De acordo com estudos feitos por Ilevbare, Probert e Phaal (2013), é possível retirar algumas conclusões acerca dos benefícios da utilização do método, baseadas em questionários, tais como:

- O fornecimento de abordagens estruturadas para a solução de problemas, o que evita reuniões de brainstorming nas primeiras etapas e busca de soluções erráticas.
- Identificação de problemas e boas dicas de solução.
- Geração de ideias: também foi indicado que o TRIZ fornece informações úteis e geralmente soluções novas.
- Para além da qualidade das ideias, ajuda a gerar ideias mais inovadoras do que as que teriam sido geradas de outra forma.
- Fornece inovação e novos conceitos para o desenvolvimento.
- Velocidade: a resolução de problemas e a obtenção de soluções inovadoras são alcançadas em tempos mais curtos do que através de métodos convencionais, porque se tornou possível identificar os problemas e focar neles rapidamente.

- O TRIZ fornece aos utilizadores uma visão de como as tecnologias estão a evoluir e podem ser colocadas em consideração no futuro.

- Trabalho em equipa: o método parece ter um efeito benéfico na eficácia das equipas fornecendo uma linguagem comum para resolução de problemas dentro do grupo.

A nível de casos de sucesso da aplicação do método, podem-se enaltecer os casos da Boeing e da Samsung. No caso da Boeing que através de um simples workshop de TRIZ foi capaz de desenvolver um novo sistema de reabastecimento interno de combustível para o Boeing 767, que resultou num valor de 1.5 biliões de dólares em vendas extra. E no caso da Samsung, a equipa de TRIZ da própria empresa foi capaz de, através do método, desenvolver um novo sistema de recolha de DVDs que se traduziu numa redução de gastos na ordem dos 100 milhões de euros por ano (Retirado de: <http://www.xtriz.com/documents/TRIZSuccessCases.pdf>).

Outras empresas como a Ford e a Procter & Gamble têm vindo a utilizar este método de forma a desenvolver mais rápido e eficazmente os seus produtos e processos. E segundo Rantanen et al. (2008), tornou-se ainda mais eficiente quando o aliaram a outros métodos e filosofias mais conhecidos como o *Lean*, *Tagushi methods*, *TQM*, *6Sigma*, entre outros. Inclusive, Spreafico et al. (2016) volta a enumerar, baseando-se na literatura selecionada, até à data do seu artigo, o acumular de ligações feitas a outros métodos (Figura 7).

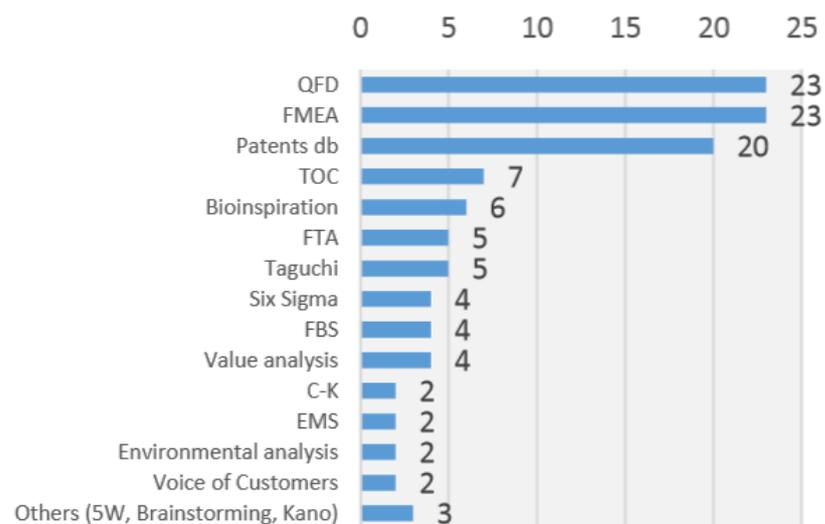


Figura 7. Frequência de combinações com o TRIZ (Spreafico et al., 2016)

2.6. Análise Custo-Benefício (ACB)

De forma a finalizar a sequência da revisão de literatura acerca do método TRIZ, é essencial enquadrar o conceito de análise custo-benefício na mesma, pois trata-se de uma tarefa imprescindível durante uma tomada de decisão estratégica, necessária na pré-implantação de um projeto e com o objetivo de se calcular o período de retorno de investimento (Ward, A., et al., 2014). Isto porque, certas soluções conduzem a grandes custos, sejam eles de cariz operacional, material ou de pesquisa.

Novamente, o intuito de uma análise desta natureza é tornar uma tomada de decisão a mais racional e sustentada possível e como tal, existem 3 tipos de ACB, a *Ex Ante*, a *In Medias Res* e *Ex Post*, sendo que as diferenças entre elas estão essencialmente no timing da sua utilização perante um projeto que necessite desta análise. A *Ex Ante* ACB acontece antes do desenvolvimento do projeto, a *In Medias Res* a meio e a *Ex Post* depois (Boardman, Mallery, & Vining, 1994).

Desta forma, depois de se identificar o timing de utilização e de se ter os custos associados à solução e ao problema em si, pode fazer-se uma estimativa a médio/longo prazo de maneira a perceber o quão rentável é essa solução (Pearce, 1983). Isto porque o custo associado a uma solução, por muito inovadora e interessante que seja, não deverá ser, de maneira alguma, superior aos custos associados originalmente causados pelo problema.

3. Caso De Estudo

Neste terceiro capítulo é apresentado, numa sequência lógica, como se abordou a investigação presente neste documento, começando pela condução do estudo, do enquadramento empresarial, seguindo para a descrição de alguns dos problemas que foram resolvidos durante o este período e o método de resolução dos mesmos.

3.1. A Empresa

A MFTE, subsidiária da Daimler AG, é uma empresa de relevo do setor automóvel dedicada à produção de viaturas comerciais da marca Mitsubishi num leque de variantes do Modelo Fuso Canter com peso bruto compreendido entre as 3,5t e as 9t. A gama de produtos pode subdividir-se entre viaturas ligeiras (categoria N1) e pesadas (categoria N2), podendo também diferenciar-se pela configuração final do produto nas suas diferentes vertentes tal como se observa na Figura 8. Esta unidade de Produção localizada no centro do país, mais concretamente na vila de Tramagal, conselho de Abrantes, no distrito de Santarém. Conta com uma capacidade instalada de cerca de 15.000 unidades por ano (a funcionar a 1 turno), tendo produzido em 2019 cerca de 12.000 unidades.



Figura 8. Modelos produzidos na MFTE (retirado de documento corporativo: apresentação oficial MFTE, 2020)

A produção em série destas viaturas depende do resultado combinado de inúmeros processos de gestão operacional desde os fluxos de encomenda de cliente, à gestão de materiais, processos de engenharia, gestão de equipamentos, planeamento operacional de execução do produto e finalmente na produção sequencial em linha de montagem.

Focando apenas nas etapas operacionais da produção (montagem) das viaturas, podemos dividir o processo em 7 subprocessos, ou linhas principais:

- Montagem E pintura de Chassis
- Montagem E pintura de Eixo
- Soldadura de cabine
- Pré-tratamento E pintura de cabine
- Revestimento de Cabine
- Subconjuntos de Linha Final
- Linha de Montagem Final

3.2. Condução do caso de estudo

O estudo retratado neste documento envolveu várias fases durante o período de estágio e investigação, sendo elas de cariz prático e teórico (Figura 9).

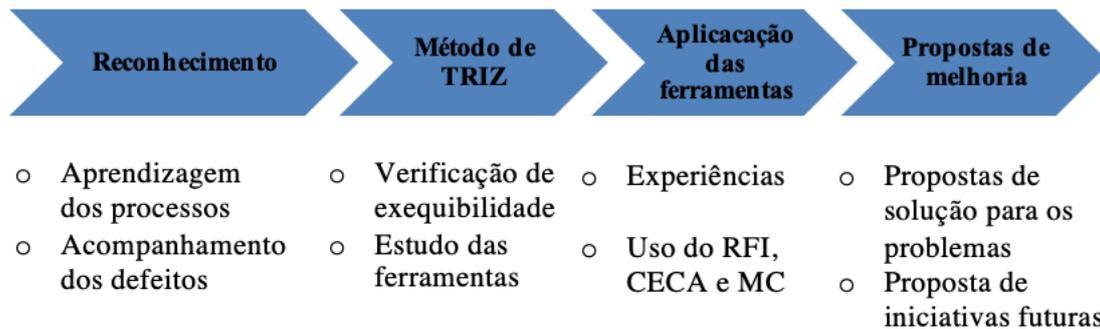


Figura 9. Etapas da fase de estudo

A nível prático, as primeiras semanas foram dedicadas essencialmente ao reconhecimento dos processos e funcionamento da empresa. Depois deste reconhecimento do processo, passou-se então para o acompanhamento dos defeitos nos vários postos de inspeção. A linha de montagem tem 6 postos de qualidade e 2 de auditoria “internos” (pintura e soldadura) onde, de forma contínua se vão verificando e retificando (conforme a sua criticidade) possíveis defeitos e erros de montagem. A complementar a estes pontos de verificação existe ainda uma auditoria de produto final acabado diária onde todos os dias são inspecionados dois veículos com o intuito de inspecionar minuciosamente possíveis defeitos não detetados durante os postos anteriores. Esses defeitos são contabilizados de “A” a “D”, sendo “A” um defeito “muito crítico” e “D” um defeito “muito pouco crítico”. Sempre que se deteta um defeito nesta inspeção, independentemente da sua criticidade, é feito um exame aos últimos veículos produzidos exatamente antes e depois do veículo de auditoria.

Ao mesmo tempo, propôs-se e introduziu-se um esquema de tomada de conhecimento (Figura 10) da parte do operador alusivo ao posto de trabalho onde ocorreram os defeitos detetados em auditoria. Desta forma, a pessoa em questão fica alerta para ocorrência do defeito e por sua vez propor ideias de melhoria e contactar o *team leader*, otimizando assim o fluxo de informação.

FUSO
DAIMLER

QFL4 - PRODUCT AUDIT REPORT

VIN: [] DPU: [] D: [] C: [] A+B: [] DPU Avr.: []

Audit Date: **16/06/2020**

Acc. Avg. ABCD A+B
Targets

Incharge:	DPU Class:	Defect Description:	Defect Picture:	Station:
PRO				

Figura 10. Folha de apoio para tomada de conhecimento

No que diz respeito ao trabalho teórico, este ocorreu sempre e simultaneamente com as restantes fases. Inicialmente optou-se por uma abordagem mais convencional, mas mais tarde, depois de validado, mudou-se o foco da investigação para o método TRIZ. Durante esta investigação, começou por se entender a exequibilidade do método neste caso de estudo, seguido da recolha e estudo da literatura disponível e de um curso online certificado.

3.3. Problemas alvo

Dentro do que é a linha de montagem da MFTE, tal como em todas as linhas de produção existem problemas. Neste caso, os problemas em estudo são aqueles que se traduzem em defeitos do produto e que até saírem para o cliente têm de ser e são efetivamente retificados.

Durante o período de investigação selecionaram-se três problemas de forma a demonstrar que a metodologia em estudo corresponde às expectativas e como foi feito. Os problemas escolhidos foram selecionados pela sua criticidade e repetibilidade e o que os distingue em termos operacionais é a sua natureza. Outros problemas foram resolvidos com uso do método, mas não foram contabilizados nos resultados finais nem não servirão de exemplo para este caso de estudo.

4. Aplicação Da Metodologia

Como referido anteriormente, recorreu-se a 3 ferramentas do TRIZ, o RFI, o CECA+ e a MC. E como tal, neste capítulo são apresentados os resultados e o uso de cada uma destas técnicas nos três diferentes problemas.

Com a aplicação do RFI foi possível caracterizar os objetivos a atingir de forma idealista, assinalar as principais barreiras e razões contra essa idealidade. Este primeiro passo acaba por ser uma rampa de lançamento para a criação do diagrama CECA+ e para a MC.

Depois de definidos os pontos de idealidade, procedeu-se à análise das causas-raiz. Para realizar esta análise foi feita uma investigação operacional de forma a encontrar todas as possíveis origens de defeitos e distingui-las em 3 categorias, as irrelevantes (que não são mencionadas), as neutras (que podem causar o defeito) e as prejudiciais (que contribuem diretamente para o efeito). Uma vez identificadas as causas, enumeram-se as principais contradições técnicas/físicas e se possível, alguns caminhos de solução ou ideias. As convenções usadas (Figura 11) para tal efeito foram ajustadas conforme as necessidades e de forma a tornar a análise mais prática, tal como Lee et al. (2018) recomendam.

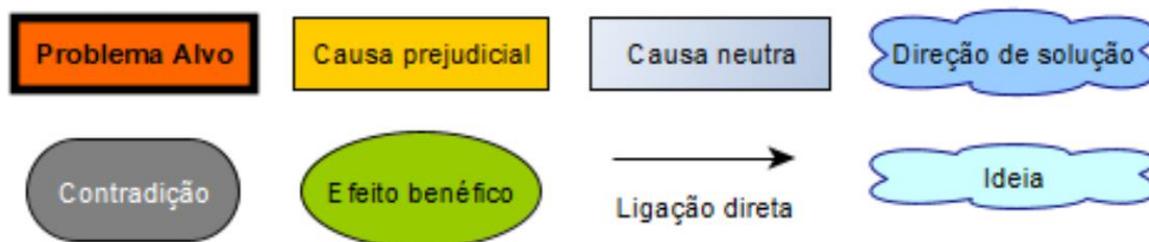


Figura 11. Nomenclatura usada na CECA+

Como última abordagem do método usou-se a matriz das contradições. A utilização da mesma resume-se ao cruzamento dos parâmetros contraditórios encontrados nos pontos anteriores, obtendo assim os princípios inventivos que dão origem às possíveis soluções.

Na ACB os custos contabilizados são as quantias associadas a cada solução e os gastos com o retrabalho. As soluções podem envolver material muito dispendioso, custos de instalação muito altos ou mesmo uma investigação demasiado aprofundada, entre outros

parâmetros. No que toca aos custos de reparação, podem ser facilmente determinados tendo em conta as horas dispensadas para remediar os defeitos e o material usado para tal.

4.1. Descrição e resolução do Problema 1: Abas das cabines esfoladas

O defeito “abas das cabines esfoladas” corresponde à falta de tinta na parte inferior exterior da cabine do veículo (Figura 12), que se torna visível quando esta é inclinada (para verificar a motorização, é necessário elevar a traseira da cabine). O defeito ocorre durante o processo de pintura automático das cabines e é detetado e reparado em todos os veículos de cabine simples (cerca de 90% do volume total), no último posto de qualidade e inspeção da linha de produção. A reparação do defeito demora cerca de 3 minutos por unidade, caso a cabine seja de cor branca (grande maioria), outras cores padecem de um tempo de reparação estimado de 9 minutos, uma vez que a cor é feita por mistura na hora da reparação.

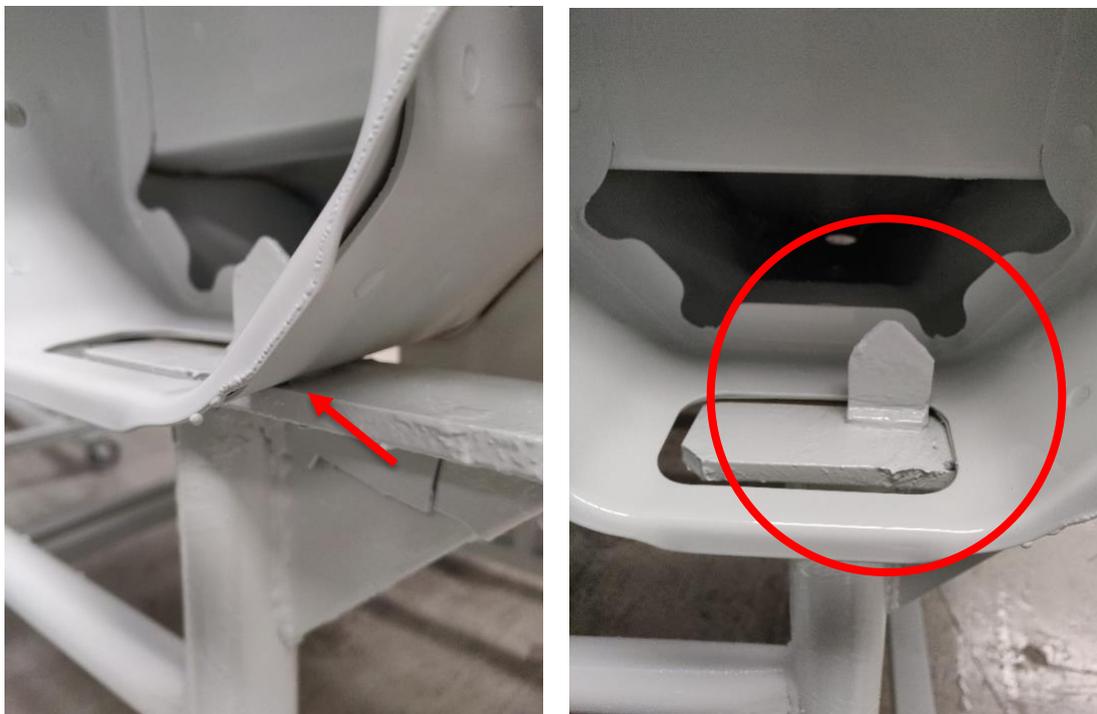


Figura 12. Zona de conflito nas abas da cabine esfolada

4.1.1. Aplicação do RFI no Problema 1

No caso das abas das cabines esfoladas, o resultado obtido pela metodologia RFI observa-se na figura seguinte e conclui-se que existe uma zona de conflito entre a cabine e os pontos de apoio. Idealmente a solução passaria por levantar a cabine, sem que ela estivesse assente em lado algum, para que os robôs de pintura conseguissem penetrar toda a superfície. Em contrapartida, existe a necessidade de as cabines assentarem no carro de transporte, sem alterarem a sua posição, para que não haja desvios na sequência de pintura dos robôs.

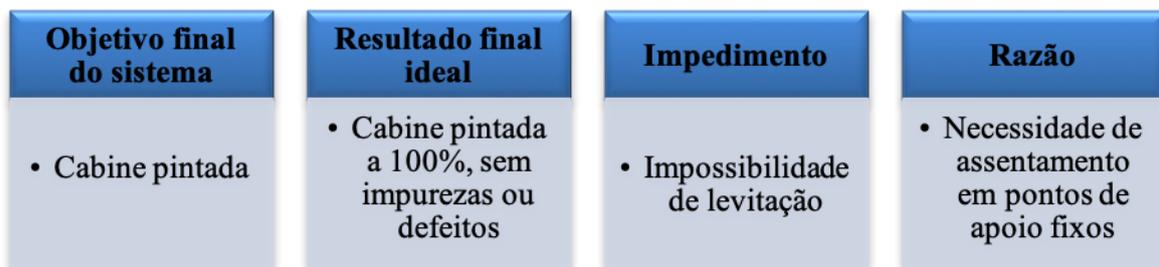


Figura 13. Resultados obtidos pelo RFI para o problema das cabines esfoladas

4.1.2. Aplicação do CECA+ no Problema 1 (Figura 14)

Causas-raiz: no que diz respeito aos fatores que estão a provocar o defeito das cabines esfoladas, concluiu-se que recaem essencialmente sobre o método e os meios.

Relativamente ao método, sabe-se que o mesmo não é eficaz uma vez que é impossível, por parte dos robôs, a deposição de primário de pintura e esmalte (top coat) na zona afetada. Ainda a nível do método, o mesmo não se revela eficaz uma vez que na zona destinada à reparação e correção dos defeitos, ocorridos durante a etapa de pintura, não é possível o acesso para reparação da zona afetada.

A nível dos meios, identificou-se que a causa prejudicial para este caso é a não adequação dos pontos de apoio da cabine no trolley de transporte que impossibilita a deposição de tinta na cabine.

Contradições: uma vez que a solução passaria por alterar a configuração do *trolley*, ou elevar a cabine durante a fase de pintura robotizada ou manualmente na zona de inspeção e correção de pintura, facilmente se identificaram as contradições técnicas. Para colmatar a questão da pintura manual (método) estar-se-ia a aumentar indevidamente o tempo de ciclo e complexidade desse posto de trabalho. Relativamente às soluções alusivas à obstrução, não é viável movimentar ou alterar a posição das cabines durante o processo de pintura pois daria origem a outros tipos de defeitos causados pelo condicionamento das rotas de pintura usadas pelos robôs. Estas ações diminuiriam a qualidade da pintura e aumentariam o tempo e complexidade do processo.

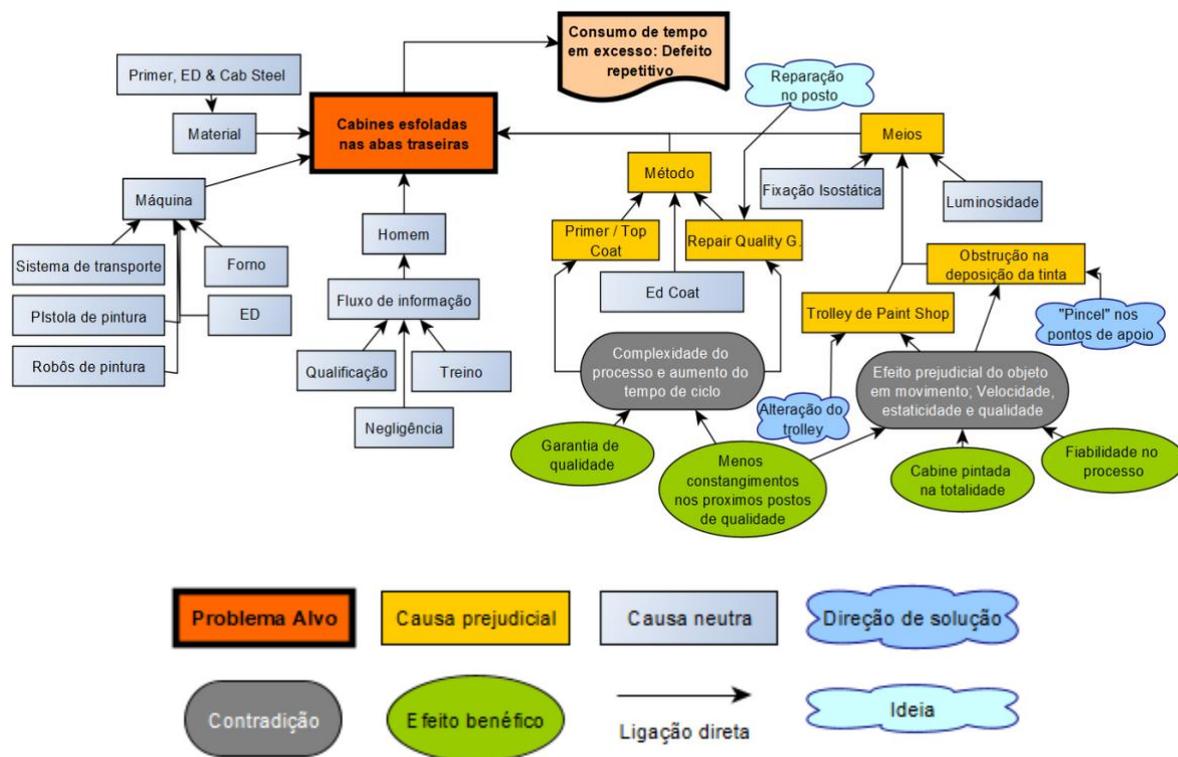


Figura 14. Resultados obtidos na CECA+ para o problema das cabines esfoladas nas abas traseiras (com legenda)

4.1.3. Aplicação da MC no Problema 1

Com base nos resultados obtidos pela aplicação do método CECA+ e com a análise que foi feita no RFI, identificou-se o parâmetro de engenharia a melhorar e a usar na matriz das contradições:

- 23 – Perda de uma substância– uma vez que se pretende que o sistema (cabine + *trolley*) exista, mas de forma a que este não perca tinta na zona das abas.

Novamente, através da análise dos resultados obtidos no CECA+, mais propriamente na identificação de contradições, enumeraram-se os parâmetros prejudicados ao eliminar as causas-raiz correspondentes:

- 9 – Velocidade - ao eliminar as causas diretamente, como por exemplo o levantamento da cabine na zona de pintura, estar-se-ia a diminuir a velocidade de processo.
- 25 – Perda de tempo – pela mesma razão do parâmetro 9, estar-se-ia a aumentar o tempo de ciclo de processo.
- 26 – Adaptabilidade ou versatilidade – ocorreria alterando o *timing* da reparação, constringindo assim o posto de inspeção da pintura.
- 39 – Produtividade ou capacidade - pela mesma razão dos parâmetros 9 e 25, possíveis alterações desse tipo diminuiriam também a produtividade.

No que diz respeito aos resultados, depois do cruzamento de parâmetros, foi possível apurar-se os princípios inventivos representados na figura seguinte.

	Parâmetro prejudicado Parâmetro a melhorar	Velocidade	Perda de tempo	Adaptabilidade ou versatilidade	Produtividade ou capacidade
		9	25	35	39
23	Perda de uma substância	10, 13, 28, 38	15, 18, 35, 10	15, 10, 2	28, 35, 10, 23

Figura 15. Resultado da utilização da MC para o problema 1

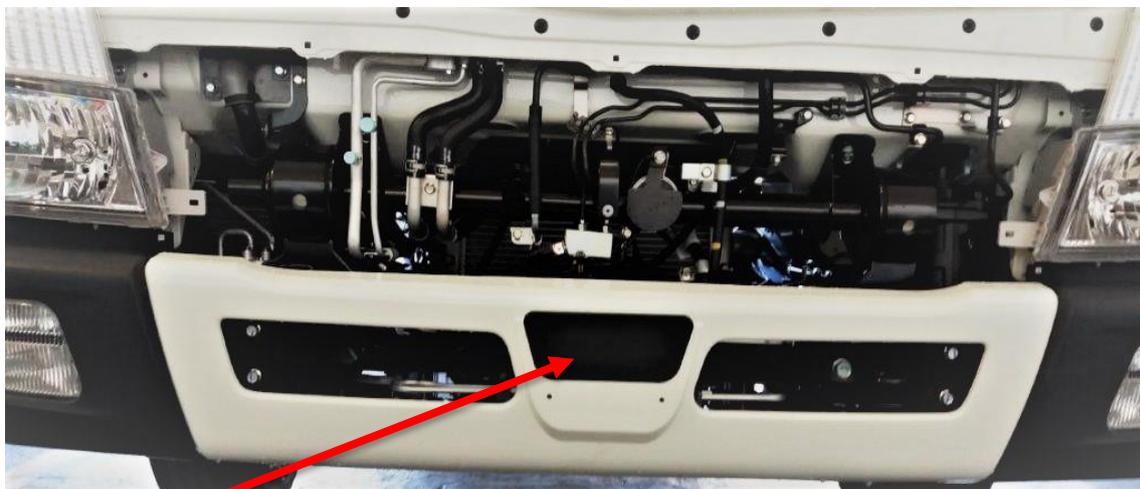
De todos os princípios obtidos anteriormente e após um breve estudo sobre as suas aplicabilidades, conclui-se que, os princípios 2 (“extração”) e 10 (“ação antecipada”) seguem direções de solução que efetivamente solucionariam o problema em questão. Os restantes princípios mostraram-se inexequíveis por não estarem relacionados com a matéria em questão ou por irem contra questões de homologação do veículo.

4.2. Descrição e resolução do Problema 2: Montagem para-choques não indicado

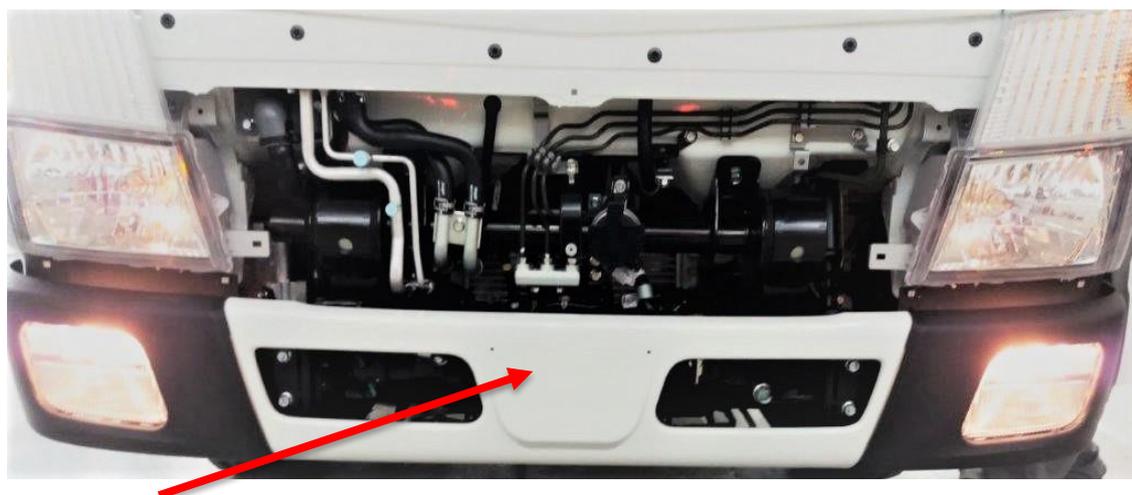
O defeito “montagem errática do para-choques da frente” é exatamente a montagem de um para-choques não indicado para uma determinada viatura (Figura 16). Existem 5 tipos de para-choques diferentes que variam consoante o tipo e a homologação da viatura em questão. O defeito ocorre quando durante o processo de submontagem do para-choques, é selecionada a peça incorreta para a viatura que se encontra em sequência de montagem. Uma vez que não é detetada a falha no processo subsequente de instalação do para-choques na viatura, o mesmo acaba por ser detetado tardiamente no último posto de qualidade e inspeção da linha de produção, o mesmo acaba por implicar um retrabalho à posteriori já para lá do processo de montagem (zona de reparações pós linha de inspeção

final) implicando um retrabalho com duração de cerca de 27 minutos por unidade: 5 minutos para desmontar, 3,5 minutos para conjugar, 5 minutos para instalar, 8 minutos para calibrar e testar resposta de radar de assistência à travagem e 5 minutos para movimentações da viatura, entre zonas de reparação, 1OK e 2OK,

Trata-se de um defeito esporádico, no entanto crítico. O nível de criticidade é alto quer devido ao tempo de reparação do defeito, quer, principalmente pelo facto de se tratar de um item de regulamentação, razão pela qual é sujeito a uma operação de inspeção específica em duas das portas de qualidade no ciclo final de validação de produto (1OK e 2OK).



Viatura N2 com corte para radar de assistência à travagem



Viatura N1 sem corte para radar de assistência à travagem

Figura 16. Exemplo Conjunto: para-choques/ cabine. Com e sem orifício para radar de assistência à travagem (radar obrigatório para viaturas de classe N2 e opcional para viaturas de classe N1)

4.2.1. Aplicação do RFI no Problema 2

Relativamente ao problema com a montagem dos para-choques, o resultado obtido nesta análise pode observar-se na figura seguinte e pode-se concluir que existe um problema com o facto da peça em questão ter diferentes especificações e que a solução ideal passaria por comunizar a peça, passando a haver uma única referência, eliminando a necessidade de seleção de componente e por sua vez o erro. No entanto, existem homologações e preferências dos clientes que não podem ser ignoradas (Figura 17).

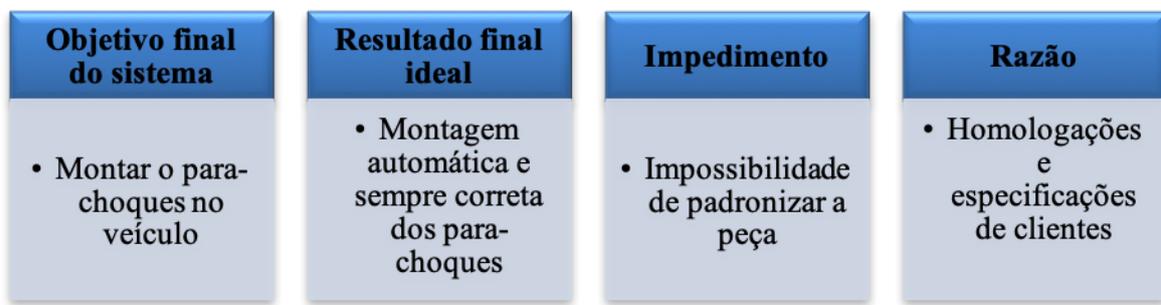


Figura 17. Resultados obtidos pelo RFI para o problema da montagem do para-choques não indicado

4.2.2. Aplicação do CECA+ para o Problema 2 (Figura 18)

Causas-raiz: os resultados obtidos para as causas prejudiciais no Problema 2 são visíveis em 4 das 5 categorias de possíveis causas: no material, no homem, no método e nos meios. A nível do material sabe-se que existe um problema com a cadeia de abastecimento dos para-choques da frente, por ser demasiado complexo e por vezes acontecerem falhas. A nível do homem é possível verificar também alguma negligência durante a escolha e verificação da peça, sendo que o operador tem informação (pouco visível) acerca da correspondência entre peças. No que diz respeito ao método subsistem 2 problemas, o operador não pode simplesmente coletar e instalar a peça (como devia acontecer) e não existe qualquer tipo de controlo, seja ele humano ou automático. Relativamente aos meios, é evidente que a informação e o suporte disponíveis não são suficientes.

Contradições: resolver o problema de abastecimento iria consumir demasiado tempo dada a sua complexidade. A nível de controlo de instalação, adicionar uma verificação automática ou um *4 eye principle* iria consumir demasiados recursos. Para combater o problema que existe com os meios de operação, estar-se-ia a aumentar a complexidade do sistema, indevidamente (contradições técnicas).

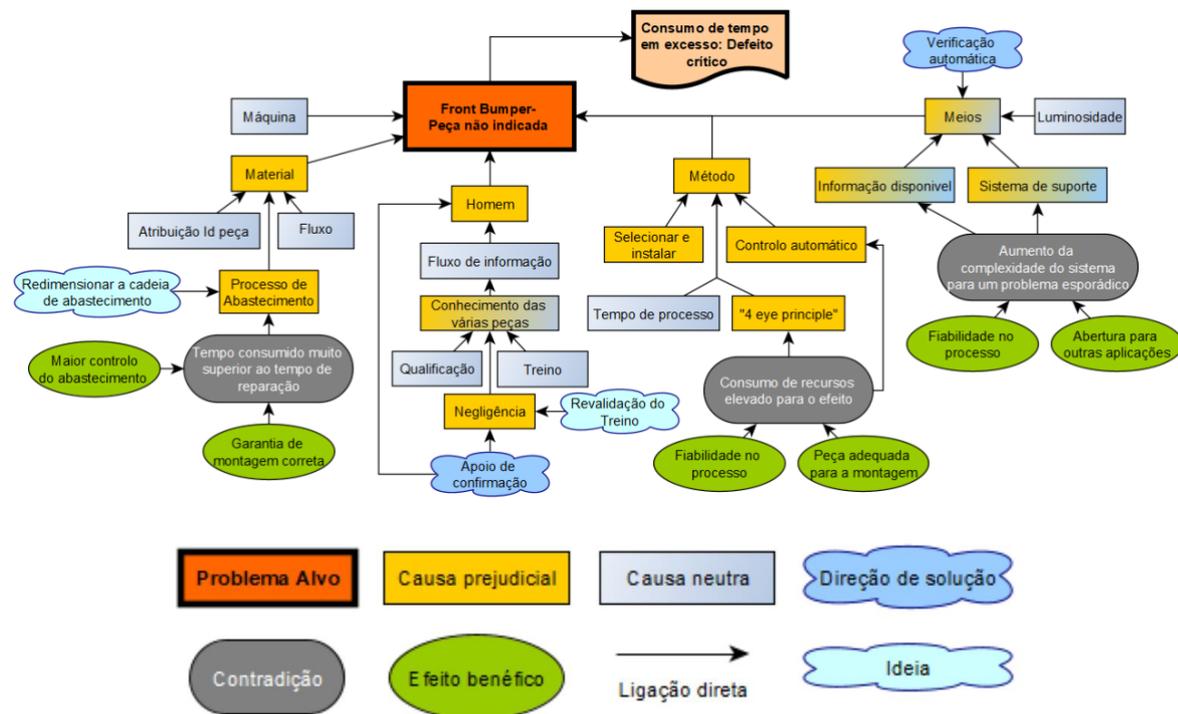


Figura 18. Resultados obtidos na CECA+ para o problema para-choques não indicado (com legenda)

4.2.3. Aplicação da MC no Problema 2

Com base nos resultados obtidos pela aplicação do método CECA+ e com a análise que foi feita no RFI, identificou-se o parâmetro de engenharia a melhorar e a usar na matriz das contradições:

- 27 – Confiabilidade– uma vez que se pretende que o sistema (cabine + para-choque) seja montado corretamente cumprindo todas as normas.

Novamente, através da análise dos resultados obtidos no CECA+, mais propriamente na identificação de contradições, enumeraram-se os parâmetros prejudicados ao eliminar as causas-raiz correspondentes:

- 25 – Perda de tempo - ao eliminar as causas diretamente, como por exemplo o processo de abastecimento, estar-se-ia a consumir demasiado tempo.
- 35 – Adaptabilidade ou versatilidade – ao retrabalhar o processo de abastecimento iria eliminar este problema, mas por sua vez diminuiria a versatilidade do sistema.

No que diz respeito aos resultados, depois do cruzamento de parâmetros, foi possível apurar-se os princípios inventivos representados na figura seguinte.

		Parâmetro prejudicado	
		Perda de tempo	Adaptabilidade ou versatilidade
		25	35
27	Confiabilidade	10, 30, 4	13, 35, 8, 24
		Parâmetro a melhorar	

Figura 19. Resultado da utilização da MC para o problema 2

De todos os princípios obtidos anteriormente e após um breve estudo sobre as suas aplicabilidades, conclui-se que, mais uma vez, os princípios 10 e 35 seguem direções de solução que efetivamente solucionariam o problema em questão. No entanto, apenas o princípio 10 (“ação antecipada”) será utilizado posteriormente. Já o princípio 35 (“mudança de parâmetros”) será excluído por questões de homologação, em que a peça em questão não deverá, de maneira alguma, ser alterada.

4.3. Descrição e resolução do Problema 3: Manchas brancas no *trim* do pilar traseiro

O defeito “manchas brancas na forra do pilar traseiro” é exatamente o aparecimento/criação de manchas brancas na peça em plástico cinzento escuro usada no revestimento interior dos pilares traseiros da cabine (Figura 20). O defeito ocorre durante o processo de montagem da devida peça e é detetado e reparado, no último posto de qualidade e inspeção da linha de produção. A reparação do defeito demora cerca de 2 minutos.

Trata-se de um defeito recorrente, pois aparece praticamente em todos os modelos de cabine larga e o nível de criticidade depende do tamanho e da zona onde aparece a mancha, podendo esta ser numa zona visível ou não. Pode-se também constatar na figura 21, que representa o lado interior da peça plástica onde se observam os pinos destinados à fixação desta nos cortes dos pilares da cabine, que as manchas aparecem em 90% e 70% dos veículos nas zonas dos pinos 2 e 9 e na zona do pino 7, respetivamente.



Figura 20. Peça: Trim pilar traseiro. Representação do defeito

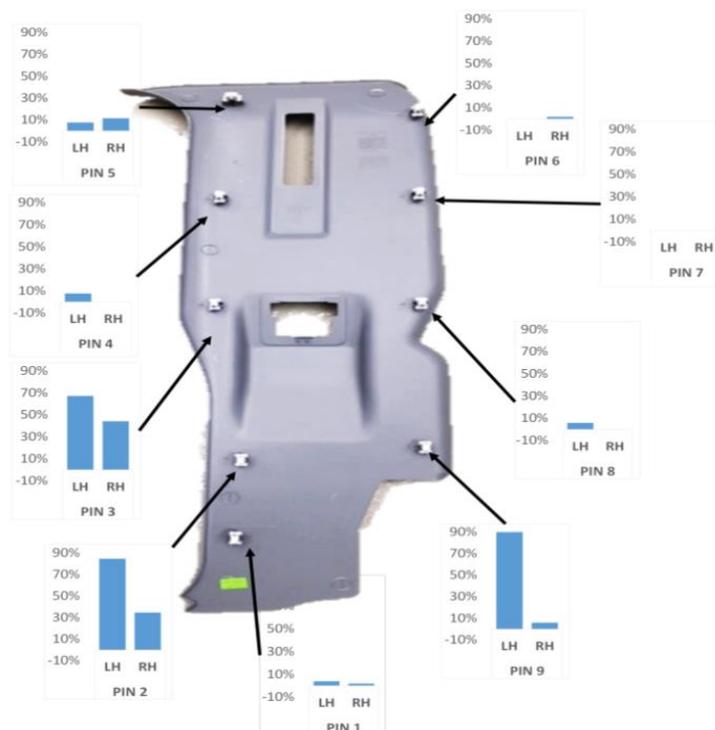


Figura 21. Peça: Trim pilar traseiro. Análise de recorrência de manchas por zonas

4.3.1. Aplicação do RFI no Problema 3

Através do RFI, é possível observar um certo conflito na zona de encaixe entre o *trim* do pilar traseiro e a chapa da cabine. Assim sendo, a solução ideal seria, efetivamente, que as peças se conjugassem automaticamente e sem tensão entre elas. Tal não será possível, através da alteração geométrica ou de propriedades das peças, uma vez que existem especificações, desenhos técnicos e parâmetros de segurança que inviabilizam essas alterações, para além de que no caso da peça plástica de revestimento, implicaria avultados investimentos ao nível dos moldes de injeção (Figura 22).

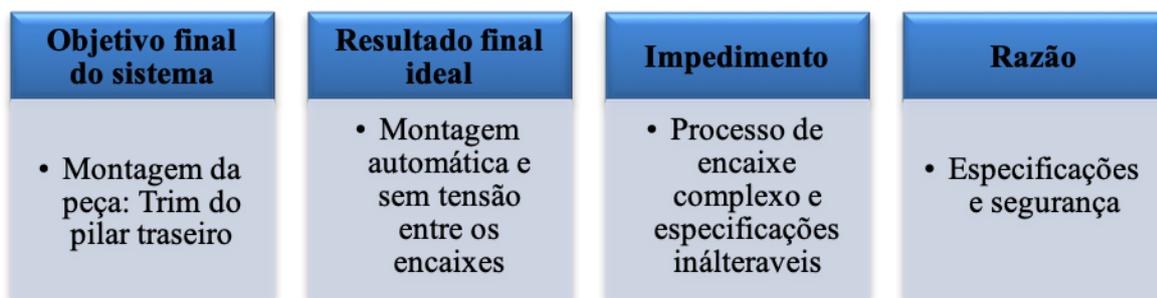


Figura 22. Resultados obtidos pelo RFI para o problema das manchas no trim do pilar

4.3.2. Aplicação do CECA+ no Problema 3 (Figura 23)

Causas-raiz: o diagrama de *cause effect chain analysis plus*, representado na Figura 21, quando aplicado a este defeito mostra que as principais causas deste problema são: o desgaste dos *jigs* de soldadura, a lacuna que existe no controlo dimensional da cabine (o controlo dimensional é efetuado apenas a nível de cotas estruturais por meio de “gabarits”, tendo passado a medição tridimensional a ser efetuada apenas quando necessário) e deficiência de conjugação entre as peças que constituem a cabine, e a peça do *trim*. Destas 3 causas apenas duas eram conhecidas, uma vez que a deficiência na conjugação das peças era um dado não considerado como potencial causa até à data da análise CECA+. Tal como Lee et al. (2018) preveem na aplicabilidade do método, mostrou-se possível encontrar causas desconhecidas, neste caso, não considerada.

Contradições: as manchas no pilar seriam erradicadas ao eliminar estas causas, no entanto, o ajuste da conjugação das peças de cabine (forra interior do pilar) potencialmente prejudicaria a conjugação de outro subsistema, tratando-se de uma contradição física. (exemplo: montagem das borrachas vedantes das portas causando eventuais problemas de estanquicidade). Já o controlo dimensional da cabine e dos *jigs* requereriam recursos atualmente indisponíveis (equipamento e mão-de-obra), mostrando ser uma contradição técnica.

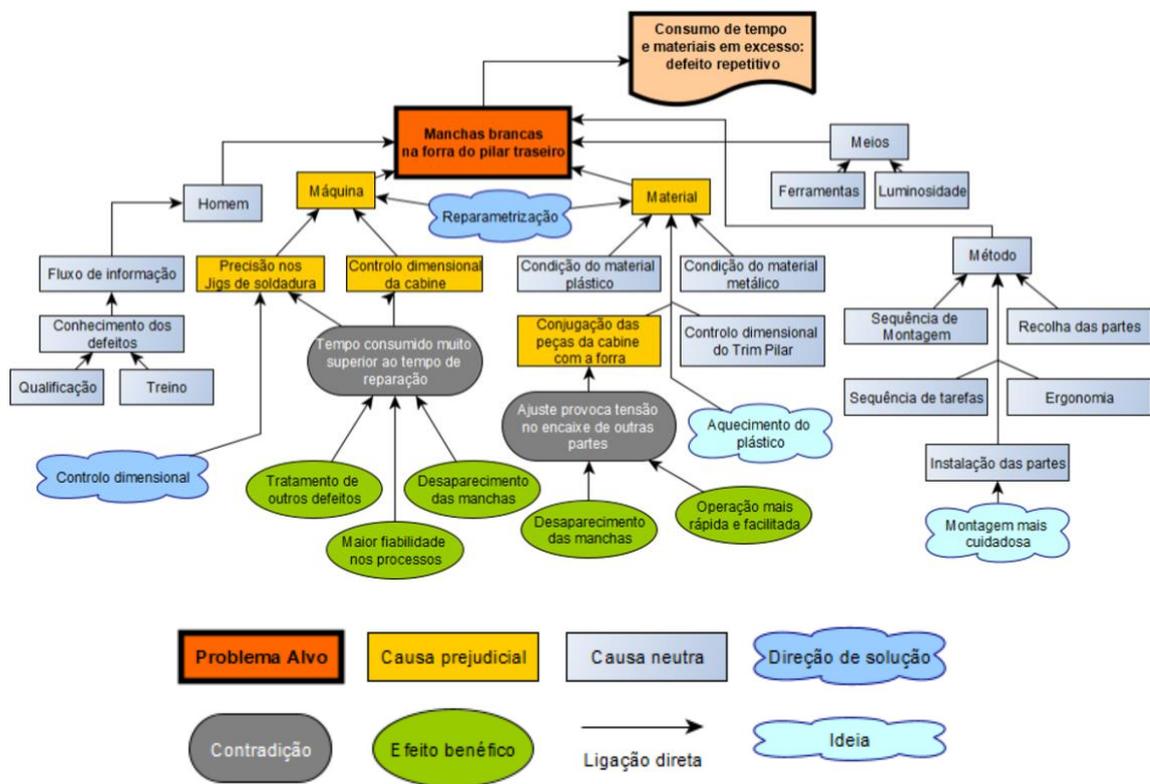


Figura 23. Análise CECA+ no Problema 3 (com legenda)

4.3.3. Aplicação do MC no Problema 3

Com base nos resultados obtidos pela aplicação do método CECA+ e com a análise que foi feita no RFI, identificaram-se os parâmetros de engenharia a melhorar e a usar na matriz das contradições:

- 11 – Pressão/Tensão – uma vez que se pretende reduzir a tensão na zona de conflito entre os pinos e os rasgos da cabine.

- 13 – Estabilidade da composição de um objeto – sendo que o objetivo passa por manter a composição inicial da forra do *trim*.

Novamente, através da análise dos resultados obtidos no CECA+, mais propriamente na identificação de contradições, enumeraram-se os parâmetros prejudicados ao eliminar as causas-raiz correspondentes:

- 11 – Pressão/Tensão – que aumenta noutras zonas de contacto da cabine ao modificar a conjugação das peças que constituem o pilar e o *trim*.
- 39 – Produtividade ou capacidade – uma vez que diminui a produtividade caso haja a necessidade de verificar regularmente os *jigs* de soldadura e dimensões da cabine.

Em termos de resultados, depois do cruzamento de parâmetros, foi possível ter acesso aos princípios inventivos representados na figura seguinte.

		Parâmetro prejudicado	
		Pressão / Tensão	Produtividade ou capacidade
Parâmetro a melhorar		11	39
11	Pressão / Tensão	-	10, 14, 35, 37
13	Estabilidade da composição do objeto	2, 35, 40	23, 35, 40, 3

Figura 24. Resultado da utilização da MC para o problema 3

Depois de gerados os princípios inventivos que resolvem as contradições acima indicadas, foram estudadas as hipóteses de solução partindo de cada um deles, chegando à conclusão de que os princípios 35 (“mudança de parâmetros”) e 40 (“materiais compostos”) seriam sugestões interessantes no sentido em que se enquadram perfeitamente no que diz respeito às necessidades de resolução do problema em questão. Os restantes princípios

revelam ideias interessantes mas não aplicáveis para o efeito, tal como o princípio 35 que posteriormente se mostrou inexecutável, por questões de homologação.

5. Propostas De Melhoria

Perante os resultados obtidos no capítulo anterior, tornou-se possível, de forma análoga e com recurso ao conhecimento adquirido neste setor, gerar soluções concretas para os problemas em estudo. Dessa forma, serão descritas neste capítulo as propostas de solução, devidamente fundamentadas pela ACB do estilo *Ex Ante*.

5.1. Proposta de solução: Problema 1 – abas das cabines esfoladas

Perante os resultados obtidos com a aplicação da metodologia anteriormente exposta, identificaram-se vários princípios inventivos, mas apenas dois (2 e 10) se mostraram passíveis de se aplicarem, sendo que, tanto o princípio “2 – Extração” como o “10 – Ação Antecipada” transmitem ideias que se enquadram perfeitamente. Como tal, seguiu-se a linha de orientação dos dois princípios, traduzindo-se na ideia de introdução de uma ação que impeça que haja falta de tinta, extraindo ou reduzindo a zona de conflito do sistema, dando origem à proposta de uma solução que passa por duas fases:

- **1ª fase (contenção)** – está em curso, com conclusão estimada até ao final do mês de julho, a reconfiguração do trolley de transporte de cabine na zona de revestimento (Figura 25) com vista a permitir e reduzir o tempo de retrabalho associado à reparação da zona não pintada, uma vez que a mesma fica desobstruída não exigindo operações adicionais da elevação da cabine para reparação, ou seja, o retrabalho não desaparece para já, mas pode ser efetuado mais cedo e a mais facilmente.



Figura 25. Proposta de alteração do trolley de transporte de cabine no processo de revestimento

- **2ª fase (contramedida)** – ficou proposto a reconfiguração do trolley de transporte de cabine na zona de pintura incidindo na causa-raiz, permitindo a aplicação de pintura por parte dos robôs e por sua vez eliminada a zona de contacto, acabando com o defeito.

Estamos perante uma solução de nível 1 e em termos de ACB, chegou-se à conclusão de que a aplicabilidade é viável e que trará resultados bastante favoráveis a curto/médio prazo (demonstrado no seguinte subcapítulo).

5.1.1. Análise custo-benefício e tomada de decisão para o Problema 1

Para estimar o benefício alusivo à implementação quer da 1ª como da 2ª fase, deverá ser considerado o custo do retrabalho associado à reparação do defeito (0,50€/unidade - tendo em conta os 3 minutos consumidos), bem como o consumo de tinta (0,20€) gasto em cada unidade. Os restantes valores utilizados foram estimados consoante orçamentos anteriormente feitos pela empresa e dados recolhidos do servidor.

Na implementação da 1ª fase será necessária a correção de 40 *trolleys* de transporte de cabine na zona de revestimento, com um custo estimado unitário de 20€/trolley (preço estimado tendo em conta o aproveitamento dos tubos metálicos, o uso

do gás e filamento de soldadura, a tinta e a mão-de-obra), equivalendo a um investimento total de 800€.

A implementação desta fase permite reduzir o gasto com mão-de-obra associada à reparação do defeito das abas esfoladas de 0,50€/unidade para 0,05€/unidade (estimativa para 20 segundos de retrabalho), mantendo-se, no entanto, o valor de 0,20€/unidade gasto em tinta empregue na correção.

Considerando-se para efeito de cálculo um volume de produção de 11.000un/ano (volume de produção atingido em 2019):

Investimento para implementar 1ª fase: 800€
*Custos de retrabalho atual: 11000 un * 0,70 €/un = 7700 €/ano*
*Custos de retrabalho após fase 1: 11000 un * 0,25 €/un = 2750 €/ano*
Redução de custo após implementação: 7700€ – 2750€ = 4950€/ ano
Periodo de retorno: $\frac{800(\text{€})}{0,70\left(\frac{\text{€}}{\text{un}}\right)} = 1143\text{un} \approx \mathbf{1,2 \text{ meses}}$

Espera-se com a implementação da 2ª fase a erradicação do problema, reduzindo os custos de reparação a 0€. Restando neste caso calcular o período necessário à amortização do investimento.

Na implementação da 2ª fase será necessária a correção de 120 trolleys de transporte de cabine na zona de pintura, com um custo estimado unitário de 30€/trolley, equivalendo a um investimento total de 3600€. Considerando uma vez mais para efeito de cálculo um volume de produção de 11.000un/ano (volume de produção atingido em 2019):

Investimento para implementar 2ª fase: 3600€
*Custos de retrabalho após fase 1: 11000 un * 0,25 €/un = 2750 €/ano*
*Custos de retrabalho após fase 2: 11000 un * 0,00 €/un = 0 €/ano*
Redução de custo após implementação: 2750€ – 0€ = 2750€/ ano
Periodo de retorno: $\frac{3600(\text{€})}{0,25\left(\frac{\text{€}}{\text{un}}\right)} = 14.400\text{un} \approx \mathbf{1,3 \text{ anos}}$

5.2. Problema 2 – Montagem errática dos para-choques não indicados

Perante os resultados obtidos com a aplicação da metodologia anteriormente exposta, identificaram-se dois princípios inventivos que sugerem soluções interessantes (10 e 35), sendo que o princípio “35 – Transformação de Propriedades” não seria aplicável por se tratar de um problema alusivo a um *item* de homologação. Como tal, seguiu-se a linha de orientação do princípio “10 – Ação Antecipada”, traduzindo-se na ideia de introdução de uma ação que impeça, ou o abastecimento errado de peças, ou a montagem do para-choques errado, dando origem à proposta de uma solução que passa por duas fases:

- **1ª fase (contenção)** - Proposta de contenção através de sistema de suporte e validação de abastecimento, demonstrada no esquema seguinte.

Criação de processo de validação

Perante as dificuldades em encontrar o "match" entre o *bumper* e a cabine, propõe-se um processo de validação. Que passará por acrescentar duas etapas ao processo predefinido para tal tarefa. Seguindo a seguinte proposta:

Etapa N°1: Leitura do código do veículo



Etapa N°2: Visualização em ecrã do modelo do *Bumper* associado ao veículo



Etapa N°3: Seleção do *bumper* no rack



Etapa N°4: Verificação e validação no *display*



Etapa N°5: remate da validação

Caso se valide:

- Montagem do para-choques

Caso não se valide:

- Alerta para a equipa de abastecimento

- **2ª fase (contramedida)** – Stampagem de *part-number* no para-choques, com vista a requalificar o abastecimento da peça, garantindo o fornecimento e seleção corretos.

Estamos perante uma solução de nível 1 e em termos de ACB, chegou-se à conclusão de que a aplicabilidade é viável e que trará resultados bastante favoráveis a curto/médio prazo (demonstrado no seguinte subcapítulo).

5.2.1. Análise custo-benefício e tomada de decisão

Como se trata de um defeito com baixo grau de ocorrência, o maior ganho neste caso, é efetivamente ao nível da prevenção da falha e do incremento da garantia de qualidade do produto final, particularmente por esta falha afetar um *item* de regulamentação e ter um forte impacto na empresa caso o veículo saia da fábrica com este defeito.

Neste caso, a ACB por si só provavelmente desaconselharia a implementação, tal como se pode constatar nos dados abaixo.

A taxa de falha do defeito encontra-se abaixo das 5 ocorrências por ano, sendo que o retrabalho necessário à reparação equivale a cerca de 27 minutos de mão-de-obra, ou seja cerca de 2,5h/ano.

No que diz respeito à 1ª fase de solução, ficou apenas proposto a sua implementação que teria um custo de investimento estimado em 500€ (50% hardware e 50% software), com base numa analogia feita a um projeto similar, orçamentado no decurso do período de estágio (sistema de informação de suporte à montagem de cintos de segurança opcionais).

Relativamente à 2ª fase, não é possível fazer a análise custo-benefício, uma vez que depende de consulta a fornecedores, consulta esta ainda não efetuada à data.

5.3. Problema 3: Manchas brancas no *trim* do pilar traseiro

Perante os resultados obtidos com a aplicação da metodologia anteriormente exposta, identificaram-se dois princípios inventivos que fazem sentido (35 e 40), no entanto, o princípio “35 – Transformação de Propriedades” não seria aplicável no imediato por colidir com requisitos técnicos do produto, por isso seguiu-se a linha de orientação do princípio “40 – Materiais Compostos”, traduzindo-se, neste caso, na análise dos efeitos combinados do posicionamento de cada um dos elementos que compõem a cabine em chapa (fundo, forra exterior do pilar e forras interiores do pilar), uma vez que no caso da peça plástica (*trim* interior do pilar) se trata de um elemento único e proveniente de processo de injeção não sujeito a variação de posicionamento nos seus pinos de fixação. O princípio não implicou uma maior segmentação (como sugerido) das peças, mas sim a avaliação da margem de

manobra para reajuste do posicionamento dos vários elementos de chapa, que constituem o pilar da cabine. Procurando-se otimizar o alinhamento com os pinos de fixação da peça plástica, passando por duas fases:

- **1ª fase (contenção)** – A nível de contenção do problema foi verificado o posicionamento e assentamento das peças metálicas relevantes para o problema nos respetivos “gabarits” de soldadura, tendo-se detetado a necessidade de corrigir o assentamento da peça que constitui o fundo da cabine. Resultando na redução drástica desse defeito.

- **2ª fase (contramedida)** – propõe-se a medição e confirmação de ajustes adicionais que permitam a erradicação do problema. Adicionalmente, por forma a prevenir recorrência propõe-se que, uma vez definida a condição ideal da geometria de soldadura da cabine se estabeleça, quer por meio de verificação rápida (“gabarits” de inspeção), quer por meio de medição tridimensional periódica, um plano de controlo específico para estas ferramentas de processo.

Estamos perante uma solução de nível 1 e em termos de ACB, chegou-se à conclusão de que a aplicabilidade é viável e que trará resultados bastante favoráveis a curto/médio prazo (demonstrado no seguinte subcapítulo).

5.3.1. Análise custo-benefício e tomada de decisão

A 1ª fase não implicou outro investimento adicional que não o das horas de investigação, do tempo dedicado ao reajuste do “gabarits” de soldadura de fundo de cabine, podendo-se inclusive considerar-se esta ação como uma ação de manutenção corretiva comum. Já ao nível dos retornos e observando os resultados médios da taxa de falha (manchas brancas no *trim* interior do pilar) ocorridos em 2019 que significaram 1,2h/dia de retrabalho, por comparação com os resultados médios de 0,37h/dia observados após intervenção (fevereiro, 2020) no processo de soldadura de cabine, apurou-se uma redução na ordem dos 68% na mão-de-obra dedicada ao retrabalho deste defeito.

Espera-se com a implementação da 2ª fase a erradicação do problema, no entanto não foi possível até à data implementar a mesma, por via da indisponibilidade temporária do

equipamento de medição tridimensional. Desta forma, não foi possível estimar os custos de implementação:

- Tempo de programação de equipamento de medição 3D e operações de medição.
- Orçamento para produção de “gabarits” de controlo.

6. Conclusões

O principal objetivo desta dissertação foi a análise e resolução de problemas durante o processo de montagem de veículos Fusco Canter através de uma metodologia baseada na Teoria da Resolução Inventiva de Problemas, processo robusto de *problem solving* que recorre à recombinação de outros métodos tradicionais, olhando para os problemas de uma perspectiva diferente, invertendo o prisma de análise focando o objetivo no resultado final ideal.

No que diz respeito à metodologia, pode-se proferir que a mesma se traduziu em resultados bastante satisfatórios e acima da expectativa, uma vez que foi possível resolver e/ou propor soluções para os problemas repetitivos, esporádicos, triviais e complexos, bem como encontrar causas-raiz desconhecidas ou anteriormente descartadas. Algo que está perfeitamente alinhado com os objetivos da organização, indo de encontro com o objetivo mensal de identificação e redução de defeitos resultando na redução de custos associados à reparação dos mesmos.

A nível de custo benefício mostrou-se vantajoso ter alguém dedicado ao propósito de uma análise organizada de causas raiz e por sua vez a eliminação dos defeitos de forma metódica, com uso das ferramentas adequadas. Relativamente aos gastos correspondentes a esta investigação sistemática, sabe-se que, em cerca de 50 dias de estágio foi possível encontrar soluções para os 3 problemas enunciados e para outros que foram alvo de estudo, mas não se encontram documentados neste trabalho, o que mostra rentabilidade ao usar a metodologia.

Com este trabalho foi também possível contribuir para o conhecimento existente sobre esta matéria que recai sobre a utilidade do método TRIZ na redução de defeitos alusivos à montagem de veículos. Conseguiu-se que a experiência, demonstração e conjugação de ferramentas conduziu a um estudo inovador.

De forma geral o resultado foi bastante satisfatório, no entanto, dadas as circunstâncias atuais, não foi possível introduzir todas as medidas pretendidas a nível das soluções, como se pode observar nas propostas para o problema das manchas brancas.

6.1. Trabalho Futuro

Nos dias que correm, o TRIZ é cada vez mais utilizado na união europeia e por sua vez em Portugal, começa a ser lecionado em algumas universidades, em cursos online, *webinars* e formações.

Posto isso, e tendo em conta que autores como Moussa, Guio, Dubois, Rasovska e Benmoussa (2019) contribuem para a literatura com artigos sobre conjugações do TRIZ, mais propriamente do ARIZ (algoritmo de resolução inventiva de problemas), com métodos de *lean warehousing* e simulação de eventos discretos, e sobre como a sua união propõe soluções eficazes para questões de otimização, simulação e balanceamento de produção ou stocks, sugere-se o estudo e aprendizagem desses mesmos artigos e outros relacionados. Os mesmos autores recomendam também a investigação da mesma metodologia, mas conjugada com simulação computacional, algo que ainda não foi estudado e que seria algo aliciante de se deslindar.

Desta forma, algo que é aconselhado como trabalho futuro é exatamente o estudo aprofundado das restantes ferramentas do TRIZ, através de ações de formação ou cursos online, e a maneira como elas combinam com métodos de otimização, simulação, *TQM*, *lean manufacturing*, *lean warehousing*, entre outros.

Referências Bibliográficas

- Abramov, O. Y. (2015). Triz-Based Cause and Effect Chains Analysis Vs Root Cause Analysis. TRIZfest 2015. Retrieved from <https://triz-journal.com/triz-based-cause-and-effect-chains-analysis-vs-root-cause-analysis/>.
- Altshuller, G. (1999). Tools of classical TRIZ. Southfield, MI: Ideation International.
- Amer, Y., Ong, M. S., Al-Zuheri, A., Doan, L. T., & Tran, D. T. (2019). A Systematic Framework to Integrate TRIZ Into DFSS for New Product Development. 2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE). doi:10.1109/icsse.2019.8823117
- Andersen, B., & Fagerhaug, T. (2019). Root cause analysis: Simplified tools and techniques. Vancouver, B.C.: Langara College.
- Arcidiacono, G., and A.p. Mirarchi. "TRIZ Analysis for Solving Problem in the Production of Aluminium Food Containers." *Universal Journal of Mechanical Engineering*, vol. 2, no. 8, 2014, pp. 256–265., doi:10.13189/ujme.2014.020802.
- Boardman, A. E., Mallery, W. L., & Vining, A. R. (1994). Learning from ex ante/ex post cost-benefit comparisons: The coquihalla highway example. *Socio-Economic Planning Sciences*, 28(2), 69-84. doi:10.1016/0038-0121(94)90007-8
- Carlson, J. S., & Söderberg, R. (2003). Assembly Root Cause Analysis: A Way to Reduce Dimensional Variation in Assembled Products. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 15, 113-150.
- Carvalho, M. A. (2017). Inovação em produtos: IDEATRIZ: Uma aplicação da Triz: Inovação sistemática na ideação de produtos (2nd ed.). São Paulo, SP – Brasil: Editora Edgard Blücher Ltda
- Carvalho, M. A.; Back, N. (2001) Uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do método dos princípios inventivos no desenvolvimento de produtos. 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 3.
- Gadd, K. (2011). TRIZ for engineers: Enabling inventive problem solving. Chichester: John Wiley & Sons.
- Hur, W. S., Jang, J. H., & Kim, D. C. (1992). How to Efficiently Use the Triz In Implementing The Dfss Projects.
- Ilevbare, I. M., Probert, D., & Phaal, R. (2013). A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. *Technovation*, 33(2-3), 30-37. doi:10.1016/j.technovation.2012.11.003
- Jianhong, M., Quan, Z., Yanling, W., & Wei, Z. (2009). Research and Application of the TRIZ Contradiction Matrix in OOD. WRI World Congress on Software Engineering. doi:10.1109/wcse.2009.244
- Lee, M., Chechurin, L., & Lenyashin, V. (2018). Introduction to cause-effect chain analysis plus with an application in solving manufacturing problems. *The International*

- Journal of Advanced Manufacturing Technology, 99(9-12), 2159-2169. doi:10.1007/s00170-018-2217-1
- Litvin, S., Petrov, V., & Rubin, M. (2008). TRIZ Body of Knowledge. The Triz Group, Llc.
- Leon, N. (2014, September 01). Trends and patterns of evolution for product innovation. Retrieved from <https://triz-journal.com/trends-patterns-evolution-product-innovation/>
- Maia, L. C., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2015). How Could the TRIZ Tool Help Continuous Improvement Efforts of the Companies? *Procedia Engineering*, 131, 343-351. doi:10.1016/j.proeng.2015.12.412
- Moussa, F. Z., Guio, R. D., Dubois, S., Rasovska, I., & Benmoussa, R. (2019). Study of an innovative method based on complementarity between ARIZ, lean management and discrete event simulation for solving warehousing problems. *Computers & Industrial Engineering*, 132, 124-140. doi:10.1016/j.cie.2019.04.02
- Navas, H. V. (2013). TRIZ: Design Problem Solving with Systematic Innovation. *Advances in Industrial Design Engineering*. doi:10.5772/55979
- (N.d.). Triz Success Cases. Retrieved from <http://www.xtriz.com/documents/TRIZSuccessCases.pdf>
- Pearce, D. W. (1983). The Foundations of Cost-Benefit Analysis. *Cost-Benefit Analysis*, 1-13. doi:10.1007/978-1-349-17196-5_1
- Rantanen, K., & Domb, E. (2008). *Simplified TRIZ: New problem solving applications for engineers and manufacturing professionals*. New York: Auerbach Publications.
- Salamatov, Y. (1999). *TRIZ: The right solution at the right time: A guide to innovative problem solving*. Hattem, NL: Insytec.
- Savransky, S. D. (2000). *Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. Boca Raton: CRC Press.
- Spreafico, C., & Russo, D. (2016). TRIZ Industrial Case Studies: A Critical Survey. *Procedia CIRP*, 39, 51-56. doi:10.1016/j.procir.2016.01.165
- Ward, A., Shook, J., & Sobek, D. (2014). *Lean product and process development*. Cambridge, MA: Lean enterprise institute.

Tabela Dos Princípios Inventivos

Princípios inventivos		Sub-Princípios	Exemplos
1	Segmentação ou fragmentação.	• Dividir o objeto em partes independentes.	• Móveis modulares; mangueiras de jardim.
		• Secionar o objeto (inclusive para facilitar a desmontagem).	• Engates rápidos; rifles.
		• Aumentar o grau de segmentação do objeto.	• Persianas; metal de adição em pó para soldagem.
2	Remoção ou extração	<ul style="list-style-type: none"> • Remover ou separar a parte ou propriedade indesejada ou desnecessária do objeto; • Extrair apenas a parte desejada ou necessária do objeto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posicionar um compressor fora do ambiente onde o ar comprimido será usado; • Iluminação interna de refrigeradores com fibras óticas.
3	Qualidade localizada	<ul style="list-style-type: none"> • Mudar a estrutura de um objeto ou o ambiente de homogêneo para não-homogêneo; • Atribuir diferentes funções para cada parte de um objeto; • Posicionar cada parte de um objeto na melhor condição para sua operação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Jatos concêntricos com gotas de diferentes tamanhos para remover pó de um ambiente; • Bandeja com compartimentos adequados para entrada, prato principal, guarnição, bebida e sobremesa; • Lápis com borracha.
4	Mudança de simetria	<ul style="list-style-type: none"> • Tornar o objeto assimétrico; • Aumentar o grau de assimetria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pneus mais resistentes no lado externo; • O'rings de seção assimétrica.

	Princípios inventivos	Sub-Princípios	Exemplos
5	União ou consolidação	<ul style="list-style-type: none"> Unir objetos idênticos ou similares para executar operações em paralelo; Executar operações em paralelo. 	<ul style="list-style-type: none"> Microcomputadores em rede; Catamaran; Cortador – picotador de grama.
6	Universalização	<ul style="list-style-type: none"> Atribuir múltiplas funções a um objeto, eliminando a necessidade de outro(s) objetos. 	<ul style="list-style-type: none"> Escova de dentes com compartimento para pasta; Sofá-cama.
7	Aninhamento	<ul style="list-style-type: none"> Colocar um objeto dentro de outro e este dentro de outro; Passar um objeto por uma cavidade em outro. 	<ul style="list-style-type: none"> Antena telescópica; Cadeiras empilháveis; Mecanismo de retração do cinto de segurança.
8	Contrapeso	<ul style="list-style-type: none"> Compensar o peso do objeto pela união com objetos que produzem sustentação; Compensar o peso do objeto pela interação com o ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> Barco com hidrofólios; Asas de aeroplanos; Uso de balões para transporte de cargas em terrenos acidentados.
9	Compensação prévia	<ul style="list-style-type: none"> Compensar uma ação previamente; Anti-tensionar o objeto que será tensionado. 	<ul style="list-style-type: none"> Concreto protendido; Pretensionamento de discos de corte; Uso de proteções.
10	Ação prévia	<ul style="list-style-type: none"> Realizar uma ação previamente (completa ou parcialmente); Arranjar previamente objetos de forma que eles atuem da forma mais conveniente e/ou rápida. 	<ul style="list-style-type: none"> Toalhas de papel; lâminas de estiletes; Mecanismos de busca na www; Adesivo em fita.
11	Proteção prévia	<ul style="list-style-type: none"> Compensar a baixa confiabilidade do objeto com precauções. 	<ul style="list-style-type: none"> Pára-quedas de reserva; Colocação de placas magnéticas em mercadorias de uma loja.
12	Equipotencialidade	<ul style="list-style-type: none"> Modificar as condições de trabalho para evitar levantamento e/ou abaixamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Contentores de peças pretensionados em linhas de montagem; Comportas num canal fluvial.
13	Inversão	<ul style="list-style-type: none"> Inverter a ação utilizada normalmente para solucionar o problema; Fixar partes móveis e tornar móveis partes fixas; Virar o objeto "de cabeça para baixo". 	<ul style="list-style-type: none"> Na montagem por interferência, resfriar o eixo em vez de aquecer o cubo; Girar a ferramenta e fixar a peça; Inverter a posição do motor na montagem, para facilitar o aparafusamento.

Princípios inventivos		Sub-Princípios	Exemplos
14	Recurvação	<ul style="list-style-type: none"> • Substituir formas retilíneas por formas curvas; • Usar rolamentos, esferas ou espiras; • Substituir movimentos lineares por rotativos, utilizar a força centrífuga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Arcos e domos, na arquitetura; • <i>Mouse</i> comum para microcomputador; • Substituição de peneiras ou filtros estáticos por elementos rotativos.
15	Dinamização	<ul style="list-style-type: none"> • Fazer com que as características de um objeto, ambiente ou processo possam ser otimizadas durante a operação; • Dividir um objeto em partes com movimento relativo; • Tornar um objeto móvel ou adaptável. 	<ul style="list-style-type: none"> • Espelhos, bancos e volantes ajustáveis; • Endoscópios e instrumental para cirurgias minimamente invasivas; • Suspensão independente nas quatro rodas; •
16	Ação parcial ou excessiva	<ul style="list-style-type: none"> • Executar um pouco menos ou um pouco mais, quando é difícil conseguir 100% de um determinado efeito. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pintura de peças cilíndricas por imersão na tinta e posterior rotação para remoção do excesso; • Algoritmos para codificação de imagens, como JPEG, GIF, TIFF, etc.
17	Outra dimensão	<ul style="list-style-type: none"> • Mudar de linear para planar, de planar para tridimensional, de tridimensional para n-dimensional; • Utilizar arranjos em prateleiras ou camadas; • Indinar ou virar o objeto para o lado; • Utilizar outro lado do objeto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema MVD para armazenagem de dados; • <i>Mouse</i> infravermelho; • Caminhão com betoneira; • Placas de circuito impresso com componentes dos dois lados; • Fita cassete na forma de fita de Moebius.
18	Vibração	<ul style="list-style-type: none"> • Produzir a oscilação ou vibração de um objeto; • Aumentar a frequência de vibração do objeto; • Utilizar a frequência de ressonância do objeto; • Substituir vibradores mecânicos por piezoelétricos; • Combinar oscilações ultrassônicas e eletromagnéticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bateria vibratória de celular; • Ferramentas de corte ultrassônicas; • Quebra de cálculos renais por ultrassom; • Relógios com osciladores de quartzo; • Mistura de ligas num forno de indução.

Princípios inventivos		Sub-Princípios	Exemplos
19	Ação periódica	<ul style="list-style-type: none"> • Substituir ações contínuas por ações periódicas; • Mudar a frequência ou período da ação periódica; • Utilizar as pausas entre os pulsos para executar ações similares ou diferentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira de impacto; • Lâmpadas, sons ou textos pulsados; • Variação da amplitude e frequência de pulsação de lâmpadas, sons ou textos pulsados; • Transmissões telefônicas.
20	Continuidade da ação útil	<ul style="list-style-type: none"> • Fazer com que todas as partes de um objeto trabalhem a plena carga, todo o tempo; • Eliminar tempos mortos e pausas durante o uso do objeto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Veículo com sistema de armazenagem da energia de frenagem; • Impressão no curso de avanço e de retorno em impressoras jato de tinta e matriciais;
21	Aceleração	<ul style="list-style-type: none"> • Executar um processo ou determinadas etapas do processo em alta velocidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Broca odontológica de alta velocidade, para evitar aquecimento dos dentes; • <i>Laser</i> para remover manchas epiteliais; • Corte rápido de plástico (não há tempo suficientes para deformações).
22	Transformação de prejuízo em lucro	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar fatores indesejados do objeto ou ambiente para obter resultados úteis; • Remover o fator indesejado pela combinação com outro fator indesejado; • Amplificar o fator indesejado até que ele deixe de ser indesejado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Radioterapia; • Aproveitamento de calor ou resíduos de um processo; • Combate de fogo com fogo controlado; • Super-congelamento de materiais, para restaurar a capacidade de fluxo perdida com o simples congelamento.
23	Realimentação	<ul style="list-style-type: none"> • Introduzir realimentação para melhorar uma ação ou processo; • Modificar a magnitude ou influência da realimentação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bóia na caixa d'água; • Sistemas de freios ABS; • Mudança da sensibilidade do piloto automático de um avião próximo do aeroporto.
24	Intermediação	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar um objeto ou processo intermediário; • Misturar um objeto (que possa ser facilmente removido) com outro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros de conversão utilizados em processadores de texto, planilhas e outros; • Transporte de materiais abrasivos em suspensões líquidas.

Princípios inventivos	Sub-Princípios	Exemplos
25	Auto-serviço	<ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas halógenas, nas quais ocorre a regeneração do filamento; • Equipamentos que, periodicamente ou ao ser ligados executam auto-verificações; • Turbocompressor.
26	Cópia	<ul style="list-style-type: none"> • Função "visualizar impressão" em vários programas de computador; • Modelagem e simulação computacional; • Uso do som de latidos como alarme contra roubo em casas; • Medição de um objeto pela medição da fotografia; • Alarques com sensores infravermelhos.
27	Objetos descartáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Copos, pratos e talheres descartáveis numa festa infantil; • Câmaras fotográficas descartáveis.
28	Substituição de meios mecânicos	<ul style="list-style-type: none"> • "Cercas" auditivas ou olfativas para animais; • Adição de mercaptanas a uma broca para escavação, para identificar o desgaste pelo cheiro; • Transição de sistemas de comunicação unidirecionais para multidirecionais; • Simulação de diferentes condições do solo pela adição ao mesmo de partículas magnéticas e controle com campo magnético.
29	Pneumática e hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> • Bancos ou solas de sapato preenchidas com gel; • Embalagens com espumas ou bolhas de plástico.
30	Membranas flexíveis e filmes finos	<ul style="list-style-type: none"> • Coberturas infláveis para quadras de tênis; • Cobertura das superfícies aerodinâmicas de um aeromodelo; • Filmes para isolamento térmico ou visual.

	Princípios inventivos	Sub-Princípios	Exemplos
31	Materiais porosos	<ul style="list-style-type: none"> Tornar o objeto poroso ou adicionar elementos porosos; Introduzir substâncias ou funções úteis nos poros do objeto. 	<ul style="list-style-type: none"> Armazenagem de tinta em elementos porosos nos cartuchos de impressoras jato de tinta; Mancais obtidos por sinterização e impregnados com óleo.
32	Mudança de cor	<ul style="list-style-type: none"> Modificar a cor do objeto ou do ambiente; Mudar a transparência do objeto ou do ambiente; Usar aditivos coloridos para observar objetos ou processos de difícil visualização; Usar aditivos luminescentes para observar objetos ou processos de difícil visualização. 	<ul style="list-style-type: none"> Vidros verdes para automóveis; Curativos transparentes; Uso de contrastes em procedimentos de diagnóstico médico; Exame com partículas magnéticas fluorescentes.
33	Homogeneização	<ul style="list-style-type: none"> Fazer objetos que interagem do mesmo material, ou de material com propriedades idênticas. 	<ul style="list-style-type: none"> Reservatório feito com o mesmo material do seu conteúdo, para evitar reações químicas; Colheres e espátulas de plástico para uso com painéis revestidas com PTFE.
34	Descarte e regeneração	<ul style="list-style-type: none"> Eliminar ou modificar partes de um objeto que já tenham cumprido suas funções; Regenerar partes consumíveis de um objeto durante a operação. 	<ul style="list-style-type: none"> Envoltoário de drágea contendo medicamentos; Fundição pelo processo de cera perdida; Ejeção do cartucho após o tiro.
35	Mudança de parâmetros e propriedades	<ul style="list-style-type: none"> Mudar o estado de agregação, a concentração ou consistência, o grau de flexibilidade ou a temperatura do objeto. 	<ul style="list-style-type: none"> Liquefação de gases para transporte; Congelamento de amoras com nitrogénio líquido, para permitir a manipulação sem danificação.
36	Mudança de fase	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar fenómenos relacionados a mudanças de fase (liberação ou absorção de calor, mudança de volume, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> Bombas de calor; Armazenagem de ácidos fortes no estado sólido (congelados), quando estes perdem o poder corrosivo.
37	Expansão térmica	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar materiais que expandam ou contraiam com o calor; Associar materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica. 	<ul style="list-style-type: none"> Montagem de elementos de máquinas com interferência; Termostatos.
38	Oxidantes fortes	<ul style="list-style-type: none"> Substituir o ar comum por ar enriquecido com oxigénio; Substituir o ar enriquecido com oxigénio por oxigénio; Usar ar ionizado ou oxigénio ionizado; Substituir ar ionizado ou oxigénio ionizado por ozônio. 	<ul style="list-style-type: none"> Maçarico para solda oxiacetilénica; Tanques para mergulho com Nitrox; Tratamento de ferimentos em ambientes com oxigénio pressurizado; Aceleração de reações químicas pela utilização de oxénio.
39	Atmosferas inertes	<ul style="list-style-type: none"> Substituir o ambiente normal por um ambiente inerte; Adicionar partes neutras ou aditivos neutros a um objeto. 	<ul style="list-style-type: none"> Lâmpadas com argônio; Extintores de espuma; Tratamento de materiais inflamáveis (algodão, por exemplo) com gases inertes.
40	Materiais compostos	<ul style="list-style-type: none"> Substituir materiais homogêneos por materiais compostos. 	<ul style="list-style-type: none"> Quadros de bicidetas de alto desempenho; Varas para pesca esportiva ou salto em distância.

Matriz Das Contradições

		Parâmetros de engenharia piorados										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	-	-	16, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37
	2	Peso do objeto parado	-	-	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	-	8, 10, 19, 35
	3	Comprimento do objeto em movimento	16, 8, 29, 34	-	-	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8	17, 10, 4
	4	Comprimento do objeto parado	-	35, 28, 40, 29	-	-	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	-	28, 1
	5	Área do objeto em movimento	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	-	-	7, 14, 17, 4	-	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2
	6	Área do objeto parado	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	-	-	-	-	1, 18, 35, 35
	7	Volume do objeto em movimento	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 35, 4	-	1, 7, 4, 17	-	-	-	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37
	8	Volume do objeto parado	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-	-	-	-	-	2, 18, 37
	9	Velocidade	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	-	13, 28, 15, 19
	10	Força	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 1	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	-
	11	Tensão ou pressão	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 14, 16	10, 15, 36, 28	6, 35, 10	35, 34	9, 35, 36	36, 35, 21
	12	Forma	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	-	14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40
	13	Estabilidade da composição	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 19	10, 35, 21, 16
	14	Resistência	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14
	15	Duração da ação do objeto em movimento	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	3, 35, 5	19, 2, 16
	16	Duração da ação do objeto parado	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 34, 38	-	-
	17	Temperatura	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21
	18	Brilho	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16	-	19, 32, 26	-	2, 13, 10	-	10, 13, 19, 6	26, 19, 19, 6
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	12, 18, 28, 31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-	9, 15, 35	16, 29, 21, 2
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	19, 9, 6, 27	-	-	-	-	-	-	-	36, 37
	21	Potência	8, 36, 38, 31	19, 25, 17, 27	1, 10, 35, 37	-	19, 38	17, 32, 13, 38	35, 5, 38	30, 5, 25	15, 35, 2	25, 2, 36, 35
	22	Perda de energia	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 17, 30	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38
	23	Perda de substância	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40
	24	Perda de informação	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16	-	2, 22	26, 32	-
	25	Perda de tempo	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 15, 32, 18	-	10, 37, 36, 5
	26	Quantidade de substância	35, 6, 18, 31	27, 28, 18, 35	29, 14, 35, 18	-	15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29	-	35, 29, 34, 28	35, 14, 3
	27	Confiabilidade	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 29	8, 28, 10, 3
	28	Precisão de medição	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 25	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6	-	28, 13, 32, 24	32, 2
	29	Precisão de fabricação	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 28, 2	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22	-	17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 30, 18, 35, 4	35, 28, 8, 23	35, 28, 1, 40	
	32	Manufaturabilidade	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 4	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12
	33	Conveniência de uso	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12	-	1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 31, 39	18, 13, 18, 35	28, 13, 35
	34	Mantabilidade	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	8, 18, 31	15, 32, 13	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10
	35	Adaptabilidade	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 2	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29	-	35, 10, 14, 20	15, 17, 20
	36	Complexidade do objeto	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16	34, 10, 28	26, 16
	37	Complexidade de controle	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	36, 28, 40, 19
	38	Nível de automação	28, 25, 18, 35	28, 25, 35, 10	14, 13, 28, 17	23	17, 14, 13	-	35, 13, 16	-	28, 10	2, 35
	39	Capacidade ou produtividade	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2	-	28, 15, 10, 36

		Parâmetros de engenharia piorados										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	-	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	-
	2	Peso do objeto parado	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	25, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27	-	2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	36, 19, 32	-	18, 19, 28, 1
	3	Comprimento do objeto em movimento	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-	10, 15, 19	32	8, 35, 24	-
	4	Comprimento do objeto parado	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 25	-	1, 40, 35	3, 35, 38, 18	3, 25	-	-
	5	Área do objeto em movimento	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	-	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	-
	6	Área do objeto parado	10, 15, 36, 37	-	2, 38	40	-	2, 10, 19, 30	35, 39, 38	-	-	-
	7	Volume do objeto em movimento	5, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-	34, 39, 10, 18	10, 13, 2	35	-
	8	Volume do objeto parado	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38	35, 6, 4	-	-	-
	9	Velocidade	5, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	-	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	-
	10	Força	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	-	35, 10, 21	-	19, 17, 10	1, 16, 36, 37
	11	Tensão ou pressão	-	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27	-	35, 39, 19, 2	-	14, 24, 10, 37	-
	12	Forma	34, 15, 10, 14	-	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25	-	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14	-
	13	Estabilidade da composição	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	-	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 15	13, 19	27, 4, 29, 18
	14	Resistência	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	-	27, 3, 26	-	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35
	15	Duração da ação do objeto em movimento	19, 3, 27	14, 26, 29	13, 3, 35	27, 3, 10	-	-	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18	-
	16	Duração da ação do objeto parado	-	-	39, 3, 35, 23	-	-	-	19, 18, 36, 40	-	-	-
	17	Temperatura	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	-	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17	-
	18	Brilho	-	32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6	-	32, 35, 19	-	32, 1, 19	32, 35, 1, 15
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	-	-
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	-	27, 4, 29, 18	35	-	-	-	19, 2, 35, 32	-	-
	21	Potência	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	18, 6, 19	18, 6, 19, 37	-
	22	Perda de energia	-	-	14, 2, 39, 6	26	-	-	19, 38, 7	1, 13, 32, 15	-	-
	23	Perda de substância	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 19, 24, 5	28, 27, 12, 31
	24	Perda de informação	-	-	-	-	10	10	-	19	-	-
	25	Perda de tempo	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 21, 17	35, 36, 19, 15	1
	26	Quantidade de substância	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39	-	34, 29, 16, 18	3, 35, 18, 31
	27	Confiabilidade	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	-	11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	36, 23
	28	Precisão de medição	5, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32	-
	29	Precisão de fabricação	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27	3, 27, 40	-	19, 26	3, 32	32, 2	-
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 39	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18
	32	Manufaturabilidade	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4
	33	Conveniência de uso	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	26, 327, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24	-
	34	Mantenabilidade	13	1, 13, 2, 4	2, 35	1, 11, 2, 9	11, 29, 28, 27	1	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16	-
	35	Adaptabilidade	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13	-
	36	Complexidade do objeto	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28, 15	-	2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28	-
	37	Complexidade de controle	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28	19, 29, 25, 39	25, 34, 6, 35	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16
	38	Nível de automação	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9	-	26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13	-
	39	Capacidade ou produtividade	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1

		Parâmetros de engenharia piorados										
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	3, 11, 1, 27	28, 27, 35, 25	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27
	2	Peso do objeto parado	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 25, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37
	3	Comprimento do objeto em movimento	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24
	4	Comprimento do objeto parado	12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26	30, 29, 14	-	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18
	5	Área do objeto em movimento	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	28, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1
	6	Área do objeto parado	17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 32, 3	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35
	7	Volume do objeto em movimento	35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35
	8	Volume do objeto parado	30, 6	-	10, 39, 35, 34	-	35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16	-	35, 10, 25	34, 39, 19, 27
	9	Velocidade	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26	-	10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23
	10	Força	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5	-	10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18
	11	Tensão ou pressão	10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 37	-	37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37
	12	Forma	4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5	-	14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35
	13	Estabilidade da composição	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40	-	35, 27	15, 32, 35	-	13	18	35, 23, 18, 30
	14	Resistência	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40	-	29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1
	15	Duração da ação do objeto em movimento	19, 10, 35, 38	-	28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28
	16	Duração da ação do objeto parado	16	-	27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24	-	17, 1, 40, 33
	17	Temperatura	2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31	-	35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2
	18	Brilho	32	19, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19	-	11, 15, 32	3, 32	15, 19
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5	-	35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32	-	1, 35, 6, 27
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	-	28, 27, 18, 31	-	-	3, 35, 31	10, 36, 23	-	-	10, 2, 22, 37
	21	Potência	-	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2
	22	Perda de energia	3, 38	-	35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32	-	21, 22, 35, 2
	23	Perda de substância	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	-	-	15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 10
	24	Perda de informação	10, 19	19, 10	-	-	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23	-	-	22, 10, 1
	25	Perda de tempo	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32	-	35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34
	26	Quantidade de substância	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	35, 38, 18, 16	-	18, 3, 28, 40	3, 2, 28	33, 30	35, 33, 28, 31
	27	Confiabilidade	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 35, 29, 39	10, 28	10, 30, 4	21, 28, 40, 3	-	32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40
	28	Precisão de medição	3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28	-	24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23	-	-	28, 24, 22, 26
	29	Precisão de fabricação	32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24	-	32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1	-	-	26, 28, 10, 36
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2	35, 18, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 25	26, 28, 10, 18	-
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	2, 35, 18	21, 35, 22, 2	10, 1, 34	10, 21, 29	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26	-
	32	Manufaturabilidade	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 2, 24	32, 24, 18, 16	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24	-	1, 35, 12, 18	-	24, 2
	33	Conveniência de uso	35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39
	34	Mantenabilidade	15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27	-	32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 102, 16
	35	Adaptabilidade	19, 1, 29	18, 15, 2, 13	15, 10, 2, 13	-	35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10	-	35, 11, 32, 31
	36	Complexidade do objeto	20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29	-	6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40
	37	Complexidade de controle	19, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 26	-	22, 19, 29, 28
	38	Nível de automação	28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33
	39	Capacidade ou produtividade	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23	-	35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	32, 1, 18, 10	22, 35, 13, 24

		Parâmetros de engenharia piorados									
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
	2	Peso do objeto parado	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35
	3	Comprimento do objeto em movimento	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
	4	Comprimento do objeto parado	-	15, 17, 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26	-	30, 14, 7, 26
	5	Área do objeto em movimento	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 1316	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
	6	Área do objeto parado	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
	7	Volume do objeto em movimento	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
	8	Volume do objeto parado	30, 18, 35, 4	35	-	1	-	1, 31	2, 17, 26	-	35, 37, 10, 2
	9	Velocidade	2, 24, 32, 21	35, 13, 8, 1	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	-
	10	Força	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	35, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
	11	Tensão ou pressão	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37
	12	Forma	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10
	13	Estabilidade da composição	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3
	14	Resistência	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32, 40, 28, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14
	15	Duração da ação do objeto em movimento	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19
	16	Duração da ação do objeto parado	22	35, 10	1	1	2	-	25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38
	17	Temperatura	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	23, 2, 19, 16	15, 28, 35
	18	Brilho	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	8, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35
	20	Energia gasta pelo objeto parado	19, 22, 18	1, 4	-	-	-	-	19, 35, 16, 25	-	1, 6
	21	Potência	2, 35, 18	26, 10, 34	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34
	22	Perda de energia	21, 35, 2, 22	-	35, 32, 1	2, 19	-	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35
	23	Perda de substância	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23
	24	Perda de informação	10, 21, 22	32	27, 22	-	-	-	35, 33	35	13, 23, 15
	25	Perda de tempo	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	8, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	-
	26	Quantidade de substância	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27	35, 29, 10, 25	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27
	27	Confiabilidade	35, 2, 40, 26	-	27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38
	28	Precisão de medição	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	2	13, 35, 10, 34	27, 35, 26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32
	29	Precisão de fabricação	4, 17, 34, 26	-	1, 32, 35, 23	25, 10	-	26, 2, 18	-	26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	-	24, 35, 2	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	-	-	-	-	-	19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39
	32	Manufaturabilidade	-	-	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
	33	Conveniência de uso	-	2, 5, 12	-	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 25, 12, 17	-	1, 34, 12, 3	15, 1, 28
	34	Mantenibilidade	-	1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15	-	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11	-	34, 35, 7, 13	1, 32, 10
	35	Adaptabilidade	-	1, 13, 31	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4	-	15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37
	36	Complexidade do objeto	19, 1	27, 26, 1, 13	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37	-	15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
	37	Complexidade de controle	2, 21	5, 28, 11, 29	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28	-	34, 21	35, 18
	38	Nível de automação	2	1, 26, 13	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25	-	5, 12, 35, 26
	39	Capacidade ou produtividade	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24	1, 28, 7, 19	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	-