



Rúben Pedro Ferreira Carneiro

Aplicação das metodologias TRIZ no desenvolvimento do projeto FRICTORQ

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Rúben Pedro Ferreira Carneiro

Aplicação das metodologias TRIZ no  
desenvolvimento do projeto FRICTORQ

Tese de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica  
Área de Especialização Tecnologias de Manufatura

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Luís Fernando de Sousa Ferreira da  
Silva  
Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra

## **AGRADECIMENTOS**

Foram muitos os que de uma forma direta, ou pelo apoio prestado contribuíram para a realização desta dissertação. Aqui fica o agradecimento a alguns deles.

Aos meus orientadores, Doutor Luís F. Silva e Doutor Eurico Seabra, por todo o aconselhamento, observações e sugestões realizadas, e pela ajuda que deram a manter este trabalho no rumo certo. E por terem lançado este desafio.

À Doutora Rosa Vasconcelos, pela sua disponibilidade e ajuda dedicada.

Aos meus amigos, pela paciência nos momentos mais rabugentos e apoio prestado.

Um agradecimento muito especial, à minha família, por toda a sua ajuda, conselhos, paciência e constante motivação, não só durante a realização desta dissertação, mas todo o meu percurso académico. E por fim deixar um singular agradecimento aos meus pais, pelo esforço e sacrifícios feitos, ao longo de todos estes anos, para garantir que pudesse concluir com as melhores condições possíveis este meu percurso académico.

A todos vocês o meu sincero obrigado.



## RESUMO

A TRIZ, acrónimo russo para Teoria da Resolução de Problemas Inventivos, é uma metodologia para a procura de soluções de problemas técnicos, que procura criar uma forma sistemática de gerar novas soluções de projeto e potencializar a criatividade individual. Esta metodologia foi criada e desenvolvida por Genrich Altshuller nos anos 40 na extinta União Soviética. Através do estudo de milhares de patentes, Altshuller descobriu que independentemente da sua área, todas as tecnologias seguem os mesmos princípios, bem definidos, e que estes podem ser aplicados na solução de novos problemas.

O FRICTORQ é um equipamento laboratorial, para a medição do coeficiente de atrito em materiais não rígidos, desenvolvido na Universidade do Minho. Este equipamento tem sido alvo, de algumas modificações, na procura de o melhorar e desenvolver. No entanto, este chegou a um ponto de estagnação de ideias, para o seu desenvolvimento.

Nesta dissertação, procura-se usar os princípios e tendências de evolução definidas na TRIZ, para procurar novos conceitos e ideias, que possam contribuir para o progresso do FRICTORQ, de forma a indicar possíveis caminhos e alternativas ao seu desenvolvimento. Resultando num modelo conceptual para um possível novo modelo do FRICTORQ (FRICTORQ V). Este modelo carece de um protótipo físico, que possa validar estes resultados, no entanto as ideias apresentadas podem servir de base, para o estudo e criação de um FRICTORQ mais compacto, barato e versátil.

**Palavras-chave:** *TRIZ*, FRICTORQ, Atrito, Inovação.



# ABSTRACT

The TRIZ, Russian acronym for theory of inventive problem solving, is a methodology for problem solve, that aims to create a systematic way of find new design solutions and potentialize the individual creativity. This methodology was created and developed by Genrich Altshuller in the 40' in the ex-Soviet Union. Through the study of thousands of patents, Altshuller discovery that independently of the field, all technologies follow the same defined principles, and that these principals can be used in the resolution of new problems.

The FRICTORQ is laboratorial equipment, for the measurement of the friction coefficient in non-rigid materials, developed in Minho University. This equipment has experienced, some modification, in order to upgrade and develop it. Whoever, the FRICTORQ came to the point here new ideas, to evolve it, are hard to find.

In this dissertation, we seek to use the principals and trends of evolution, define in TRIZ, to search for new ideas to evolve this equipment. As result we obtain a conceptual model for a possible new FRICTORQ (FRICTORQ V). This model lacks a physical prototype that can validate this result; however the suggested ideas could be used as base of study and creation of a new smaller, cheaper and versatile FRICTORQ.

**Keywords:** TRIZ, FRICTORQ, Friction, Innovation.





# ÍNDICE

|  |      |
|--|------|
| Agradecimentos.....  | iii  |
| Resumo.....  | v    |
| Abstract.....  | vii  |
| Índice.....  | ix   |
| Índice de Figuras.....                                     | xiii |
| Índice de Tabelas.....                                     | xvii |
| Lista de Siglas e Acrónimos.....                           | xix  |
| 1 Introdução.....  | 1    |
| 1.1 Enquadramento.....                                     | 1    |
| 1.2 Objetivos e motivação.....                             | 3    |
| 1.3 Metodologia de Investigação.....                       | 4    |
| 1.4 Estrutura da dissertação.....                          | 4    |
| 2 Metodologias TRIZ.....                                   | 7    |
| 2.1 O que é a TRIZ?.....                                   | 7    |
| 2.2 Como e onde usar a TRIZ?.....                          | 7    |
| 2.3 Princípios e terminologia.....                         | 10   |
| 2.3.1 Sistema tecnológico.....                             | 10   |
| 2.3.2 Funções.....   | 11   |
| 2.3.3 Idealidade.....                                      | 12   |
| 2.3.4 Inércia psicológica.....                             | 13   |
| 2.3.5 Criatividade e soluções criativas.....               | 14   |
| 2.3.6 Níveis de invenção.....                              | 15   |
| 2.3.7 Problemas Inventivos.....                            | 16   |
| 2.3.8 Contradições.....                                    | 16   |
| 2.3.9 Recursos.....  | 17   |
| 2.4 Métodos e ferramentas TRIZ.....                        | 17   |
| 2.4.1 Resultado final ideal.....                           | 17   |
| 2.4.2 Operadores Tamanho-Tempo-Custo.....                  | 18   |
| 2.4.3 Modelação com pequenas pessoas espertas.....         | 18   |
| 2.4.4 Fantogramma.....                                     | 20   |
| 2.4.5 Operadores do sistema.....                           | 21   |
| 2.4.6 Análise subversiva.....                              | 22   |
| 2.4.7 Análise campo-substância e padrões inventivos.....   | 23   |
| 2.4.8 Análise substância-campo de recursos.....            | 26   |
| 2.4.9 Análise de Funções.....                              | 26   |
| 2.4.10 Simplificação (“ <i>Trimming</i> ”).....            | 29   |
| 2.4.11 Análise raiz de contradições.....                   | 31   |
| 2.4.12 Questionário do estado de inovação (ISQ).....       | 33   |
| 2.4.13 Matriz de contradições e princípios inventivos..... | 34   |
| 2.4.14 Solução de contradições físicas.....                | 35   |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.4.15 | Apontadores para efeitos.....  | 36 |
| 2.4.16 | ARIZ.....  | 36 |
| 2.4.17 | Tendências ou leis de evolução .....                                   | 37 |
| 3      | Descrição do equipamento FRICTORQ .....                                | 43 |
| 3.1    | INTRODUÇÃO .....   | 43 |
| 3.2    | Princípio de Funcionamento do FRICTORQ.....                            | 45 |
| 3.3    | Desenvolvimentos do equipamento FRICTORQ .....                         | 48 |
| 3.3.1  | FRICTORQ I .....   | 48 |
| 3.3.2  | FRICTORQ II.....   | 49 |
| 3.3.3  | FRICTORQ III.....  | 50 |
| 3.3.4  | FRICTORQ IV.....   | 52 |
| 4      | Retrospeção do FRICTORQ À luz da TRIZ .....                            | 55 |
| 4.1    | Introdução .....   | 55 |
| 4.2    | Princípios Inventivos .....  | 55 |
| 4.3    | Ciclo de Vida .....  | 57 |
| 4.4    | Tendências de evolução.....  | 58 |
| 4.4.1  | Procedimento usado na construção dos gráficos de potencial de evolução | 58 |
| 4.4.2  | FRICTORQ I <i>versus</i> FRICTORQ II.....                              | 59 |
| 4.4.3  | FRICTORQ II <i>Versus</i> FRICTORQ III .....                           | 61 |
| 4.4.4  | FRICTORQ III <i>versus</i> FRICTORQ IV.....                            | 62 |
| 5      | Estudo de caminhos de evolução do equipamento FRICTORQ .....           | 65 |
| 5.1    | Análise de funções.....  | 65 |
| 5.2    | Seleção dos métodos de inovação.....                                   | 67 |
| 5.3    | Princípios Inventivos .....  | 67 |
| 5.3.1  | Princípio inventivo 6 – Universalização .....                          | 68 |
| 5.3.2  | Princípio Inventivo 13 – Inversão .....                                | 72 |
| 5.3.3  | Princípio inventivo 14 – Encurvamento .....                            | 72 |
| 5.4    | Tendências de evolução.....  | 74 |
| 5.4.1  | Ciclo de vida .....  | 74 |
| 5.4.2  | Redução da densidade .....   | 75 |
| 5.4.3  | Redução do número de conversões de energia .....                       | 75 |
| 5.4.4  | Expansão e convulsão .....   | 76 |
| 5.4.5  | Controlabilidade e variabilidade .....                                 | 77 |
| 5.5    | Execução da Simplificação ( <i>'Trimming'</i> ) .....                  | 78 |
| 5.5.1  | Anel de centragem e barra de acoplamento do sensor .....               | 78 |
| 5.5.2  | Sensor de binário e motor de corrente contínua .....                   | 79 |
| 5.5.3  | Elementos estruturais.....   | 80 |
| 5.5.4  | Resultado final .....  | 80 |
| 5.6    | FRICTORQ V?.....   | 82 |
| 6      | Conclusões.....  | 85 |
| 6.1    | Sumário .....  | 85 |
| 6.2    | Conclusões.....  | 85 |
| 6.3    | Perspetivas de trabalho futuro.....                                    | 87 |
| 7      | Referências Bibliograficas .....                                       | 89 |

|   |     |
|---|-----|
| Anexos .....  | AI  |
| Anexo A - Lista de recursos .....                                   | A3  |
| Anexo B - Métodos de mudança de indicadores.....                    | A5  |
| Anexo C - Indicadores universais .....                              | A7  |
| Anexo D - Padrões Inventivos .....                                  | A9  |
| Anexo E - Lista Tendências de evolução.....                         | A23 |
| Anexo F - Questionário do estado de inovação .....                  | A43 |
| Anexo G - Parâmetros de engenharia.....                             | A47 |
| Anexo H - Lista de princípios inventivos .....                      | A49 |
| Anexo I - Matriz de contradições.....                               | A55 |
| Anexo J - Princípios para a resolução de contradições físicas ..... | A57 |
| Anexo K - Tabela de efeitos .....                                   | A59 |
| Anexo L - ARIZ 85c .....  | A69 |
| Anexo M - Tabelas de potencial de evolução do FRICTORQ .....        | A73 |



# ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Ferramentas e métodos da TRIZ e a sua área de aplicação.....  | 8  |
| Figura 2 - Estrutura da TRIZ .....   | 10 |
| Figura 3 - Efeito da inércia psicológica .....   | 14 |
| Figura 4 - Exemplo de um modelo usando as pessoas pequenas .....   | 20 |
| Figura 5 - Operadores do sistema.....  | 22 |
| Figura 6 - Sistema completo.....   | 24 |
| Figura 7 - Sistema incompleto.....   | 24 |
| Figura 8 - Guia para a selecção dos padrões inventivos .....   | 25 |
| Figura 9 - Duas formas de representar mapa de funções do processo, lavar roupa .....   | 27 |
| Figura 10 - Exemplo de erros de definição de ações .....   | 28 |
| Figura 11 - Exemplo de um diagrama RCA+ .....  | 33 |
| Figura 12 - Exemplo do uso da matriz de contradições .....   | 35 |
| Figura 13 - Etapas do algoritmo ARIZ-85C e identificação de alguns métodos TRIZ possíveis de usar em cada etapa. ....                                | 37 |
| Figura 14 - Exemplo de um gráfico de radar .....   | 39 |
| Figura 15 - Curvas-S genéricas .....   | 41 |
| Figura 16 - Aparecimento de novos sistemas.....  | 42 |
| Figura 17 - Equipamento FRICTORQ .....   | 45 |
| Figura 18 - Esquema do corpo anelar .....  | 45 |
| Figura 19 - Base rotativa e anel de pressão .....  | 46 |
| Figura 20 - Janela do software de controlo .....   | 47 |
| Figura 21 - Gráfico de coeficiente de atrito vs tempo.....   | 47 |
| Figura 22 - As duas vertentes de ensaios.....  | 48 |
| Figura 23- Corpo de prova anelar com superfície lisa (à esquerda) e tratada quimicamente (à direita).....  | 48 |
| Figura 24 - Corpo padrão usado no FRICTORQ II: (à esquerda) representação esquemática da nova solução, (à direita) novo corpo padrão construído..... | 49 |
| Figura 25 - FRICTORQ III.....  | 50 |
| Figura 26 - Bases cónicas do FRICTORQ .....  | 51 |
| Figura 27 - Desenho do anel de pressão com as hastes aparafusadas .....  | 51 |
| Figura 28 - Barra de acoplamento do sensor. ....   | 52 |
| Figura 29 - Borracha de silicone .....   | 52 |
| Figura 30 - Aplicação da emulsão cosmética .....   | 53 |
| Figura 31 - Gráfico de potencial de evolução dos equipamentos FRICTORQ I e II .....  | 60 |
| Figura 32 - Gráfico de potencial de evolução dos equipamentos FRICTORQ II e III.....   | 62 |
| Figura 33 - Gráfico de potencial de evolução dos equipamentos FRICTORQ III e IV .....  | 63 |
| Figura 34 - Diagrama de funções do equipamento FRICTORQ.....   | 66 |
| Figura 35 - Componentes do FRICTORQ.....   | 67 |
| Figura 36 - Exemplo de um equipamento de teste de abrasão .....  | 69 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 37 - Exemplo de um equipamento para ensaios de “snagging” .....  | 70  |
| Figura 38 - Possível modelo para um novo corpo padrão para a realização no equipamento FRICTORQ, de ensaios de “snagging” ..... | 71  |
| Figura 39 - Modelo possível do novo corpo padrão com pés esféricos .....  | 73  |
| Figura 40 - Corpo de prova utilizado no tribometro UMT-3 .....  | 73  |
| Figura 41 - Possível novo modelo do equipamento FRICTORQ, após a simplificação.....   | 80  |
| Figura 42 - Diagrama de funções para o (novo) equipamento FRICTORQ simplificado ....  | 81  |
| Figura 43 - Gráfico de potencial de evolução comparando os equipamentos FRICTORQ IV com o futuro FRICTORQ V.....                | 83  |
| Figura 44 - Representação do Padrão 1-1-1 .....   | A9  |
| Figura 45 - Representação do Padrão 1-1-2 .....   | A9  |
| Figura 46 - Representação do padrão 1-1-3 .....   | A10 |
| Figura 47 - Representação do padrão 1-1-4 .....   | A10 |
| Figura 48 - Representação do padrão 1-1-5 .....   | A10 |
| Figura 49 - Representação do padrão 1-1-6 .....   | A10 |
| Figura 50 - Representação do padrão 1-1-7 .....   | A11 |
| Figura 51 - Representação do padrão 1-1-8-1 .....   | A11 |
| Figura 52 - Representação do padrão 1-1-8-2 .....   | A11 |
| Figura 53 - Representação do padrão 1-2-1 .....   | A12 |
| Figura 54 - Representação do padrão 1-2-2 .....   | A12 |
| Figura 55 - Representação do padrão 1-2-3 .....   | A12 |
| Figura 56 - Representação do padrão 1-2-4 .....   | A12 |
| Figura 57 - Representação do padrão 2-1-1 .....   | A13 |
| Figura 58 - Representação do padrão 2-4-1 .....   | A14 |
| Figura 59 - Representação do padrão 4-2-1 .....   | A17 |
| Figura 60 - Representação do padrão 4-2-2 .....   | A17 |
| Figura 61 - Evolução através da redução de amortecimento.....   | A23 |
| Figura 62 - Evolução das exigências do consumidor .....   | A25 |
| Figura 63 - Evolução do foco de projeto.....  | A25 |
| Figura 64 - Evolução da segmentação por objetos .....   | A27 |
| Figura 65 - Exemplos da aplicação da tendência de segmentação por objetos.....  | A27 |
| Figura 66 - Evolução da segmentação por superfícies.....  | A28 |
| Figura 67 - Exemplo da evolução geométrica de superfícies aplicado a um dissipador de calor.....                                | A28 |
| Figura 68 - Evolução da segmentação de espaço.....  | A28 |
| Figura 69 - Exemplo da segmentação de espaço. ....  | A29 |
| Figura 70 - Caminhos de evolução devido às transições de monossistemas para polisistemas .....                                  | A30 |
| Figura 71 - Caminho típico na simplificação .....   | A31 |
| Figura 72 - Evolução por cordenação de ritmos .....   | A32 |
| Figura 73 - Exemplo genérico da evolução por cordenação de ritmos.....  | A32 |
| Figura 74 - Evolução através de ações coordenadas .....   | A33 |
| Figura 75 - Exemplo genérico da cordenação de acções .....  | A33 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 76 - Evolução por flexibilidade .....   | A34 |
| Figura 77 - Exemplo da evolução de uma cadeira através do aumento da flexibilidade . | A35 |
| Figura 78 - Evolução da geometria (linear).....                                      | A35 |
| Figura 79 - Exemplo genérico da evolução geométrica linear para movimentos. ....     | A36 |
| Figura 80 - Exemplo da evolução geométrica linear de uma lâmpada.....                | A36 |
| Figura 81 - Evolução de geometria (volumétrica).....                                 | A36 |
| Figura 82 - Exemplo genérico para a evolução geométrica (Volumétrica).....           | A37 |
| Figura 83 - Evolução do uso de fibras.....   | A37 |
| Figura 84 - Exemplo da tendência de evolução para sistemas de proteção .....         | A37 |
| Figura 85 - Evolução do aumento da assimetria .....                                  | A38 |
| Figura 86 - Etapas do aumento da variabilidade de um sistema .....                   | A38 |
| Figura 87 - Exemplo do aumento de variabilidade de um sistema .....                  | A39 |
| Figura 88 - Evolução da controlabilidade de sistemas .....                           | A40 |
| Figura 89 - Exemplo da evolução da controlabilidade num sistema de rega.....         | A40 |
| Figura 90 - Evolução através do uso da cor .....                                     | A41 |
| Figura 91 - Exemplo da evolução do uso da cor para o telescópio .....                | A41 |
| Figura 92 - Tendência de automação .....   | A42 |
| Figura 93 - Exemplo do aumento da automação num sistema de furação .....             | A42 |
| Figura 94 - Matriz de contradições .....   | A55 |





## ÍNDICE DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 - Matriz morfológica .....   | 21  |
| Tabela 2 - Nomenclatura dos SFM .....   | 24  |
| Tabela 3 - Nomenclatura das ações no mapa de funções .....                              | 29  |
| Tabela 4 - Subtêndencias usadas na avaliação do equipamento FRICTORQ .....              | 59  |
| Tabela 5 - Tabela de indicadores universais.....  | A7  |
| Tabela 6 - Tabela com os parâmetros de engenharia usados na tabela de contradições..... | A47 |
| Tabela 7 - Princípios para a eliminação de contradições físicas.....                    | A57 |
| Tabela 8 - Efeitos para problemas que envolvem mudanças no sistema.....                 | A59 |
| Tabela 9 - Efeitos para problemas envolvendo detecções ou medições .....                | A66 |
| Tabela 10 - Classificação do nível de evolução do FRICTORQ I.....                       | A73 |
| Tabela 11 - Classificação do nível de evolução do FRICTORQ II .....                     | A74 |
| Tabela 12 - Classificação do nível de evolução do FRICTORQ III .....                    | A75 |
| Tabela 13 - Classificação do nível de evolução do FRICTORQ IV .....                     | A76 |
| Tabela 14 - Classificação do nível de evolução do potencial FRICTORQ V .....            | A77 |



## LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

ARIZ- “алгоритм решения изобретательских задач (*algorpet resheniya izobretatelskikh zadatch*) ”, (Algoritmo Resolução de Problemas Inventivos);

ETRIA- “*European TRIZ Association*”;

IFR- “*Ideal Final Result*”, (Resultado Final Ideal);

ISQ – “*Innovation Situation Questionnaire*”, (Questionário do estado de inovação);

KES – Kawabata evaluation system;

OI- “*Operational Interval*”, (Intervalo operacional);

OS- “*Operational space*”, (Espaço operacional);

PC – “*Personal Computer*”, (Computador pessoal)

RCA – “*Root conflict analysis*”, (Análise raiz de conflitos);

RCA+ - “*Root contradiction analysis*”, (Análise raiz de contradições);

SFM- “*Substance Field Model*”, (Modelo campo-substância);

SFR- “*Substance Field of Resources*”, (Substância e campo de recursos);

STC operators – “*Size-Time-Cost operators*”, (Operadores Tamanho-Tempo-Custo);

TRIZ- “теория решения изобретательских задач (*teoriya resheniya izobretatelskikh zadatch*) ”, (Teoria da Resolução de Problemas inventivos);



# 1 INTRODUÇÃO

Nos seguintes subcapítulos, introduzir-se-á esta dissertação indicando em “pano de fundo”, a história e motivações no desenvolvimento da TRIZ e dos processos criativos, bem como as motivações e objetivos desta dissertação.

## 1.1 ENQUADRAMENTO

A tecnologia tem sido, ao longo dos séculos, a chave para o sucesso do ser humano, sendo uns dos fatores que nos distingue das demais espécies do planeta. Foram os avanços na tecnologia, que ajudaram e ajudam o ser humano a adaptar o meio ambiente às suas necessidades, pode-se assim referir, que a história da humanidade está ligada com a história da tecnologia que ele cria.

Portanto o motor, por detrás da evolução das tecnologias, é a procura por solucionar necessidades do homem. À medida que as sociedades se desenvolvem e tornam-se mais complexas, mais difíceis e complexas são as soluções encontradas. Deste modo, é fácil de compreender, a importância de se fortalecer o processo de desenvolver novas tecnologias.

Apenas postulado em 1989, pelo psicólogo E. Thorndike, que escreveu “...a chave para a solução de problemas encontra-se na aquisição de capacidades racionais através de múltiplas e aleatórias repetições”, o método de tentativa-e-erro, foi o método exclusivamente usado até ao século XIX. Embora tenha funcionado de forma impressionante, durante milénios, este não é muito eficaz. No desenvolvimento de várias tecnologias foi muitas vezes necessário uma vida inteira de tentativas, por parte de um indivíduo ou grupo de indivíduos, até se conseguir os resultados procurados e desejados, sendo bastante comum os progressos serem efetuados de forma acidental [1].

Já no século XIX, com o advento do método científico, e o conhecimento das leis da natureza, torna-se possível seriar inúmeras variáveis, eliminando combinações de parâmetros, que *a priori* seriam absurdas, tornando o método de tentativa-e-erro um pouco mais rápido. No entanto, a crescente procura de desenvolvimento e aumento da competitividade entre as indústrias leva a que não baste solucionar problemas, é necessário que as soluções sejam, por outro lado, criativas. As organizações começam então a aperceber-se da importância da

criatividade, e da geração de ideias, e como tal, da sua mais-valia para a melhoria dos seus produtos, de modo a ultrapassarem a concorrência [1].

Deste modo, surge já no século XX, um interesse declarado no processo criativo, como se realiza e de que forma este pode ser incrementado. Até então a criatividade era vista como um “dom” (ou aptidão), algo inato a um indivíduo, e portanto, impossível de ser ensinado ou treinado. Esta noção está, até aos dias hoje, bastante enraizada. No entanto o aumento dos conhecimentos científicos, em especial da psicologia, tende a demonstrar que a criatividade pode ser potencializada. Com esta mudança de paradigma começaram a surgir métodos que permitissem aumentar e estimular a criatividade.

Esses métodos focam-se essencialmente no inventor e nos processos cognitivos para o fomentar de ideias. Estas metodologias procuram indicar boas práticas, para reduzir os inibidores psicológicos, e assentam no princípio de que ideias geram ideias e que, partindo de uma elevado número de ideias, alguma se irá enquadrar no problema em questão. Estes métodos tornaram-se bastante populares e alguns desses métodos, como por exemplo ‘*Brainstorming*’ são ainda o principal método de criatividade usado, em algumas organizações [1].

Apesar da maioria dos métodos se focarem no inventor, surgiu uma outra metodologia que se foca, não no inventor, mas sim nas invenções, a TRIZ.

A TRIZ é um acrónimo Russo, que pode ser traduzido como *Teoria para a Resolução de Problemas Inventivos*, e é uma metodologia para a inovação e desenvolvimento tecnológico. Esta metodologia surgiu com base no trabalho do engenheiro e inventor, Genrich Altshuller e da sua equipe, nos anos 40 do século passado na extinta União Soviética [1].

Altshuller trabalhava na marinha Soviética, no escritório de patentes. Tendo acesso ao trabalho de vários inventores, e sendo ele próprio um inventor, Altshuller questionou-se sobre a forma como as pessoas criavam os seus inventos e que métodos usavam. Decidiu então procurar esses métodos, mas, não satisfeito com as suas descobertas, decidiu ele próprio criar um [1].

Para o fazer, Altshuller analisou milhares de patentes, com objetivo de encontrar o algoritmo que sistematizasse a criatividade. Desse estudo, Altshuller apercebe-se que, independentemente da área tecnológica, todas as soluções se enquadram em 40 princípios e que esses mesmos princípios podem ser isolados, replicados e aplicados na resolução de novos problemas [1]. Estavam assim lançados os alicerces da metodologia TRIZ. Altshuller e a sua

equipa expandiram os seus estudos da TRIZ e incorporaram outras áreas de conhecimento. O resultado foi uma teoria que engloba o estudo dos sistemas tecnológicos, da sua evolução, da procura de novas soluções tecnológicas e de métodos para ajudar engenheiros e inventores a desbloquearem os processos cognitivos, potencializando, assim, o processo criativo.

Devido ao clima de guerra fria, vivido na Europa até ao início dos anos 90 do século passado, e tendo sido a TRIZ desenvolvida no antigo *Bloco de leste*, a sua disseminação no ocidente foi obstruída pela divisão Este-Oeste de então. No entanto, após a queda do muro de Berlim em 1989, está começou lentamente a ser disseminada pelo ocidente. Como resultado esta é uma metodologia ainda pouco conhecida, sendo bastante reduzida a bibliografia Portuguesa sobre o tema [2].

## 1.2 OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO

Sendo está, uma metodologia que divulga uma grande mudança na forma como se encara a criatividade, na forma como procuramos soluções técnicas e desenvolvemos a tecnologia, é estranho ainda o seu geral desconhecimento. Esta dissertação tem como objetivo documentar e dar a conhecer alguns dos conceitos, ferramentas e métodos que esta pode oferecer, trazendo alguma compreensão sobre o tema. Para o fazer, pretende-se não só expor os métodos, na sua vertente mais teórica, como também aplicá-los no desenvolvimento e inovação de um equipamento, o FRICTORQ.

O FRICTORQ é um equipamento laboratorial desenvolvido na Universidade do Minho, destinado a medição do coeficiente de atrito em materiais flexíveis (em especial produtos têxteis), como uma alternativa, simples, fácil de usar e barata em relação a outros equipamentos para este tipo de medições. Este equipamento surgiu da procura em contribuir para a análise objetiva do conforto de tecidos, na tentativa de quantificar a sensação de toque [3].

Este tem vindo a ser alvo de estudos, e diversos melhoramentos quer por alunos como professores. No entanto, a procura de novas ideias e constante inovação, não é um processo fácil, tendo o FRICTORQ chegado a um ponto em que, aparentemente, nenhuma melhoria pode ser feita, sendo deste modo, um bom candidato para a aplicação de uma metodologia de inovação.

Deste modo, esta dissertação pretende, mostrar a aplicabilidade da TRIZ e dos seus conceitos, para encontrar novas ideias, conceitos e caminhos para potenciar um novo desenvolvimento do FRICTORQ.

### **1.3 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO**

O estudo da metodologia TRIZ, tem sido feito de forma autodidata, na sua grande maioria através de livros e artigos em inglês, os quais são, por sua vez, adaptações de publicações dos autores Russos que trabalharam com Altshuller no desenvolvimento desta metodologia. No entanto, alguns conceitos são de difícil tradução para a língua Inglesa e Portuguesa, resultando em alguma subjetividade na sua interpretação, o que pode levar a uma não homogeneização e deterioração de significado, de alguns conceitos desses conceitos.

No que respeita ao FRICTORQ, o seu estudo tem por base, trabalhos realizados por professores e alunos da Universidade do Minho. Nesses trabalhos, os autores, exploraram não só o desenvolvimento e modificações deste equipamento, mas também testaram-no em diferentes tecidos e situações, para garantir a qualidade do FRICTORQ. Contribuíram ainda, através do seu conhecimento, professores da Universidade do Minho envolvidos em alguns destes trabalhos.

### **1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O conceito e trabalho desenvolvido, neste relatório, desenrolam-se em sete capítulos distintos.

- No primeiro capítulo, procura-se introduzir a TRIZ, tentando mostrar como se desenvolveu o processo criativo no tempo, e de que forma a TRIZ se enquadra neste desenvolvimento, bem como a sua origem ideologias base.
- No segundo capítulo, o leitor é convidado a conhecer de uma forma genérica, mas com a pormenorização necessária, a metodologia TRIZ. As motivações que levaram a sua criação, passando pela sua história e identificação dos seus principais conceitos. São ainda descritos e explicados, alguns dos métodos e ferramentas que esta metodologia pode oferecer.
- No três capítulo, apresenta-se o FRICTORQ. É explicado o seu princípio de funcionamento e as evoluções e melhoramentos sofridos nos últimos anos.



- No capítulo quatro, procuram-se alguns dos princípios inventivos e tendências de evolução descritos na TRIZ, que podem ser identificados no desenvolvimento do FRICTORQ, *a priori* da realização desta dissertação, e portanto aplicadas inconscientemente.
- No quinto capítulo são usados, os princípios inventivos e as tendências de evolução, para se obter novas ideias ou inovações, possíveis de serem aplicadas no FRICTORQ, e que permitam assim melhorar o seu desempenho, as suas características ou aumentar as suas funcionalidades. Procura-se ainda simplificar e eliminar componentes inúteis no FRICTORQ, aplicando o método 'Trimming'. São ainda discutidas as vantagens da aplicação destes conceitos numa nova versão do FRICTORQ.
- Por fim no último capítulo, procura-se expor as conclusões e observações, adquiridas com a realização deste trabalho, no âmbito da TRIZ e do FRICTORQ. São ainda apresentadas algumas sugestões de trabalho a desenvolver futuramente no desenvolvimento do FRICTORQ.



## 2 METODOLOGIAS TRIZ

O presente capítulo começa por explicar, de forma genérica, o que é a TRIZ e quais os princípios onde se alicerça esta metodologia. De seguida apresenta-se uma pequena explicação do modo e áreas onde a TRIZ pode ser aplicada.

### 2.1 O QUE É A TRIZ?

TRIZ é o acrónimo russo para *Teoria Rechénia Izobretátelskih Zadátchi* que, em Português, significa *Teoria da Resolução de Problemas Inventivos*. O seu aparecimento surgiu na extinta União Soviética (URSS), nos anos 40 do século passado, pela mão de Genrich S. Altshuller (1926-1988) e seus colaboradores. Esta teoria foi assim crescendo no seio da União Soviética, mas devido à guerra fria, apenas nos anos 90 do século XX é que começou a se disseminar pelo resto do mundo.

A TRIZ diferencia-se das restantes metodologias por se focar nas invenções e não nos inventores, ou no mercado. Durante vários anos Altshuller e a sua equipa estudaram milhares de patentes, procurando encontrar e aplicar as “regras” que regem a evolução dos sistemas tecnológicos, de forma a inspirar-se para melhorar ou criar novos equipamentos. Baseado nestes estudos, Altshuller caracterizou os princípios por detrás de uma invenção, e criou uma série de ferramentas (as quais serão abordadas no capítulo 2.4) que permitem aplicar esses princípios de forma a orientar e potencializar o processo criativo, na conceção de novos equipamentos e tecnologias [1].

Mais de que uma simples metodologia, a TRIZ envolve todo um estudo dos sistemas tecnológicos e da sua evolução, oferecendo algumas ferramentas não só para a resolução de problemas, mas também para ajudar inventores e projetistas a desbloquearem o processo criativo, possibilitando, assim, a geração de novas ideias. Além disso, a TRIZ disponibiliza uma série de princípios e padrões universais a qualquer sistema tecnológico, que podem ser auxiliares ao seu desenvolvimento, bem como na previsão da sua evolução.

### 2.2 COMO E ONDE USAR A TRIZ?

A TRIZ é uma metodologia bastante versátil e diversificada, podendo ser usada, por si só, em todas as fases de um projeto, ou como ferramenta auxiliar a outros métodos tradicionais,

como, por exemplo, o *brainstorming*. Esta metodologia possui, para tal, um conjunto diverso de ferramentas, que variam conforme a área de atuação desejada. A Figura 1 pretende demonstrar a relação entre a área de aplicação e as várias ferramentas e metodologias da TRIZ.

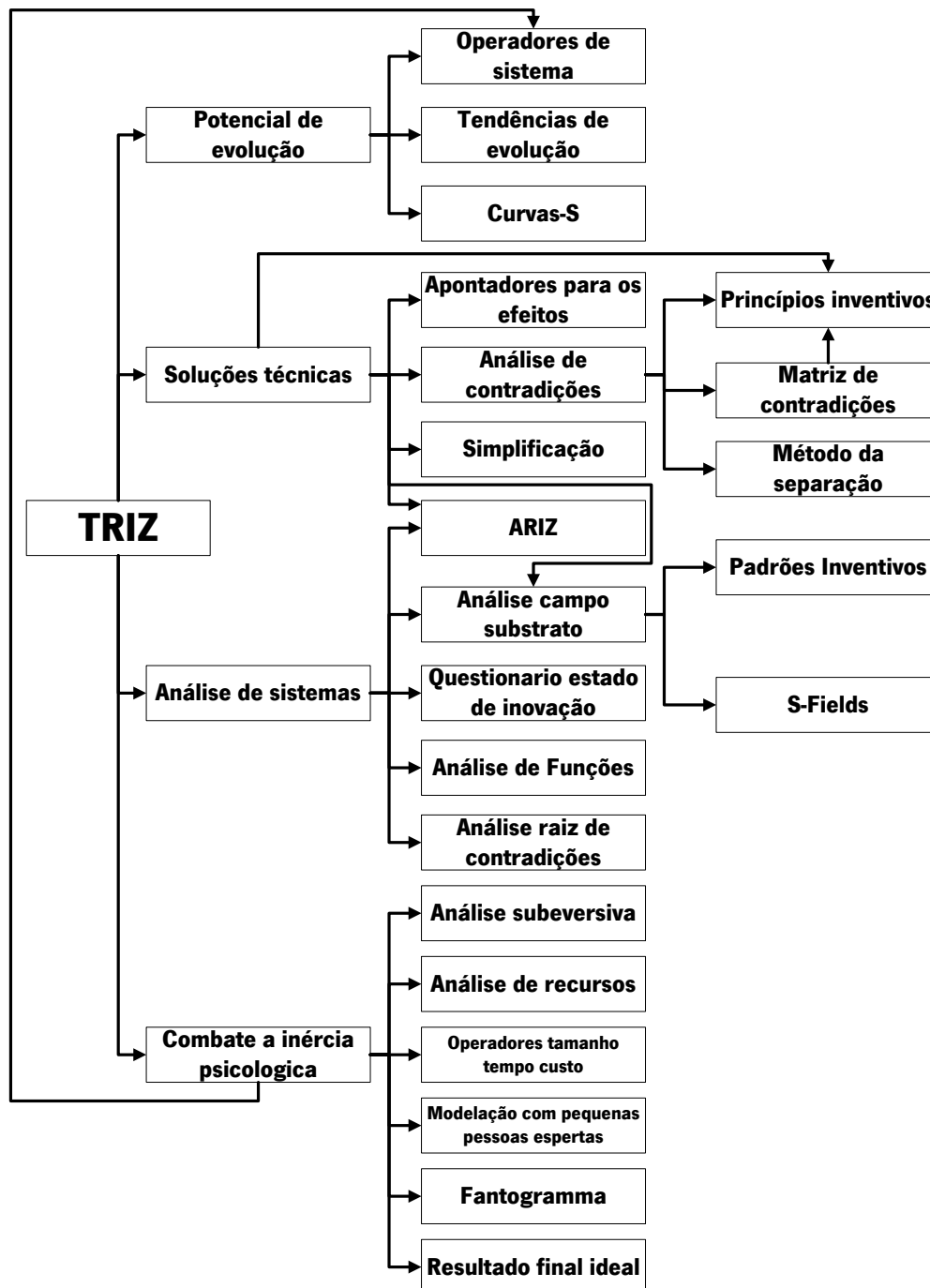


Figura 1 - Ferramentas e métodos da TRIZ e a sua área de aplicação.

Algumas das áreas de ação da TRIZ passam por:

- O estudo da evolução dos sistemas tecnológicos;
- Análise do seu potencial de evolução e dos caminhos de evolução existentes;

- A ajuda na procura de soluções técnicas para problemas concretos ou para melhoramento de sistemas tecnológicos;
- Métodos de análise, compreensão e avaliação de sistemas (ver definição de sistemas no subcapítulo 2.3.1);
- Ferramentas de combate à inércia psicológica e a potencializar a criatividade individual;

Relativamente às ferramentas, a TRIZ apresenta algumas bastante simples e que, ao nível da sua utilização não requerem de nenhum tipo de formação especial, como o caso da matriz de contradições. No entanto, existem outras, como a ARIZ ou S-Fields que são mais complexas e exigem alguma formação e experiência de utilização para serem corretamente aplicadas. A maioria das ferramentas e métodos podem ser usados individualmente, competindo à equipa de projeto selecionar aquelas que melhor se adequem às suas capacidades e necessidades. Contudo, importa referir que cada método possui características únicas e próprias, e portanto oferecem pontos de vista e resultados únicos, pelo que para potencializar ao máximo a eficiência da TRIZ, todos os métodos devem ser usados conjuntamente [1].

A TRIZ é uma metodologia que pode ser utilizada individualmente ou em grupo, sendo que no uso em grupo os resultados podem ser mais eficientes. Esta pode ser usada em quase todas as fases de conceção e desenvolvimento do produto, desde a fase de projeto conceptual até à fase de análise dos processos de manufatura, sendo apenas menos eficaz em processos de otimização (identificados por invenções de nível 1), processos que necessitam de um elevado processamento de dados, e em situações em que são necessários novos fenómenos ou princípios ainda desconhecidos pela ciência, uma vez que a sua previsão não é possível (invenções nível 5). Por sua vez, o seu ponto mais forte centra-se na criação de novas soluções e conceitos [4].

A metodologia TRIZ apresenta uma estrutura de três níveis, semelhante à que se encontra representada na Figura 2. Cada nível pode ser adotado individualmente ou como um todo, consoante as necessidades e capacidades de cada indivíduo ou organização. Assim, na base inferior da pirâmide encontra-se um conjunto de ferramentas (que serão exploradas no capítulo 2.4) que podem ser usadas, de forma simples e rápida ou como ferramentas de auxílio a outros métodos. No segundo nível, encontra-se um outro conjunto de métodos (que também serão descritos no capítulo 2.4) que ajudam a criar, e a analisar de forma organizada e sistemática, a criação de sistemas e soluções. No último nível, encontra-se uma filosofia relativa

aos sistemas tecnológicos, com conceitos, premissas ou paradigmas (os quais serão abordados no subcapítulo 2.3) que ajudam a compreender a realidade dos diferentes sistemas tecnológicos, dos processos criativos e da busca de soluções para problemas técnicos [4].

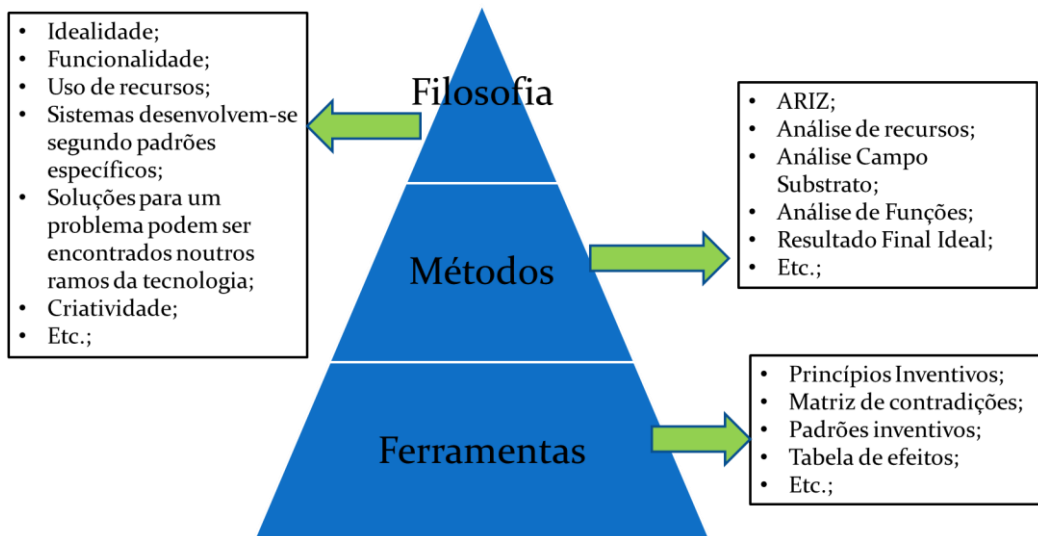


Figura 2 – Estrutura da TRIZ (adaptado de [4])

## 2.3 PRINCÍPIOS E TERMINOLOGIA

A TRIZ, mais do que um conjunto de métodos e ferramentas para auxiliar um projeto é, de um certo ponto de vista, uma ciência que estuda a evolução da tecnologia e dos princípios por detrás dessa evolução. Como tal, possui algumas bases e conceitos nos quais se alicerça. De seguida explica-se, de uma forma geral, alguns desses conceitos.

### 2.3.1 Sistema tecnológico

Na TRIZ, o conceito de sistema tecnológico pode ser entendido como o preço a pagar pela execução de uma dada função, sendo que, quanto mais evoluído for o sistema técnico, menor será o preço a pagar [1]. Importa salientar que, perante dois sistemas que executam a mesma função, mas que utilizam diferentes ações ou efeitos físicos, estes devem ser vistos como dois sistemas tecnológicos diferentes. Por exemplo, um barco tem como função navegar, no entanto, este poderá ser impulsionado através de velas, ou, por um motor. Assim, o barco impulsionado por vela será um sistema tecnológico, ao passo que o barco que se move pela ação de um motor deverá ser considerado como um outro sistema tecnológico diferente [5].

Ao conjunto de um, ou vários sistemas tecnológicos, que se analisa designa-se de sistema. Um sistema pode ser constituído por vários sistemas tecnológicos, os quais se designam por subsistemas, o número de subsistemas que constituem o sistema determina o

seu nível de complexidade. Por sua vez, um subsistema pode ser subdividido nos seus próprios subsistemas, desta forma estes subsistemas podem ser considerados eles próprios como um sistema, desde que exerça algum tipo de função. Por outro lado, o sistema pode estar ele próprio englobado num sistema mais abrangente ou ambiente, o qual se designa por supersistema [1] [6] [7].

Assim, praticamente todos os elementos podem ser vistos como subsistemas, sistemas ou supersistemas, cabendo ao engenheiro ou projetista, escolher o nível de abstração que melhor se adequa às suas necessidades. Por exemplo, o motor de combustão interna pode ser visto como um sistema, composto por subsistemas como as válvulas, pistões, refrigeração entre outros, e pertencente a um supersistema que seria o automóvel. No entanto, também pode ser visto como um subsistema do sistema automóvel, e o sistema automóvel pertence ao supersistema, rede rodoviária. Normalmente esta distinção é feita de forma natural ou intuitiva, no entanto pode ser útil fazê-lo de uma forma mais refletida. Algumas ferramentas (como por exemplo, os operadores de sistema) podem ser usadas para auxiliar essa tarefa, e serão analisadas no capítulo 2.4.

Esta definição pode tornar a tarefa de caracterizar algo, como sistema, um pouco complicada, visto que, no limite, mesmo um simples átomo numa substância realiza uma função, e portanto, pode ser caracterizado como um sistema. Uma regra menos abstrata e mais empírica define que um sistema como sendo composto de uma forma geral, por quatro subsistemas, um motor ou fonte de energia, um sistema de transmissão, uma unidade de controlo e uma unidade de trabalho que realiza a função [1]. No entanto, nem sempre é fácil identificar cada um destes constituintes, sendo comum ao longo da evolução dos subsistemas, estes acumularem mais do que uma destas funções, tornando a identificação destes componentes flexível.

### **2.3.2 Funções**

Um sistema físico por si só não é útil, será útil sim a ação ou efeitos que realiza, as ações ou efeitos realizados pelo sistema físico designam-se de funções. No extremo pode-se dizer que a existência física do sistema é o preço a pagar pela execução de uma dada função [5].

Num sistema existem quatro tipos de funções: a principal, secundária, auxiliar e as prejudiciais, ou negativas [5].

A função principal identifica o efeito para qual o sistema foi criado e aquela que se pretende otimizar.

As funções secundárias são ações ou efeitos úteis que se podem obter do sistema. É comum, no ciclo de vida de um sistema acrescentarem-se várias funções secundárias para melhorar o sistema.

Relativamente às funções auxiliares, estas são funções que, muito embora não sejam diretamente úteis, são necessárias para realizar as restantes funções. Num sistema ideal estas funções não existem, uma vez que a sua existência implica o consumo de recursos “desnecessários”, sendo muitas vezes fonte de efeitos negativos e contradições. A eliminação de sistemas que realizam este tipo de funções é o objetivo do método de simplificação descrito mais à frente no subcapítulo 2.4.10.

Por fim, as funções prejudiciais, ou negativas representam todas as ações ou efeitos indesejados que resultam da interação dos diferentes subsistemas. Esses efeitos dão origem a contradições técnicas e físicas, cuja eliminação resulta num aumento da idealidade do sistema [5].

### 2.3.3 Idealidade

Do ponto de vista filosófico, o sistema ideal seria aquele que realiza um determinado trabalho ou função sem sequer existir [7]. No entanto, uma existência física é sempre necessária, podendo-se referir que um sistema é o preço a pagar pela realização de uma dada função. Uma das bases da TRIZ refere que os sistemas tecnológicos tendem a evoluir na direção do sistema ideal (resultado final ideal), através do aumento do conceito de idealidade.

A idealidade pode ser vista, como sendo a relação entre os benefícios que um sistema cria, e os custos e danos que por ele podem ser causados. Essa relação encontra-se representada na equação 1.

$$Idealidade = \frac{\Sigma \text{benefícios}}{\Sigma \text{custos} + \Sigma \text{efeitos negativos}} \quad (1)$$

Os custos e efeitos negativos é tudo aquilo que consome recursos, sejam energéticos, material ou espaço (ver subcapítulo 2.3.9), e não contribuem para a realização da função principal [1] [4] [6] [7].



### 2.3.4 Inércia psicológica

Logo a partir do seu nascimento, e ao longo de toda a vida do ser humano, uma série de regras, hábitos, estereótipos e conceitos são lhe inculcados de forma a serem seguidos e respeitados inconscientemente. Embora tais conceitos sejam vitais no dia-a-dia, e ajudem a resolver os problemas do cotidiano, sem que seja necessário analisar cada situação diária, quando se trata de criatividade e inovação, alguns destes conceitos podem funcionar como bloqueadores ou inibidores do pensamento criativo. Outros fatores bloqueadores são os mecanismos de defesa psicológicos, como o medo do ridículo, a insegurança ou as incertezas. A estes fatores internos e externos que reduzem, bloqueiam e restringem o livre pensamento e geração de ideias, a TRIZ chama de inércia psicológica, podendo esta ser dividida em três subgrupos: terminológica, de imagem e de especialização [1]:

#### 1) INÉRCIA TERMINOLÓGICA

A inércia terminológica refere-se aos conceitos e estereótipos que estão associados a uma palavra. O ser humano exprime as suas ideias através de palavras e a cada palavra estão associados velhos conceitos adquiridos, que impõem limitações no pensamento. Para inventar é muitas vezes necessário ir além do comum e torna-se essencial criar novos conceitos ou reformular conceitos antigos, e os conceitos inerentes a uma palavra podem, muitas vezes, impedir o projetista de pensar para além do comum e do óbvio. Para se evitar ou reduzir esta barreira, é necessário usar termos genéricos como “coisa” ou “objeto” [1].

#### 2) INÉRCIA DE IMAGEM

Mesmo retirando as palavras que definem um conceito, a imagem associada aquela palavra, permanece presente na mente do projetista, logo a solução continuará a ser semelhante à solução que uma palavra representa. A esta inércia chama-se inércia de imagem e é a de mais difícil solução. Contudo, a TRIZ apresenta alguns métodos que possibilitam a redução deste tipo de inércia psicológica que serão abordados no capítulo 2.4 [1].

#### 3) INÉRCIA DEVIDO À ESPECIALIZAÇÃO

O último tipo de inércia psicológica é a inércia devido a especialização. Uma boa solução depende muito dos conhecimentos que o projetista tem na área de ação de um dado sistema. No entanto, o facto de se ter largos conhecimentos numa determinada área específica, tende a restringir a busca de soluções por parte do projetista na sua área de estudo. Cria-se assim uma tendência a procurar soluções ou conceitos na direção de apenas uma área de conhecimento, a

qual designa-se de vetor de inércia (Figura 3). Quanto maior o nível de especialização, maior a influência deste tipo de Inércia. Contudo, a melhor solução para um determinado problema pode ser conseguida usando outros ramos da ciência ou da tecnologia.

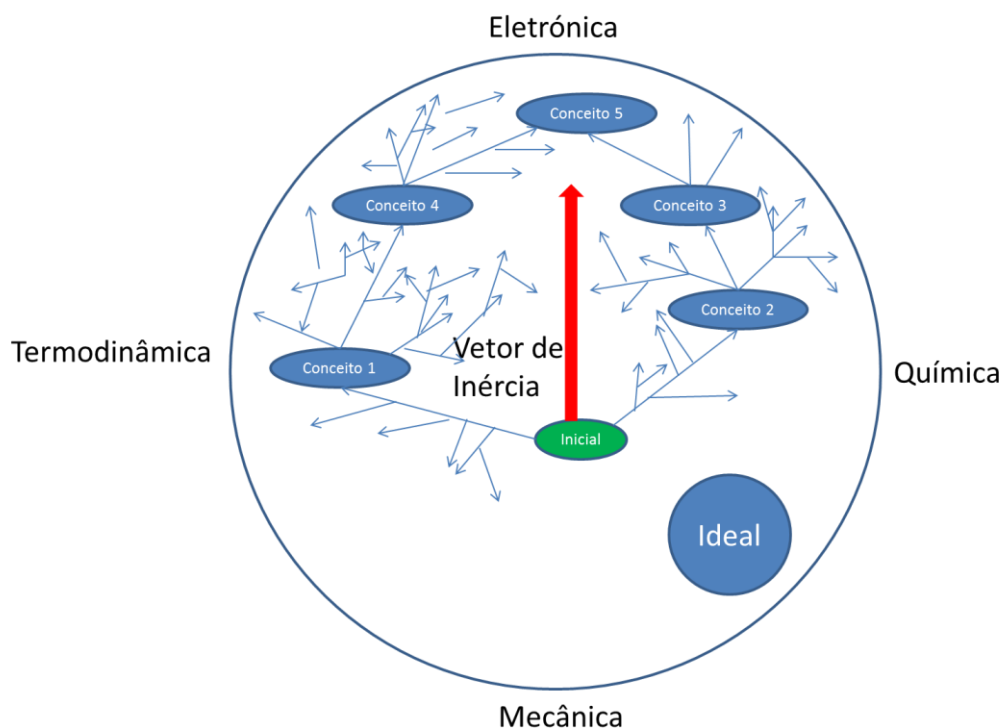


Figura 3 – Efeito da inércia psicológica (adaptado de [8])

Quando “alguém” fora da área de estudo apresenta uma nova ideia, é comum ouvir os especialistas dizer frases como “isso nunca funcionará!”, “Isso é uma ideia absurda!” ou ainda “não parece que funcione!”. A solução para este tipo de inércia é simples: basta alargar horizontes e estudar soluções noutras ramos de conhecimento e tentar o mais possível familiarizar-se com conceitos de outras áreas de conhecimento que não o seu, ou optar por considerar das áreas de estudo dos diferentes elementos da equipa de projeto [1].

### 2.3.5 Criatividade e soluções criativas

Uma visão típica da criatividade é de que esta é um dom obtido à nascença, e que cujo seu domínio é inerente ao indivíduo e como tal impossível de se replicar. Uma das premissas inerentes à filosofia defendida na TRIZ é que a criatividade pode de facto ser ensinada, treinada e desenvolvida.

Segundo Yuri Salamatov “*solução criativa é uma solução simples para um problema que segundo o senso comum pareceria totalmente complexa*”. De facto, quando confrontados com um problema, a tendência da maioria das pessoas é conceptualizar soluções complexas com

vários sistemas a interagirem entre si, quando uma solução criativa apresenta-se como uma solução simples com os mesmos resultados. A obtenção deste tipo de soluções é o principal objetivo da TRIZ [1].

### 2.3.6 Níveis de invenção

Nos seus estudos, Altshuller, procurou leis para o desenvolvimento de sistemas tecnológicos que fossem universais, tendo chegado a conclusão que as invenções podem ser agrupadas em cinco níveis [1] [6].

- No nível 1 encontram-se as *soluções triviais*, “pequenas afinações” que podem ser resolvidas com técnicas bem conhecidas, e cujo conhecimento pessoal de um indivíduo ou o senso comum é suficiente para obter uma solução. Caso se pretendesse aplicar o método de tentativa-e-erro, este não necessitaria de mais do que 10 tentativas para encontrar a solução. Este tipo de soluções representa cerca de 32% das soluções patenteadas.
- O nível 2 inclui *pequenas correções* que podem ser resolvidas por técnicas bem conhecidas. As soluções passam pela aplicação de conhecimentos, ou métodos empíricos dentro de uma organização. A partir da aplicação do método de tentativa-e-erro seriam necessárias entre 10 e 100 tentativas para encontrar a solução. Representa cerca de 45% das soluções patenteadas.
- Já no nível 3 encontram-se as Invenções médias. Neste nível quer as técnicas como o motivo não são bem conhecidos, mas a solução pode ser encontrada na mesma área de estudo/tecnologia. Estas são soluções que implicam transformações, num ou mais elementos, e a sua solução resulta da combinação de vários efeitos físicos. Neste caso, o método de tentativa e erro necessitaria entre 100 e 1000 tentativas para encontrar a solução. Representa cerca de 18% das soluções patenteadas.
- No nível 4 situam-se *Macro invenções*. Estas representam a síntese de novas tecnologias que podem causar uma mudança de paradigma. A solução deste tipo de problemas passa pelo uso de um outro ramo da ciência fora da área de estudo do equipamento. O método de tentativa e erro necessitaria de 1000 a 10000 tentativas. Representa cerca de 4% das soluções patenteadas.
- O último nível, nível 5, encontram-se as *grandes invenções*. Estas invenções acontecem devido a novas descobertas na área da ciência e de novos fenómenos.

O método de tentativa-e-erro necessitaria de 10000 a 100000 tentativas para encontrar uma possível solução. Representa cerca de 1% das soluções patenteadas.

A TRIZ pode ser utilizada para a obtenção de soluções até ao nível 4, sendo particularmente mais eficaz para invenções de nível 2, 3 e 4. Isto significa que, em 67% dos casos, a TRIZ mostra-se como sendo uma das melhores ferramentas para se obter uma solução para um dado problema.

### **2.3.7 Problemas Inventivos**

Problemas inventivos são problemas técnicos em que a solução passa pela utilização de conceitos fora do conhecimento comum, e cuja solução não é trivial, (nível 2 ou superior) requerendo portanto soluções criativas. Este tipo de problema está geralmente associado a contradições técnicas ou físicas, sendo a sua solução um dos principais focos da TRIZ [1].

### **2.3.8 Contradições**

As contradições são um dos aspetos fulcrais na filosofia TRIZ. Elas são o motor do desenvolvimento de um sistema tecnológico, uma vez que é através da resolução de contradições que surgem novas invenções criativas (invenções nível 2 ou superior). No espectro da TRIZ, as contradições são antagonismos num ou mais parâmetros. Altshuller definiu três tipos de contradições: administrativas, físicas e técnicas [1].

- 1) As contradições administrativas são uma oposição entre a capacidade de um sistema em executar um dado trabalho e o que é exigido pelo utilizador do sistema. Estas ocorrem quando o sistema é incapaz de satisfazer as necessidades do utilizador; são, portanto, o estímulo que leva à procura de novas soluções e conceitos para o sistema.
- 2) As contradições físicas são um paradoxo relativo a uma grandeza. Estas ocorrem quando o sistema necessita que uma grandeza tenha, em simultâneo, dois estados opostos mutuamente exclusivos para realizar uma função com máxima eficiência. Por exemplo, a ponta da vela de ignição deve ser larga para que esta não se queime, mas simultaneamente deverá ser estreita para que a faísca ocorra. Soluções não criativas (de nível 1) passam por um compromisso entre estes dois estados, pelo que na realidade, não resolvem a contradição. No subcapítulo 2.4.14 encontra-se o método consagrado na TRIZ para a sua solução.

- 3) As contradições técnicas ocorrem quando se pretende otimizar ou melhorar um dado efeito ou função (efeito positivo). Porém, ao fazê-lo, pode-se aumentar ou criar um efeito prejudicial ou indesejado (efeito negativo). Por exemplo, ao aumentar a potência de um motor (efeito positivo) implica um aumento das suas dimensões (efeito negativo). A TRIZ foca-se bastante na descoberta, formulação e resolução deste tipo de contradições (abordados no capítulo 2.4), visto que a solução destas contradições são a principal forma de aumentar a idealidade de um sistema. Note-se que é possível que contradições técnicas sejam formuladas sobre a forma de contradições físicas e vice-versa.

### **2.3.9 Recursos**

Os recursos são uma parte importante de qualquer sistema tecnológico. Qualquer sistema consome recursos para realizar as tarefas às quais está destinado, no entanto, um sistema ideal não necessitaria de qualquer recurso. Embora seja impossível, a procura desse “ideal” torna o sistema ainda mais eficiente, tirando melhor partido dos recursos mais baratos. Assim, é importante analisar os recursos que o sistema possui e quais são os que se podem aplicar (ver subcapítulo 2.4.7). A lista de recursos típicos da TRIZ encontra-se descrita no Anexo A [1].

## **2.4 MÉTODOS E FERRAMENTAS TRIZ**

Pretende-se expor, ao longo deste subcapítulo, alguns dos métodos e ferramentas que a TRIZ possui.

### **2.4.1 Resultado final ideal**

O resultado final ideal, também conhecido pelo acrónimo IFR, é um método de combate à inércia psicológica, para reduzir a relutância à utilização de ideias ousadas ou estranhas. Este método consiste em tentar imaginar como seria o sistema ideal, e a partir daí tentar encontrar a ligação com o sistema atual.

A tendência natural é de pensar, o que se pode fazer a seguir para melhorar o sistema, e assim tentar definir o próximo passo. Com o IFR inverte-se a lógica de pensamento. Para tal, começa-se por imaginar o sistema ideal e a partir daí tentam estabelecer quais os passos anteriores até ao sistema atual.

Apesar da sua aparente simplicidade, este método nem sempre é fácil de aplicar corretamente, mas quando usado convenientemente, permite derrubar várias barreiras psicológicas, tornando-se assim numa mais-valia na conceção de novos sistemas [1].

### **2.4.2 Operadores Tamanho-Tempo-Custo**

Um dos métodos que a TRIZ sugere, para vencer a inércia psicológica e ajudar no potenciar da criatividade, são os operadores Tamanho-Tempo-Custo. Este método consiste em seis operações mentais, que exagerando parâmetros, alteram assim a visão do problema [1]:

- ( $s \rightarrow \infty$ ). Imagine o objeto ou sistema como tendo um tamanho a tender para infinito. Agora, tente ver o que muda e de que forma afeta o problema.
- ( $s \rightarrow 0$ ). Imagine o objeto ou sistema como sendo minúsculo, tendendo para zero. Depois experimente ver o que muda e de que forma afeta o problema.
- ( $T \rightarrow \infty$ ). Imagine que as ações executadas demoram um determinado tempo a tender para infinito. Posteriormente imagine o sistema como se esse estivesse em câmara lenta, analisando de que forma o sistema se comporta.
- ( $T \rightarrow 0$ ). Imagine que as ações executadas demoram um tempo a tender para zero, visto que o sistema é extremamente rápido, quais são as implicações repercutidas no sistema.
- ( $C \rightarrow \infty$ ). Imagine que não existem limitações de custos e que até materiais mais caros podem ser usados, bem como sistemas e engenhos complexos.
- ( $C \rightarrow 0$ ). O objeto ou sistema não custa nada, ou seja, considera-se que são usados materiais praticamente gratuitos (como por exemplo: água ou ar).

Este exercício deve ser executado aumentando gradualmente as proporções, por exemplo, começar por imaginar o sistema 10× maior, depois 100× e assim sucessivamente; o exercício deverá ser realizado por fases até que surja o conceito desejado, sendo que, entre fases devem ser registados todos os conceitos para que nenhum seja negligenciado [1].

### **2.4.3 Modelação com pequenas pessoas espertas**

Durante a conceção de um projeto um dos maiores “inimigos” do projetista é a inércia psicológica, devido às imagens visuais (ver o subcapítulo 2.3.4). Estas bloqueiam a imaginação, tornando mais difícil a busca de soluções.

Em 1950, o psicólogo e inventor William J. J. Gordon sugeriu uma ferramenta para ajudar projetistas a vencer a inércia psicológica, a qual foi designada de analogia pessoal ou empatia. Nesta ferramenta, o projetista tenta imaginar-se como sendo o componente a projetar, e tenta assim “sentir” as “forças” e as condições que o componente “sente”, ajudando-o a compreender e definir melhor uma solução para o problema. Embora tenha-se provado ser uma ferramenta útil, esta pode despoletar uma outra barreira psicológica. Visto que ao usar este método, o projetista pode não considerar soluções que “o afetam pessoalmente”, como ser achatado ou ter uma descarga elétrica, que podem, por vezes, ser a solução do problema [1].

A TRIZ usa um método diferente denominado de modelação com pequenas pessoas (*Modelling with miniature dwarfs*, MMD), ou método das partículas. Nesta ferramenta, o projetista deve imaginar um componente como uma multidão de pequenas pessoas que interagem entre si. Imagina-se pessoas para que o projetista mantenha a empatia com o componente, mas desta vez a um micro nível, identificando-se como pequenas partes do componente. Deste modo mantêm-se os prós da analogia subjetiva reduzindo os seus contras.

Para aplicar este método, comece por destacar a parte do objeto que falha ao realizar as ações pretendidas, e imagine-a como uma multidão de pequenas pessoas. De seguida, divida-os em grupos consoante as condições do sistema.

O passo seguinte passa por criar diagramas com a multidão, identificando primeiro como se encontram no estado atual e depois como deveriam se encontrar. Posteriormente, analise-se o diagrama estabelecido e procurem-se formas de as forçar a comportarem-se como seria desejado [1].

Na Figura 4 encontra-se esquematizado um pequeno exemplo da aplicação do método de modelação com pequenas pessoas espertas. Neste exemplo, o componente (a) não possui as propriedades mecânicas devido a heterogeneidade dos cristais metálicos (os cristais são representados por pessoas), o que cria deslocamentos e falhas no material. As “pessoas” da multidão deveriam estar “em fila” e organizados (c), no entanto alguns dos “indivíduos” tentam “furar as filas” (b). Para evitar que as “pessoas” saiam do seu lugar, pode-se usar um “muro” para as impedir de se deslocarem livremente. Com este paralelismo, resta concretizar o “muro” de uma forma, que possa ser aplicada aos cristais metálicos.

A partir da aplicação deste método, o projetista fica mais recetivo a novas soluções, uma vez que o modelo não apresenta restrições. O projetista deve imaginar uma multidão grande pois este permite uma melhor imagem de como resolver o problema.

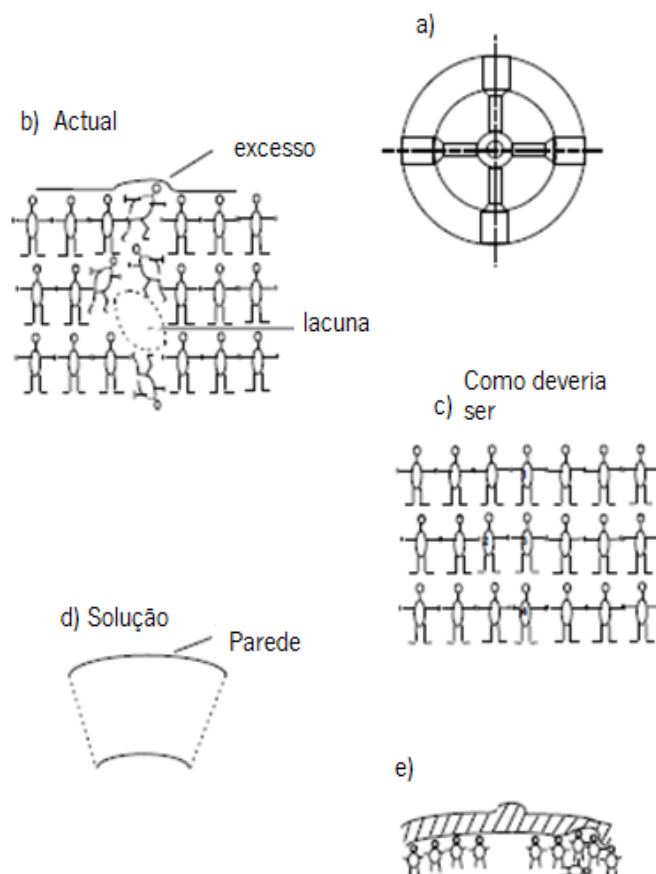


Figura 4 – Exemplo de um modelo usando as pessoas pequenas

a) componente b) o problema actual c) o que deveria ser d) possível solução e) efeito esperado pela solução (adaptado de [1])

#### 2.4.4 Fantogramma

Fantogramma é uma ferramenta que foi desenvolvida em 1970 por Altshuller, como ferramentas de auxílio e potencialização da criatividade e imaginação. Esta foi desenvolvida para ajudar a pensar fora do domínio habitual de pensamento e do óbvio.

A análise de um sistema a vários níveis, permite descortinar hipóteses ocultas e gerar novos conceitos inovadores, ajudando a organizar e a estruturar as ideias e conceitos. O Fantograma pode ser especialmente indicado para escritores de ficção científica, e do âmbito da fantasia, realizadores, publicitários ou qualquer pessoa que ambicione desenvolver novas ideias fantásticas [9].

O uso do fantograma consiste na alteração das características do sistema designados de Indicadores através de ações padrão (descritos no Anexo B), devidamente organizados, recorrendo ao preenchimento da matriz morfológica. Essa matriz, a título de exemplo, encontra-se representada na Tabela 1.



Tabela 1 – Matriz morfológica

|                        |                         | Método para a mudança de indicadores |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Indicadores Universais | Indicadores específicos | A                                    | B | D | E | F | G | H | I | J | K |
| 1U                     |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2U                     |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3U                     |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4U                     |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5U                     |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6U                     |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7U                     |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8U                     |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9U                     |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10U                    |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11U                    |                         |                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Para preencher a matriz, começa-se por definir as características do conceito a desenvolver (Indicadores Específicos), com base nos indicadores universais (Anexo C), os quais poderão ser usados todos ou apenas alguns. De seguida, recorra-se à imaginação para descobrir formas de alterar cada característica do modo descrito pelas mudanças dos indicadores (Anexo B). Por fim, selecione as ideias que mais gostar podendo combinar várias delas. Note-se que os indicadores universais e os métodos para a mudança de indicador são iguais para qualquer objeto [9].

### 2.4.5 Operadores do sistema

Normalmente, quando se tenta melhorar um determinado equipamento, a tendência é para nos focarmos num aspeto muito específico. Contudo, um equipamento é constituído por vários componentes (ou subsistemas), e, ele próprio, faz parte de um sistema ainda mais abrangente no qual desempenha algum tipo de função (supersistema). Este estreitar da visão sobre o sistema, aumenta o efeito da inércia psicológica reduzindo a compreensão do sistema. Outro erro comum, é a criação de uma imagem mental do sistema como ele se encontra atualmente. Porém torna-se mais produtivo ter uma visão global sistema e da sua dinâmica, de modo a se obter uma melhor imagem sobre a forma como este poderá evoluir.

Para solucionar este tipo de problema, a TRIZ apresenta o método dos operadores do sistema, também conhecido por método das 9-janelas ou método dos multi-ecrãs. Este método consiste numa representação no tempo e em escala de um sistema tecnológico, o que permite

analisar a complexidade do sistema como um todo. Para o aplicar, o projetista deve criar um esquema de janelas, onde está caracterizado o estado atual, o passado e futuro do sistema em estudo, bem como o dos seus subsistemas e do supersistema. A Figura 5 pretende ilustrar, de forma esquemática, o diagrama de janelas utilizado no método de operadores de sistema.

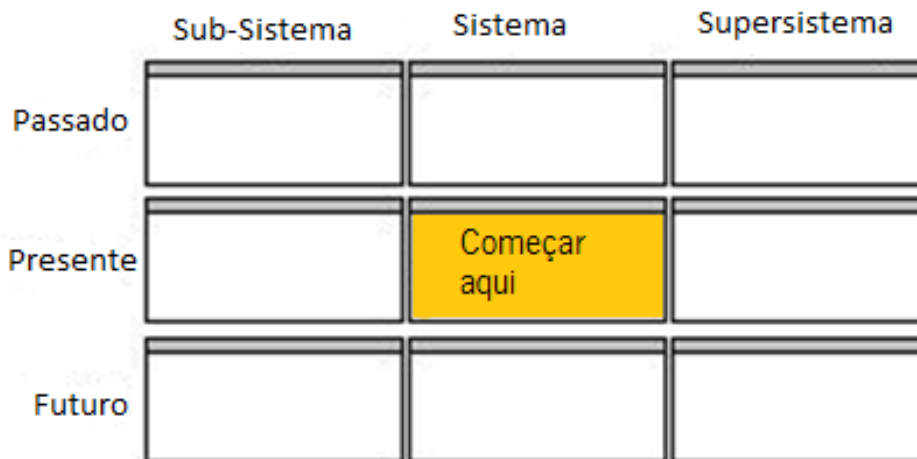


Figura 5 – Operadores do sistema (Adaptado de [1])

De forma a auxiliar esta abordagem algumas questões podem ser colocadas [7]:

- Que tipo de tecnologia possui? É um objeto, um sistema ou processo.
- Qual é a função principal?
- Para que serve essa função?
- Que funções secundárias realiza?
- Qual o seu supersistema?
- Quais os seus subsistemas?
- Quais as suas necessidades?
- A que tipo de mercado se destina?

Após esta análise, e se o método for bem aplicado, os resultados finais permitirão à equipa, observar de uma forma mais clara o papel do sistema no supersistema, bem como ver as ligações entre o sistema e os subsistemas e perceber ainda algumas das suas formas de evolução [6] [7].

#### 2.4.6 Análise subversiva

A análise subversiva, ou determinação antecipada de falhas, é um método para combater a inércia psicológica e para permitir a previsão das falhas do sistema.

Nos métodos tradicionais de prevenção de falhas, a previsão é realizada de um modo linear, ou seja, se uma dada função não se realizar questiona-se “o que acontece?” Posteriormente é determinada a probabilidade e o risco dessa falha acontecer, dando origem a sugestões ao projeto. Embora pareça um processo estruturado, este é na sua essência um exercício de *brainstorming*, uma vez que as hipóteses de falha são determinadas por processos intuitivos, e, como tal, o efeito da inércia psicológica é bastante forte. Para além disto, a objetividade do processo poderá também ser colocada em causa, visto que as possíveis falhas são determinadas pelos mesmos indivíduos que criaram o sistema, o que origina uma tendência para o sobrevalorizar, pois normalmente ninguém gosta de declarar que o seu sistema tem falhas.

Na análise subversiva inverte-se o pensamento. O engenheiro, ou a equipa, devem atuar como um “sabotador” e tentar inventar formas de provocar a falha do sistema. O projetista passa assim de uma visão defensiva para ofensiva, permitindo à equipa observar e analisar outras possibilidades de falhas. Após documentadas todas as possíveis falhas, o projeto pode ser melhorado de forma a conseguir evitá-las, ou minimiza-las [4].

#### **2.4.7 Análise campo-substância e padrões inventivos**

Os modelos campo substância (*Substance field model*, SFM ou *Su-field*) são modelos de funções mínimas de sistemas técnicos controláveis. Estes são compostos no mínimo por duas substâncias e por um campo onde se pretende representar as interações, físicas e químicas, entre eles. Entende-se por substância qualquer artefacto, ferramenta, material ou objeto, e por campo toda a fonte/forma de energia ou força que exerça influência (física ou química) numa substância [1].

Uma vez descritas as relações entre substâncias e campos, o modelo pode assumir duas formas: sistema completo ou sistema incompleto [1].

- Sistema completo – Este é o modelo desejado e encontra-se representado na Figura 6. Contudo, um sistema completo não significa a solução ideal. Este pode apresentar efeitos prejudiciais incorporados, que é necessário retirar, pode não ter aspetos que apesar de não serem prejudiciais, podem ainda ser maximizados. Para conseguir melhorar um sistema, a TRIZ possui um conjunto de Padrões que podem ser aplicados para melhorar o SFM. Os padrões para aplicar este método podem ser consultados no **Anexo D**.

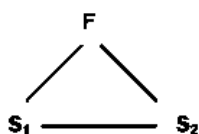


Figura 6 – Sistema completo [1]

- Sistema Incompleto – Este corresponde a todo o sistema para o qual não exista, pelo menos, um campo e duas substâncias ou que não estejam representadas as interações entre eles. A Figura 7 pretende representar o sistema incompleto.

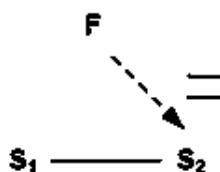


Figura 7 – Sistema incompleto [1]

Ao modificar-se um sistema para um outro novo, está-se perante uma transição. O objetivo será conseguir uma transição de um sistema incompleto para um completo, ou então a transição de um sistema completo de baixa eficiência para um de elevada eficiência.

Os SFM possuem uma nomenclatura própria que permite representar as transições e as relações entre os campos e as substâncias. Essa nomenclatura está representada na Tabela 2.

Tabela 2 – Nomenclatura dos SFM (adaptado de [1])

| Símbolos | Significados   |
|----------|--|
| S        | Substância   |
| F        | Campo  |
| S'       | Substância obtida através da alteração da substância S |
| F'       | Campo obtido através da alteração do campo F           |
| —        | Interação desconhecida                                 |
| →        | Interação/Ação benéfica                                |
| - - - →  | Ação desejada insuficiente/não existente               |
| ~ →      | Ação/efeito prejudicial                                |
| ⇨        | Transição  |

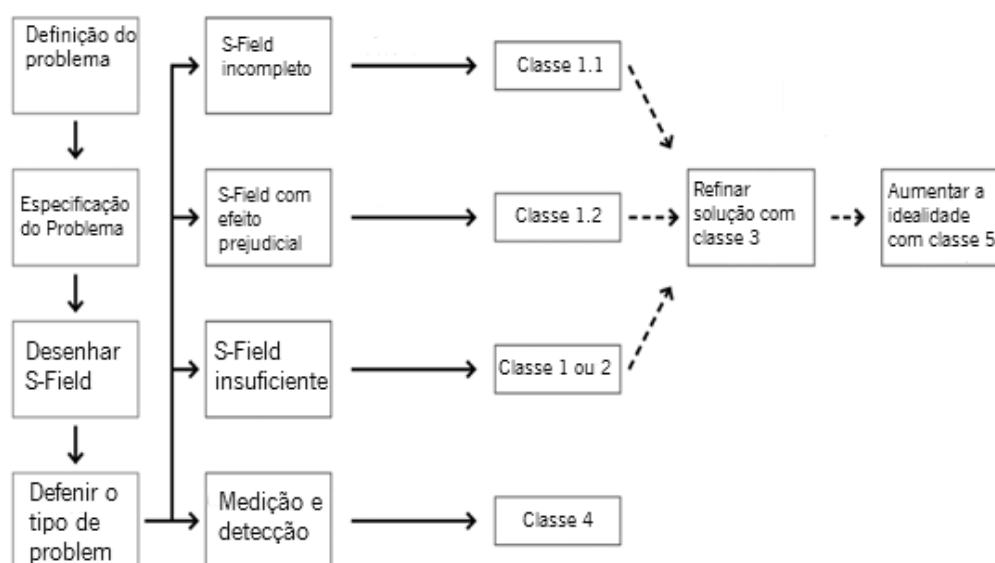
A análise campo substância procura examinar os SFM de um dado sistema e arranjar formas de ajudar na transição de um SFM incompleto para um completo, ou, tão simplesmente,

permitir melhorar a sua eficiência. Para isso recorre-se a uma série de soluções genéricas típicas em SFMs chamados de Padrões Inventivos (os quais podem ser consultados no Anexo D). Estes encontram-se organizados em 5 classes consoante a sua aplicação [1] [7].

1. Classe 1 - Composição e decomposição dos SFM;
2. Classe 2 - Evolução de SFM;
3. Classe 3 - Transição para supersistemas e transição para micronível;
4. Classe 4 - Padrões de deteção e medição;
5. Classe 5 - Auxiliares.

Esta separação ajuda a encontrar soluções de uma forma mais fácil, dependendo do tipo de problema com que se depara (Figura 8).

A análise de campo-substância é bastante útil pois não recorre a contradições técnicas para os problemas que se propõe resolver, podendo também ser bastante útil quando o grau de evolução é bastante elevado (invenções nível 3 e 4), ou quando for necessário criar um novo sistema [1].



**Figura 8 – Guia para a selecção dos padrões inventivos (Adaptado de [7])**

Apesar das suas potencialidades, este método não é, no entanto, de fácil aplicação. Ao longo do tempo, a sua utilização tem vindo a ser gradualmente substituída por outros métodos bem mais simples, como a análise de funções (ver subcapítulo 2.4.9), sendo usada principalmente por utilizadores experientes e conhecedores da TRIZ mais avançados. No

entanto, não deixa de ser uma ferramenta preponderante que deve ser usada quando nos deparados com problemas de resolução extremamente difícil [7].

### **2.4.8 Análise substância-campo de recursos**

Substância-campo de recursos (SFR), são campos ou substâncias (ver definição de campo e substância no subcapítulo 2.4.7) que estão presentes ou podem ser obtidas facilmente de acordo com as condições do problema. A análise SFR pode ser muito eficiente no aumento da idealidade de um sistema. Esta análise procura utilizar recursos que estão disponíveis, livremente, no ambiente, permitindo obter novas propriedades e funções num sistema, gastando quase nada. O projetista deve assim analisar que recursos têm disponíveis, e procurar formas de os aplicar no sistema [1].

Três tipos de substância-campo de recursos podem ser identificados:

1. Internos— Substâncias ou campos de um instrumento ou artefacto, como por exemplo compatibilidade química ou composição química.
2. Externos que se dividem em:
  - a) Substância ou campos de um ambiente específico, como por exemplo temperatura de um ambiente controlado.
  - b) Substância ou campo de qualquer ambiente com “campos de fundo”, como por exemplo campo gravitacional, magnético ou outro campo terrestre.
3. Supersistemas que se dividem em:
  - a) Desperdício de outro sistema, por exemplo aproveitamento do calor em sistemas de cogeração.
  - b) Substância ou campos mais barato: objetos mais baratos ou de custo insignificante.

O Anexo A pode também ser usado, para identificar possíveis recursos que possam ser utilizados no sistema.

### **2.4.9 Análise de Funções**

A análise de funções (ver a definição de funções no subcapítulo 2.3.2) procura representar num mapa de funções, as diferentes relações entre os elementos de um sistema, conforme se pode verificar no exemplo ilustrado na Figura 9. O mapa de funções é assim constituído por

vários nódulos que representam um elemento físico, e por ligações entre eles, as quais representam ações de um elemento sobre outro. Ao elemento que provoca a ação designa-se de *ferramenta*, enquanto o elemento sobre o qual a ação é realizada denomina-se de *produto*. Importa referir, no entanto que um elemento pode ser, simultaneamente, *produto* e *ferramenta*.

No exemplo apresentado na Figura 9, a “correia” é o *produto*, pois sofre a ação da *ferramenta* “motor”, mas, ao mesmo tempo, é ferramenta porque atua sobre o *produto* “tambor”. Ao elemento que representa o resultado final desejado do sistema designa-se de *produto do sistema*. No exemplo da lavagem da roupa, o objetivo do sistema é remover a sujidade, logo a sujidade é o *produto do sistema* [5].

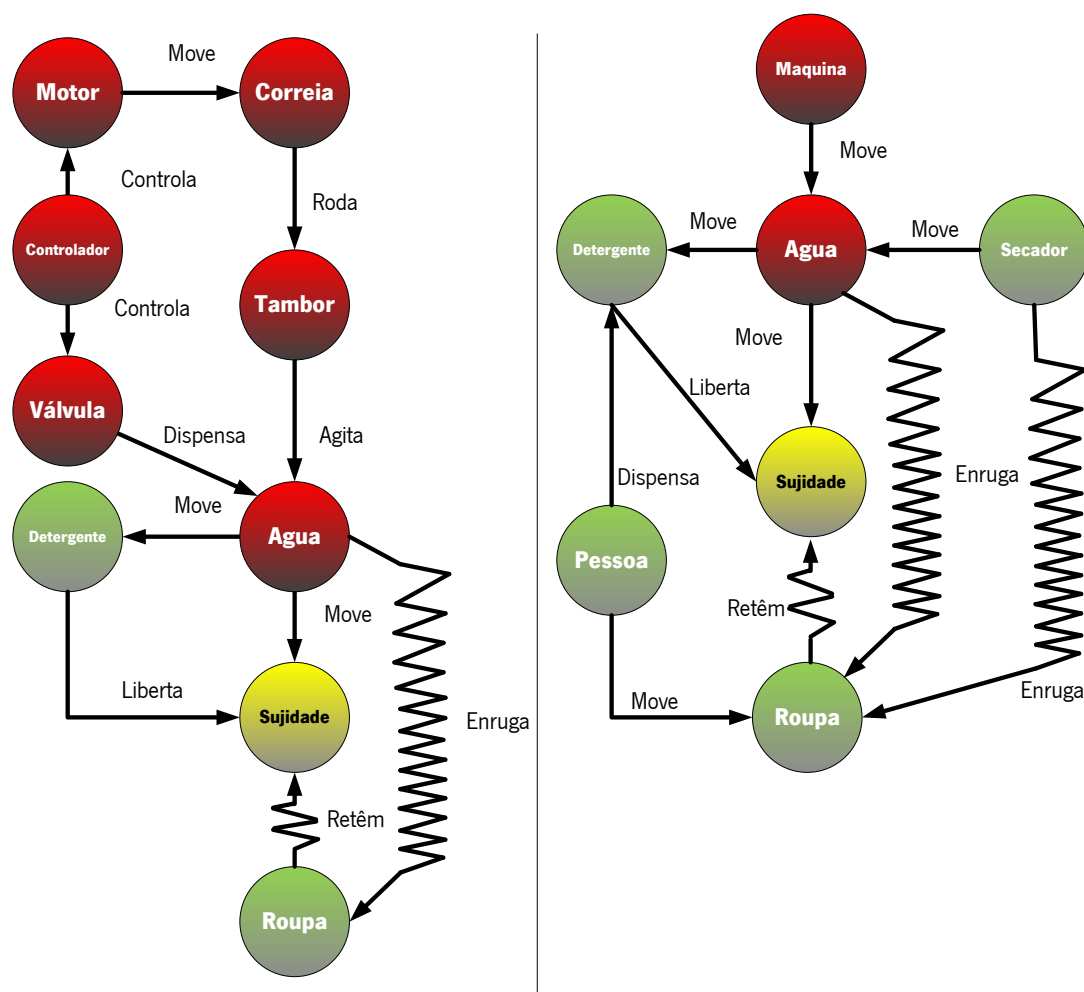


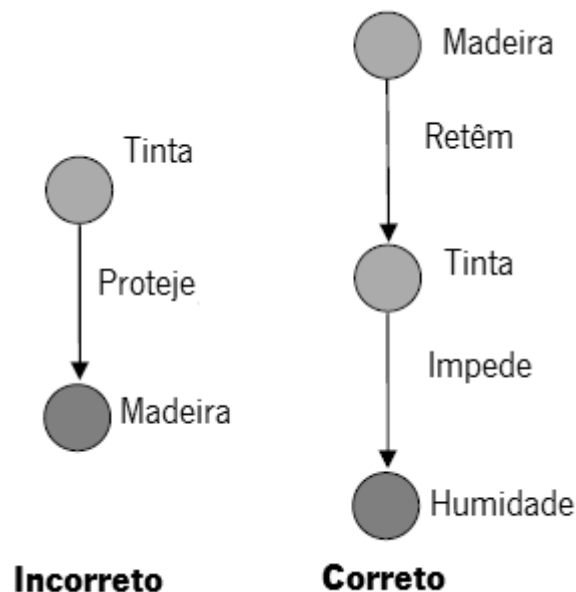
Figura 9 – Duas formas de representar mapa de funções do processo, lavar roupa (adaptado de [5])

Os elementos podem ser subsistemas, componentes, substâncias ou constituintes do supersistema. Note-se, contudo, que cada um dos subsistemas, ou componentes, podem também eles serem repartidos por outros subsistemas, que, por sua vez, podem também ser subdivididos e assim, sucessivamente, até ao átomo..., pelo que um mesmo sistema pode ser representado de diversas formas e com vários níveis de detalhe. Deste modo, compete ao

projetista através da sua experiência definir o nível de detalhe que acha que melhor serve o seu propósito. O projetista poderá recorrer ao uso de diferentes cores, ou formas, para categorizar cada um dos elementos ou realçar os mais importantes.

As ligações entre ferramenta e produto são especificadas usando sempre um verbo que as defina. No entanto, não pode ser utilizado um verbo qualquer, as ações têm de representar uma modificação no produto (verbos transitivos). O uso de ações que não impliquem uma qualquer modificação implica incorrer num erro de definição do sistema. A Figura 10 pretende representar um exemplo de como a escolha das ações pode modificar a representação do mapa de funções.

Uma forma simplista de definir o problema é referir que a tinta protege a madeira, no entanto, “proteger” não especifica uma modificação da madeira. Neste caso, estamos perante uma má definição do sistema. De facto a madeira suporta a tinta (modificação de um estado de movimento para estático ou de mudança de posição) e a tinta impede a humidade (impedir representa uma mudança de deslocamento) [5].







**Figura 10 – Exemplo de erros de definição de ações (adaptado de [5])**

No mapa de funções, deverão estar representadas todas as ações, as quais podem ser úteis ou prejudiciais. Assim, para facilitar a sua leitura, as ações usam uma nomenclatura semelhante às dos modelos campo substrato (ver Tabela 3). À semelhança do que se efetua com os elementos, também agora podem ser utilizadas várias cores para categorizar as ações [5].



**Tabela 3 – Nomenclatura das ações no mapa de funções (adaptado de [7])**

|   |                              |
|---|------------------------------|
|  | Efeito útil                  |
|  | Efeito útil mas em excesso   |
|  | Efeito útil mas insuficiente |
|  | Efeito prejudicial           |

Para se construir os mapas, de funções sugerem-se os seguintes passos [5]:

1. Decompor o sistema nos seus constituintes.
2. Acrescentar os elementos do supersistema e destacar o produto do sistema.
3. Acrescentar as ações.
4. Identificar a função principal e as funções auxiliares (por exemplo recorrendo ao uso de diferentes cores).

Esta ferramenta é bastante útil na análise de sistemas, e o seu uso ajudará a equipa de projeto ou o projetista a compreender melhor o sistema, permitindo-lhes: detetar partes do sistema que podem ser melhoradas, encontrar falhas e pontos-chave do sistema. Assim o mapa de funções resultante, pode atuar como um esquema das relações entre subsistemas, que ajuda a perceber melhor o sistema como um todo, e assim facilitar a análise ou aplicação de outros métodos ou ferramentas.

#### **2.4.10 Simplificação (“Trimming”)**

Na generalidade dos casos, quando perante um problema as equipas de projeto optam por métodos de adição ou substituição, que levam ao aparecimento de sistemas complexos, [10] (veja-se a tendência de evolução relativa à complexidade de sistemas no Anexo E).

No método da adição acrescentam-se novos componentes ou subsistemas para resolver o problema por exemplo, para solucionar o problema do aquecimento de um motor é acrescentado um sistema de refrigeração.

No método de substituição, o componente ou subsistema conflitioso é substituído por outro com efeitos menos negativos, por exemplo substituição de um sistema de refrigeração por ar, por um sistema de refrigeração por líquido. Além do aumento de complexidade, é comum, com a aplicação destes métodos não se proceder a uma reanálise do sistema, o que leva a que

sejam deixados componentes vestigiais, sem função útil, o que acarreta desperdício de recursos. Estas são frequentemente as primeiras ideias a surgir perante um efeito negativo. O “*Trimming*” pretende contrariar essa tendência, guiando os projetistas na criação de sistemas mais simples, indicando potenciais subsistemas ou componentes desnecessários [5].

O objetivo do “*Trimming*” é reduzir a complexidade de um sistema, reduzindo o número de componentes, de subsistemas ou de funções auxiliares, sem prejudicar contudo a função principal. Segundo as leis de evolução dos sistemas tecnológicos (a abordar no subcapítulo 2.4.17), numa primeira fase os sistemas são “forçados” a aumentarem de complexidade, pelo que, a simplificação não será muito eficiente, devendo ser aplicada a sistemas que se encontrem numa fase mais adiantada da sua evolução, especialmente quando o foco da evolução se centra na redução de custos [4].

Importa referir que à luz da TRIZ, a complexidade refere-se à quantidade de elementos, de subsistemas e de funções auxiliares existentes num sistema, e não ao seu manuseamento ou manufatura, o que leva a que um produto mais simples, do ponto de vista da TRIZ, possa parecer, por vezes, mais complicado. Além disso, um sistema com várias funções principais ou secundárias não é considerado complexo, sendo apenas o acréscimo de funções auxiliares que acarreta o aumento de complexidade de um sistema. Uma análise de funções (de acordo com o que foi referido no subcapítulo 2.4.9) pode ser bastante útil para o processo de simplificação [5].

A simplificação é realizada através da assimilação por parte de um componente ou subsistema, das funções de outros componentes ou subsistemas, ou pela fusão de componentes, e pode ser realizada ao nível dos subsistemas do sistema ou do supersistema. Deste modo, para efetuar a simplificação, a equipa de projeto ou o projetista deve conhecer bem todos os componentes, subsistemas e o supersistema do sistema a simplificar, bem como as funções e interações que cada um realiza. Uma análise de funções (subcapítulo 2.4.9) pode ser bastante útil para ajudar a esse exercício.

Uma vez descritos os subsistemas/componente e as suas funções é necessário analisá-los, para escolher aqueles que podem ser eliminados. Algumas das situações típicas que se devem procurar são [5]:

1. Componentes/subsistemas com funções iguais ou semelhantes;
2. Componentes/subsistemas com efeitos prejudiciais;
3. Componentes/subsistemas com funções diferentes sobre o mesmo objeto;
4. Componentes/subsistemas com funções em cadeia entre eles;

5. Componentes/subsistemas com funções opostas (Anti sistema);
6. Componentes/subsistemas de elevado valor: neste caso devem-se procurar funções que possam ser realizadas pelo componente de alto valor, mas que estão a ser realizadas por outro componente mais barato. Incorpora-se então essa função no componente de alto valor de forma a rentabilizá-lo o mais possível;
7. Componentes/subsistemas de estrutura/forma semelhante;
8. Componentes/subsistemas de posição próxima;
9. Componentes/subsistemas com funções que representam desperdícios de tempo, espaço, material ou dinheiro.

Para ajudar a determinar se um componente pode ser eliminado, deve-se refletir também sobre as seguintes questões [4]:

1. É necessária a função oferecida pelo componente?
2. Pode algum componente/subsistema no sistema, ambiente ou supersistema realizar essa mesma função?
3. Pode algum outro recurso existente realizar essa função?
4. Pode existir alguma alternativa de baixo custo?
5. O componente necessita de se mover em relação a outros?
6. O componente necessita de ser de um material diferente, de outros componentes complementares (componentes que se encaixam)?
7. O componente necessita de ser separado dos seus complementares, para facilitar a sua montagem/desmontagem?

Se aplicado com sucesso, este método permite reduzir o número de componentes num sistema, ajudando-o assim a tornar-se mais barato e competitivo. No entanto, podem ocorrer situações em que o componente resultante da fusão, com outros componentes possa ser mais difícil de produzir, sendo necessário avaliar portanto as soluções obtidas.

#### **2.4.11 Análise raiz de contradições**

A análise raiz de contradições, também conhecida por RCA+, é um método desenvolvido, baseado num método semelhante (a Análise raiz de conflito, ou RCA) desenvolvido na teoria das restrições, com o intuito de revelar e esquematizar contradições e as suas causas. A essência deste método recai sobre a construção de um diagrama em forma de árvore, que reflita a cadeia

de eventos que leva a um dado efeito. Na Figura 11 encontra-se representado o diagrama da raiz de contradições para falha de um computador [11].

Neste método, utiliza-se uma abordagem *top-down*, pelo que o Engenheiro deve colocar no topo o efeito negativo que pretende estudar e à medida que desce de nível, decompor o efeito nas suas causas. A cadeia termina quando [11]:

- Se obtém uma causa que é requisito do projeto.
- Se obtém uma causa que contribui, em simultâneo, de uma forma positiva e negativa (embora nalguns casos, possa ser útil continuar com a decomposição das causas).
- Se obtém uma causa que não é possível controlar, como por exemplo, o comportamento humano.

O Engenheiro ou projetista pode optar por contabilizar todas as causas e criar um diagrama complexo mas detalhado do sistema, de forma a permitir-lhe uma análise geral do sistema ou colocar apenas as causas necessárias para estudar um caso específico.

A diferença entre o método RCA e o RCA+ reside na pergunta colocada para decompor um efeito. Assim, enquanto no método RCA o Engenheiro questiona o “porquê?” que um dado efeito ocorre, no método RCA+ deve se questionar em relação ao “o quê?” (ou o que) provoca ou leva a dado efeito. Ao colocar a questão “o quê?”, somos como que levados a especificar o motivo e as condições para a ocorrência de um dado efeito; termos relativos como “alto” ou “baixo” não são aceitáveis nesta análise [11].

Uma vez criado o mapa de causas e efeitos, procede-se à identificação de cada causa/efeito, de forma a facilmente se encontrar as contradições. Cada causa é “etiquetada” com um dos seguintes símbolos:

- Negativo (-). A causa ou efeito é totalmente prejudicial e seria uma mais-valia a sua completa eliminação.
- Positivo (+). O efeito é benéfico, portanto deve manter-se inalterado.
- Combinado (+/-). O efeito ou causa têm simultaneamente um aspeto positivo e outro negativo. Estas são as contradições técnicas ou físicas que podem ser estudadas e eliminadas, usando outros métodos, como a matriz de contradições ou o método da separação (consultar subcapítulos 2.4.13 e 2.4.14).

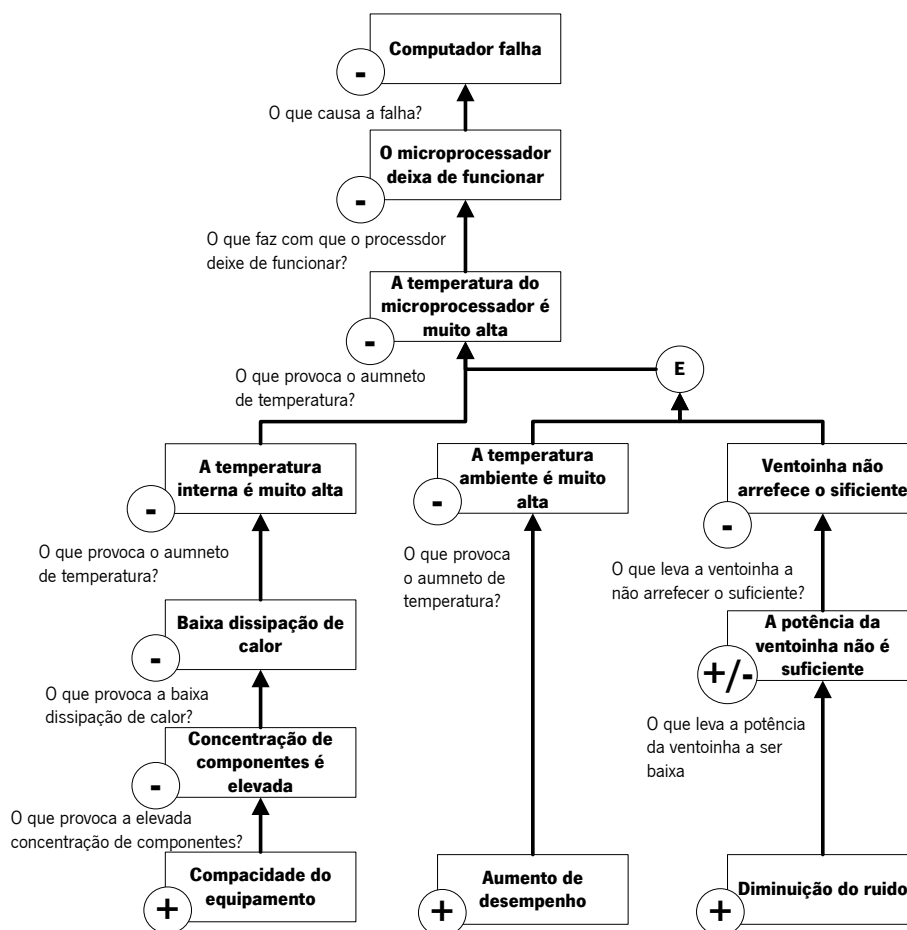


Figura 11 – Exemplo de um diagrama RCA+ (adaptado de [11])

Após o diagrama estar construído, novas limitações e contradições podem ser descobertas, bem como qual o seu impacto no sistema. Ao usar-se este método, abre-se de uma forma mais simples a porta para a aplicação de outros métodos, como a matriz de contradições e o método da separação (consultar subcapítulos 2.4.13 e 2.4.14) [11].

### 2.4.12 Questionário do estado de inovação (ISQ)

De modo a gerar boas ideias para um determinado sistema, a equipa de projeto deve ter definido claramente, todas as informações necessárias à caracterização do mesmo, o que nem sempre acontece. Frequentemente, estas equipas avançam para a fase de procura de ideias, ou de soluções, sem que o problema esteja bem definido, e com os aspetos relacionados ao problema devidamente documentados, devido a uma falta de estruturas de recolha de informação [9].

O ISQ ou (*Innovation situation Questionnaire*) foi desenvolvido na *Kishinev School of TRIZ* na Moldávia [9] para ajudar a criar essa estrutura, auxiliando não só na recolha de informação, mas também para ajudar a descortinar e organizar que informações são, de facto, necessárias.

Para o fazer, o ISQ propõe uma série de perguntas (que podem ser consultadas no Anexo F) que devem ser respondidas o mais detalhadamente possível, evitando-se, todavia, terminologias específicas, de forma a não reforçar os efeitos da inércia psicológica vista anteriormente. Esta informação poderá ser usada como base de dados para outras ferramentas da TRIZ [9].

### **2.4.13 Matriz de contradições e princípios inventivos**

Este método foi o primeiro a ser desenvolvido e pode ser usado quando se possui duas contradições técnicas com uma formulação clara. Para ser usada deve-se possuir dois parâmetros de Engenharia (Tabela 6 do Anexo G), um benéfico ou que se quer melhorar, e outro que é prejudicial ou que se pretende minimizar. Ao procurar-se um ou mais princípios inventivos pode obter-se a resolução para uma dada contradição. Os princípios inventivos são um conjunto de sugestões de soluções genéricas para um dado problema (o Anexo H lista o conjunto de princípios inventivos que podem ser usados) [1].

Para facilitar e melhorar a consulta desta informação, encontra-se no Anexo I uma tabela representada sobre a forma de uma matriz (assim designada de Matriz de contradições ou de Altshuller). Para se usar a matriz de contradições, deve-se procurar nas linhas o parâmetro que pretende melhorar, e nas colunas, o parâmetro que é prejudicial ou que se pretende minimizar. Na célula de interseção encontram-se, por ordem de relevância, os princípios inventivos que podem ser usados para obter a solução (resolução) dessa contradição [1]. No exemplo presente na Figura 12 pretende-se aumentar a velocidade de um dado componente (Parâmetro 9), mas isso provoca um aumento da temperatura do mesmo (Parâmetro 17) o que se pretende evitar. A solução pode passar então pela aplicação dos princípios inventivos 28, 30, 36 e 2 analisados no Anexo H. Posteriormente, deve-se procurar “enquadrar” a solução geral, indicada pelos princípios inventivos, e o nosso sistema.

Parâmetro prejudicial  
- Worsening-Feature

Parâmetro a melhorar

|                                   | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7              | 8              | 9              | 10             | 11             | 12             | 13             | 14             | 15             | 16             | 17             | 18             | 19             | 20            |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 1: Weight of moving object        | *              | -              | 15 8<br>29 34  | -              | 29 17<br>38 34 | -              | 29 2<br>40 28  | -              | 2 8<br>15 38   | 8 10<br>18 37  | 10 36<br>37 40 | 10 14<br>35 40 | 1 35<br>19 39  | 28 27<br>18 40 | 5 34<br>31 35  | -              | 6 29<br>4 38   | 19 1<br>32     | 35 12<br>34 31 | -             |
| 2: Weight of stationary           | -              | *              | -              | 10 1<br>29 35  | -              | 35 30<br>13 2  | -              | 5 35<br>14 2   | -              | 8 10<br>19 35  | 13 29<br>10 18 | 13 10<br>29 14 | 26 39<br>1 40  | 28 2<br>10 27  | -              | 2 27<br>19 6   | 28 19<br>32 22 | 19 32<br>35    | -              | 18 19<br>28 1 |
| 3: Length of moving object        | 8 15<br>29 34  | -              | *              | -              | 15 17<br>4     | -              | 7 17<br>4 35   | -              | 13 4<br>8      | 17 10<br>4     | 1 8<br>35      | 1 8<br>10 29   | 1 8<br>15 34   | 8 35<br>29 34  | 19             | -              | 10 15<br>19    | 32<br>32       | 8 25<br>24     | -             |
| 4: Length of stationary           | -              | 35 28<br>40 29 | -              | *              | -              | 17 7<br>10 40  | -              | 35 8<br>2 14   | -              | 28 10<br>35    | 1 14<br>15 7   | 13 14<br>35    | 38 37<br>28 28 | 15 14<br>28 28 | -              | 1 10<br>35     | 3 35<br>38 18  | 3 25<br>18     | -              | -             |
| 5: Area of moving object          | 2 17<br>29 4   | -              | 14 15<br>18 4  | -              | *              | -              | 7 14<br>17 4   | -              | 29 30<br>4 34  | 19 30<br>35 2  | 10 15<br>35 28 | 5 34<br>28 4   | 11 2<br>13 39  | 3 15<br>40 14  | 6 3            | -              | 2 15<br>19 30  | 16 32<br>38    | 18 32<br>18 13 | -             |
| 6: Area of stationary             | -              | 30 2<br>14 18  | -              | 26 7<br>9 39   | -              | *              | -              | -              | 1 18<br>4 34   | 10 15<br>35 28 | -              | 2 38<br>35 36  | 40             | -              | 2 10<br>19 30  | 35 39<br>38    | -              | -              | -              | -             |
| 7: Volume of moving object        | 2 28<br>29 40  | -              | 1 7<br>4 35    | -              | 1 7<br>4 17    | -              | *              | -              | 29 4<br>38 34  | 15 35<br>36 37 | 6 35<br>24 35  | 1 15<br>7 2    | 28 10<br>34 28 | 9 14<br>9 14   | 6 35<br>4      | -              | 34 39<br>10 18 | 2 13<br>10     | 35<br>35       | -             |
| 8: Volume of stationary           | -              | 35 10<br>19 14 | -              | 35 8<br>2 14   | -              | -              | -              | *              | 2 18<br>37     | 24 35<br>35    | 7 2<br>35 40   | 34 28<br>17 15 | 9 14<br>17 15  | -              | 35 34<br>38    | 35 6<br>4      | -              | -              | -              | -             |
| 9: Speed                          | 2 28<br>13 38  | -              | 13 14<br>8     | -              | 29 30<br>34    | -              | 7 29<br>34     | -              | *              | 13 28<br>15 19 | 6 18<br>38 40  | 35 15<br>18 34 | 28 33<br>1 18  | 8 3<br>26 14   | 3 19<br>35 6   | -              | 28 30<br>36 2  | 10 13<br>19    | 8 15<br>35 38  | -             |
| 10: Force (Intensity)             | 8 1<br>37 18   | 18 13<br>1 28  | 17 19<br>9 38  | 28 10<br>15    | 19 10<br>36 37 | 12 37<br>18 37 | 15 9<br>15 12  | 2 36<br>13 28  | *              | 18 21<br>11    | 10 35<br>40 34 | 35 10<br>21    | 35 10<br>14 27 | 19 2<br>19 2   | -              | 35 10<br>21    | -              | 19 17<br>10    | 1 16<br>36 37  | -             |
| 11: Stress or pressure            | 10 36<br>37 40 | 13 29<br>10 18 | 35 10<br>36    | 10 15<br>14 16 | 10 15<br>36 28 | 6 35<br>38 37  | 6 35<br>10     | 6 35<br>38 21  | *              | 35 4<br>16 10  | 35 33<br>2 40  | 9 18<br>3 40   | 19 3<br>27     | -              | 35 39<br>19 2  | -              | 14 24<br>10 37 | -              | -              | -             |
| 12: Shape                         | 8 10<br>29 40  | 15 10<br>26 3  | 29 34<br>5 4   | 13 14<br>10 7  | 5 34<br>4 10   | -              | 14 4<br>15 22  | 7 2<br>35      | 35 15<br>34 18 | 35 10<br>37 40 | 34 15<br>10 14 | *              | 33 1<br>18 4   | 30 14<br>10 40 | 14 26<br>9 25  | -              | 22 14<br>19 32 | 13 15<br>32    | 2 6<br>34 14   | -             |
| 13: Stability of the object       | 21 35<br>40 15 | 26 39<br>27 1  | 13 15<br>1 28  | 37<br>13       | 2 11<br>13     | 39<br>13       | 28 10<br>19 39 | 34 28<br>35 40 | 33 15<br>28 18 | 10 35<br>21 16 | 2 35<br>40     | 22 1<br>18 4   | *              | 17 9<br>15     | 13 27<br>10 35 | 39 3<br>35 23  | 35 1<br>32     | 32 3<br>27 16  | 13 19<br>27 4  | 29 18         |
| 14: Strength                      | 1 8<br>40 15   | 40 26<br>27 1  | 1 15<br>8 35   | 15 14<br>26 26 | 3 34<br>40 29  | 9 40<br>28     | 10 15<br>14 7  | 9 14<br>17 15  | 8 13<br>26 14  | 10 18<br>3 14  | 10 3<br>18 40  | 10 30<br>25 40 | 13 17<br>35    | *              | 27 3<br>26     | -              | 30 10<br>40    | 35 19<br>19    | 19 35<br>10    | 35 35<br>35   |
| 15: Durability of moving obj.     | 19 5<br>34 31  | -              | 6 27<br>9      | -              | 3 17<br>19     | -              | 10 2<br>18 30  | -              | 3 35<br>5      | 19 2<br>10     | 19 3<br>27     | 14 26<br>28 25 | 13 3<br>35     | 27 3<br>10     | *              | -              | 19 35<br>39    | 2 19<br>4 35   | 28 6<br>35 18  | -             |
| 16: Durability of non moving obj. | -              | 6 27<br>19 18  | -              | 1 40<br>35     | -              | -              | -              | 35 34<br>38    | -              | -              | -              | 39 3<br>35 23  | -              | -              | -              | *              | 19 18<br>36 40 | -              | -              | -             |
| 17: Temperature                   | 36 22<br>6 38  | 22 35<br>32    | 15 19<br>9     | 15 19<br>9     | 3 35<br>39 18  | 35 38<br>39 18 | 34 39<br>40 18 | 35 6<br>4      | 2 28<br>36 30  | 35 10<br>3 21  | 35 39<br>19 2  | 14 22<br>19 32 | 1 35<br>32     | 10 30<br>22 40 | 19 13<br>39    | 19 18<br>36 40 | *              | 32 30<br>21 16 | 19 15<br>3 17  | -             |
| 18: Illumination intensity        | 19 1<br>32     | 2 35<br>32     | 19 32<br>18    | -              | 19 32<br>28    | -              | 2 13<br>10     | -              | 10 13<br>19    | 26 19<br>9     | -              | 32 30<br>27    | 32 3<br>27     | 35 19<br>2 19  | 8              | -              | 32 35<br>19    | *              | 32 1<br>19     | 32 35<br>1 15 |
| 19: Use of energy by moving       | 12 18<br>28 31 | -              | 12 28<br>15 19 | -              | 15 19<br>25    | -              | 35 13<br>18    | -              | 8 35<br>35     | 16 26<br>21 2  | 23 14<br>25    | 12 2<br>29     | 19 13<br>17 24 | 5 19<br>9 35   | 28 35<br>6 18  | -              | 19 24<br>3 14  | 2 15<br>19     | *              | -             |
| 20: Use of energy by stationary   | -              | 19 9<br>6 27   | -              | -              | -              | -              | -              | -              | -              | 36 37          | -              | -              | 27 4<br>29 18  | 35             | -              | -              | -              | 19 2<br>35 32  | -              | *             |

Figura 12 - Exemplo do uso da matriz de contradições

### 2.4.14 Solução de contradições físicas

Tal como referido no subcapítulo 2.3.7, além das contradições técnicas existem também as contradições físicas. Para as solucionar, Altshuller desenvolveu um método no qual se reflete em que condições ocorrem as contradições, e, em função dessas condições, pode recorrer-se a sete estratégias diferentes agrupadas em duas categorias: *separação* e *transição*. Na *separação* procura-se analisar a possibilidade de se isolar os efeitos em diferentes locais, tempo ou condições, sem prejudicar o desempenho do sistema. Já na *transição* procura-se delegar/enviar um dos efeitos contraditórios para outro sistema, ou modificar a perspetiva do problema para o solucionar [7].

Uma vez descoberta qual a melhor estratégia para um caso específico, abre-se então o caminho para se aplicar os princípios inventivos que mais se adequam à solução de uma contradição. No Anexo J encontram-se listadas as sete estratégias e os respetivos princípios inventivos que se podem utilizar. Relativamente à lista de princípios inventivos, esta pode ser consultada como referido anteriormente no Anexo H [7].

### 2.4.15 Apontadores para efeitos

Frequentemente, a solução de um problema pode ser obtida através da aplicação de efeitos e fenómenos naturais conhecidos da ciência. Na literatura existem milhares destes efeitos, no entanto, tipicamente um Engenheiro ou projetista conhece apenas um pequeno número, particularmente na sua área de especialização, o que combinado com a falta de prática na aplicação desses efeitos em situações de engenharia leva a um mal aproveitamento do conhecimento existente [6] .

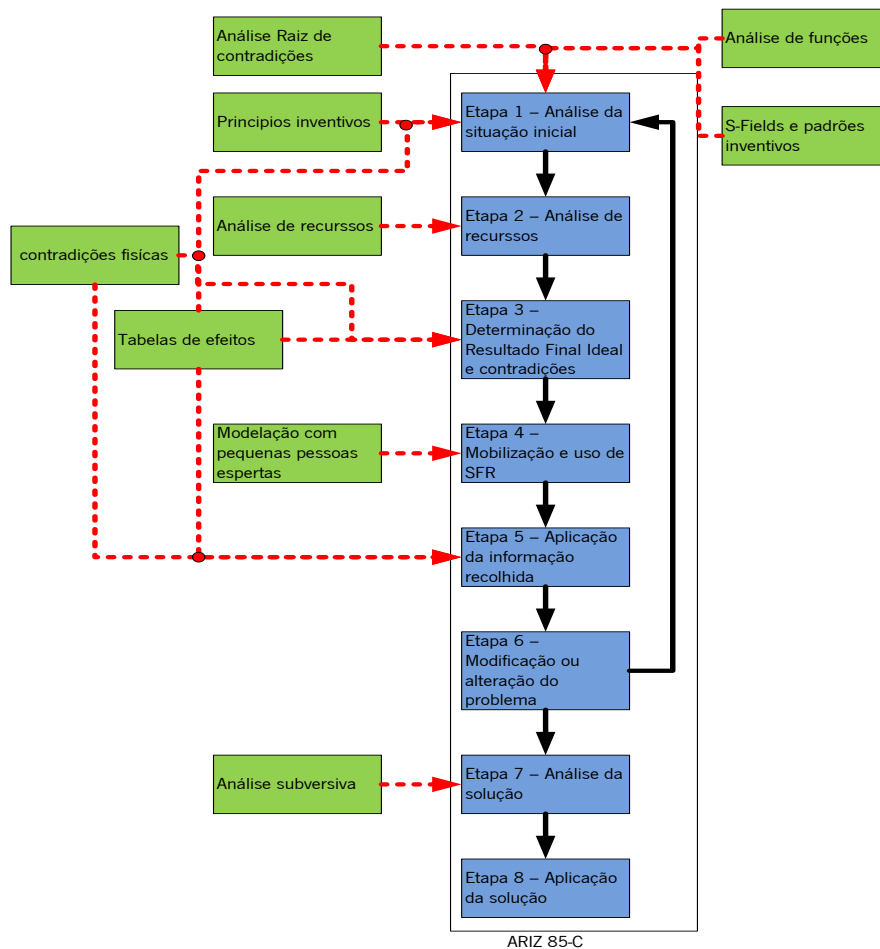
Para ajudar na seleção de possíveis efeitos capazes, de produzir uma função que resolva dado problema, foram desenvolvidos os apontadores de efeitos. Estes são uma base de dados de efeitos propostos por Altshuller e mais tarde desenvolvida por: Y. V. Gorin, S. A. Denisov, Yuri Salamatov, V. A. Michajlov, A. Yu. Lichachev, I. E. Vikentiev, V. A. Vlasov, V. I. Efremov, M. F. Zaripov, V. N. Glazunov, V. Souchkov e outros pensadores da TRIZ [6]. Esta é uma forma simples de encontrar fenómenos ou efeitos naturais tipicamente usados para realizar algumas funções comuns em engenharia [6]. Os apontadores consistem numa tabela onde estão listadas as diferentes funções e os respetivos fenómenos que podem ser usados para obter essa função. Estes fenómenos encontram-se divididos em três categorias: *efeitos físicos*, *efeitos químicos* e *efeitos geométricos*. A tabela de apontadores pode ser consultada no Anexo K.

### 2.4.16 ARIZ

ARIZ é a sigla russa para *algoritmo de resolução de problemas inventivos* e é um método multi-passos para a definição e resolução de contradições. Este serve como guia para uma grande parte dos métodos e ferramentas disponíveis na TRIZ, para a obtenção de soluções de projeto. O seu objetivo é organizar o pensamento do inventor ou do projetista de uma forma definida e estruturada, especialmente na solução de problemas inventivos atípicos [6].

O ARIZ é um método que faz parte da *TRIZ clássica* e foi desenvolvida por Altshuller entre 1959 e 1985. Ao longo do tempo várias alterações foram propostas e o seu nome foi atribuído conforme o ano da sua publicação [7]: a primeira versão foi apelidada de ARIZ-69. Atualmente a última versão oficial é a ARIZ- 85c [2]. No entanto, existem algumas outras versões novas, como a ARIZ- 85AS ou a ARIZ-96SS [6]. A aplicação do algoritmo ARIZ-85C desenvolve-se ao longo de 8 etapas. Essas encontram-se discriminadas na Figura 13, ao passo que o algoritmo completo pode ser consultado no Anexo L.





**Figura 13 – Etapas do algoritmo ARIZ-85C e identificação de alguns métodos TRIZ possíveis de usar em cada etapa (adaptado de [6]).**

Apesar de ser uma ferramenta poderosa, nem sempre é de fácil utilização. A sua aplicação está cada vez mais restrita a utilizadores avançados da TRIZ, sendo mais comum o uso de outros métodos para a obtenção de soluções [6] [7]. Contudo continua a ser uma ferramenta bastante útil, quando nos deparamos com problemas de dificuldade e complexidade acrescida [6].

### **2.4.17 Tendências ou leis de evolução**

Hoje em dia, cada vez mais, a competição entre indústrias, obriga-as a desenvolver melhores produtos e o mais rapidamente possível, de modo a estarem na linha da frente do mercado. Para estarem e se manterem na vanguarda, as empresas devem trazer o futuro hoje. Nas palavras de Alan Kay “ *A melhor forma de prever o futuro é cria-lo*”. Embora esta citação seja vulgarmente utilizada para demonstrar que o futuro depende de nós, e do nosso esforço, esta citação demonstra também, como conformados estamos em relação às formas de prever como as tecnologias evoluem. Alguns métodos baseiam-se no estudo do mercado ou no

feedback dos consumidores, o qual permitirá melhorar os produtos em vários aspetos. No entanto, é comum o próprio mercado não estar ciente da utilidade ou da necessidade de potenciais alternativas futuras que um produto ou tecnologia poderia oferecer, ficando assim excluídas inúmeras possibilidades de desenvolvimento, que desta forma, só serão contabilizadas, num ato de criatividade espontânea de um projetista ou de uma equipe de projeto [1].

Por seu lado as tendências de evolução, focam o seu estudo na tecnologia, retirando assim o efeito do desconhecimento do mercado em relação a tecnologia para o seu desenvolvimento. Este método surgiu do estudo de milhares de patentes e de tecnologias, o qual permitiu observar os aspetos comuns na evolução das tecnologias, daí a sua amplitude e simplicidade. A sua aplicação não requiere muitos conhecimentos específicos da TRIZ. Porém, apresenta-se como sendo uma ferramenta bastante poderosa, que pode também ser utilizada em complementaridade com outras atrás referidos [7].

Podemos ver, assim, as tendências ou leis de evolução, como diretrizes do caminho que um sistema pode seguir, auxiliando na previsão do seu futuro, e verificando possíveis caminhos para a sua evolução. Para tal estão definidas oito tendências, cujas suas designações podem variar entre autores [6] [7], uma possível organização pode ser:

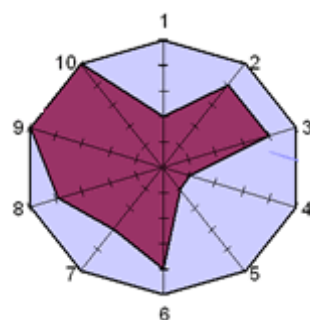
1. Aumento da idealidade.
2. Ciclo de vida.
3. Evolução desigual de sistemas.
4. Transição de macro para nano escala.
5. Expansão e convulsão.
6. Coordenação e desfasamento de subsistemas.
7. Aumento do dinamismo e controlabilidade.
8. Automatização.

Dentro destas tendências estão também identificadas inúmeras subtendências ou linhas de evolução. As subtendências mostram-se como uma lista mais detalhada das diferentes fases, (dentro de uma das oito tendências principais), as quais um sistema segue tipicamente. As listas de subtendências e a sua definição variam um pouco entre autores, apresentando-se em várias ocasiões como uma mistura, por vezes, confusa de outras listas. Isto faz com que o número de subtendências varie consoante o autor, no Anexo E estão compiladas algumas dessas subtendências.

Embora um sistema não tenha de passar por todas as fases, e nem todas as subtendências são aplicadas a um sistema, o estudo destas indica possíveis caminhos de evolução, ajudando, portanto, no desenvolvimento de novos conceitos. Da análise destas tendências e subtendências deverá surgir um conceito, que, quando introduzido no sistema, irá criar contradições e novos desafios técnicos, que podem ser desenvolvidos com auxílio de outras ferramentas [4].

### **Gráficos de “radar” e potencial de evolução**

Esta é uma ferramenta que se utiliza para esquematizar e auxiliar a análise das tendências de evolução. O objetivo é condensar num gráfico, semelhante ao da Figura 14, a evolução respeitante a cada tendência e o que falta até atingir o resultado final ideal.



**Figura 14 - Exemplo de um gráfico de radar [7]**

A orla exterior representa o máximo em termos de evolução que o sistema pode atingir; cada eixo, identificado por um número, representa uma tendência ou subtendência, e um ponto nele marcado indica o nível evolutivo no qual o sistema se encontra. A diferença entre o estado atual e o resultado final ideal designa-se de potencial de evolução, e representa o quanto um sistema poderá, eventualmente evoluir. Pode-se assim identificar de uma forma fácil, quais as tendências menos exploradas, e com maior potencial de evolução [7].

### **Análise das Curvas-S**

Tal como tantas outras coisas, um sistema possui também ele um ciclo de vida [7]. Assim, o conhecimento da fase do ciclo de vida em que dado sistema se encontra pode ser bastante útil para conhecer o potencial de evolução do sistema, e ajudar as empresas a decidir que ações tomar relativamente ao mercado. Decidir qual a melhor altura para lançar dado sistema a ser desenvolvido, quando apostar em novos sistemas são alguns exemplos, ou mesmo que público-alvo procurar [7]. Para fazer a localização da fase de ciclo de vida, é necessário realizar a análise das curvas-S, ou análise de maturidade.

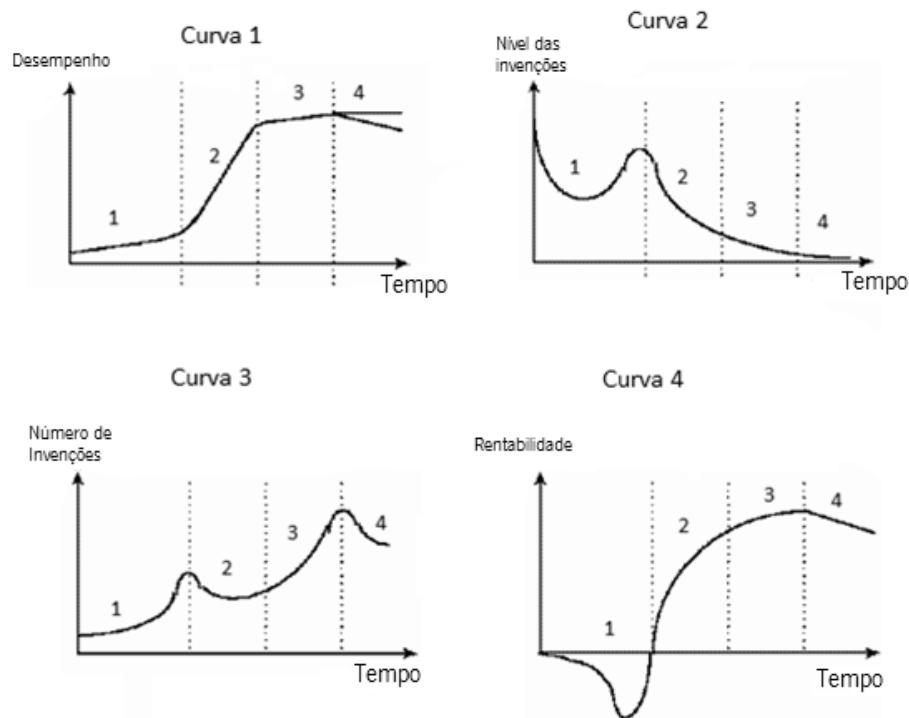
As curvas-S são representações gráficas da vida de um sistema ao longo do tempo. Genericamente, a evolução dos sistemas podem ser representadas através de quatro curvas diferentes (representadas na Figura 15). Cada sistema terá curvas diferentes, uma vez que cada um possui as suas próprias especificidades. No entanto, essas curvas serão semelhantes às curvas genéricas representadas na Figura 15 e reproduzirão as quatro fases de evolução: infância, crescimento, maturidade e declínio.

Da comparação entre a curva do sistema com as curvas genéricas poder-se-á obter a fase em que o sistema se encontra. Importa referir que cada sistema tem um ritmo próprio de evolução e que existem vários fatores, como a necessidade do sistema por parte da sociedade ou as mudanças nas “modas”, que podem influenciar a sua própria evolução. Neste sentido, não será possível saber em que ponto exato da curva o sistema se encontra, mas sim em que fase [6].

A partir do conhecimento da fase do sistema, das características dessa fase e da análise do sistema, é que as organizações poderão compreender a melhor forma de rentabilizar o seu produto e delinear estratégias.

Na fase 1, ou infância, o sistema nasce de uma necessidade da sociedade. Este não é ainda comercializado ou a sua notoriedade é reduzida, devido à relação custo/benefício ser bastante baixa. Apenas alguns pioneiros, visionários, progressistas ou entusiastas da tecnologia usam o sistema e incentivam o seu desenvolvimento. O desempenho do sistema é ainda baixo e a sua utilidade não é (totalmente) reconhecida, visto que apenas algumas pessoas o utilizam. O *feedback* e o financiamento para o seu desenvolvimento são bastante reduzidos, o que faz com que este seja lento. No final desta fase começa a surgir algum financiamento, o que impulsiona algum desenvolvimento [6].

A fase 2, ou crescimento começa, quando a sociedade reconhece a utilidade do sistema e vê como benéfica a relação custo/benefício. Vários problemas, devido a soluções de baixo nível, começam a ser resolvidos, provocando um aumento do desempenho do sistema, conduzindo a um aumento da procura. Esse aumento da procura proporciona um aumento dos lucros, levando a que seja aplicado mais investimento no desenvolvimento do sistema. Mais investimento, aliado a um maior *feedback* por parte do mercado, provoca um crescimento acelerado do sistema. Novas funções são acrescentadas e efeitos prejudiciais são eliminados, aumentando a idealidade do sistema o que atrai ainda mais investimentos. A popularidade do sistema cresce e a sua utilização difunde-se, conduzindo-o à sua aplicação em outras áreas [6].



**Figura 15 – Curvas-S genéricas (adaptado de [6]).**

Na fase 3, ou maturidade, o sistema tem um grande impacto social. O melhoramento do desempenho abranda entretanto, devido ao baixo número de parâmetros a melhorar. Grandes quantidades de dinheiro são aplicadas na sua evolução, o que resulta em várias novas invenções, no entanto, de baixo nível, o que resulta em poucos ou nenhuns melhoramentos realmente inovadores [6].

Na fase 4, ou declínio, o sistema atinge o limite da sua evolução; praticamente não emergem novas invenções ou, as que surgem, são apenas invenções de baixo nível. O desempenho estagna, ou decresce, para reduzir os custos. O sistema deixa de ser útil ou então novos sistemas, que desempenham a mesma função, com outro paradigma, começam a surgir. Como consequência os lucros começam a baixar [6].

Para continuar a evolução nesta área deve-se procurar novas atitudes, exigências e recursos, que possibilitem criar um outro sistema que desempenhe a mesma função, mas através de um paradigma diferente. Por exemplo, a passagem de um sistema mecânico para um eletrónico. Esse novo paradigma representa-se por novas curvas-S, pelo que é necessário dar o “salto” para essas novas curvas. Na Figura 16 encontra-se esquematizado o surgimento de novas curvas-S, as quais podem surgir de duas formas [7]:

- O surgimento mais comum (representada pela linha azul escuro da Figura 16), ocorre pelo aparecimento de novos paradigmas que apresentam desempenhos mais baixos. A vontade

de dar o salto para esta nova curva é menor porque, aparentemente o desempenho, ou idealidade, é mais baixa, o que pode parecer um retrocesso ou um passo atrás na evolução do sistema. Contudo, é necessário ter em atenção que são sistemas que se encontram ainda na sua primeira fase de evolução e que possuem ainda um grande potencial para crescer.

- A segunda forma (representada pela linha vermelha da Figura 16) apresenta-se como uma decisão mais fácil. Esta ocorre através do aparecimento de um novo sistema, cujo desempenho, mesmo na sua fase inicial, é mais elevado. Este incorre num menor risco de investimento, uma vez que, mesmo na sua fase inicial, o novo sistema já apresenta uma melhoria. No entanto, este caso é bastante mais raro, visto ser necessário uma descoberta revolucionária dentro da área deste sistema para se conseguir uma melhoria efetiva.

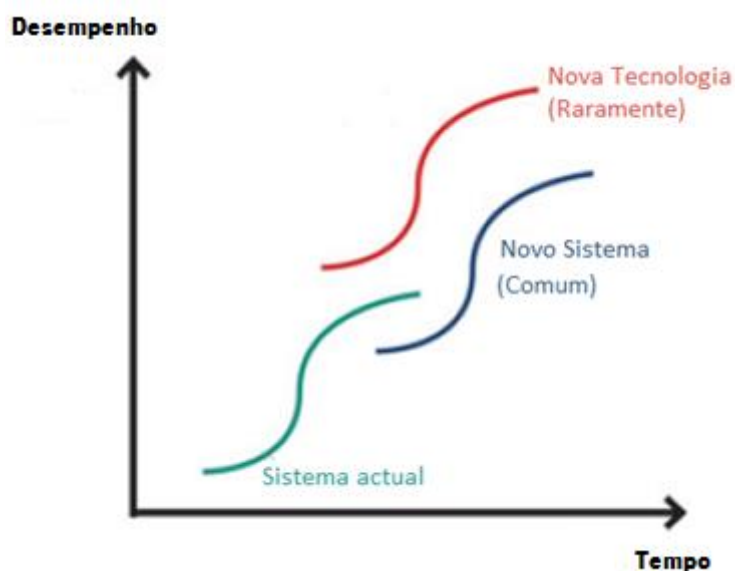


Figura 16 – Aparecimento de novos sistemas (adaptado de [7])

Quando se trata de avaliar produtos, as pessoas tendem a sobreavaliar as suas próprias ideias, deixando-se levar pelo entusiasmo, ou, então, a desprezar o potencial dos produtos em análise devido à frustração de se encontrarem “encalhadas” num problema que não conseguem solucionar. Podem deste modo, de uma forma intuitiva, avaliar o seu produto como estando ainda na fase da infância ou na fase do declínio. Devido a estas questões emocionais, torna-se portanto necessário traçar as curvas-S de uma forma objetiva. Para tal é necessário fazer um levantamento significativo das patentes de sistemas que executam a mesma função. Esse levantamento pode ser bastante demorado, pelo que a análise das curvas-S poderá não ser assim tão prática. Contudo, quando retirado partido de todas as suas potencialidades, esta pode ser uma ferramenta importante, sobretudo na fase de planeamento da conceção e do desenvolvimento de um sistema [7].

### 3 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO FRICTORQ

Neste capítulo ir-se-á abordar o equipamento FRICTORQ. Começa-se por introduzir a temática do atrito e como este se relaciona com o equipamento FRICTORQ, segue-se uma explicação do princípio de funcionamento deste equipamento e, por fim, as diferentes alterações, ao longo do seu desenvolvimento.

#### 3.1 INTRODUÇÃO

O fenómeno do atrito não é um fenómeno inerente a uma substância ou superfície, mas sim do contacto entre um par de superfícies. O atrito é caracterizado com sendo a resistência ao movimento que ocorre quando um corpo desliza sobre outro, ou a perda de energia cinética que ocorre entre dois corpos em movimento relativo. A força resistente que se opõem ao deslizamento entre duas superfícies em movimento relativo entre elas, designa-se de força de atrito cinético, enquanto a força que se opõem ao início do movimento relativos, designa-se de força de atrito estático, esta geralmente superior ao cinético.

O estudo do atrito teve origem no trabalho do polímata Leonardo da Vinci (1452-1519), no entanto, os seus achados foram perdidos, tendo sido redescobertos duzentos anos depois, no século XVII, pelo físico francês Guillaume Amonton (1663-1705), quando este descreve as leis de escorregamento entre superfícies secas. Em 1699, através de uma base empírica, Amonton descreve as duas primeiras leis do atrito [12]:

1. A força de atrito é diretamente proporcional à carga aplicada entre os dois corpos,
2. A força de atrito é independente da área de contacto aparente.

Em 1785 outro físico francês, Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806), acrescentou uma terceira lei;

3. O atrito cinético é independente da velocidade de escorregamento.

Pode-se assim escrever que:

$$F = \mu \times N \Leftrightarrow \mu = \frac{F}{N} \quad (2)$$

onde  $F$  é a força de atrito,  $N$  a carga normal entre as superfícies em contacto e  $\mu$  representa a constante de proporcionalidade, também designada de coeficiente de atrito. Este coeficiente é constante para apenas um conjunto específico de condições de contacto em

materiais metálicos. No entanto quando as superfícies em contacto são compostas por materiais não metálicos, o coeficiente de atrito pode variar consoante as condições de funcionamento [12].

Em materiais têxteis, devido à estrutura particular das fibras, a equação anterior não é totalmente válida. Relações empíricas demonstram que a força de atrito é melhor descrita pela equação 3 [12].

$$F = K \times N + \alpha \times A \quad (3)$$

Onde  $K$  e  $\alpha$  são constantes empíricas e  $A$  representa a área de contacto aparente [12].

Os métodos “tradicionais” de medição do coeficiente de atrito neste tipo de materiais (por exemplo o sistema KES) passam, tipicamente, por aplicar um movimento linear no tecido ou num corpo linear. O FRICTORQ difere desses métodos pelo uso de um princípio rotativo: Uma amostra de tecido é colocada sobre uma superfície com movimento rotativo e sobre a amostra encontra-se um corpo padrão, o qual desliza sobre este [3].

O FRICTORQ (acrónimo do inglês FRICtion + TORQue) é um equipamento laboratorial (ver Figura 17) usado para a medição do coeficiente de atrito em superfícies planas não rígidas. O seu desenvolvimento visa contribuir para a análise e caracterização objetiva de produtos têxteis, no que respeita a sensação de toque e conforto [13]. Este equipamento destaca-se dos demais equipamentos, com a mesma função, pela sua simplicidade, baixo preço e facilidade de utilização [3]. Este foi desenvolvido no Departamento de Engenharia mecânica da Universidade do Minho e está protegido pela Patente Portuguesa N.º 102790, com o título: “*Método e Aparelho para a Determinação do Coeficiente de Atrito de Materiais Sólidos Planos*”, desde 12 de Junho de 2002 [14].

O FRICTORQ tem vindo a sofrer diferentes melhoramentos os quais permitiram conceber um sistema para realizar uma medição fidedigna do coeficiente de atrito, tornando-se um sistema ainda mais versátil. Estes melhoramentos focaram-se, em especial, na alteração da base rotativa do equipamento e nas alterações do corpo padrão tendo-se mantido os restantes elementos praticamente inalterados [12].

Ressumem-se e descrevem-se nos próximos subcapítulos, o princípio de funcionamento e as diferentes alterações que o FRICTORQ tem sofrido até à presente data.





Figura 17- Equipamento FRICTORQ [15]

### 3.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO FRICTORQ

O funcionamento do equipamento FRICTORQ baseia-se no mesmo princípio de funcionamento de uma embraiagem de disco seco, no qual um corpo plano anelar (como o representado na Figura 18) desliza sobre uma outra superfície plana (a amostra de tecido) em rotação, em torno de um eixo perpendicular ao plano de contacto. O corpo anelar exerce uma carga (peso próprio) sobre o tecido, com uma distribuição uniforme de pressão [15].

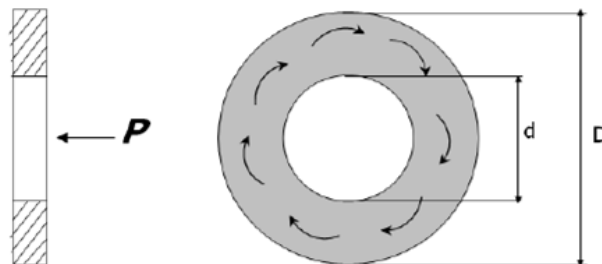
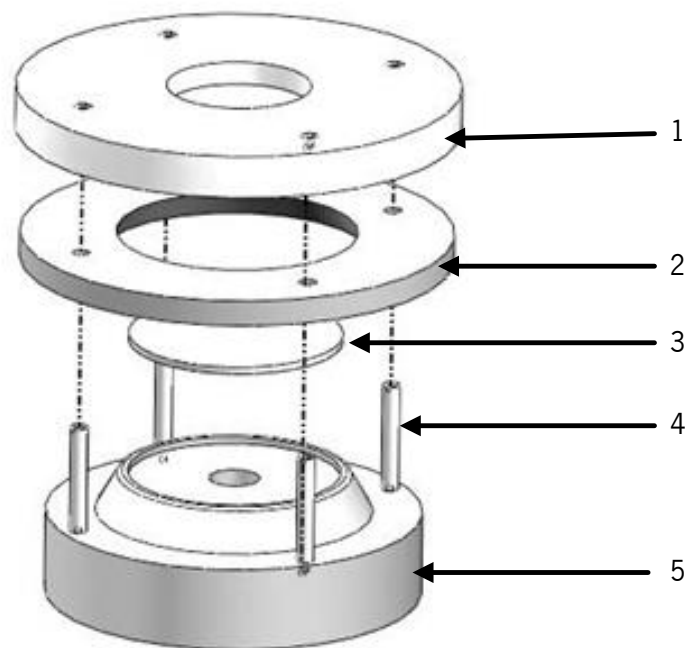


Figura 18- Esquema do corpo anelar [15]

O deslocamento relativo entre o corpo anelar e a amostra de tecido em rotação cria um binário reativo, o qual é medido por um sensor de binário e por um adequado sistema de

aquisição de dados. Conhecendo o valor da carga do corpo anelar e o binário, por intermédio de uma aplicação informática calcula-se o valor do coeficiente de atrito. O corpo anelar foi normalizado, de forma a garantir uma pressão de contacto de 2,9 kPa, 3,5 kPa ou 10kPa, e uma velocidade linear no seu raio médio de 1,77 mm/s [12].

Para garantir que o tecido não enruga, o que levaria a medição não só do coeficiente de atrito entre o corpo e o tecido, mas também da força resistente para vencer esses enrugamentos, a base rotativa sobre a qual o tecido é colocado tem uma forma cónica que, juntamente com a utilização de um anel metálico, que devido ao seu peso vai ajudar a fixar e a esticar o tecido contra a base de apoio, esticando-o e fixando-o (ver Figura 19). A base cónica de suporte é acionada por um motor elétrico de corrente contínua (a 12 V) com um redutor de engrenagens e uma correia dentada, a qual é montada, co axialmente com o sensor de binário de precisão reativo [12].



**Figura 19- Base rotativa e anel de pressão: 1) Anel de centragem 2) Anel de pressão 3) Borracha de silicone 4) Pernos de fixação 5) Base conica rotativa (adaptado de [12])**

O controlo do equipamento é realizado por intermédio de um PC, o qual faz a gestão de todo o sistema através de uma aplicação informática desenvolvida especificamente para este efeito. O painel frontal de programa concebido está representado na Figura 20. Aqui podem ser introduzidos os dados relativos ao ensaio, como o peso do corpo normalizado, a temperatura e a humidade relativa do ambiente, a duração e o código (designação) do ensaio. Uma vez inseridos os dados, e dada a ordem de “início” para a realização do ensaio, o motor é ativado, o que

coloca em movimento a base cónica. O sistema de aquisição de dados transmite assim ao PC, através da porta de serie, uma “string” com os valores do binário, os quais são representados num gráfico binário tempo como o da Figura 21. A partir dos valores de binário são calculados os valores do coeficiente de atrito [12].

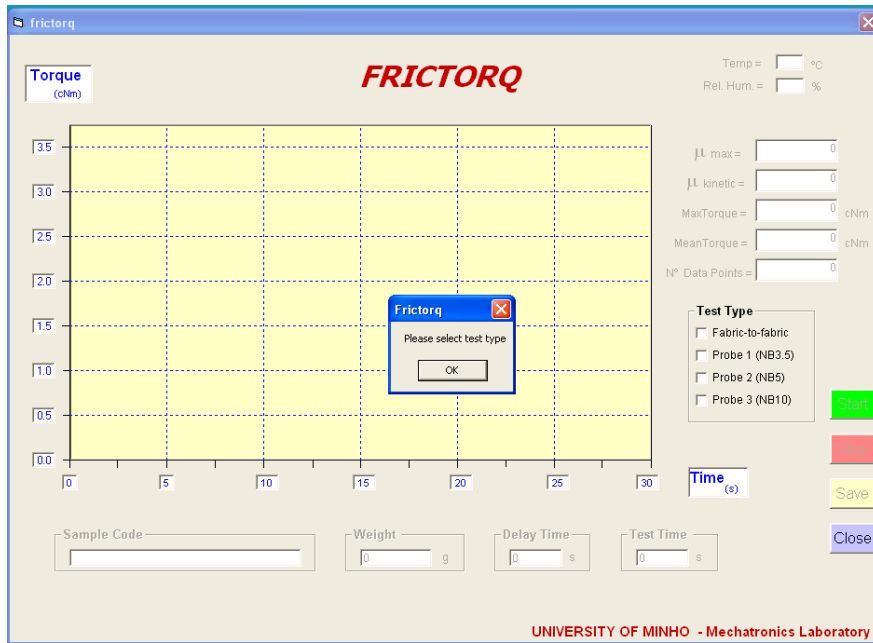


Figura 20- Janela do software de controlo [12]

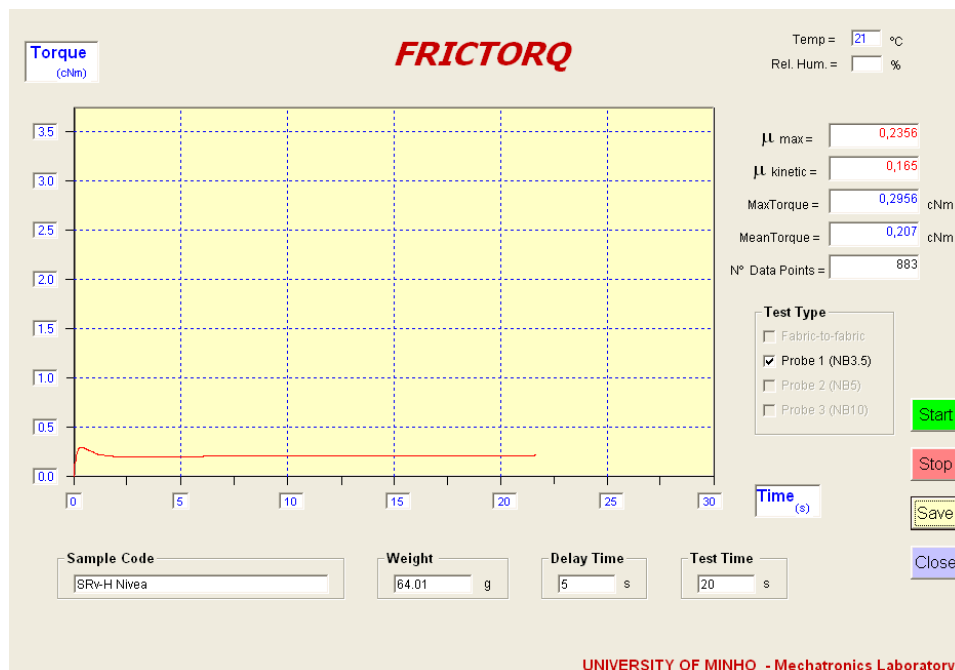


Figura 21- Gráfico de coeficiente de atrito vs tempo [12]

### 3.3 DESENVOLVIMENTOS DO EQUIPAMENTO FRICTORQ

Será agora descrito, nos seguintes subcapítulos, a varias versões do equipamento FRICTORQ, bem como as suas características e modificações.

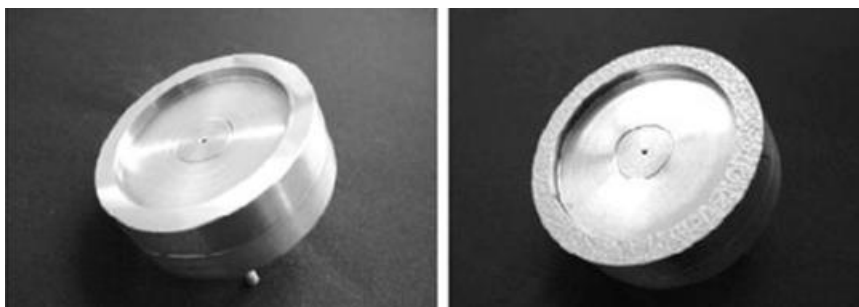
#### 3.3.1 FRICTORQ I

Este é a versão original do equipamento FRICTORQ, e a partir da qual foram desenvolvidas todas as outras versões. Este primeiro equipamento permitia a realização de ensaios em duas modalidades: tecido-contra-tecido ou corpo padrão-contra-tecido, como se pode observar na Figura 22.



**Figura 22- As duas vertentes de ensaios: tecido-tecido (esquerda) e tecido-metal (direita) (adaptado de [15])**

Nesta primeira versão do FRICTORQ, recorria-se a dois corpos padrão anelares para a realização dos ensaios da Figura 22, um com uma superfície lisa e outro com uma superfície texturizada tratada quimicamente, de forma a lhe conferir alguma rugosidade (ver Figura 23).



**Figura 23- Corpo de prova anelar com superfície lisa (à esquerda) e tratada quimicamente (à direita) (adaptado de [12])**

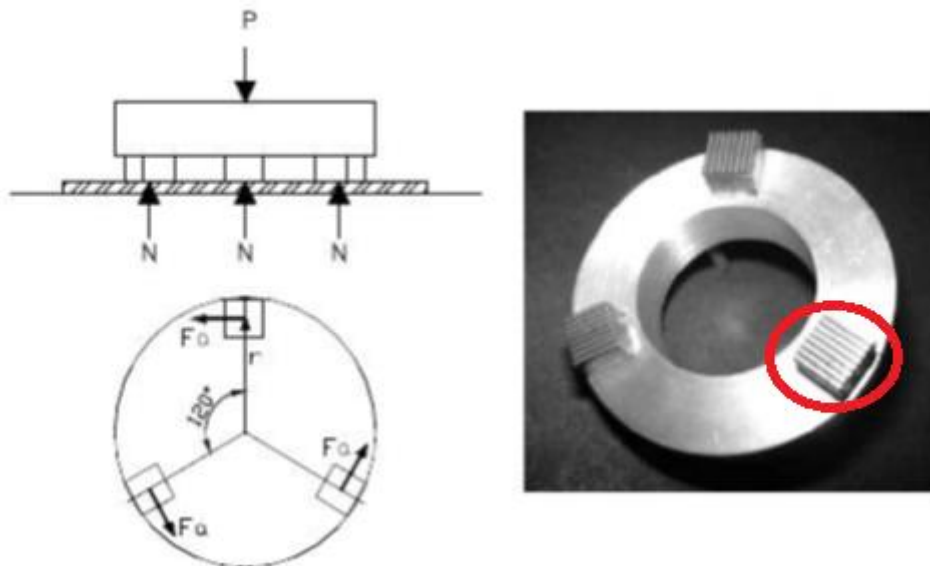
Este corpo exerce uma carga  $P$  sobre o tecido, e conhecendo-se o valor desta carga e o binário reativo  $T$ , pode-se calcular o coeficiente de atrito  $\mu$  através da seguinte equação 4:

$$\mu = \frac{3T \times D^2 - d^2}{P \times D^3 - d^3} \quad (4)$$

Em que  $D$  e  $d$ , são os diâmetros, exterior e interior do corpo anelar [15].

### 3.3.2 FRICTORQ II

No que respeita ao modo de funcionamento e às suas características, esta nova versão do equipamento FRICTORQ é em tudo igual à versão anterior: a única diferença encontra-se no corpo padrão. Nesta versão abandona-se o corpo anelar, e substitui-se por um disco com três bases (pés) de apoio como o da Figura 24.



**Figura 24- Corpo padrão usado no FRICTORQ II: (à esquerda) representação esquemática da nova solução, (à direita) novo corpo padrão construído (adaptado de [15])**

Este novo corpo de prova surgiu da consciencialização de que, com o corpo padrão anterior, as fibras do tecido podiam alinhar-se. Assim o binário reativo lido não seria apenas o do atrito entre as duas superfícies, mas poderia incluir também algum da resistência que esse alinhamento das fibras pudesse provocar. As bases (ou pés) de apoio estão separadas entre si por um ângulo de  $120^\circ$ , e controlando o tempo de ensaio, é possível garantir que apenas uma nova porção de tecido é considerada no ensaio. Cada base tem uma forma quadrangular a qual é revestida por uma série de agulhas, em aço inoxidável, com 1 mm de diâmetro. Esta configuração visa simular o contacto de um dedo humano sobre o tecido para a avaliação do

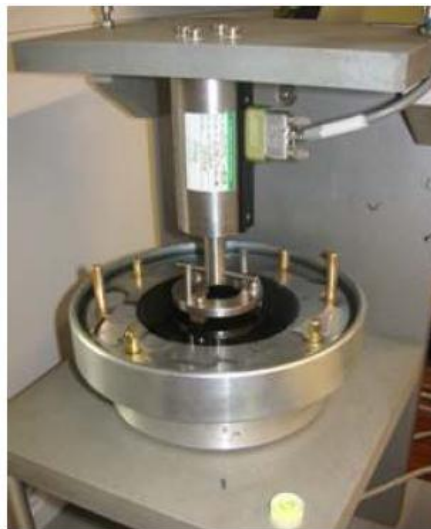
atrito. Com esta nova configuração o modelo de cálculo do coeficiente de atrito é agora calculado pela expressão:

$$\mu = \frac{T}{P \times r} \quad (5)$$

onde T é o binário reativo, P a carga aplicada e r o raio médio [12].

### 3.3.3 FRICTORQ III

De forma a analisar o comportamento de tecidos que estejam em contacto com meios líquidos, como por exemplo, dos tecidos usados em fatos de banho, procurou-se desenvolver uma nova função para o equipamento FRICTORQ de modo a que fosse possível realizar ensaios para a determinação do coeficiente de atrito de tecidos em meios líquidos. O resultado final desse desenvolvimento, pode ser observados na Figura 25, sendo esta nova versão designada de FRICTORQ III:



**Figura 25 – FRICTORQ III [15]**

Para realizar esta nova função, um recipiente para conter o líquido de ensaio teve de ser projetado. Este deveria ser capaz de suportar os ataques (corrosão) do meio líquido a ser utilizado no ensaio e garantir uma estanquicidade perfeita, para evitar que o líquido possa entrar em contacto com o motor e cadeia cinemática danificando-os. Procurou-se também construir um sistema que fosse modular, de fácil montagem e desmontagem, e que permitisse realizar ensaios sem que o utilizador tivesse de estabelecer contacto direto com o líquido [3]. A solução encontrada passou pela substituição da base cónica de suporte da amostra de tecido a ensaiar, usada na versão anterior, por uma igual à que se ilustra na Figura 26, à direita.

Outras alterações passaram pelo redimensionamento do corpo padrão de forma a garantir uma pressão de 3,5 kPa, e pelo acréscimo de duas hastes aparafusadas, como as que se mostram na Figura 27, e que permitem ao utilizador remover o anel de pressão sem entrar em contacto com o meio líquido de ensaio.

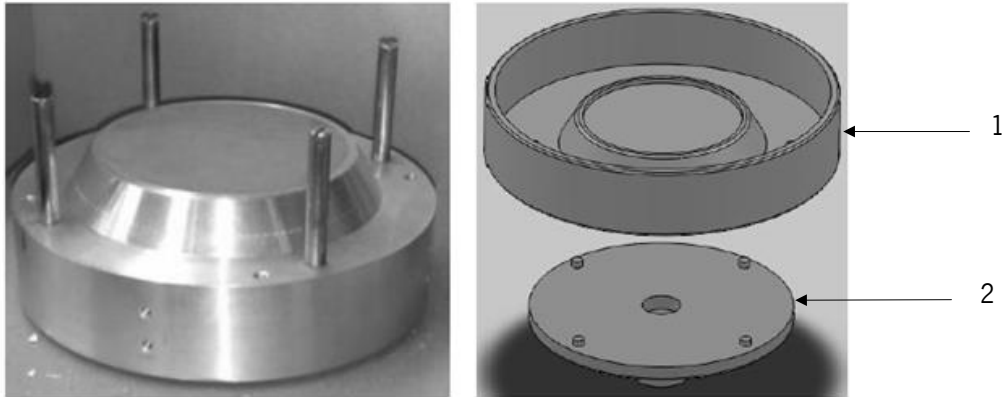


Figura 26- Bases cónicas do FRICTORQ, a direita, FRICTORQ III, a esquerda versões anteriores:  
1) base de suporte e recipiente para líquidos 2) Prato rotativo (adaptado de [15])

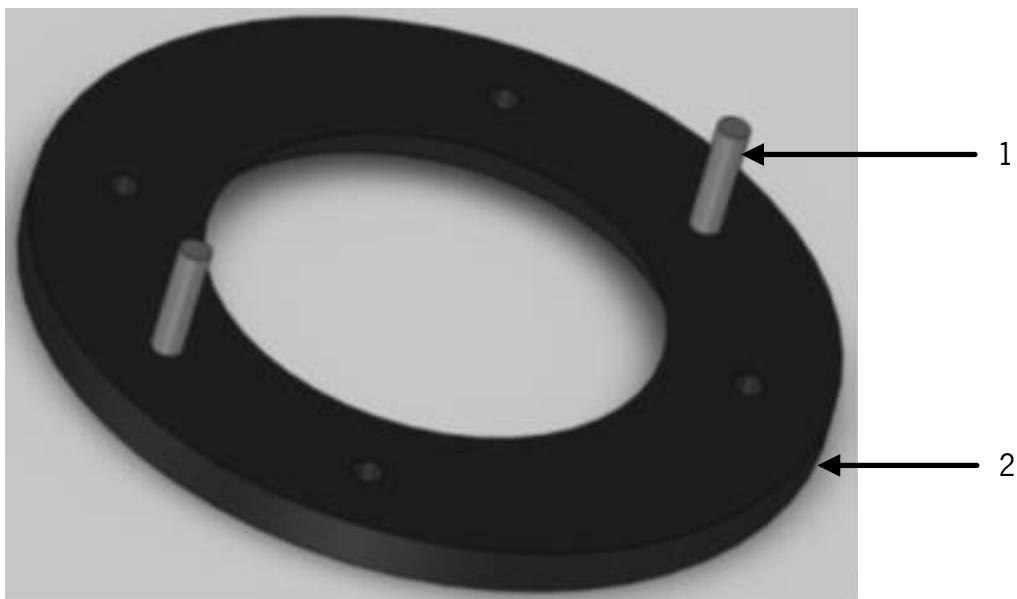


Figura 27 - Desenho do anel de pressão com as hastes aparafusadas: 1) Hastes 2) Anel de pressão  
(adaptado de [15])

O princípio de funcionamento, bem como os restantes elementos mantiveram-se inalterados.

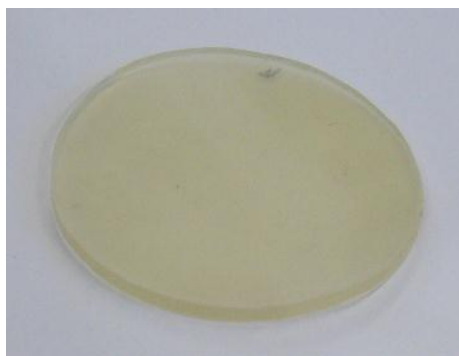
### 3.3.4 FRICTORQ IV

A alteração anterior no equipamento FRICTORQ serviu, também, para o adaptar à análise de emulsões cosméticas, para peles humanas. O seu princípio de funcionamento continua a ser em tudo semelhante às versões anteriores, já apresentadas. No entanto, devido às propriedades dos cremes cosméticos, foi necessário alterar a barra de acoplamento do sensor de binário com o corpo padrão, criando-lhe dois entalhes próximo das suas extremidades (Figura 28), uma vez que o corpo padrão, devido aos baixos atritos gerados, se deslocava radialmente durante os ensaios. Com esta nova barra de acoplamento restringe-se o movimento radial do corpo padrão, permitindo-lhe apenas o movimento de rotação [12].



**Figura 28 - Barra de acoplamento do sensor [12].**

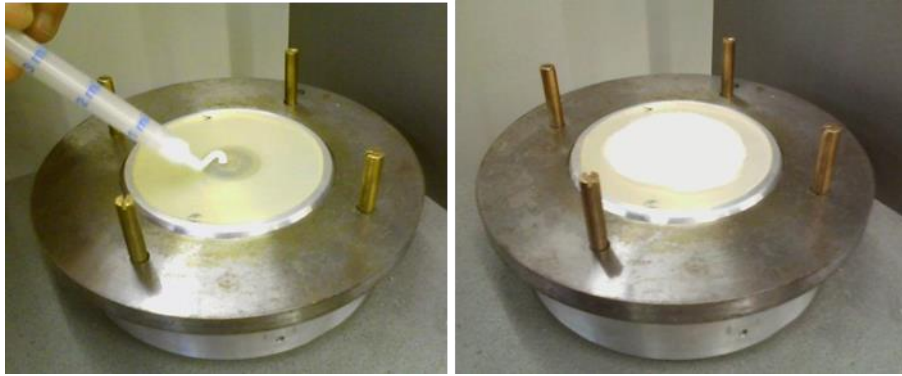
Outra questão a ter em conta neste desenvolvimento foi a necessidade de se simular durante o ensaio as características da pele humana. Para tal foi utilizada uma base de borracha de silicone (Figura 29) visto ser este o tipo de material que mais se aproxima das propriedades requeridas para a simulação da pele [12].



**Figura 29 – Borracha de silicone [12]**

Esta base de silicone é colocada na base cilíndrica inferior de suporte das amostras (ver componente 3 da Figura 19), sendo aplicada sobre ela a emulsão cosmética de ensaio. A aplicação da emulsão é feita utilizando uma seringa, e distribuída sobre a borracha de silicone, o mais uniforme possível, de forma manual (ver Figura 30) [12].





**Figura 30 – Aplicação da emulsão cosmética [12]**

O corpo padrão é então colocado sobre a borracha de silicone com o creme distribuído. Quando se inicia o ensaio, o movimento da base provoca o deslocamento relativo do corpo padrão, entre o corpo padrão e uma película de creme, o excesso de creme é arrastado pelos pés do corpo padrão.



## 4 RETROSPEÇÃO DO FRICTORQ À LUZ DA TRIZ

Esta dissertação foca-se em dois grandes campos, a TRIZ e o equipamento FRICTORQ, ambos, já avaliados nos capítulos anteriores. Neste capítulo pretende-se fazer a ligação entre estes dois aspetos desta dissertação, enquadrando nos princípios da metodologia TRIZ, os desenvolvimentos realizados no FRICTORQ.

### 4.1 INTRODUÇÃO

Como já foi referido, o equipamento FRICTORQ, ao longo da sua existência têm vindo a sofrer, gradualmente, pequenas alterações. Estas alterações têm vindo a ser efetuadas de forma a acomodar diferentes funções, mas sem aplicação direta de qualquer um dos princípios ou métodos da TRIZ. No entanto, alguns dos princípios inerentes à TRIZ podem ser observados nesta evolução, *mesmo que usados de forma totalmente inconsciente...* Neste capítulo, tentar-se-á enumerar e discernir os princípios usados, de forma espontânea, nos desenvolvimento e evolução do equipamento FRICTORQ usando os fundamentos da TRIZ para a evolução de sistemas tecnológicos, e os princípios inventivos.

### 4.2 PRINCÍPIOS INVENTIVOS

Como referido no subcapítulo 2.4.13, os princípios inventivos são um conjunto de 40 soluções gerais para problemas de Engenharia. Como soluções gerais que são, estas podem ser enquadradas nas soluções obtidas para os sucessivos melhoramentos realizados no equipamento FRICTORQ.

Um dos princípios que se pode observar é o princípio 1 ou segmentação ver Anexo H. Este princípio define que se pode solucionar um problema dividindo um sistema, ou componente, em partes ou secções. Quando se modificou o corpo padrão de forma, para um corpo com 3 pés de apoio, de uma forma abstrata dividiu-se um *disco* em *segmentos*. A incorporação das agulhas cilíndricas confere ainda um aumento no nível de *segmentação* uma vez que cada pé foi também dividido ele em partes individuais (ver Figura 18, Figura 23 e Figura 24 do capítulo anterior).

O uso destas agulhas configura ainda a aplicação de outro princípio inventivo, princípio 14 ou encurvamento ver Anexo H. Este princípio explica que soluções podem ser obtidas através da

substituição de *superfícies planas* por *superfícies curvas*, como cilindros, esferas ou espiras. Portanto, a escolha de usar cilindros pode ser vista como uma aplicação (“inconsciente”) deste princípio (ver detalhe assinalado na Figura 24 da base de apoio de um pé do corpo padrão).

Outro princípio inventivo que pode ser identificado foi o princípio inventivo 4, ou assimetria ver Anexo H. Este princípio explica que soluções podem ser obtidas tornando um sistema (ou componente) *simétrico*, num sistema *assimétrico*, cuja assimetria combine com elementos exteriores. A inserção dos entalhes na barra de acoplamento conforme se mostra na Figura 28 permitem combiná-las com as barras do corpo padrão, de forma a evitar o seu deslocamento radial durante a realização do ensaio. Esta alteração pode ser vista como uma alteração da *simetria*, uma vez que a barra era totalmente simétrica, e tornou-se uma barra parcialmente *assimétrica*, e cuja *assimetria* combina com outros elementos.

Um dos desafios colocados à medição do coeficiente de atrito em materiais flexíveis é que estes enrugam. A solução passa por esticar o tecido antes do início do ensaio e mantê-los nessa situação. No caso do equipamento FRICTORQ, isto é conseguido através da utilização de uma base cónica e de um anel de pressão. O ato de esticar o tecido antes de se realizar o ensaio pode ser enquadrado como sendo a aplicação de princípio inventivo 9, ou de compensação prévia (ver Anexo H). Este princípio refere que se pode eliminar um *efeito negativo* como o enrugar aplicando, antecipadamente, uma ação oposta como a de esticar.

Os sistemas tradicionais de medição do atrito passam, tipicamente, por considerar um corpo que se desloca linearmente sobre uma superfície. Um dos conceitos fundamentais do equipamento FRICTORQ é a mudança de um movimento linear para um movimento rotativo. Esta mudança de conceito pode ser considerada, na sua essência, como a aplicação do princípio inventivo 17 ou transição para uma nova dimensão (Anexo H). Este princípio defende que os sistemas podem ser melhorados transitando ou alterando de *movimentos lineares* para *movimentos bidimensionais*; a ação rotativa pode ser encarada assim como uma ação bidimensional.

Um último princípio pode ser detetado: é o princípio inventivo 26 ou uso de cópias (Anexo H). Este princípio refere que se necessitamos de utilizar, ou interagir, com elementos que não estão disponíveis (por serem demasiado frágeis ou caros), pode obter-se uma solução utilizando *cópias*, com as mesmas características do objeto original, mas que sejam mais baratas ou resistentes. No último desenvolvimento realizado no equipamento FRICTORQ, de forma a incluir uma nova funcionalidade para simular a pele humana no uso de cosméticos, e para se

determinar o coeficiente de atrito nestas circunstâncias, usou-se uma base de borracha de silicone (ver Figura 29 e a Figura 30). Esta base pode assim ser vista como uma cópia da pele humana, a qual pode ser usada inúmeras vezes na determinação do coeficiente de atrito em emulsões cosméticas.

### 4.3 CICLO DE VIDA

No subcapítulo 0 foram referidas as fases típicas na evolução de um sistema. Esses conhecimentos podem ser aplicados ao equipamento FRICTORQ para tentar perceber em que fase de evolução este se encontra. Uma análise mais rigorosa passa por traçar as curvas-S na tentativa de se perceber em que ponto da curva (típica), o sistema se encontra; no entanto, este é um processo complexo e moroso, pelo que se optou por efetuar uma análise mais subjetiva sobre a sua fase de evolução. Nesta análise procurou-se encontrar pontos de ligação entre as características típicas de cada fase de evolução, e as características do equipamento FRICTORQ.

O equipamento FRICTORQ permite realizar a sua função principal (medir coeficiente de atrito de materiais sólidos planos não rígidos) com boa exatidão, reprodutibilidade, simplicidade e baixo custo o que seria um indicador de que o sistema se encontra já numa fase mais avançada da sua evolução. No entanto, a sua disseminação e aceitação é ainda muito reduzida (embora tenham sido construídos três equipamentos<sup>1</sup>), o que é um sinal claro em sistemas que se encontram ainda na sua fase inicial de evolução.

Resumindo, o equipamento FRICTORQ apresenta características de duas fases de evolução diferentes, pelo que é difícil de afirmar em que fase, de facto, ele se encontra. Contudo, é ainda necessário ter em conta que estas fases não são “estanques”, e que, portanto, a transição de uma fase para outra, não ocorre de uma forma discretizada, podendo-se encontrar ainda numa fase de transição. As implicações destes pressupostos serão avaliadas no subcapítulo 5.4.1.

---

<sup>1</sup> Um encontra-se no departamento de Engenharia têxtil da Universidade do Minho, o segundo no centro tecnológico Tubitak, da Universidade de Ege -Turquia, e o último encontra-se na faculdade de tecnologia têxtil na Universidade de Zagreb- Croácia

## 4.4 TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO

Como em qualquer sistema, também no equipamento FRICTORQ, as tendências de evolução se podem verificar. Neste subcapítulo discutem-se e revelam-se as tendências que foram detetadas, em cada versão do FRICTORQ até a realização deste trabalho, e traçar-se-á os gráficos do potencial de evolução para cada uma das versões consideradas.

### 4.4.1 Procedimento usado na construção dos gráficos de potencial de evolução

O equipamento FRICTORQ, embora simples, é constituído por componentes e subsistemas, cada qual com as suas características individuais. Como tal, poderia ser realizada uma análise individual a cada um dos seus subsistemas e traçado o respetivo gráfico de potencial de evolução. No entanto, tal abordagem criava um elevado número de gráficos, a sua maioria com informação redundante, o que tornaria a sua análise muito confusa, não representando, claramente, a evolução do equipamento FRICTORQ como um todo. Deste modo, optou-se por se analisar globalmente o FRICTORQ; no entanto, algumas das subtendências, que ao nível do subsistema são claras, ao nível do sistema são de mais difícil definição. Portanto, de forma a melhor conseguir representar a evolução do equipamento FRICTORQ criou-se um compromisso entre estes dois níveis (sistema e subsistema), o qual será agora detalhado:

- Dividiu-se o FRICTORQ em subsistemas (corpo padrão, estrutura, anel de pressão, anel de centragem, base cónica, grupo motor-reductor, sistema de controlo e sensor de binário).
- Selecionou-se as subtendências (presentes no Anexo E), aplicáveis aos diferentes subsistemas, e atribui-se um nível máximo. Às tendências com etapas definidas, o nível máximo corresponde ao número da última fase de evolução. Para subtendências que não possuem etapas definidas, criou-se uma escala subjetiva com um valor máximo. As tendências e o seu valor máximo estão representados na Tabela 4.
- Cada subsistema foi individualmente avaliado e enquadrado num nível, e representadas numa tabela de dupla entrada (Anexo M). Algumas subtendências fazem mais sentido ao nível do sistema e não dos subsistemas, como tal foram avaliadas para o sistema como um todo.

- Fez-se a média do nível de cada subsistema, e tomou-se essa média como o valor atual do FRICTORQ.
- Por fim, dividiu-se o valor da média pelo valor máximo, obtendo-se assim uma relação entre o valor atual do FRICTORQ e o valor do resultado final ideal. Este valor foi então inserido num gráfico de radar. As tabelas completas podem ser consultadas no Anexo M.

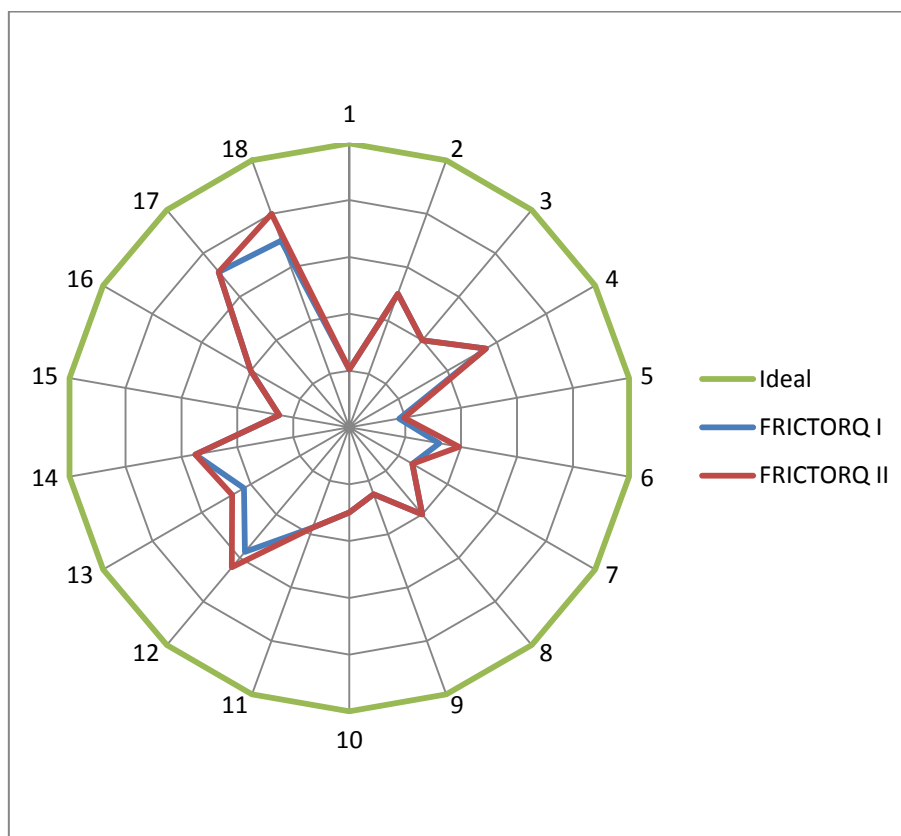
**Tabela 4 – Subtendências usadas na avaliação do equipamento FRICTORQ**

| Nº | Nível Máximo | Tendência                  |  | Nº | Nível Máximo | Tendência                         |
|----|--------------|----------------------------|--|----|--------------|-----------------------------------|
| 1  | 7            | Redução da densidade       |  | 11 | 4            | Evolução da Geometria linear      |
| 2  | 4            | Redução do Amortecimento   |  | 12 | 4            | Evolução da Geometria Volumétrica |
| 3  | 10           | Conversões de energia      |  | 13 | 3            | Aumento da assimetria             |
| 4  | 9            | Redução dimensões          |  | 14 | 4            | Variabilidade                     |
| 5  | 8            | Segmentação de sistemas    |  | 15 | 6            | Controlabilidade                  |
| 6  | 4            | Segmentação de superfícies |  | 16 | 5            | Aumento da interação humana       |
| 7  | 5            | Segmentação Espaço         |  | 17 | 7            | Automação                         |
| 8  | 5            | Simplicidade               |  | 18 | 10           | Desempenho                        |
| 9  | 4            | Coordenação de ritmos      |  |    |              |                                   |
| 10 | 5            | Flexibilidade              |  |    |              |                                   |

Como anteriormente referido no subcapítulo 2.4.17, nem todas as subtendências são aplicáveis a um subsistema, por forma a não sobrecarregar a análise do potencial de evolução, de entre as diversas subtendências descritas no Anexo E, algumas dessas tendências não foram tidas em consideração (por exemplo: uso de cor ou a subtendência do uso de fibras), por se considerar que estas não se enquadram, no perfil de nenhum subsistema, ou do sistema global.

#### **4.4.2 FRICTORQ I versus FRICTORQ II**

Tal como descrito no capítulo 3, as evoluções ocorridas entre os equipamentos FRICTORQ I e II, focaram-se nas alterações introduzidas ao nível do corpo padrão. Uma vez que a análise do potencial de evolução foi efetuada através de uma média de características dos subsistemas, o peso destas alterações é diluído entre os outros subsistemas. Não obstante, a sua contribuição, no potencial de evolução do sistema, é ainda bem perceptível, tendo contribuído para a melhoria do desempenho, e no avanço de algumas subtendências, como o aumento da assimetria, a segmentação de superfícies e um aumento ligeiro na evolução geométrica (ver Figura 31).



**Figura 31 - Gráfico de potencial de evolução dos equipamentos FRICTORQ I e II**

A classificação de cada característica, em ambas as versões do equipamento FRICTORQ, está detalhada no Anexo M. De seguida explicar-se-á, de forma descritiva, como foi estabelecida a contribuição para cada subtendência.

AUMENTO DE DESEMPENHO:

Ao eliminar do binário reativo a parcela correspondente à “resistência” oferecida pelo alinhamento das fibras do tecido, o sistema passou a determinar, mais fidedignamente, o valor do coeficiente de atrito entre um determinado tecido e o corpo padrão. Logo, a alteração considerada está a contribuir para um melhor desempenho do sistema, já que fontes de erro foram eliminadas.

AUMENTO DA ASSIMETRIA:

Nesta subtendência, os sistemas tendem a tornar-se mais assimétricos para melhor se combinarem com os elementos envolventes. No equipamento FRICTORQ I, o corpo padrão possui uma forma anelar simples perfeitamente simétrica. Com a sua divisão em três pés de contacto com a amostra, o sistema tornou-se (um pouco) assimétrico, uma vez que se perdeu alguma da sua simetria. Contudo esta assimetria não é conseguida de forma a que o corpo padrão se combine com os restantes elementos. Aliás, a combinação com os elementos



envolventes (barra de acoplamento entre o sensor de binário e o corpo padrão) continua a ser efetuado exatamente da mesma forma.

#### SEGMENTAÇÃO DE SUPERFÍCIES:

Esta tendência, diz respeito ao aumento da rugosidade dos componentes. O equipamento FRICTORQ I possuía dois corpos padrão, um liso e outro com uma superfície de contacto texturizada, o que conferia a este segundo corpo padrão, alguma rugosidade. Por uma questão de simplificação, e após uma série de ensaios sistemáticos, tomou-se como referência o corpo padrão com superfície de contacto lisa.

No equipamento FRICTORQ II, pode observar-se uma tendência contrária, com uma convergência para o rugoso. Ao adotar-se o sistema de pequenas agulhas, em cada um dos pés de contacto, para simular as impressões digitais dos seres humanos, estamos a configurar um aumento de rugosidade. Estas agulhas, devido a sua configuração cilíndrica, configuram também um avanço da Evolução geométrica (Volumétrica)

Por fim, uma outra tendência mais óbvia, mas que, devido à sua diluição entre os diferentes subsistemas, não é perceptível na Figura 31, é a segmentação de sistemas, esta tendência é bastante semelhante ao princípio inventivo da segmentação, o qual já foi explicado anteriormente; ao passar-se de um disco anelar para um sistema de três pés estamos a criar um sistema segmentado (ver subcapítulo 4.2).

### **4.4.3 FRICTORQ II Versus FRICTORQ III**

As diferenças, no que respeita ao funcionamento, entre o equipamento FRICTORQ II e o equipamento FRICTORQ III não são muito significativas. Isto também se reflete no seu potencial de evolução. Se observarmos para a Figura 32 podemos verificar que foram poucas as subtendências que sofreram alterações, sendo que esta transição foi aquela que, do ponto de vista das tendências de evolução, menos contribuiu para o aumento da idealidade do sistema.

A adaptação da base cónica e do corpo padrão para meios líquidos reflete em si uma melhoria na subtendência da variabilidade. Esta ocorre porque o corpo padrão e a base cónica passam de atuarem em apenas um estado para dois estados. Embora se possa associar, instintivamente, estados a um valor de uma variável ou de um parâmetro, este conceito pode também ser associado às circunstâncias ou agregação da matéria. Neste caso concreto, não será a matéria ou o estado dos componentes em si, mas as circunstâncias em que este atuará. Desta forma, passamos de apenas um estado, ensaios em meio seco, para a possibilidade de

atuar em dois estados, meio seco ou em meios líquidos para a determinação do coeficiente de atrito. Contudo, a criação deste sistema, implicou um retrocesso na simplicidade do sistema, uma vez que foram necessários novos componentes e alterações nos restantes componentes para a fixação do tecido a ensaiar.

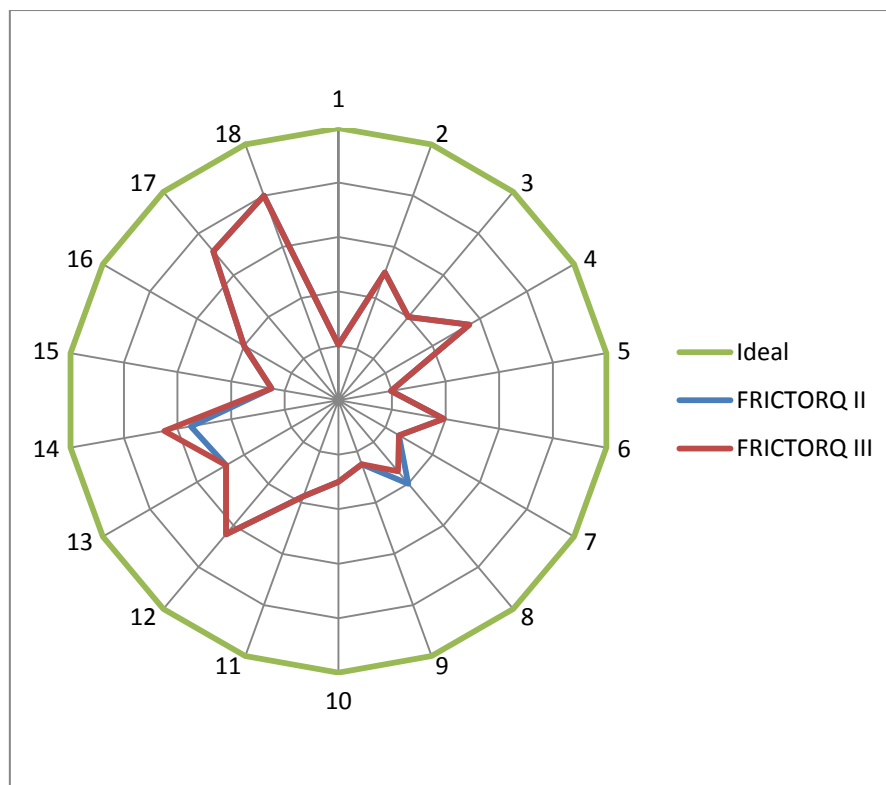


Figura 32 - Gráfico de potencial de evolução dos equipamentos FRICTORQ II e III

#### 4.4.4 FRICTORQ III versus FRICTORQ IV

Com a introdução do equipamento FRICTORQ, no mundo dos cosméticos, procurou-se adaptá-lo à medição do coeficiente de atrito de cremes e emulsões em contacto com a pele humana. Esta simples adaptação veio, também ela, dar um pequeno contributo no que respeita às tendências de evolução.

Como se pode observar na Figura 33, também aqui se notou um pequeno aumento à variabilidade do sistema. Esta ocorreu graças ao acréscimo da borracha de silicone, colocada na base cónica rotativa, que à semelhança do que foi descrito anteriormente acrescentou também um novo estado de atuação à base, com a possibilidade de realização de testes com cremes e emulsões cosméticos, muito embora estes, na sua essência, possam ser considerados líquidos.

Outra subtendência que demonstrou evolução foi a da assimetria, esta ocorreu devido à inserção dos dois entalhes nas extremidades da barra de acoplamento, para ligar o sensor de binário e o corpo padrão. Embora simples, esta solução reflete um exemplo de *assimetria*

*combinada*, uma vez que estes entalhes na barra de acoplamento (Na Tabela 13 do Anexo M, considerada parte do sensor), permitiram o encaixe (combinação) com os pernos do corpo padrão.

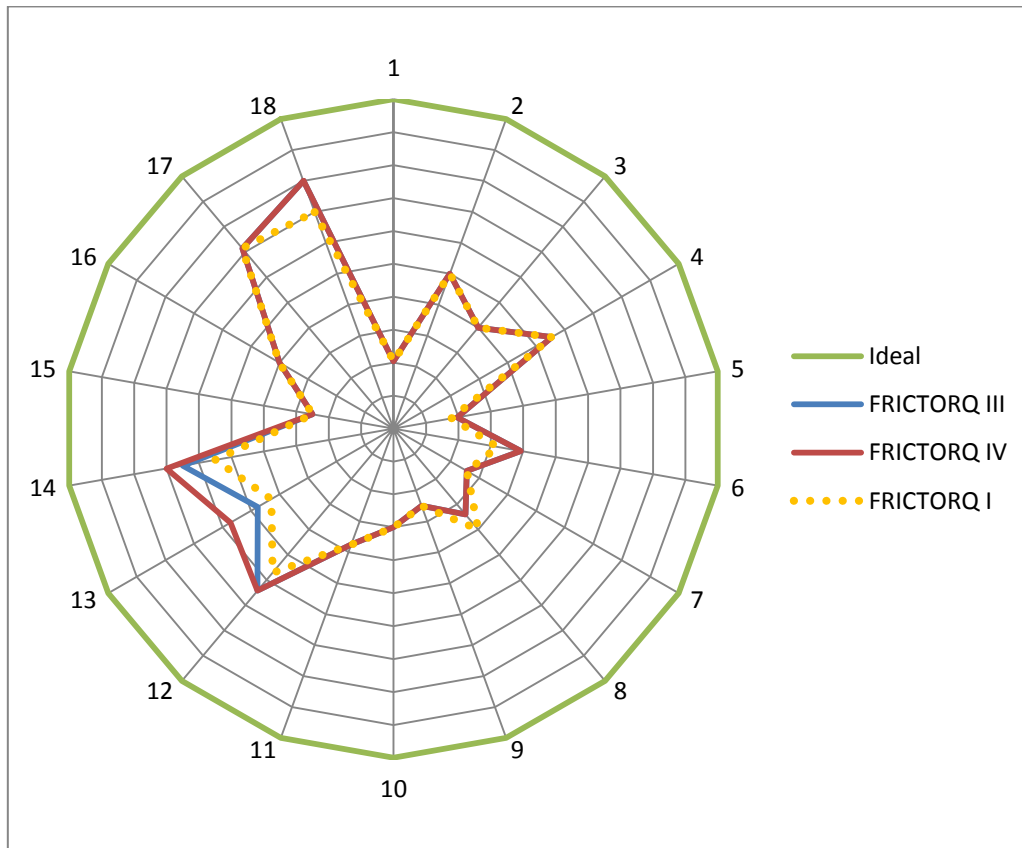


Figura 33 - Gráfico de potencial de evolução dos equipamentos FRICTORQ III e IV



## 5 ESTUDO DE CAMINHOS DE EVOLUÇÃO DO EQUIPAMENTO FRICTORQ

No capítulo anterior refletiu-se sobre as tendências e os princípios inventivos usados (sem no entanto ser aplicado nenhum método da TRIZ) durante a evolução do equipamento FRICTORQ. Neste capítulo aplicou-se as ferramentas e os conhecimentos da TRIZ, por forma a encontrar novos conceitos e ideias para ajudar ao desenvolvimento do FRICTORQ.

### 5.1 ANÁLISE DE FUNÇÕES

Para se conseguir inovar o sistema, é primeiro necessário conhecer e analisar o seu funcionamento. Uma vez que se pretende aplicar as metodologias TRIZ, possuindo estes métodos de análise de sistemas, parece lógico que se use esses mesmos métodos para analisar o sistema constituído pelo equipamento FRICTORQ. Dessas ferramentas de análise aquela que, devido a sua simplicidade, melhor se ajusta a esta tarefa será a *análise de funções*. Deste modo, usando as diretrizes descritas no subcapítulo 2.4.9, criou-se o diagrama de funções, que se mostra na Figura 34 para a medição do atrito em tecidos, de acordo com o processo FRICTORQ.

A descrição dos componentes, usada nesta análise foi um pouco mais exaustiva do que as anteriores, o que pode tornar, contudo, um pouco mais confusa a sua identificação. Para facilitar a sua identificação, a Figura 35 indica alguns dos principais componentes referidos no diagrama de funções da Figura 34.

Pode-se, desta forma, verificar que, apesar da aparente simplicidade, no que respeita às suas funções, o equipamento FRICTORQ é um sistema com alguma complexidade. Pode-se, desde já analisar uma possível simplificação do sistema, pela eliminação de componentes supérfluos. Outra observação que se pode constatar é que não foram encontradas funções prejudiciais ou insuficientes, o que indica que as contradições serão difíceis de descobrir, podendo estar presentes num nível de maior detalhe. Por esta razão, as análises de contradições não foram realizadas.

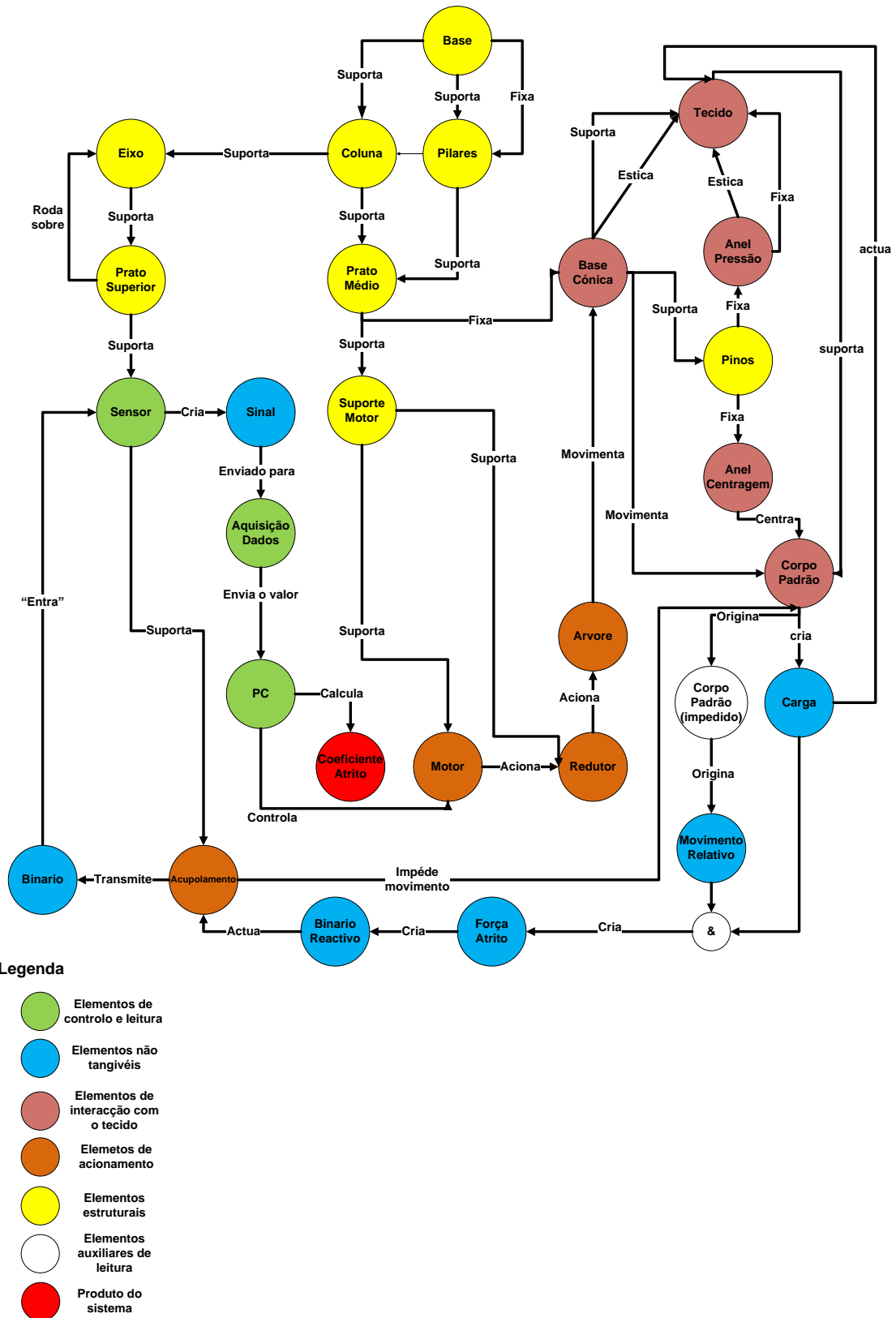


Figura 34 - Diagrama de funções do equipamento FRICTORQ

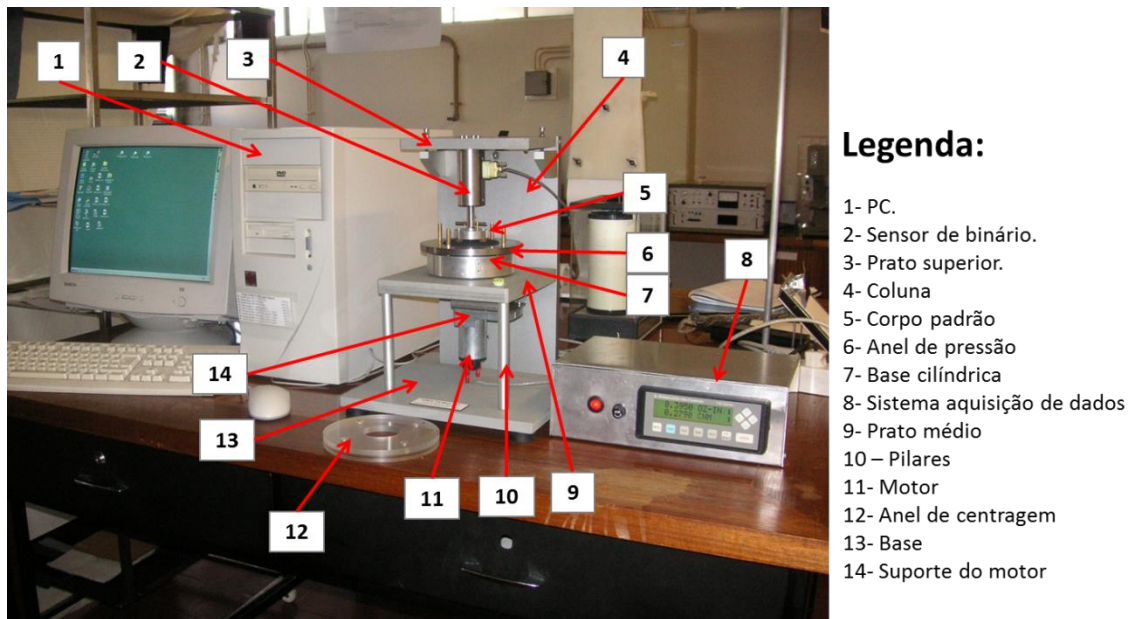


Figura 35 – Componentes do FRICTORQ (adaptado de [12]).

## 5.2 SELEÇÃO DOS MÉTODOS DE INOVAÇÃO

As técnicas para a resolução de contradições, são as mais divulgadas e utilizadas em termos de aplicação das metodologias TRIZ. No entanto, a sua identificação não é fácil, sobretudo em casos como o equipamento FRICTORQ, em que as funções prejudiciais ou insuficientes não estão claramente identificadas. A TRIZ possui métodos e ferramentas para ajudar a descortinar estas contradições, contudo, estes métodos são bastante complexos, pelo que a sua aplicação por alguém com pouca experiência neste domínio, pode não ser a melhor opção. Deste modo, e de forma a se obter outros avanços ao equipamento FRICTORQ, optou-se por uma abordagem mais generalista e abstrata. Esta abordagem passou por uma reflexão individual, sobre os princípios inventivos e as tendências de evolução, para tentar enquadrá-los naquilo que é o equipamento FRICTORQ e assim vislumbrar-se outros caminhos possíveis de desenvolvimento.

## 5.3 PRINCÍPIOS INVENTIVOS

Como referido, os 40 princípios inventivos são soluções genéricas para problemas genéricos. Na abordagem utilizada não se está à procura de soluções genéricas, pois não existe consciência dos problemas existentes no FRICTORQ, ou seja, está-se a usar os princípios inventivos como guia para potenciar novas soluções. Esta abordagem acarreta todavia um problema: quando se reflete sobre um princípio inventivo, sem saber o problema em concreto,

corremos o risco de estar “a perder” tempo com um princípio que, na realidade, não oferece quaisquer novas soluções. Temos por outro lado os efeitos da inércia psicológica, que podem levar a que, as restrições das ideias anteriores, para cada princípio inventivo analisado impeçam a “visão” de novas ideias. De forma a reduzir o “pensar demasiado” num princípio inventivo, criaram-se imposições a este processo de ‘Brainstorming’. Numa primeira fase, a reflexão sobre cada princípio inventivo teria a duração de 20 a 30 minutos. Assim, e devido ao curto espaço de tempo, surgiriam ideias quase que instintivamente, sendo estas muito genéricas. Essas ideias genéricas eram registadas e, após um período de pausa, avançava-se para o princípio inventivo seguinte. O processo repetia-se até se terem percorrido todos os 40 princípios. As ideias genéricas seriam depois amadurecidas, dedicando o tempo necessário, nesta fase, a uma melhor construção das ideias, a alguma eventual pesquisa para complementar o estudo e, por fim, a reflexão sobre as possíveis vantagens, desvantagens, conveniências e inconveniências da nova ou novas ideias encontradas.

### **5.3.1 Princípio inventivo 6 – Universalização**

Analisando este princípio (presente no Anexo H), o conceito geral a surgir é bastante simples: incorporar novas funções. A questão a colocar será: que tipo de funções se pode/deve incorporar? Este princípio é, na sua essência, uma simplificação da tendência de evolução, expansão e convulsão de sistemas, que indica possíveis caminhos para o acréscimo de novas funções; portanto, o amadurecimento deste conceito geral teve sempre, como pano de fundo, essa tendência de evolução.

Deveríamos, assim, procurar funções ao nível do supersistema, que possam ser aplicadas ao equipamento FRICTORQ. Segundo a tendência de evolução existem quatro famílias candidatas:

- Combinação de funções iguais;
- Combinação de funções opostas;
- Combinação de funções semelhantes;
- Combinação de funções diferentes.

Sabendo as famílias, resta analisar cada uma delas, procurando no supersistema funções que se enquadrem nessa família.

Funções iguais: os únicos conceitos a surgir foram os de um sistema de medição dupla, que permitisse executar a medição do coeficiente de atrito nas duas faces do tecido em



simultâneo ou a possibilidade de analisar mais do que uma amostra de tecido em simultaneamente. No entanto, este tipo de sistema implicaria alterações profundas no equipamento atual e na sua complexidade, e as vantagens que se obteriam parecem não compensar o acréscimo de complexidade. Esta ideia foi, assim, excluída de um qualquer desenvolvimento posterior.

Funções opostas: o oposto de medição do coeficiente de atrito é de difícil definição. Não foi considerada nenhuma ideia em relação a este tipo de funções.

Funções semelhantes: por funções semelhantes entendeu-se como sendo outros tipos de ensaios que permitam caracterizar, objetivamente, os tecidos. Existem vários equipamentos, como o sistema KES, por exemplo, que permitem a realização de vários tipos de testes em tecidos. No entanto, este tipo de sistemas são bastante complexos e grande parte das vezes de difícil operacionalidade.

De seguida, procedeu-se a uma pequena pesquisa em relação aos diferentes tipos de ensaios que se podem realizar em tecidos. Contudo, de forma a se evitar que o sistema se torne demasiado complexo, selecionaram-se os ensaios cujo princípio de funcionamento mais se assemelhava ao funcionamento do equipamento FRICTORQ. Dos diferentes ensaios que se podem realizar em tecidos, dois destacam-se dos demais: os testes de abrasão e os testes de *'snagging'*.

Nos testes de abrasão, um disco ou cilindro, com um material abrasivo gira sobre o tecido, desgastando-o. O ensaio termina quando o tecido se romper (Figura 36). O tecido é pesado antes e durante  $n$  intervalos durante o ensaio, e, através da diferença de peso, calcula-se a taxa de desgaste.



Figura 36 - Exemplo de um equipamento de teste de abrasão [16]

O princípio de funcionamento deste tipo de ensaio é bastante simples e similar ao do equipamento FRICTORQ. Ambos os sistemas utilizam o princípio de um disco em rotação, pelo que a adaptação do equipamento FRICTORQ a este tipo de ensaio passaria, necessariamente, pela inclusão de um corpo padrão, cuja face de contato fosse composta por uma superfície rugosa e de um sistema de variação de velocidade, uma vez que nos ensaios de abrasão, uma das variáveis do ensaio é a velocidade do disco.

Os ensaios de “*snagging*” consistem na utilização de um cilindro, em rotação, no qual se encontra fixo o tecido, e de uma massa “espinhosa” que desliza sobre o tecido (Figura 37). Este tipo de ensaios visa testar dois tipos de parâmetros nos tecidos. O primeiro parâmetro a avaliar é a resistência dos tecidos ao rompimento; os espinhos, ao deslizarem sobre a malha, puxam as fibras, rompendo-as. Contabilizando o tempo de ensaio, até ao rompimento, pode-se avaliar a resistência dos tecidos. Os testes de abrasão também podem ser usados, para realizar este tipo de ensaios, contudo, o rompimento dos tecidos é mais rápido com os ensaios de “*snagging*” (Rosa Vasconcelos, 2013).

O segundo parâmetro passível de ser avaliado é o desbotamento, ou seja, a formação de *borboto* em tecidos semelhantes a lã ou a algodão. Os espinhos da massa vão enrolando fibras soltas, formando pequenos novelos. Os novelos são posteriormente quantificados para a avaliação do desbotamento.

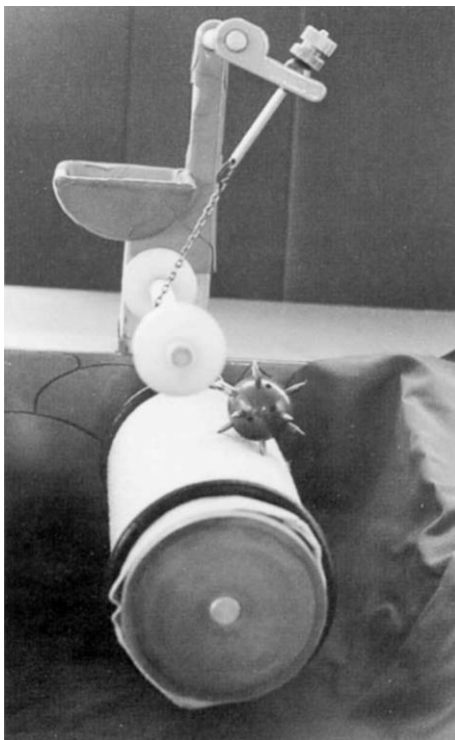
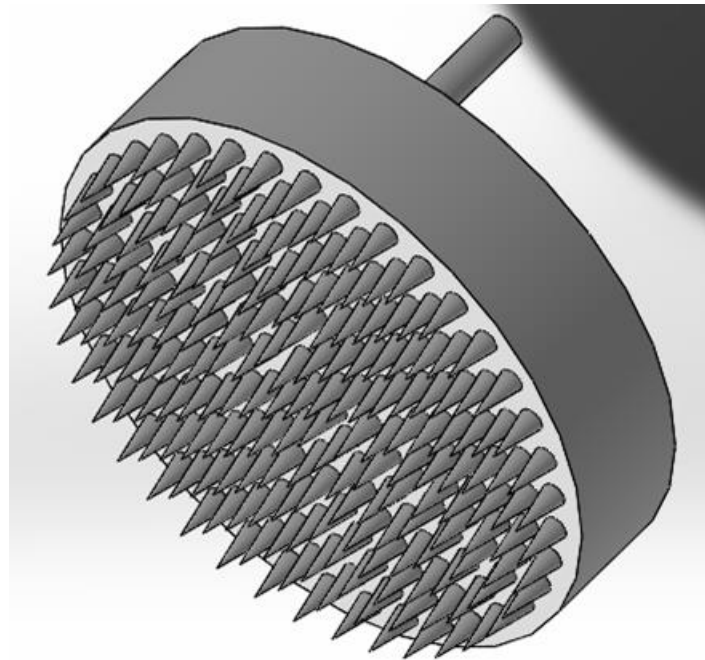


Figura 37 - Exemplo de um equipamento para ensaios de “*snagging*” [17]

A semelhança do que acontece com os testes de abrasão, também os testes de “snagging”, têm o princípio de funcionamento que se baseia na rotação do tecido em relação a um corpo fixo. Assim, para se fazer a adaptação ao equipamento FRICTORQ a um sistema deste tipo terá de se desenvolver um novo corpo padrão, de forma a recriar o efeito da massa usada neste tipo de ensaio. Uma possível solução seria conceber um disco com inspiração numa estrutura semelhante a uma carda, como o que se mostra na Figura 38.



**Figura 38 - Possível modelo para um novo corpo padrão para a realização no equipamento FRICTORQ, de ensaios de “snagging”**

Será necessário avaliar as condições de ensaio, e as variáveis dos ensaios de “snagging” para se proceder a um correto dimensionamento do novo corpo padrão, de forma a garantir uma conformidade de resultados entre ambos os equipamentos.

Funções diferentes: das quatro combinações, esta é aquela de definição mais generalista, visto que, *a priori*, qualquer função pode ser classificada como uma função diferente da função medição do coeficiente de atrito. Portanto, deve-se procurar que funções existem no supersistema, que podem ser incluídas no FRICTORQ. As funções que se destacaram foram a medição da temperatura e da humidade relativa.

Atualmente, no equipamento FRICTORQ, os valores da temperatura e da humidade relativa da sala de ensaios são inseridos manualmente, pelo utilizador, antes do início do ensaio. A inclusão de sensores de temperatura e de humidade integrados no equipamento FRICTORQ, e o registo automático destas variáveis, seria bastante simples o que permitiria reduzir a

necessidade de envolvimento do utilizador, evitando que este se esqueça de os inserir ou cometa erros de leitura e inserção no sistema. Poderia também, exacerbando a sua influência e variabilidade, reduzir os erros na medição destes parâmetros, uma vez que a medição passaria a ser local, eliminando assim o efeito da heterogeneidade dos valores na sala, permitindo por outro lado fazer um registo contínuo ao longo do ensaio.

Outra funcionalidade que pode ser retirada ao supersistema, e acrescentada ao equipamento FRICTORQ, passa por alterações ao nível do *software*. Atualmente, os resultados obtidos num ensaio são exportados, *a posteriori*, para uma folha de cálculo MS-Excel e só aqui é que a análise estatística é efetuada pelo utilizador. O agregar destas funções no próprio *software* de comando e controlo do equipamento no equipamento FRICTORQ, permitiria fazer esta análise estatística de uma forma bem mais simples do ponto de vista do utilizador.

### **5.3.2 Princípio Inventivo 13 – Inversão**

Este princípio inventivo é, na sua essência, bastante simples e fácil de aplicar, daí o conceito a surgir durante a fase de ‘Brainstorming’ fosse bastante rápido: Inverter os movimentos. Desta forma em vez de se girar a base cónica, está passaria a estática, passando o movimento rotacional a ser realizado pelo corpo padrão. Inicialmente, a única vantagem que se vislumbrava neste conceito seria a redução do “esforço” realizado pelo motor, uma vez que o corpo padrão possui uma massa e volume significativamente inferior a base cónica. Apesar disso, esta ideia não pareceu promissora, face às reestruturações que seriam necessárias realizar para promover a inversão destas funções. Este conceito não foi inicialmente considerado; contudo, este teria um papel importante como fonte de inspiração para o conceito resultante do processo de ‘*Trimming*’, o que foi realizado numa outra fase posterior (subcapítulo 5.5).

### **5.3.3 Princípio inventivo 14 – Encurvamento**

Este princípio inventivo está diretamente relacionado com a subtendência, evolução geométrica (Volumétrica). Do ‘Brainstorming’ inicial, surgiu imediatamente um conceito de forma espontânea: substituir os pés do corpo padrão por semiesferas fixas ao disco do corpo padrão (Figura 39). As possíveis vantagens desta configuração podem passar pela redução da acumulação de creme nos pés do corpo padrão, quando realizados ensaios em cremes cosméticos.

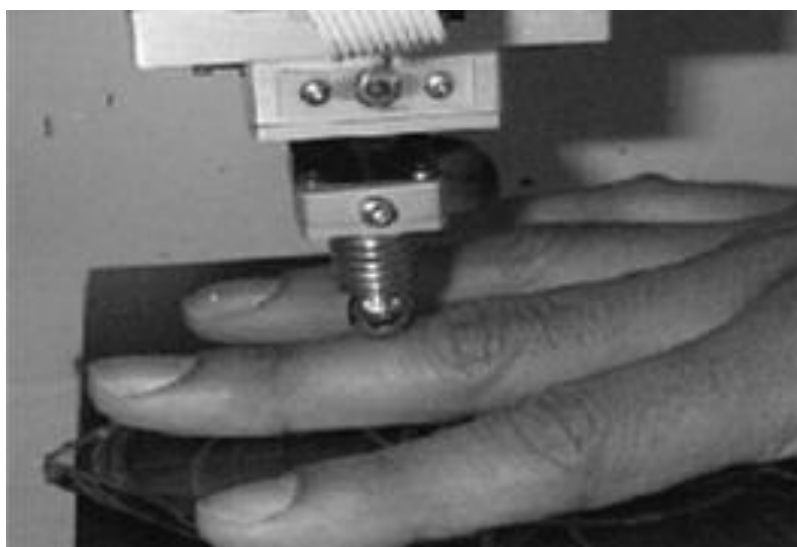
A acumulação de creme poderá aumentar a resistência ao movimento, o que poderá fazer com que os valores reais do coeficiente de atrito possam não ser os determinados. No entanto

estas ilações são meramente especulativas, pelo que seria necessário realizar diversos ensaios sistemáticos para verificar a sua veracidade.



**Figura 39 - Modelo possível do novo corpo padrão com pés esféricos**

Contudo, é importante referir agora que outros tipos de tribómetros para medições do coeficiente de atrito em pele humana utilizam apalpadores esféricos (Figura 40), o que pode demonstrar, apesar de tudo a possível utilidade de um novo corpo padrão, com pés de contacto esféricos.



**Figura 40 - Corpo de prova utilizado no tribómetro UMT-3 [12]**

## 5.4 TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO

Para a aplicação destas tendências, utilizou-se o mesmo procedimento já usado na análise dos princípios inventivos. Contudo e, ao contrário, dos princípios inventivos, as tendências de evolução não se apresentam como soluções genéricas para problemas genéricos. Estas são de facto potenciais caminhos para a evolução das tecnologias, pelo que se esperam aqui melhores resultados do que os obtidos com os princípios inventivos.

### 5.4.1 Ciclo de vida

Esta tendência de evolução, é aquela que permite obter caminhos mais genéricos, pretendendo antever, não que tipos de tecnologias se podem aplicar ao equipamento FRICTORQ, mas sim as possíveis estratégias de desenvolvimento ou (prioridades), para o sucesso deste sistema. Assim, e partindo do que foi observado no subcapítulo 4.3, podem-se antever três conjeturas possíveis.

A primeira conjetura surge do pressuposto que o equipamento FRICTORQ se encontra já em finais da sua primeira fase de evolução, ou no início da segunda, e que a sua aceitação no mercado apenas não é perceptível face ao pequeno período de tempo, quando comparado com o total da sua curva-S. Dadas as características destas fases, uma potencial estratégia a implementar, será a de continuar a melhorar a função principal e de, lentamente começar a introduzir novas funcionalidades.

A segunda situação possível é a do sistema estar num impasse. Nesta conjetura, apesar do bom desempenho da função principal, esta não vai de encontro às reais necessidades da sociedade, daí a sua baixa difusão. Neste caso, dever-se-á analisar o sistema de um novo ponto de vista, e tentar quebrar a inércia psicológica que o atual sistema acarreta. Nesta situação, o problema poderá ter origem no foco que ocorreu durante o seu desenvolvimento, em designá-lo como sendo um equipamento para a medição do coeficiente de atrito em materiais sólidos planos. A descrição referida pode estar a incutir uma forte influência da inércia terminológica, associada ao termo “coeficiente de atrito”. Tal influência pode estar a dissimular a verdadeira função do equipamento FRICTORQ, que é a de quantificar, de forma objetiva, a sensação do toque e do conforto de tecidos. Tal quantificação vai mais além do que apenas a determinação do coeficiente de atrito, podendo assim ser necessário controlar novos parâmetros, ou modificar a interação que o sistema tem com o supersistema, de modo a criar o elo entre o coeficiente de atrito e a sensação de conforto.

A criação (ao nível do supersistema) de uma escala padronizada, com base em análises subjetiva e objetivas, ou uma escala tendo por base a comparação entre tecidos, usando um tecido específico como *standard*, pode ajudar a realizar a “ligação” entre a medição do coeficiente de atrito e a sensação de toque.

Por fim, a última formulação que pode ser proposta é que o sistema se encontra ainda na sua primeira fase de evolução. Nesta situação, e para que haja o salto para a segunda fase, a sociedade deve estar disposta a aceitar os custos e efeitos indesejados associados ao sistema, para a obtenção dos benefícios da função principal (medir o coeficiente de atrito). Para tal, é necessário continuar a melhorar o desempenho do equipamento, sendo este o foco principal do projeto nesta fase.

#### **5.4.2 Redução da densidade**

Este conceito é bastante simples de aplicar, e baseia-se na substituição de componentes metálicos por componentes poliméricos ou outros mais leves. Todos os componentes do equipamento FRICTORQ, à exceção do anel de centragem, são elementos metálicos. Uma vez que estes, não estão sujeitos a grandes esforços, alguns destes componentes poderão, eventualmente, ser substituídos por elementos poliméricos.

Além de menos densos, os materiais poliméricos são, *a priori*, mais baratos que os seus homólogos metálicos, o que pode acarretar, para além da redução do peso do sistema, uma redução dos custos.

No entanto, é necessário verificar se, de facto, a substituição, dos componentes não afeta o funcionamento ideal do sistema. Como é o caso do anel de pressão, cujo peso próprio do componente é a sua principal vantagem (é através do seu peso que o tecido é fixado e esticado). Outro elemento que poderá não ser substituído por um homólogo polimérico é o corpo padrão, uma vez que este tem de garantir uma determinada pressão de contacto.

#### **5.4.3 Redução do número de conversões de energia**

O que esta tendência define é que os sistemas tendem a reduzir o número de formas de energia usadas, até existir apenas uma forma de energia. A cada mudança de forma de energia existem sempre algumas perdas associadas, daí a utilidade de apenas se possuir uma única forma de energia, já que assim se reduzem as perdas (malefício) contribuindo assim para a idealidade do sistema. Aos elementos que fazem a permuta de uma forma de energia para outra

designa-se de interface (por exemplo, um motor) pela eliminação destes interfaces reduzem-se as conversões de energia, logo reduzem-se as perdas.

Podem-se identificar, duas formas principais de energia no FRICTORQ, elétrica e energia cinética. A utilização, de apenas uma forma de energia parece neste caso impossível, uma vez que só existe atrito se existir uma resistência ao movimento (energia cinética), no entanto a energia cinética é sempre resultado de uma transformação de uma outra forma de energia (gravítica, potencial, química, térmica etc...). Contudo como explicado nesta subtendência, por conversões de energia tem-se, não só a mudança da forma de energia (por exemplo, elétrica e cinética), mas também conversões dentro de uma mesma forma de energia (por exemplo, a passagem de corrente trifásica para monofásica, ou alterações nos níveis de tensões usados, ou mudanças de velocidade). Deve-se portanto procurar uma forma de harmonizar as formas de energia, e eliminar interfaces energéticas dentro do sistema.

Uma dessas interfaces mais notórias é o redutor de velocidade; logo, da análise desta subtendência, o conceito a surgir foi o de eliminá-lo, passando o motor a movimentar diretamente a base cônica. Uma das formas possíveis seria o uso de um inversor de frequência ou de um potenciômetro, para ajustar a velocidade do motor a necessária para a realização dos ensaios.

Esta ideia será posteriormente melhorada, com a análise das tendências de evolução, da controlabilidade e variabilidade. A eliminação do redutor, será também considerado, na aplicação do '*Trimming*' (no subcapítulo 5.5).

#### **5.4.4 Expansão e convulsão**

A classificação, em termos de complexidade pode levar a enganos, uma vez que dependendo do nível de detalhe com que se analisa o sistema, este pode apresentar diferentes classificações de complexidade.

Num nível de detalhe menor, o equipamento FRICTORQ, pode ser classificado como sendo um monossistema, uma vez que só possui a sua função principal (medir o coeficiente de atrito) e nenhuma função secundária. Deste ponto de vista, a sua evolução passa pelo aumento da sua complexidade, acrescentando-se funções secundárias, o que serviria de complemento ao princípio inventivo da universalização já apresentado.

No entanto, num nível de detalhe maior do sistema, este pode ser visto como um polisistema constituído por três subsistemas com uma função específica, um sistema de leitura



comando e controlo, um sistema de fixação do tecido e um sistema de geração de movimento. Nesta análise o possível caminho na evolução do FRICTORQ, passa pela fusão e consolidação destes três subsistemas num só, sendo neste caso, a aplicação dos métodos de '*Trimming*' uma alternativa a considerar para a fusão dos três subsistemas.

#### **5.4.5 Controlabilidade e variabilidade**

Devido à sua similaridade, estas duas subtendências foram analisadas em conjunto. Para aplicá-las é necessário, conhecer as variáveis que estão envolvidas e que podem ser controladas.

Pelas leis do atrito, a única variável controlável no processo é a carga aplicada. Esta, no sistema atual, assemelha-se a um sistema *on/off*, a qual poderá permitir a variação em estados discretos, uma vez que há sempre a possibilidade de se utilizar, um corpo padrão mais pesado, ou, alternativamente, adicionar mais peso ao corpo utilizado. Deste modo, o próximo passo na sua evolução parece óbvio: acrescentar um método que permita variar de uma forma contínua, o valor da carga aplicada. Uma possível solução, passaria por usar uma mola cilíndrica de compressão a atuar diretamente sobre o corpo padrão; esta mola poderia aplicar diferentes cargas em função da deformação que lhe seria imposta, num sistema de ajuste manual, pelo operador.

Numa fase mais avançada da sua evolução, o sistema poderia ter um sistema de comando e controlo, que permitiria ajustar, automaticamente, a partir da aplicação informática, o valor da força aplicada, e, eventualmente, variá-la, em tempo real, durante o ensaio. Contudo, convém notar que a variação deste parâmetro pode não ser importante. Dado que este conceito poderá não ser simples de aplicar e os benefícios obtidos podem não compensar o acréscimo de complexidade introduzido no sistema.

Uma outra variável, já referida anteriormente, que poderá ser possível de melhorar a variabilidade do sistema seria a velocidade da base inferior onde se fixa a amostra. Embora as leis de atrito entre superfícies demonstrem que a velocidade de escorregamentos não tem influência sobre o atrito cinético, com emulsões, esta pode ter influência [13]. Uma possível alternativa foi já referida quando foi abordada a questão das reduções de conversões de energia.

O aumento da variabilidade da velocidade poderá ser também importante caso se acrescentassem novas funcionalidades, como os testes de abrasão e de '*snagging*'.

Por fim, uma outra variável, todavia menos óbvia, seria o deslocamento do corpo padrão. Como já exposto anteriormente, o deslocamento do corpo padrão provoca o alinhamento das

fibras do tecido, motivo pelo qual se desenvolveu o corpo padrão de três pés usados no FRICTORQ II. Desta forma, poderá ser interessante controlar o deslocamento do corpo padrão, por forma a contabilizar o número de passagens, do pé do corpo padrão, por uma determinada zona. O sistema poderia assim quantificar a influência deste fenómeno no coeficiente de atrito e da sua histerese. Combinado com os testes de abrasão, poder-se-ia, determinar quantas passagens seriam necessárias para o desgaste, ou rompimento, do tecido, permitindo assim também analisar o desgaste com mais rigor com mais rigor.

Os motores de passo e os servomotores, permitem controlar, com bastante exatidão e fiabilidade, o posicionamento, bem como a velocidade, pelo a sua utilização poderia ser uma hipotética alternativa para o controlo destas duas variáveis.

## **5.5 EXECUÇÃO DA SIMPLIFICAÇÃO ('TRIMMING')**

Após a aplicação das tendências de evolução, algumas apontam já para uma possível simplificação do sistema, e do uso do '*Trimming*'. Desta forma, procuraram-se possíveis elementos ou subsistemas que possam ser combinados, ou eliminados, procurando-se pares de elementos que se pudessem enquadrar nos referidos no subcapítulo 2.4.10.

Nos subcapítulos seguintes analisar-se-ão os elementos que foram encontrados e a forma se como se processou a simplificação.

### **5.5.1 Anel de centragem e barra de acoplamento do sensor**

Estes dois componentes estão presentes entre os casos de elementos diferentes, com funções diferentes e que atuam sobre o mesmo componente. Neste caso concreto, o anel de centragem atua no corpo padrão, garantindo que este fica alinhado de forma coaxial, com o veio motor e o veio do sensor. A barra de acoplamento garante a transmissão de binário entre o corpo padrão e o sensor. Este caso não configura uma situação em que podemos fundir componentes, mas sim, eliminar um deles. Podemos retirar a necessidade de uso de um anel de centragem, usando os entalhes da barra de acoplamento, para promover centragem do corpo padrão.

## 5.5.2 Sensor de binário e motor de corrente contínua

De entre os diferentes elementos que constituem o equipamento FRICTORQ, este par de componentes foi aquele que mais rapidamente se enquadrou no perfil, que o método de '*Trimming*' define elementos a fundir, pelas seguintes razões

- São elementos com funções opostas: O motor tem a função gerar movimento, através do fornecimento de binário, enquanto o sensor tem, como função “receber” binário. Aqui está claramente visível a antítese “dar-receber”.
- São elementos em cadeia: Basta observar o equipamento FRICTORQ para se vislumbrar uma cadeia de elementos constituída pelo motor, redutor de velocidade, base cónica, corpo padrão e sensor de binário.
- São elementos de elevado valor: O sensor de binário, é de entre todos os componentes do equipamento FRICTORQ, aquele cujo preço é mais elevado.

A questão agora é: de que forma é que se pode realizar a fusão destes dois sistemas?

Nesta fase, a utilização de um motor de passo era já uma forte possibilidade. Este tipo de motor, permite feedback do seu posicionamento e velocidade; poderia eventualmente possuir feedback de binário? Nesse caso, se for possível obter feedback do binário que está a ser exercido, poderemos, quantificar quanto desse binário é usado para mover o corpo padrão em vazio, e, assim, subtraindo esse binário ao total exercido, durante os ensaios, é possível obter o valor do binário reativo. Quer isto dizer que passamos de um sistema de medição direta para um sistema de medição indireta.

Após uma pequena pesquisa de campo foi possível concluir que, de facto existem no mercado sistemas de feedback de binário em motores deste tipo. Estes sistemas permitem conhecer que percentagem, do binário máximo, o motor está a fornecer, sendo o binário máximo função da intensidade de corrente fornecida (Eva Robotics, 2013). Espera-se, assim, conseguir o efeito desejado, havendo no entanto, a necessidade de se averiguar se o erro de medição, neste tipo de sistema, é aceitável para este tipo de aplicação.

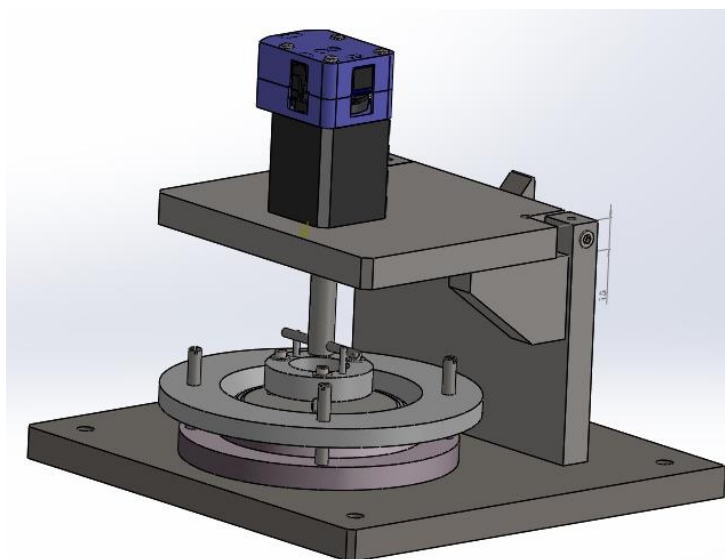
Convém referir ainda que, com a implementação deste motor deixa de ser necessário o sistema redutor de velocidade.

### 5.5.3 Elementos estruturais

Com a eliminação do redutor de velocidade e do sensor de binário, alguns elementos estruturais deixaram de ser necessários, como por exemplo o suporte do redutor, os quais podem assim ser eliminados. Abre-se espaço à sua otimização e a possibilidade de eliminação de mais elementos estruturais. Neste seguimento a posição do motor foi invertida, passando a estar localizado no prato superior e atuando diretamente no corpo padrão; a base cônica rotativa, onde se fixa o tecido a ensaiar, passa a estar fixa à base inferior do equipamento FRICTORQ, permitindo eliminar também o prato médio e os seus pilares de suporte.

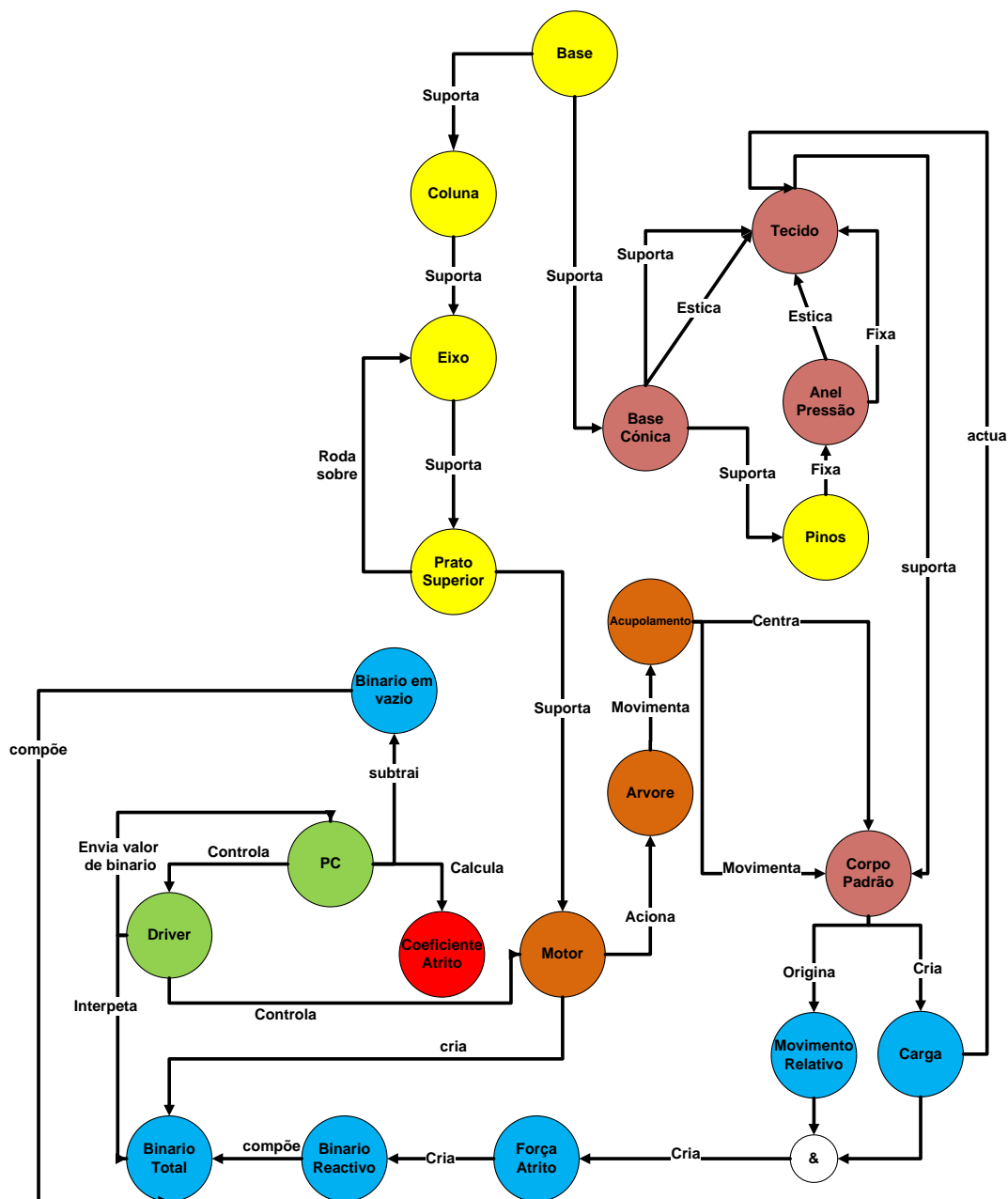
### 5.5.4 Resultado final

Terminada a simplificação, obtém-se um equipamento mais compacto, leve e barato, e com um menor número de componentes quando comparado com a versão anterior, o qual poderia ter uma configuração semelhante ao modelo presente na Figura 41.



**Figura 41 - Possível novo modelo do equipamento FRICTORQ, após a simplificação**

O novo equipamento FRICTORQ fica não só mais simples, no que respeita aos seus componentes, bem como ao número de funções, como se pode observar na Figura 42. Comparando este diagrama com o que se mostra nas Figura 34, pode-se observar que o número de funções auxiliares é, agora, menor.



**Legenda**

- Elementos de controlo e leitura
- Elementos não tangíveis
- Elementos de interacção com o tecido
- Elementos de acionamento
- Elementos estruturais
- Elementos auxiliares de leitura
- Produto do sistema

Figura 42 - Diagrama de funções para o (novo) equipamento FRICTORQ simplificado

## 5.6 FRICTORQ V?

Todos os conceitos e ideias até agora sugeridos, merecem um maior aprofundamento do seu estudo. Algumas poderão ser mesmo inviáveis, seja por motivos tecnológicos, seja por motivos económicos, podendo ainda o seu desenvolvimento futuro trazer algumas outras vantagens para além das já apresentadas.

Como corolário final importa comparar agora o atual FRICTORQ IV com um potencial novo FRICTORQ V, no qual estes conceitos foram aplicados com sucesso. O método comparativo será semelhante ao usado no subcapítulo 4.4, representando-se um gráfico do potencial evolutivo entre os dois modelos (Figura 43), assim com este gráfico podemos ver o aumento de idealidade esperado para as diferentes subtendências, e o potencial de evolução restante. Pode-se desta forma verificar facilmente, o salto significativo na idealidade do sistema, em especial na sua simplicidade e variabilidade. De notar ainda que algumas subtendências apesar de tudo não sofreram alterações desde da versão I, e que o potencial de evolução é ainda elevado, pode portanto ser interessante analisar mais cuidadosamente, possíveis formas de melhorar estas subtendências.

De salientar que este é apenas um modelo conceptual, pelo que não foi realizado nenhum protótipo, pelo que será necessário construir um para testar e validar as hipóteses referidas anteriormente.

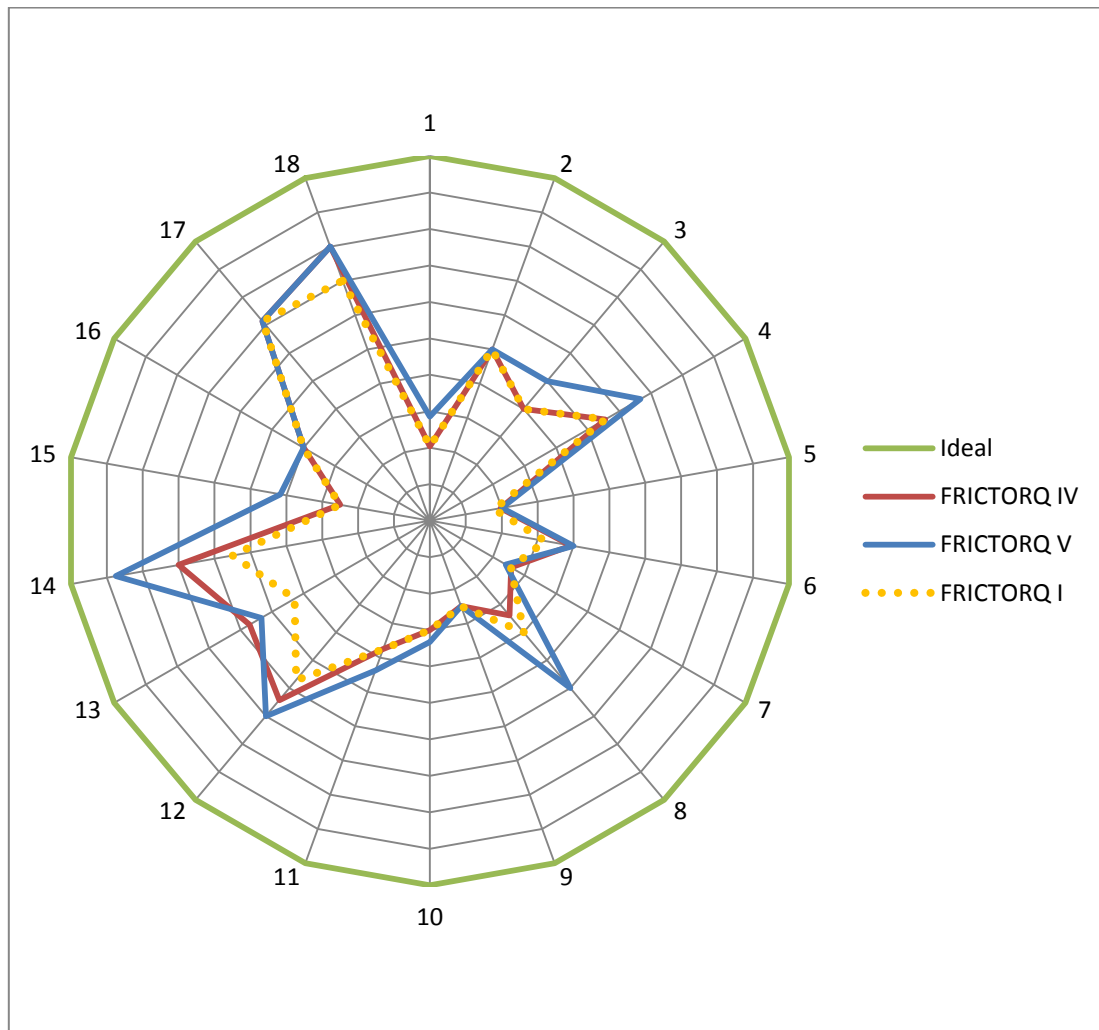


Figura 43 - Gráfico de potencial de evolução comparando os equipamentos FRICTORQ IV com o futuro FRICTORQ V





## 6 CONCLUSÕES

No presente capítulo, expõem-se as principais conclusões do trabalho realizado e apresentam-se algumas propostas de trabalho futuro. Estas visam identificar essencialmente outros pontos de ação, não analisados neste trabalho, e que possam conduzir a novos avanços.

### 6.1 SUMÁRIO

A TRIZ é uma vasta metodologia, ainda pouco divulgada em Portugal, que auxilia na conceção e desenvolvimento de soluções e de sistemas tecnológicos. Esta é baseada no estudo dos sistemas tecnológicos em geral, o que lhe garante uma enorme abrangência para as diferentes áreas da tecnologia. Baseia-se fundamentalmente na aplicação de princípios e tendências padrão da tecnologia, para indicar possíveis soluções para problemas específicos, ou como guia de pensamento para o desenvolvimento de novos sistemas.

O FRICTORQ é um equipamento laboratorial, simples e fiável, de medição do coeficiente de atrito em materiais não rígidos. A sua aparente simplicidade e fiabilidade levaram-no a um impasse no seu desenvolvimento posterior.

Nesta dissertação, demonstrou-se o carácter universal da TRIZ. Revelando a utilização de alguns dos seus princípios nos desenvolvimentos que foram efetuados anteriormente ao equipamento FRICTORQ, bem como o uso de alguns desses princípios para registar possíveis novas ideias para o seu desenvolvimento futuro, e que até agora permaneciam “*ocultas*”.

### 6.2 CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho, foi conseguida uma maior compreensão das metodologias TRIZ. Esta metodologia é ainda pouco conhecida no Ocidente, e em Portugal, em particular, sendo encontrada pouca bibliografia, em língua Portuguesa, sobre o tema, sendo que essa bibliografia apresenta apenas os aspetos gerais desta metodologia.

Esta metodologia apresenta uma vasta gama de métodos, ferramentas e paradigmas para as mais diversas situações, podendo ser algo redutor denominar a TRIZ como apenas uma metodologia. Algumas destas ferramentas são bastante complexas, sendo, portanto, difíceis de dominar e utilizar; outras são bastante simples e podem ser utilizadas sem grande esforço.

A grande quantidade de métodos e ferramentas, bem como a heterogeneidade de alguns termos e conceitos usados, podem criar, para quem se inicia nesta metodologia, uma grande desorientação e ceticismo em relação ao seu uso. A sua fraca disseminação pode, também ela ser justificada com base neste ceticismo e desorientação. No entanto, à medida que se vai aprofundando e estudando a TRIZ, pode-se constatar que, na sua essência esta é simples, podendo-se resumir em três aspetos, que uma vez dominados facilitam a compreensão desta metodologia:

- A criatividade não é fruto de um dom adquirido por algumas pessoas, podendo ser ensinada e treinada.
- Deve-se evitar a inércia psicológica, olhando para os sistemas de uma forma mais abstrata possível, procurando soluções simples, e noutras áreas da tecnologia.
- Todos os sistemas tecnológicos seguem leis e princípios comuns entre eles.

Sendo estes aspetos em si bastante genéricos, a variedade de métodos e ferramentas são, resultado de diferentes abordagens e aplicação destes aspetos, consoante o objetivo a que se propõem, no entanto cada um desses métodos permite um ponto de vista diferente e particular sobre um dado problema tecnológico, ou permitem compreender diferentes aspetos de uma tecnologia.

Relativamente ao equipamento FRICTORQ, pode-se observar que, apesar da sua aparente simplicidade, existe ainda espaço para a sua simplificação e que, apesar de todos os desenvolvimentos até a data, este tem ainda um grande potencial evolutivo, permitindo ainda desenvolvimentos. Com a aplicação da TRIZ, foi possível observar que o FRICTORQ poderá integrar no seu funcionamento, sem alterações profundas, novos tipos de ensaios em tecidos, é ainda possível torná-lo um sistema mais versátil. Através da fusão entre o motor e do sensor de binário, num sistema de medição indireta, abre-se também a possibilidade de criar um novo equipamento FRICTORQ mais barato e compacto.

Conseguiu-se assim, com este trabalho, ter uma melhor compreensão das metodologias TRIZ, e conseguiu-se através da sua aplicação no equipamento FRICTORQ, demonstrar algumas das suas potencialidades. Desta forma, considera-se ter cumprido os objetivos aos quais está dissertação se propôs.

### 6.3 PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO

Embora este trabalho tenha procurado contribuir para uma melhor compreensão das metodologias TRIZ, na tentativa de potenciar novos desenvolvimentos do equipamento FRICTORQ, existe ainda algum trabalho a ser desenvolvido.

Como referido várias vezes ao longo deste trabalho, as ideias e os conceitos apresentados estão ainda numa fase inicial. É necessário dar-lhe continuidade, com um melhor conhecimento das necessidades do cliente-alvo deste tipo de sistema, seleccionar as ideias que apresentam uma melhor perspetiva de sucesso, e que podem representar uma mais-valia. Posteriormente, deverá ser necessário efetuar-se uma melhor análise e desenvolvimentos dos aspetos mais específicos dos conceitos apresentados no capítulo 5.

O uso de outras ferramentas TRIZ, que não foram utilizadas no âmbito deste trabalho, pode também ajudar a encontrar (outras) novas ideias. A procura de contradições ocultas, num nível mais específico do sistema, e a sua posterior resolução, poderá também ser encetado, de forma a melhorar o equipamento FRICTORQ.

Outro aspeto que foi explorado, é a sinergia dos métodos TRIZ, com outros métodos de apoio ao projeto, para potencializar o desenvolvimento. Esta é uma tendência mais recente em que alguns pensadores TRIZ, aplicam os conceitos e filosofia desta metodologia a outras metodologias de projeto (como a RCA+) para tentar melhorar a aplicabilidade da TRIZ [9] [11]. Alguns desses “novos métodos”, podem também trazer uma nova visão sobre o FRICTORQ



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. S. Yuri, TRIZ the Right Solution at the Right Time: A Guide to Innovative Problem Solving, Insytec, 2002.
- [2]. “European TRIZ Association,” Janeiro 2013. [Online]. Available: <http://etria.net/portal/>.
- [3]. M. Lima, L. F. Silva, R. Vasconcelos e A. Carneiro, “FRICTION BEHAVIOUR OF CELLULOSIC MATERIALS USED FOR HUMAN INTERACTION,” em *AUTEX 2010 World Textile Conference*, 2010.
- [4]. S. Dewulf e D. Mann, TRIZ Companion, Creax Press, 2002.
- [5]. “Open Source TRIZ,” [Online]. Available: [www.opensourcetriz.com](http://www.opensourcetriz.com). [Acedido em Novembro 2012].
- [6]. S. D. Savaransky, Engineering of Creativity (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving), CRC Press, 2000.
- [7]. K. Gadd, TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving, John Wiley & Sons, 2011.
- [8]. “Ideation Intenational,” Dezembro 2012. [Online]. Available: <http://www.ideationtriz.com>.
- [9]. J. Terninko, A. Zusman e B. Zlotin, Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving), St. Lucie Press, 1998.
- [10]. D. D. Sheu e C. Ting Hou, “TRIZ-based Systematic Device Trimming: Theory and Application,” em TRIZ Future Conference 2012, Lisboa, 2012.
- [11]. V. Souchkov, “Root Conflict Analysis (RCA+): Structured Problems and Contradictions Mapping,” em TRIZ Future Conference 2005, 2005.
- [12]. D. Macedo, “FRICTORQ®: Avaliação do coeficiente de atrito na presença de cremes

cosméticos,” Universidade do Minho, Guimarães, 2012.

- [13]. D. Macedo, M. Lima, L. F. Silva, R. Vasconcelos e E. Seabra, “FRICTORQ: Evaluation of Friction Coefficient in Cosmetic Creams,” em *Textile Research Symposium*, 2012.
- [14]. M. Lima, L. Silva, R. Vasconcelos e A. Carneiro, “FRICTORQ, Mechatronic Design for the Objective Measurement of Friction in 2D Soft Surfaces,” em *1ST International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges*, Bucharest, 2006.
- [15]. M. Lima, L. F. Silva, E. Seabra e R. Vasconcelos, “FRICTORQ, DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN ADD-ON FUNCTION TO MEASURE FABRIC FRICTION IN A LIQUID ENVIRONMENT,” em *XIV IC Project Engineering*, 2010.
- [16]. “Qualitest,” [Online]. Available: <http://www.worldoftest.com>. [Acedido em Maio 2013].
- [17]. B. Saville, *Physical Testing of Textiles*, CRC Press, 1999.
- [18]. J. F. Vogado, “Aplicação da teoria de resolução de problemas inventivos ao estudo da ventilação interior e do comportamento térmico de um farol de automóvel,” Universidade técnica de Lisboa, Lisboa, 2005.
- [19]. J. Davin, *Tribology for Engineers*, Woodhead Publishing, 2011.
- [20]. K. Hiltmann, H. Hans-Herbert e H. Wilhelm, “Identifying and Realizing Innovation Potentials at a Drum Brake Using WOIS and TRIZ Methods, TRIZ tools,” em *TRIZ Future Conference 2012*, Lisboa, 2012.
- [21]. A. Riwan, J. Bonnemason e D. Ponsort, “How the use of TRIZ led to design a novel bistable electromagnetic fastening device,” em *TRIZ Future Conference 2012*, Lisboa, 2012.
- [22]. C. M. Thurnes, F. Zeihsel, S. Visnepolshi e F. Hallfell, “Using TRIZ to invent failures – concept and application to go beyond traditional FMEA,” em *TRIZ Future Conference 2012*, 2012.
- [23]. G. E. Dieter e L. Schmidt, *Engineering Design 4º edição*, Mc Graw Hill, 2009.
- [24]. H. Izumi e M. Sawaguchi, “Problem-solving Processes based on Expert Engineers’

- Solutions,” em *TRIZ Future Conference 2012*, Lisboa, 2012.
- [25]. I. De Saeger, K. Rutten e V. Souchkov, “Function Value Map,” em *TRIZ Future Conference 2012*, Lisboa, 2012.
- [26]. D. Kucharavy e R. De Guio, “Application of Logistic Growth Curve,” em *TRIZ Future Conference 2012*, 2012.
- [27]. M. Lima, L. F. Silva, R. Vasconcelos, J. M. e L. Hes, “FRICTORQ, Tribómetro para Avaliação Objectiva de Superfícies Têxteis,” em *IBERTRIB*, 2005.
- [28]. M. Lima, L. F. Silva, R. Vasconcelos e J. Cunha, “FRICTORQ – Instrumento para a Medição Objectiva do Atrito em Têxteis,” em “*Engenharias’2007 – Inovação & Desenvolvimento*”, 2007.
- [29]. P. Marsh e K. Gadd, “Establishing TRIZ in a global company,” em *TRIZ Future Conference 2012*, Lisboa, 2012.
- [30]. K. Rantanen e . E. Domb, *Simplified TRIZ 2º edição: New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals*, Auerbach Publications, 2008.
- [31]. R. Tudor, *Problem Solving*, Coles Publishing, 1980.
- [32]. S. Saliminamin, M. Parvin, M. Karimi e H. Khoshghalb, “How TRIZ beginners can find and solve inventive problems with 5 simple tools among all TRIZ tools,” em *TRIZ Future Conference 2012*, Lisboa, 2012.
- [33]. T. N. D. J. Torsten Maas e W. Tessmer, “OTSM TRIZ Application for an Interoperable Pantograph,” em *TRIZ Future Conference 2012*, Lisboa, 2012.
- [34]. A. Carneiro, “Estudo do comportamento de materiais celulósicos ao “toque”: papel, não-tecidos,” Universidade do Minho, Guimarães, 2009.
- [35]. J. Alves, “contribuição para a medição objetiva e subjetiva do toque em vestuário hospitalar para coberturas cirurgicas,” Universidade do Minho, Guimarães, 2010.
- [36]. A. Guise, “Contribuição para a medição objetiva e subjetiva do toque em vestuário

hospitalar para batas cirúrgicas,” Universidade do Minho, Guimarães, 2010.

- [37]. M. Rodrigues, “Contribuição para a quantificação do toque: coeficiente de atrito em malhas de trama,” Universidade do Minho, Guimarães, 2012.
- [38]. “EVA Robotics,” [Online]. Available: [www.evarobotics.com](http://www.evarobotics.com). [Acedido em Abril 2013].
- [39]. G. Altshuller, And suddenly The Inventor Appeared - Triz Theory Of Inventive Problem Solving, Technical Innovation Center, 1996.



# **Anexos**



## **ANEXO A – LISTA DE RECURSOS (ADAPTADO DE [1])**

### **Recursos de Substâncias**

- Desperdícios;
- Matérias-primas e produtos;
- Substâncias baratas;
- Substâncias fluídas;
- Propriedades de substâncias.

### **Recursos de campos**

- Energia no sistema;
- Energia no ambiente;
- Construídos em possíveis plataformas energéticas;
- Desperdícios do sistema tornam-se energia para o sistema.

### **Recursos de espaço**

- Espaço vazio;
- Outra dimensão;
- Arranjo vertical;
- Inclusão.

### **Recursos de tempo**

- Pré-trabalho;
- Planeamento;
- Operações paralelas;
- Posto de trabalho.

### **Recursos de informação**

- Enviados por substâncias;
- Propriedades inerentes;
- Informação em movimento;
- Informação transiente;
- Informações de mudança de estado.



## ANEXO B – MÉTODOS DE MUDANÇA DE INDICADORES

### (FANTOGRAMMA) (ADAPTADO DE [7])

- A. Aumentar ou diminuir;
- B. Unir ou separar (segmentar) componentes;
- C. Fazer o inverso – Substituir uma característica por uma característica oposta (anti característica);
- D. Antecipar uma ação ou atrasar uma ação;
- E. Fazer uma propriedade de um objeto variável, não tem, ou constante;
- F. Separar uma característica ou função de um objeto e transferi-la para outro componente do sistema ou para o supersistema, ou então incorpore características do supersistema/ambiente;
- G. Mudar a forma como um objeto está ligado ao exterior ou mudar o exterior.
- H. Mudar a quantidade que caracteriza um indicador;
- I. Tornar uma propriedade estática em dinâmica e uma propriedade dinâmica em estática;
- J. Tornar o artificial vivo ou tornar o vivo e artificial:



## ANEXO C- INDICADORES UNIVERSAIS (FANTOGRAMA) (ADAPTADO DE [7])

Tabela 5- Tabela de indicadores universais

| Indicador Universal             |     | Descrição  | Exemplos de indicadores específicos   |
|---------------------------------|-----|--|---|
| Matéria                         | 1U  | Substância ou constituinte do objeto<br>Composição química ou estado | Metal; plástico, vapor, entre outros  |
| Subsistema                      | 2 U | Componentes constituintes do objeto                                  | Componentes eletrónicos, Elementos de transmissão, entre outros                       |
| Objeto                          | 3U  | Nome do objeto   | Telefone, Automóvel, entre outros   |
| Supersistema                    | 4U  | Sistema de mais alto nível, no qual se insere o ambiente do objeto   | Rede de comunicações, Rede rodoviária, entre outros                                   |
| Direção de evolução             | 5U  | Direção que a evolução do objeto tem tomado                          | De fixo para móvel, de grande para pequeno, aumento da potência, aumento da segurança |
| Forma de reprodução / Fabrico   | 6U  | Forma como o sistema é criado  | Manufaturado  |
| Local de distribuição           | 7U  | Locais onde é usado  | Casa, escritório, estradas, ruas  |
| Tipo de energia consumida       | 8U  | Tipo de energia gasta pelo objeto                                    | Energia elétrica, energia química   |
| Forma de transporte             | 9U  | Forma como se desloca  | Carregado por uma pessoa, por meios próprios  |
| Nível de organização e controlo | 10U | Nível de automatização   | Controlado manual, controlo semi-assistido, autómato                                  |
| Objetivo                        | 11U | Propósito para que é feito o objeto                                  | Manter comunicações, transportar pessoas  |





## ANEXO D – PADRÕES INVENTIVOS (ADAPTADO DE [1])

### CLASSE 1 - COMPOSIÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DOS SFM

#### Grupo 1 - Síntese de SFM

PADRÃO 1 - Se um sistema não é fácil de alterar como necessário, e as condições não contêm nenhuma limitação à introdução de substâncias ou campos, o problema pode ser resolvido sintetizando um SFM: O objeto (substância) sujeito a um campo físico que produz a mudança necessária no objeto.

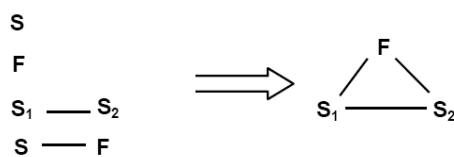


Figura 44 – Representação do Padrão 1-1-1 [1]

PADRÃO 2 - Se um SFM não é fácil de alterar como necessário, e as condições não contêm nenhuma limitação à introdução de substâncias ou campos, o problema pode ser resolvido por uma transição (permanente ou temporária). Para um SFM de complexidade interna introduzindo aditivos nas substâncias que melhoram a controlabilidade ou transmitem as propriedades do SFM desejadas.

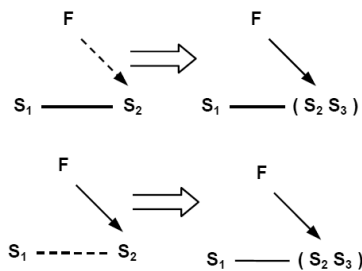


Figura 45 – Representação do Padrão 1-1-2 [1]

PADRÃO 3 - Se um SFM não é fácil de alterar como necessário, e as condições não contêm nenhuma limitação à introdução de substâncias ou campos, o problema pode ser resolvido por uma transição (permanente ou temporária) para um SFM de complexidade externa, acrescentando nas substâncias uma nova substância que melhora a controlabilidade ou transmitem as propriedades do SFM desejadas.

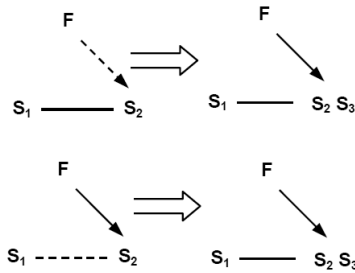


Figura 46 – Representação do padrão 1-1-3 [1]

PADRÃO 4 - Se um SFM não é fácil de alterar como necessário, e as condições contêm limitações à introdução de substâncias, o problema pode ser resolvido usando uma substância do ambiente exterior (Sse).

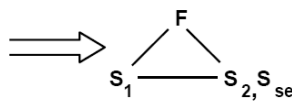


Figura 47 – Representação do padrão 1-1-4 [1]

PADRÃO 5 - Se o ambiente exterior não contém substâncias necessárias para criar o SFM, essa substância pode ser obtida substituindo o ambiente por outro, ou alterando o já existente através de aditivos ou outro processo (Sse').

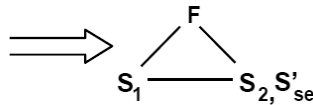


Figura 48 – Representação do padrão 1-1-5 [1]

PADRÃO 6 - Se um mínimo efeito é desejado, requerido ou para otimização, mas é difícil ou impossível garanti-lo nas condições do problema, maximize a ação para retirar a o excesso. Um excesso de substância é retirado por uma maximização do campo e um excesso de campo é retirado pela maximização de substância.

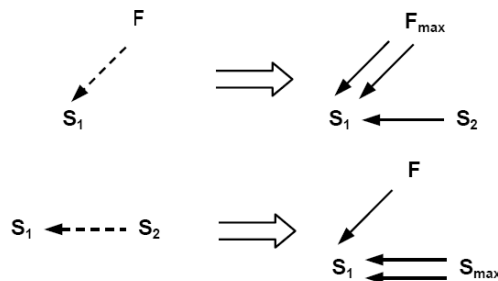


Figura 49 – Representação do padrão 1-1-6 [1]

PADRÃO 7 - Se um máximo efeito de uma ação numa substância é desejado, mas não é possível, a ação deve ser mantida mas direcionada para um outra substância ligada à substância na qual se queria a ação.



Figura 50 – Representação do padrão 1-1-7 [1]

PADRÃO 8 - Se um dado efeito quer-se máximo numa zona e mínimo noutra o campo tem que ser máximo e uma substância protetora é colocada na zona onde é desejado um efeito mínimo.

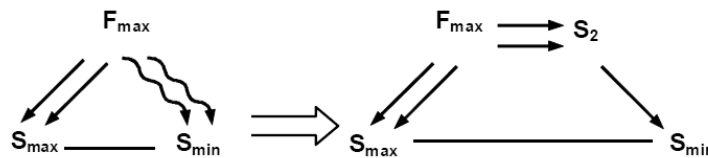


Figura 51 – Representação do padrão 1-1-8-1 [1]

PADRÃO 9 - Se um dado efeito é mínimo, mas quer-se obter o máximo numa zona e mínimo noutra, o campo tem que ser mínimo, uma substância que produza um efeito local reagindo com o campo deve ser adicionado.

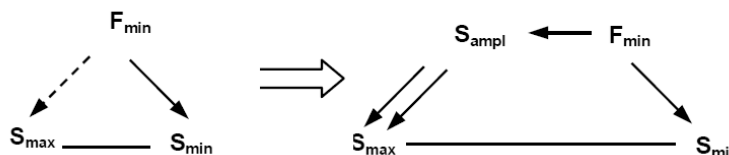


Figura 52 – Representação do padrão 1-1-8-2 [1]

## Grupo 2 - Decomposição de SFM

PADRÃO 1 - Se sobre a mesma substância surge um efeito benéfico e um prejudicial em simultâneo, e não existe necessidade de contacto entre as substâncias, o problema pode ser resolvido colocando uma terceira substância entre elas.

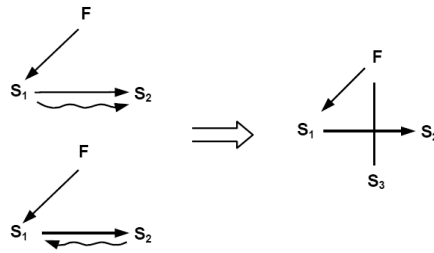


Figura 53 – Representação do padrão 1-2-1 [1]

PADRÃO 2 - Se sobre a mesma substância surge um efeito benéfico e um prejudicial em simultâneo, e não existe necessidade de contacto entre as substâncias mas não se pode acrescentar uma nova substância, o problema pode ser resolvido introduzindo entre as substâncias uma das substâncias expostas à ação do campo mas modificada.

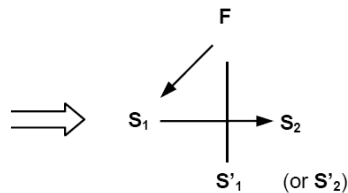


Figura 54 – Representação do padrão 1-2-2 [1]

PADRÃO 3 - Se for necessário retirar um efeito indesejável sobre uma substância, pode ser feito introduzindo uma nova substância que absorva esse efeito.

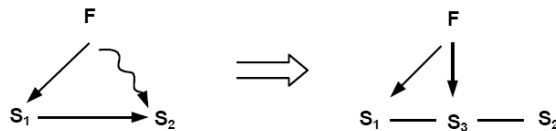


Figura 55 – Representação do padrão 1-2-3 [1]

PADRÃO 4 - Se existir um efeito benéfico e um prejudicial entre duas substâncias e o contacto entre elas tiver de ser mantido, a solução pode passar pela criação de um duplo SFM, em que o efeito benéfico é garantido por um campo e o efeito negativo é anulado por outro campo.

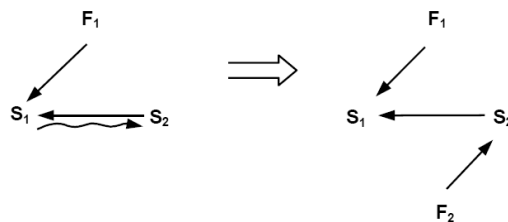


Figura 56 – Representação do padrão 1-2-4 [1]

PADRÃO 5 - Se necessário de compor um SFM com um campo magnético, o problema pode ser resolvido usando efeitos físicos que permitam desativar as propriedades ferro magnéticas da substância.

## CLASSE 2 - EVOLUÇÃO DE SFM

### Grupo 1 - Transição para SFM complexos

PADRÃO 1 - A eficiência de um SFM pode ser melhorada transformando uma parte do sistema noutro SFM controlável, criando uma cadeia de SFM.

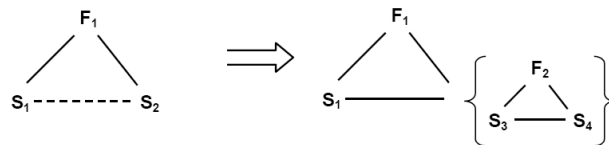


Figura 57 – Representação do padrão 2-1-1 [1]

PADRÃO 2 - Se necessário aumentar a eficiência de um SFM e a substituição de um elemento não é permitida, o problema pode ser solucionado criando um duplo SFM que é mais fácil de controlar.

### Grupo 2 - Evolução de SFM

PADRÃO 1 - A eficiência de um SFM pode ser melhorada, substituindo um campo não controlável ou pouco controlável, por um mais controlável, ou então modificando o existente de forma a conseguir controlá-lo.

Campo permanente → monoestável → pulsante → variável.

PADRÃO 2 - A eficiência de um SFM pode ser melhorada aumentando o grão de fragmentação de um objeto que possa ser sujeita a outras SFM.

PADRÃO 3 - A eficiência de um SFM pode ser melhorada transformando um objeto sólido num poroso.

Objeto sólido → com uma cavidade → múltiplas cavidades (perfurado) →

Poroso → Poroso com estrutura de poros definida.

PADRÃO 4 - A eficiência de um SFM pode ser melhorada aumentando o dinamismo ou flexibilidade do sistema.

Rígido → uma articulação → varias articulações → material flexível

PADRÃO 5 - A eficiência de um SFM pode ser melhorada pela transição de um campo uniforme ou estrutura desordenada, para um campo não uniforme ou com uma estrutura tempo-espaço definida (permanente ou variável).

PADRÃO 6 - A eficiência de um SFM pode ser melhorada pela transição de uma substância uniforme ou estrutura desordenada, para uma substância não uniforme ou com uma estrutura definida no tempo ou espaço (permanente ou variável).

### **Grupo 3 - Evolução pela coordenação rítmica**

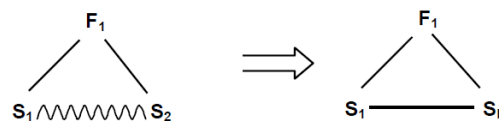
PADRÃO 1 - A eficiência de um SFM pode ser melhorada combinando ou descombinando a frequência do campo com a frequência natural do produto ou ferramenta.

PADRÃO 2 - A eficiência de um SFM pode ser melhorada combinando ou descombinando a frequência dos campos usados.

PADRÃO 3 - Se necessário duas ações incompatíveis em simultâneo, uma deve ser executada nas pausas da outra. De uma forma geral, as pausas numa ação devem ser preenchidas com outra ação útil.

### **Grupo 4 - SFM de Forças complexas**

PADRÃO 1 - A eficiência de um SFM pode ser melhorada usando uma substância ferromagnética e um campo magnético.



**Figura 58 – Representação do padrão 2-4-1 [1]**

PADRÃO 2 - A eficiência do controlo de um SFM pode ser melhorada usando uma substância com elementos ferromagnéticos e um campo magnético.

A eficiência aumenta com o aumentar da dispersão dos elementos ferromagnéticos e com a dispersão da substância.

Partículas ferromagnéticas: Grãos → Pó → Partículas dispersadas → Líquido magnético.

Substância: Sólido → Grãos → Pó → Líquido

PADRÃO 3 - A eficiência de um SFM ferromagnético pode ser melhorada usando fluidos magnéticos, como partículas ferromagnéticas suspensas em querosene, silicone ou água.

PADRÃO 4 - A eficiência de um SFM ferromagnético pode ser melhorada usando estruturas porosas de capilares.

PADRÃO 5 - Se é necessário aumentar a eficiência de controlo e não seja possível substituir a substância por partículas ferromagnéticas, um tem de compor um SFM ferromagnético de complexidade interna ou externa através da adição de aditivos numa das substâncias.

PADRÃO 6 - Se é necessário aumentar a eficiência de controlo e não é possível substituir substância por partículas ferromagnéticas, partículas ferromagnéticas devem ser acrescentadas no ambiente exterior, e então usando o campo magnético, os parâmetros devem ser alterados para que o sistema se torne mais controlável.

PADRÃO 7 - A controlabilidade de um sistema ferromagnético pode ser melhorada pelo uso de efeitos físicos.

PADRÃO 8 - A eficiência de um SFM ferromagnético pode ser melhorada pelo aumento do grau de dinâmica num sistema, pela mudança para sistema para um mais flexível ou de maior rapidez de mudança estrutural.

PADRÃO 9 - A eficiência de um SFM ferromagnético pode ser melhorado pela transição de um campo uniforme ou estrutura desordenada para um campo não uniforme ou com uma estrutura tempo-espaço defenda (permanente ou variável).

PADRÃO 10 - A eficiência de um SFM ferromagnético pode ser melhorada combinando ou descombinando o ritmo dos elementos do sistema.

PADRÃO 11 - Se não é permitido introduzir ferromagnéticos ou magnetizar, um SFM eletromagnético deve ser criado usando a interação de campo eletromagnético com correntes ou alimentado através de contacto ou indução sem contacto ou pela interação entre correntes.

Um SFM eletromagnético (E-SFM) é um SFM no qual correntes elétricas interagem entre si. A evolução dos E-SFM seguem a mesma evolução que SFM complexos.

E-SFM simples → E-SFM complexos → E-SFM em ambientes externos →  
Dinamização do E-SFM → estruturação → corresponder os ritmos.

PADRÃO 12 - Se um fluido magnético não pode ser usado, pode usar-se fluidos electroreológicos (uma suspensão de pó de quartzo em tolueno o qual a viscosidade varia com um campo elétrico).

### **CLASSE 3 - TRANSIÇÃO PARA SUPERSISTEMAS E TRANSIÇÃO PARA MICRONÍVEL**

#### **Grupo 1 - Transição para sistemas duplos e polisistemas**

PADRÃO 1 - Eficiência de sistemas em qualquer fase da sua evolução pode ser melhorada através da combinação de outros sistemas para forma de sistemas duplos ou polisistemas. Os componentes a combinar podem ser substâncias, campos ou SFM completos.

PADRÃO 2 - Eficiência de polisistemas pode ser melhorada desenvolvendo ligações entre os sistemas elementares.

PADRÃO 3 - Eficiência de polisistemas pode ser melhorada através do aumento de diferenças entre componentes do sistema. A seguinte linha de evolução é recomendada.

Componentes similares → Componentes com características enviesadas →  
Componentes diferentes → combinação de componentes com funções contrárias

PADRÃO 4 - Eficiência de polisistemas pode ser melhorada através da integração de vários componentes num único (Convulsão) reduzindo componentes auxiliares. Sistemas totalmente convulsionados podem ser considerados monosistemas novamente, e integrados em sistemas de outro nível.

Eficiência de polisistemas pode ser melhorada através da distribuição de propriedades incompatíveis, entre os diferentes sistemas e seus componentes. Isto é conseguido usando estruturas de dois níveis no qual o sistema geral tem propriedades A, enquanto alguns componentes têm propriedades anti-A.

#### **Grupo 2 - Transição para micronível**

PADRÃO 1 - A eficiência de um sistema pode ser melhorada em qualquer fase da sua evolução pela transição de um macro nível para um micronível: O sistema ou suas partes são substituídas por substâncias capazes de realizar as funções desejadas quando interagem com o campo.



## CLASSE 4 - PADRÕES DE DETEÇÃO E MEDIÇÃO

### Grupo 1 - Mudança em vez de medir ou detetar

PADRÃO 1 - Se um problema envolve deteções ou medições, é sugerido alterar o problema para que estas não sejam necessárias.

PADRÃO 2 - Se um problema envolve deteções ou medições e a sua alteração é impossível, é sugerido mudar/testar as propriedades de uma cópia do objeto (Exemplo fotografia).

PADRÃO 3 - Se um problema envolve deteções ou medições e a sua alteração é impossível e não é possível o objeto ser substituído por uma cópia, é sugerido transformar esse problema num problema com sucessivas deteções/medições.

### Grupo 2 - Síntese de sistemas de medição

PADRÃO 1 - Se um não SFM não é fácil de testar ou medir, o problema é solucionado com a criação de um SFM simples ou duplo com um campo, como Output. Em vez de medição /deteção direta de um parâmetro, outro parâmetro identificado com o campo é medido/testado. O campo a ser introduzido deve possuir um parâmetro cuja sua deteção/medição seja fácil e possa indicar o estado do parâmetro que desejamos medir.

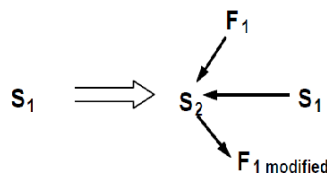


Figura 59 – Representação do padrão 4-2-1

PADRÃO 2 - Se um sistema ou seus componentes não podem ser medidos/testados, o problema é resolvido pela transição para um SFM de medição com complexidade interna ou externa, introduzindo aditivos de fácil deteção.

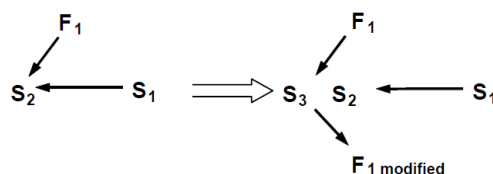


Figura 60 – Representação do padrão 4-2-2

PADRÃO 3 - Se um sistema é difícil de testar/medir num dado instante e não é possível introduzir aditivos no objeto, então os aditivos, para criar um campo facilmente

detetável/mesurável, devem ser adicionados no ambiente externo. Mudanças no ambiente significam mudanças no estado do objeto.

PADRÃO 4 - Se for impossível introduzir aditivos no ambiente externo, estes devem ser obtidos a partir do próprio ambiente através da sua decomposição.

### **Grupo 3 - Melhoramento de sistemas de medição**

PADRÃO 1 - A eficiência de um SFM de medição pode ser melhorada pelo uso de efeitos físicos.

PADRÃO 2 - Se é impossível testar ou medir diretamente mudanças num sistema e nenhum campo pode passar pelo sistema, o problema pode ser resolvido estimulando a frequência de ressonância do sistema ou partes deles. Se a frequência muda é uma indicação de que mudanças estão ocorrendo.

PADRÃO 3 - Se a frequência de ressonância não poder ser estimulada, o seu estado pode ser determinado pela mudança da frequência natural do objeto.

### **Grupo 4 - Transição para sistemas de medição ferromagnéticos**

PADRÃO 1 - A eficiência de um SFM de medição pode ser melhorada pelo uso de substâncias ferromagnéticas e campos magnéticos.

PADRÃO 2 - A eficiência em testar ou medir pode ser aumentada pela transição para SFM ferromagnéticos, substituindo substâncias por partículas ferromagnéticas e detetando ou medindo o campo magnético.

PADRÃO 3 - Se necessário aumentar a eficiência de sistemas de deteção/medição através da transição para SFM ferromagnéticos, e a substituição por partículas ferromagnéticas não é possível, a transição para S-FMS é obtida pela sintetização de complexos S-FMS introduzindo aditivos ferromagnéticos na substância.

PADRÃO 4 - Se necessário aumentar a eficiência de deteção ou medição por transição para F-SFM e a dição de partículas ferromagnéticas não é permitida, estas são adicionadas ao ambiente externo.

PADRÃO 5 - A eficiência de um sistema de medição de um F-SFM pode ser melhorada pelo uso de efeitos físicos.

## **Grupo 5 - Evolução de sistemas de medição**

PADRÃO 1 - A eficiência de um sistema de medição pode ser melhorada em qualquer fase da sua evolução formando bisistemas ou polisistemas. Para formar polisistemas, dois ou mais componentes podem ser combinados. Os objetos a combinar podem ser substâncias campos ou SFM.

PADRÃO 2 - Sistemas de medição evoluem no sentido de medir a derivada das funções sobre controlo. A transição é feita segundo a seguinte cadeia

Medição de uma função → medição da primeira derivada da função →  
medição da segunda derivada da função

## **CLASSE 5 - AUXILIARES**

### **Grupo 1 - Introdução de substâncias sobre condições restritas**

PADRÃO 1 - Se necessário introduzir uma substância no sistema e isso não é permitido, pode usar-se o “vazio” como substância.

Nota: Vazio é geralmente gasoso como ar, ou espaço vazio formado dentro de um objeto sólido. Em alguns casos, vazio pode ser formado por outras substâncias, como líquidos (espuma).

PADRÃO 2 - Se necessário introduzir uma substância no sistema e isto não é possível, então pode-se introduzir um campo em vez da substância.

PADRÃO 3 - Se necessário introduzir uma substância no sistema e isso não é permitido, pode usar-se um aditivo interno, que pode ser usado em vez de um externo.

PADRÃO 4 - Se necessário introduzir uma substância no sistema e isso não é permitido, um aditivo muito ativo pode ser introduzido em pequenas quantidades.

PADRÃO 5 - Se necessário introduzir uma substância no sistema e isso não é permitido, um aditivo ativo pode ser usado em pequenas quantidades e concentrado em determinadas zonas.

PADRÃO 6 - Se necessário introduzir uma substância no sistema e isso não é permitido, pode-se introduzi-la temporariamente e depois remove-la.

PADRÃO 7 - Se necessário introduzir uma substância no sistema e isso não é permitido, pode usar-se uma cópia do objeto em vez do próprio, onde a introdução da substância é permitida.

PADRÃO 8 - Se necessário introduzir uma substância no sistema e isso não é permitido, a substância pode ser adicionada sobre uma forma que possa ser decomposta mais tarde.

PADRÃO 9 - Se necessário introduzir uma substância no sistema e isso não é permitido, esta pode ser obtida pela decomposição do ambiente exterior ou do próprio objeto, (por exemplo eletrólise) ou alterando o estado de agregação do objeto ou ambiente.

PADRÃO 10 - Se o sistema não é fácil de mudar como necessário, e não é permitido substituir o componente a servir de instrumento, ou introduzir aditivos, o componente deve funcionar dividindo-se em partes que interagem entre si.

PADRÃO 11 - Depois do aditivo ser inserido no sistema, e já cumpriu a sua função, este deverá desaparecer ou tornar-se indistinguível da substância que se encontrava no sistema ou no ambiente antes da adição do aditivo.

Este pode desaparecer devido a mudanças de fase ou reações químicas.

PADRÃO 12 - Se necessário introduzir grandes quantidades de substâncias, mas não é permitido, “vazio” na forma de estruturas insufláveis ou espuma deve ser usado.

Nota: O uso de estruturas insufláveis ou espumas, resolve a contradição de muita substância— pouca substância.

## **Grupo 2 - Introdução de campos sobre condições restritas**

PADRÃO 1 - Se for necessário introduzir um campo num SFM, deve ser primeiro usado campos já usados no sistema ou suas partes.

Nota: O uso de campos já existentes no sistema aumenta a idealidade do sistema. O número de funções aumenta sem aumentar o número de componentes.

PADRÃO 2 - Se for necessário introduzir um campo num SFM e a introdução de campos já existentes não for possível, deve usar-se um campo do ambiente exterior.

Nota: O uso de campos já existentes no ambiente (exemplo gravidade, calor, pressão) aumenta a idealidade do sistema. O número de funções aumenta sem haver aumento no número de componentes.

PADRÃO 3 - Se for necessário introduzir um campo num SFM, e a introdução de campos já existentes no sistema ou no exterior não for possível, deve usar-se campos cujas substâncias do sistema ou ambiente externo, possam servir como meio de comunicação ou fonte.

### **Grupo 3 - Uso de mudanças de fase**

PADRÃO 1 - A eficiência de uma substância pode ser aumentada sem recurso a aditivos, mudando a sua fase.

PADRÃO 2 - Propriedades duplas podem ser conseguidas pelo uso de substâncias capazes de mudar de fase consoante as condições.

PADRÃO 3 - A eficiência de um sistema pode ser melhorada pelo uso de fenómenos físicos durante a mudança de fase.

Nota: A estrutura de uma substância (densidade condutividade, entre outros) pode mudar com a mudança de fase. Durante a mudança de fase. Energia poderá ser libertada ou absorvida.

PADRÃO 4 - Propriedades duplas de um sistema podem ser conseguidas pela substituição de substâncias monofásicas por substâncias bifásicas.

PADRÃO 5 - A eficiência de um sistema com substâncias bifásicas pode ser melhorada, introduzindo interações físicas ou químicas entre fases do sistema.

### **Grupo 4 - Uso de efeitos físicos**

PADRÃO 1 - Se um objeto alternar entre fases, a transição deve ser feita usando efeitos físicos reversíveis.

PADRÃO 2 - Se necessário ampliar um efeito fraco na entrada, a substância transformadora é colocada perto das condições críticas. A energia é armazenada na substância e o sinal de entrada funciona com gatilho.

### **Grupo 5 - Obter partículas de substâncias**

PADRÃO 1 - Se é necessário partículas de substância (exemplo iões) e elas não estão disponíveis, estas podem ser obtidas através da decomposição de substância com estrutura de mais alto nível (exemplo moléculas)

PADRÃO 2 - Se partículas de substâncias são necessárias e não é possível obtê-las pela decomposição da substância, as partículas podem ser obtidas combinando partículas de mais baixo nível.

PADRÃO 3 - Se uma substância de alto nível tem de ser decomposta, a forma mais fácil de o fazer é decompondo a substância com nível de estrutura mais próximo do máximo.

Quando combinando partículas de baixo nível estrutural, a maneira mais fácil é combinar os elementos de nível estrutural mais próximo do mínimo.

## ANEXO E – LISTA TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO (ADAPTADO DE [4] [6] [7])

### 1. IDEALIDADE

Sistemas tecnológicos evoluem no sentido de se aproximarem do resultado final ideal. Os sistemas tendem a ser mais leves, compactos e eficientes, sendo que no limite estes não precisam de uma existência física para realizar a função. Alguns dos caminhos para o aumento da idealidade podem ser dados pelas seguintes subtendências.

#### 1.1. REDUÇÃO DA DENSIDADE

Representa uma diminuição contínua na densidade dos materiais. Estas mudanças ocorrem de forma a melhorar algum dos seguintes aspetos:

- Melhorar a relação resistência peso;
- Reduzir o consumo de materiais;
- Aumentar a flexibilidade dos componentes;

#### 1.2. REDUÇÃO DE AMORTECIMENTO

O amortecimento de movimentos representa um desperdício de energia, daí a tendência ser para eliminá-lo. Esta tendência de evolução exige que paralelamente se aumente a controlabilidade, estando dependente de sofisticados algoritmos de controlo e equipamento.

Na Figura 61 estão representadas as etapas desta subtendência, a mudança de etapa geralmente implica um ou mais dos seguintes aspetos.

- Reduzir perdas de energia.
- Melhorar a performance dinâmica.
- Melhorar o tempo de resposta.



Figura 61 – Evolução através da redução de amortecimento

#### 1.3. REDUÇÃO DO NÚMERO DE CONVERSÕES DE ENERGIA

Num sistema podem existir diversas conversões de energia (por exemplo a energia elétrica é convertida em mecânica ou térmica, energia elétrica com diferentes tensões, monofásica e trifásica

etc.). Num sistema a energia deve fluir livremente por todo o sistema. As conversões de um tipo de energia para outro tipo, representam obstáculos a essa livre circulação. Assim, idealmente apenas um tipo de energia deve ser usado, a tendência será reduzir o número de conversões necessárias, até que nenhuma seja realizada (apenas um tipo de energia).

O número de órgãos de transmissão tendem a ser reduzidos e eventualmente eliminados. Os órgãos motores e de controlo tendem a utilizar o mesmo campo.

Estas reduções de energia visam:

- Aumentar a eficiência;
- Reduzir desperdícios;
- Reduzir complexidade;
- Reduzir peso;
- Reduzir efeitos negativos;
- Aumentar a confiabilidade;
- Reduzir custos.

Para otimizar o sistema deve-se procurar utilizar formas de energia facilmente controláveis.

## **2. CICLO DE VIDA**

Um sistema tecnológico passa por um ciclo de vida determinado, e sua evolução ocorre em fases definidas comuns a qualquer sistema.

### **2.1. CURVAS- S**

Os sistemas desenvolvem-se em quatro fases: infância, crescimento, maturidade e declínio, onde cada fase possui características peculiares a cada uma. O seu desenvolvimento pode ser visto através das Curvas-S.

### **2.2. EXIGÊNCIA DO CONSUMIDOR**

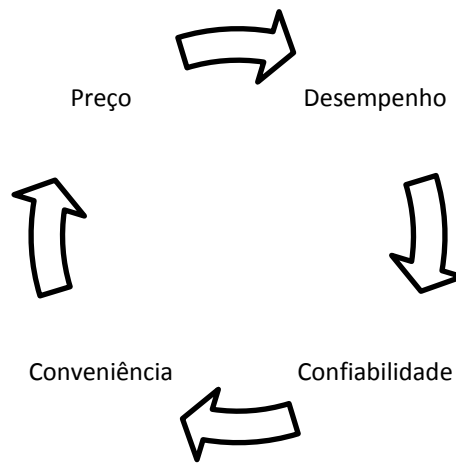
Esta tendência diz respeito ao foco de interesse dos consumidores, a medida que uma dada tecnologia amadurece, e as necessidades do utilizador mudam, este tende a procurar novas características no sistema. As características exigidas seguem um caminho típico, a cada passo surge uma nova exigência. Quando o sistema ainda é pouco desenvolvido o mais importante é que o sistema tenha um bom desempenho ou seja, realize bem a função que lhe é destinada, mais tarde torna-se importante que o sistema não só realize bem a função, como a sua robustez seja aumentada e o



número de falhas reduzidas. Quando o sistema se encontra numa fase mais madura torna-se importante a sua versatilidade para realizar mais tarefas ou tornar-se mais simples de usar.

Cada um dos passos, neste caminho típico, não é mutuamente exclusiva, ou seja um consumidor que esteja focado no desempenho não está obrigatoriamente desinteressado na confiabilidade, conveniência ou preço. Note-se ainda que cada consumidor individual se encontra na sua própria fase, consoante as suas necessidades e que a passagem para a fase seguinte ocorre quando as suas exigências na atual fase se encontram satisfeitas.

Na Figura 62 estão representados os diferentes aspetos relacionados com o consumidor.



**Figura 62 – Evolução das exigências do consumidor**

### 2.3. FOCO DE PROJETO

Durante a fase de projeto, os sistemas são dimensionados e otimizados para uma só situação (geralmente a crítica). Com a sua evolução, várias situações são necessárias a ter em conta de forma a melhorar o seu rendimento. Deste modo, na Figura 63 estão representadas as fases respeitantes à otimização de um projeto. Com esta evolução caracteristicamente os seguintes proveitos são obtidos:

- Melhor performance em todas as condições de operação.
- Reduz-se perdas de energia.
- Mais flexibilidade de operação.
- Resolução de contradições físicas.



**Figura 63 – Evolução do foco de projeto**

### **3. EVOLUÇÃO DESIGUAL DE SISTEMAS**

Os subsistemas têm diferentes ritmos de evolução. Os subsistemas menos desenvolvidos atrasam o desenvolvimento do sistema total. Assim, os subsistemas menos desenvolvidos, por comparação, aparentam ser menos eficientes criando conflitos técnicos com outros subsistemas. A resolução desses conflitos impulsiona o desenvolvimento total do sistema.

### **4. TRANSIÇÃO DE MACRO PARA NANO ESCALA**

Os sistemas tendem a sofrer uma fragmentação e diminuição contínua das dimensões físicas ou do tempo necessário para se realizar uma ação. A diminuição das dimensões ocorre devido à passagem de funções realizadas numa escala macro, para uma escala micro. Tais reduções ocorrem de modo a melhorar algum dos seguintes aspetos:

- Aumentar a compreensão do sistema;
- Melhorar a eficiência no uso dos recursos;
- Melhorar a relação peso/ resistência;
- Reduzir o atravancamento;
- Melhorar a performance e eficiência;
- Reduzir perdas.

#### **4.1. SEGMENTAÇÃO DE OBJETOS/SISTEMAS**

Os sistemas tendem a ser constituídos por materiais ativos e menos densos, podendo ser no final substituídos por um campo.

Na Figura 64 estão representadas as fases da segmentação de objetos, bem como os motivos e as vantagens, comuns na aplicação da nova etapa.

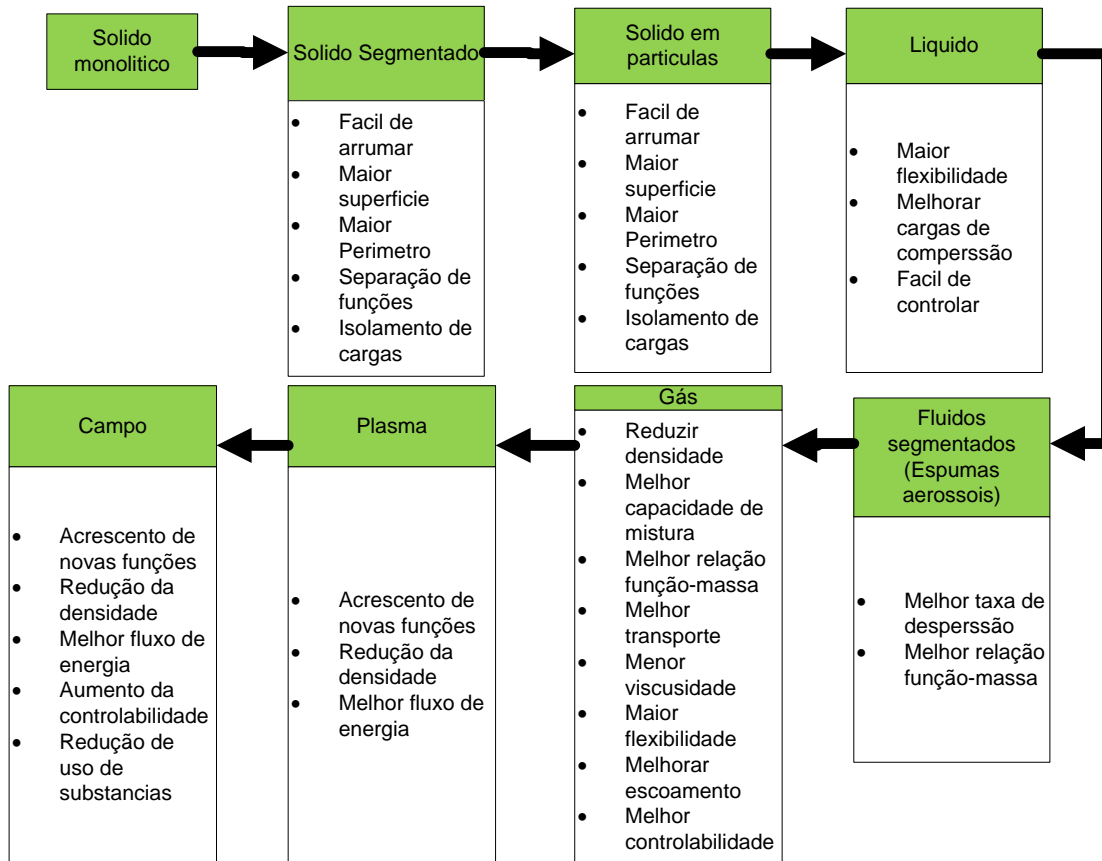


Figura 64 – Evolução da segmentação por objetos

No entanto é importante referir que não é obrigatório que um sistema passe por todas as etapas, e que as vantagens de cada etapa se verifiquem, ou se restrinjam as indicadas, uma vez que estas são meramente indicativas. Na Figura 65, está representado a aplicação desta tendência de evolução para um sistema de corte.



Figura 65 - Exemplos da aplicação da tendência de segmentação por objetos

#### 4.2. SEGMENTAÇÃO DE SUPERFÍCIES

As superfícies tendem a tornar-se menos lisas, por forma a aumentar a sua funcionalidade.

Na Figura 66 estão representadas as fases da segmentação de objetos, bem como os motivos os vantagens, comuns na aplicação da nova etapa.

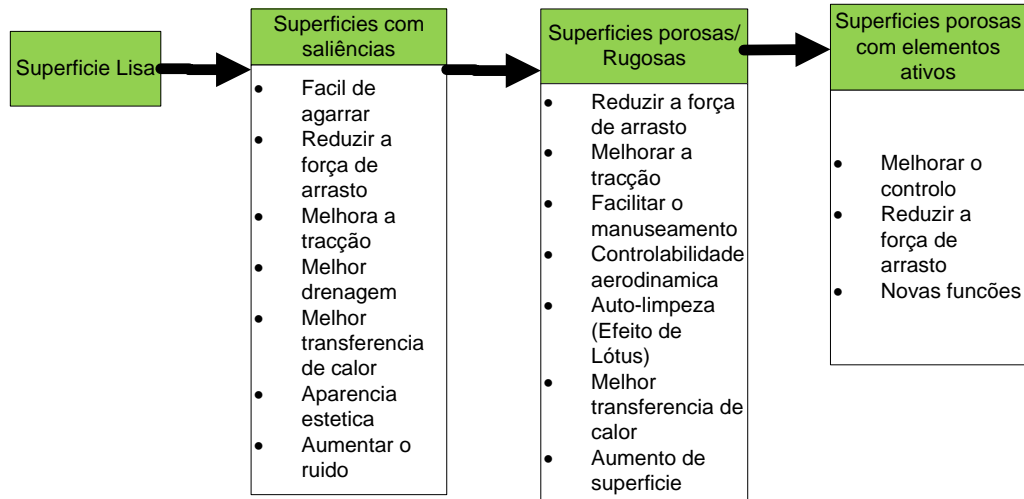


Figura 66 – Evolução da segmentação por superfícies

Na Figura 67, está representado a aplicação desta tendência de evolução para um sistema de dissipação de calor.

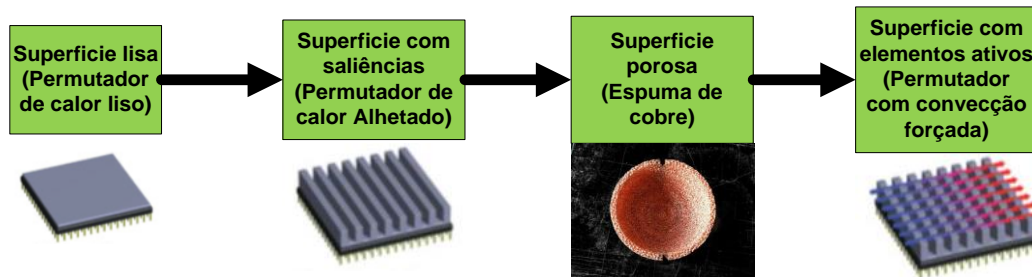


Figura 67 - Exemplo da evolução geométrica de superfícies aplicado a um dissipador de calor

### 4.3. SEGMENTAÇÃO DE ESPAÇO

Esta tendência é muito semelhante a tendência anterior no entanto, não está relacionada com apenas a superfície, mas com todo o sistema.

Na Figura 68 estão representadas as fases da segmentação de espaço, bem como as vantagens ou motivos, comuns na aplicação da nova etapa.

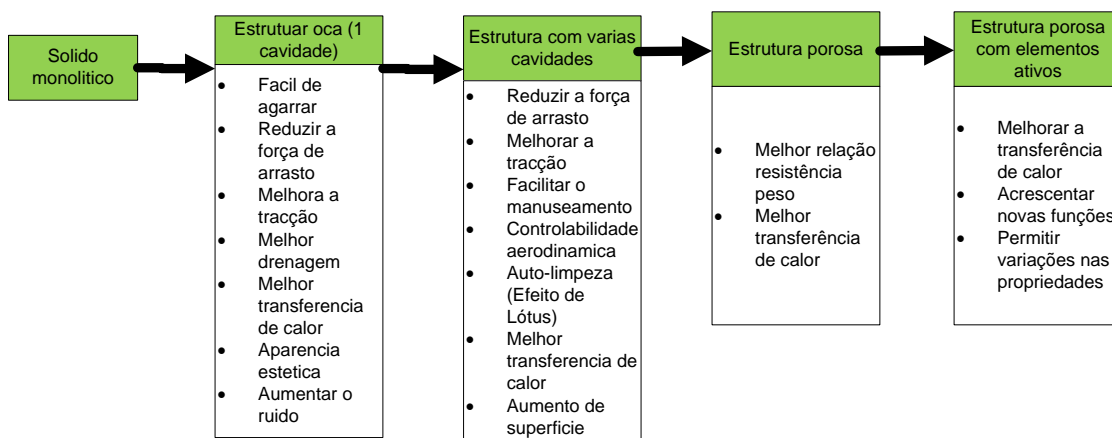


Figura 68 – Evolução da segmentação de espaço

Na Figura 69, está representado a aplicação desta tendência de evolução para um tijolo.

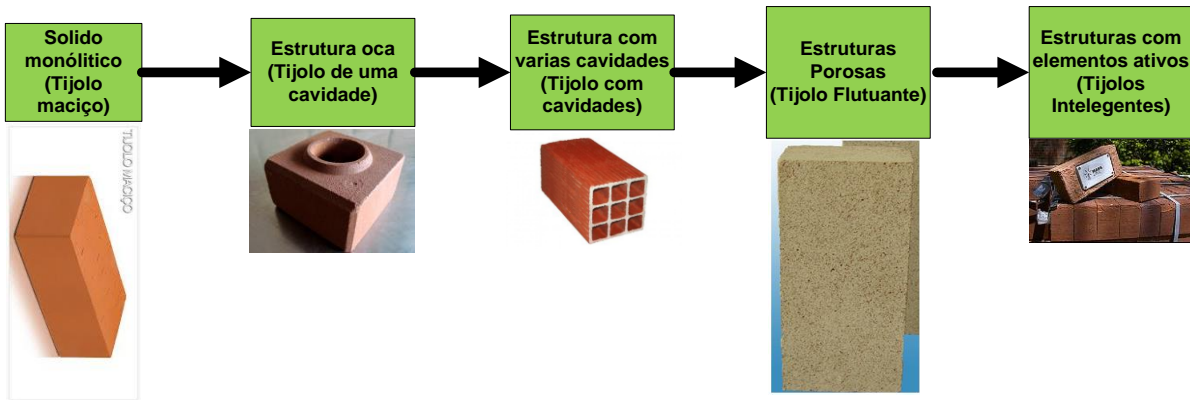


Figura 69 - Exemplo da segmentação de espaço.

## 5. EXPANSÃO E CONVULSÃO

A complexidade de um sistema aumenta com a adição de funções e subsistemas. Depois, tende-se a simplificar através da assimilação de funções entre componentes ou subsistemas.

O processo de evolução de um sistema tecnológico pode ser visto como um gráfico, em que cada ponto expõe uma nova invenção. O eixo das abcissas representa um melhoramento na função principal do sistema, e o eixo das ordenadas a complexidade de um sistema (Figura 70). A evolução dá-se em duas fases: período de expansão (aumento de complexidade) e o período de convulsão (redução de complexidade).

Na fase de expansão, a evolução é obtida pela adição de subsistemas ou mono sistemas, que por sua vez agregam outros subsistemas e assim sucessivamente até a substância, formando deste modo bisistemas e mais tarde um poli sistema. A agregação pára quando se atingir um limite devido restrições físicas, económicas, políticas ou ambientais. O supersistema é *a priori*, a principal fonte de novas funcionalidades e subsistemas que podem ser incorporadas no sistema.

Os bisistemas e os poli sistemas, podem ser classificados consoante as características dos monosistemas que o constituem.

Estes podem ser:

1. Bi/poli sistemas mono funcionais homogéneos – quando os mono sistemas executam funções iguais, e o poli sistema é composto por dois ou mais mono sistemas iguais. Por exemplo, uma tesoura pode ser visto como um bisistema mono funcional homogéneo, uma vez que é composto por duas lâminas (mono sistema) combinadas.

2. Bi/poli sistemas mono funcionais parciais – quando os mono sistemas executam funções iguais, e o poli sistema é constituído por mono sistemas semelhantes. Por exemplo placa bi metálicas, ou canetas multi cor.
3. Bi/poli sistemas multi funcionais heterogéneos – quando os mono sistemas executam funções totalmente diferentes.
4. Bi/poli sistemas multi funcionais invertido – quando os mono sistemas executam funções opostas. Exemplo lápis com borracha na extremidade.

Desta forma o aumenta da complexidade de um sistema dá-se por uma das diferentes combinações dos sistemas acima indicados criando algumas ramificações, estas podem ser vistas na Figura 70.

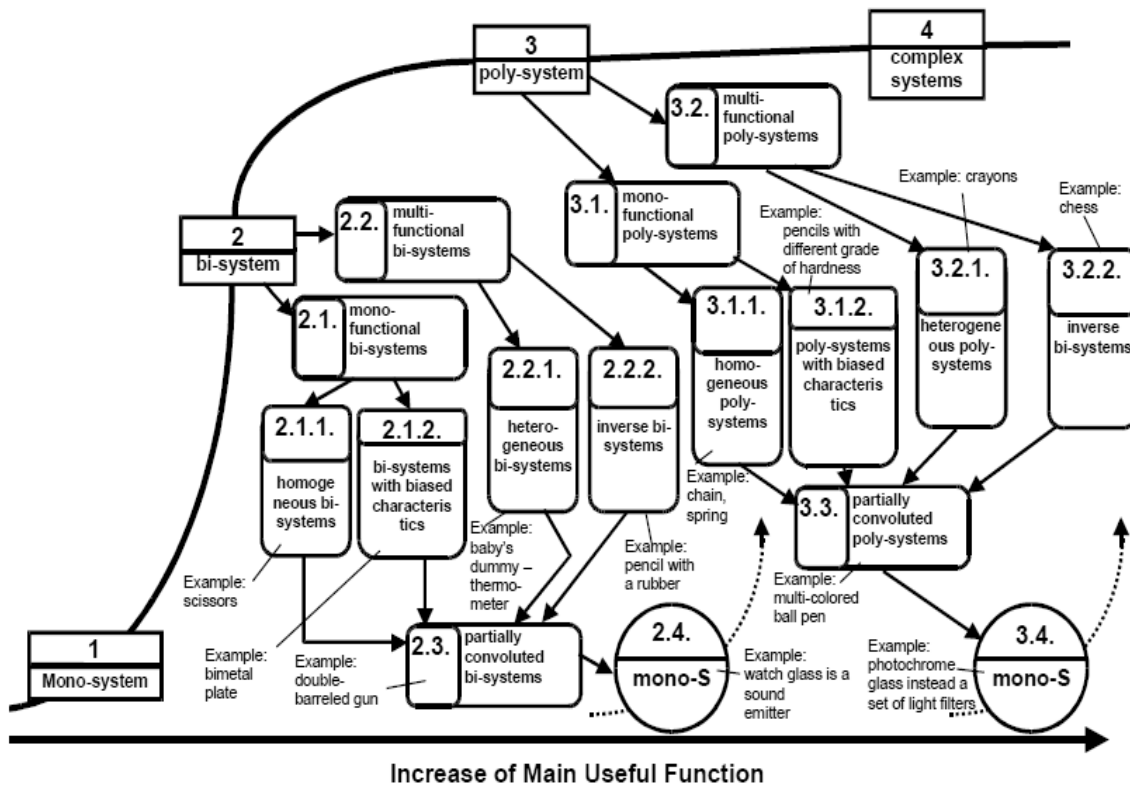
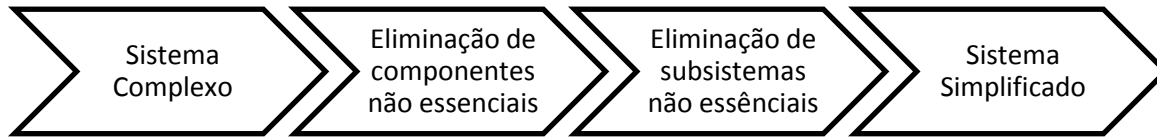


Figura 70 – Caminhos de evolução devido às transições de monossistemas para polisistemas [1]

Na fase de convulsão ou simplificação, dá-se uma redução da complexidade tipicamente a dois níveis:

No primeiro, através da fusão de funções de vários componentes num só componente, os elementos agregados deixam de ser necessários e assim retirados, como é definido pelo "Trimming".

No segundo nível ocorre o mesmo processo mas ao nível dos subsistemas. Tipicamente o segundo nível só é possível após alguma simplificação de componentes que já tenha ocorrido. A Figura 71 pretende representar as etapas para se conseguir atingir a simplificação do sistema.



**Figura 71 - Caminho típico na simplificação**

No final da convulsão é comum um polisistema voltar a tornar-se um nono-sistema e o ciclo de evolução é reiniciado. Note-se que os subsistemas de um dado sistema, podem também eles ser polisistemas com inúmeros subsistemas, e que os mesmos princípios de evolução lhe são aplicados. Portanto o sistema principal pode encontrar-se no período de expansão mas os subsistemas encontrarem-se numa fase de convulsão.

## **6. SINCRONIZAÇÃO E DESFASAMENTO DE SUBSISTEMAS**

Um pré-requisito para a viabilidade de um sistema é, coordenar /descoordenar propositadamente as frequências de vibração e periodicidade de operações, de todas as partes do sistema tecnológico.

Todos os sistemas têm movimentos e esses movimentos provocam vibrações. Existem dois tipos de vibração, a vibração natural que é uma característica intrínseca a um dado objeto, e a vibração forçada, que como o nome indica é uma vibração a qual obrigamos um objeto a vibrar. A conjugação destas duas frequências pode levar ao efeito de ressonância, este pode ser benéfico ou prejudicial ao sistema. Portanto torna-se necessário coordenar/descoordenar as vibrações por forma maximizar a performance de um sistema.

Esta tendência demonstra um aumento da eficiência na execução de funções. De seguida são demonstradas algumas das formas ou subtendências de coordenação dos subsistemas.

### **6.1. COORDENAÇÃO DE RITMOS:**

Esta tendência relaciona-se com a passagem de uma ação, força ou sinal, que atua de uma forma constante para uma forma intermitente.

Na Figura 72 estão representadas as fases da coordenação de ritmos, bem como os motivos ou vantagens da aplicação de uma nova fase.

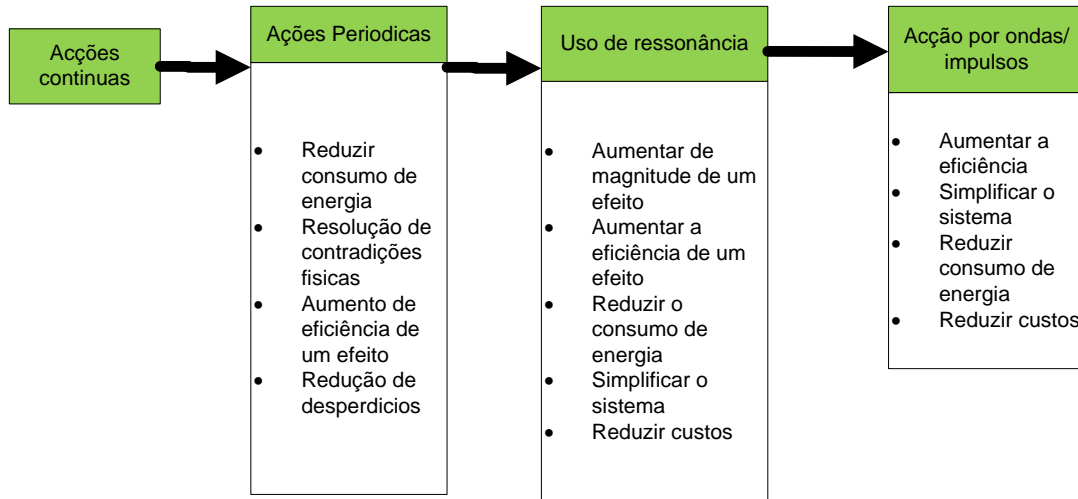


Figura 72 – Evolução por coordenação de ritmos

A Figura 73, mostra uma representação abstrata da coordenação de ritmos

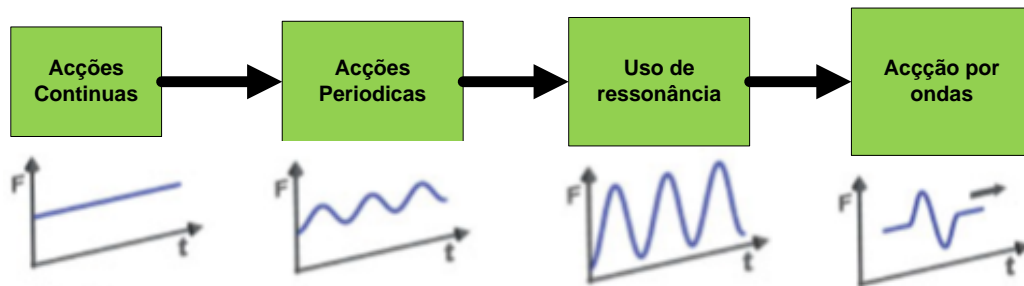


Figura 73 – Exemplo genérico da evolução por coordenação de ritmos

## 6.2. AÇÕES COORDENADAS:

Os sistemas tendem a coordenar as ações realizadas, e a realizar varias ações em simultâneo.

Na Figura 74 estão representadas as etapas de coordenação das ações, bem como as vantagens ou motivos da sua aplicação.



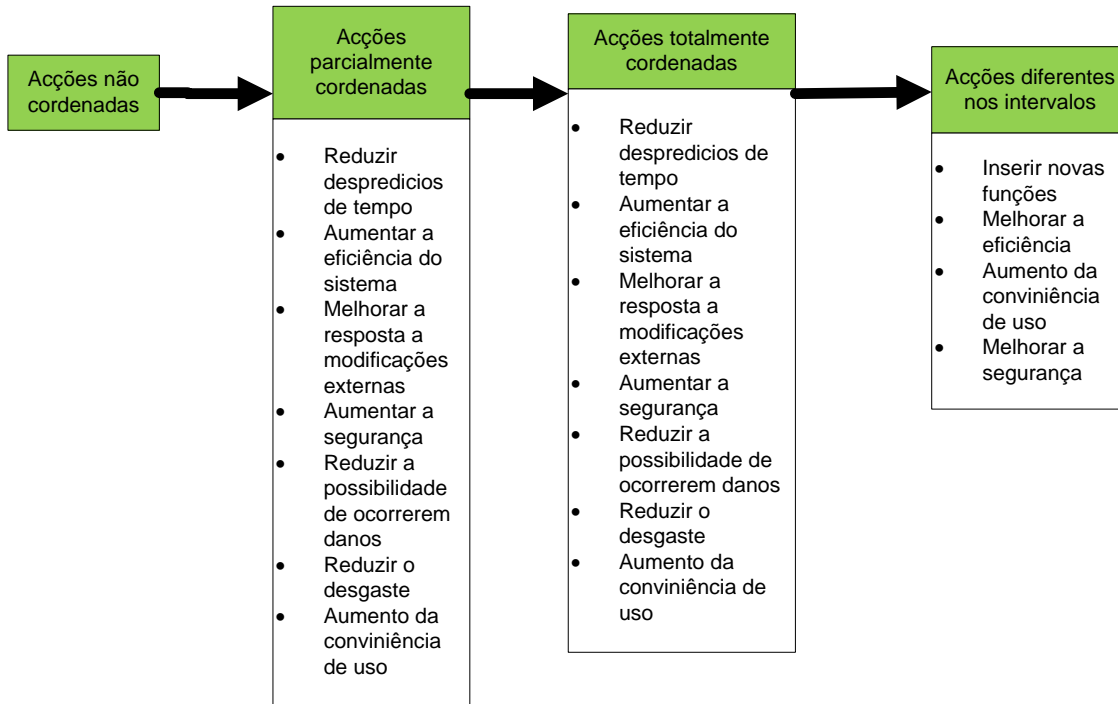


Figura 74 – Evolução através de acções coordenadas

. A Figura 75, mostra uma representação abstrata da coordenação de acções

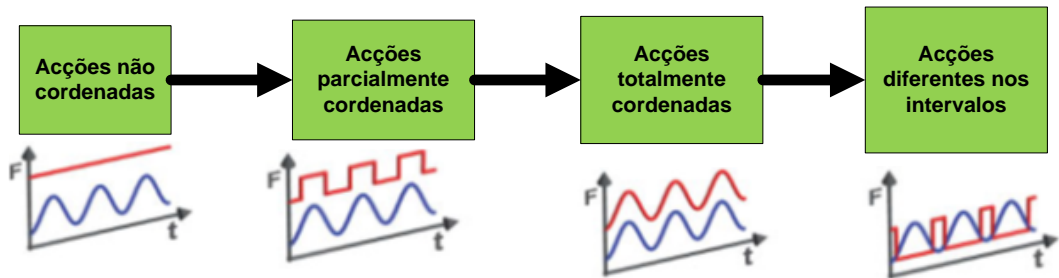


Figura 75 - Exemplo genérico da coordenação de acções

## 7. AUMENTO DO DINAMISMO E CONTROLO

Qualquer sistema tecnológico deve consistir em, pelo menos, quatro constituintes, motor, transmissão, unidade de controlo e unidade de trabalho. Para tornar um sistema controlável pelo menos um das suas funções têm de ser controlável.

Um sistema tecnológico tende a tornar-se mais flexível, dinâmico, com mais graus de liberdade. Isto significa que o sistema tende a ter mais partes móveis e flexíveis, o que exige igualmente um controlo mais eficaz e dinâmico.

### 7.1. GRAUS DE LIBERDADE

Os sistemas tendem a ter mais liberdade de movimentos, reduzindo as restrições destes. Um sistema ideal seria aquele que poderá se mover (linear ou rotação) em qualquer direção. Um bom

exemplo desta evolução são os sistemas de corte, as primeiras máquinas de corte apenas cortavam numa direção, com o advento da tecnologia CNC, mais graus de liberdade foram conseguidos pela inserção de mais eixos de movimento, chegando atualmente a mais do que 5 direções de movimentos.

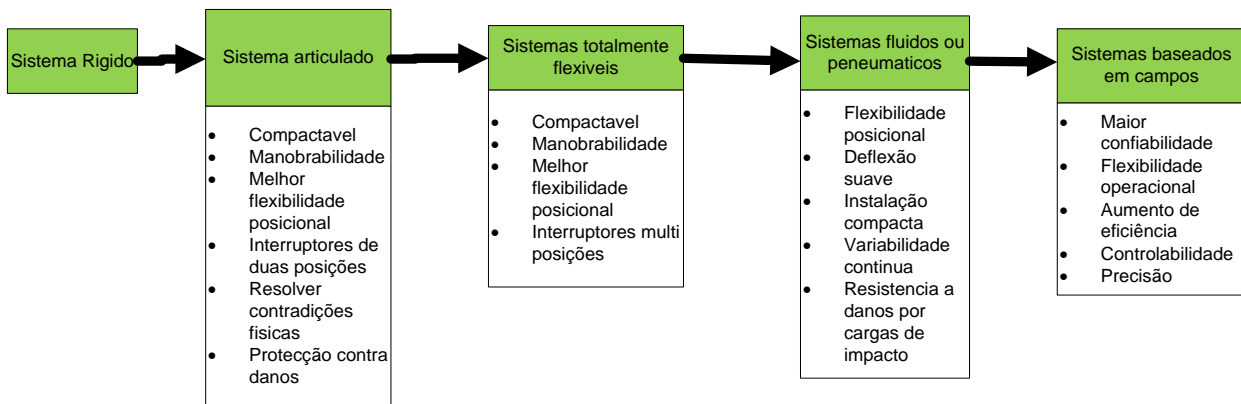
As vantagens mais comuns com o aumento dos graus de liberdade passam por:

- Aumentar a operacionalidade.
- Aumentar a flexibilidade posicional.
- Melhorar a coordenação com ações humanas.
- Melhorar a resposta dinâmica.

## 7.2. FLEXIBILIDADE

Os sistemas tendem a tornar-se mais flexíveis e maneáveis, inicialmente devido a inserção de uma ou varias juntas que tornam o sistema articulado, depois uso de materiais ou juntas flexíveis, sistemas hidráulicos e pneumáticos e por fim o uso de campos (Ex: sinais eletromagnéticos, eletrónicos).

Figura 76 estão representadas as etapas correspondentes a esta linha de evolução, e as vantagens ou motivos de cada etapa.



**Figura 76 – Evolução por flexibilidade**

A semelhança das restantes subtendências nem todas as etapas, e vantagens podem ser encontradas. Na Figura 77 estão representados exemplos das etapas desta subtendência para cadeiras, note-se no entanto que poltronas massajadoras não são totalmente um sistema baseado em campos, mas o seu controlo é através de sistemas elétricos pelo que de uma forma mais abstrata se pode considerar um sistema baseado em campos.

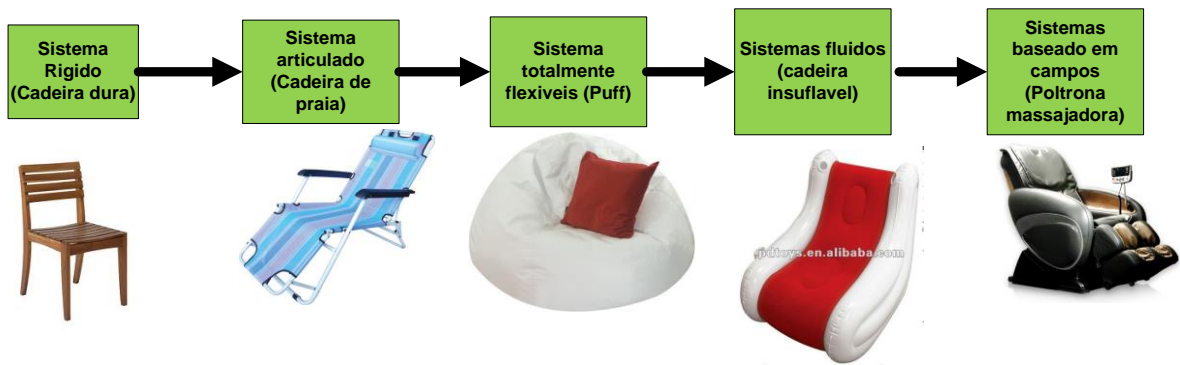


Figura 77 Exemplo da evolução de uma cadeira através do aumento da flexibilidade

### 7.3. EVOLUÇÃO DA GEOMETRIA (LINEAR)

Esta tendência é representada por quatro etapas (Figura 78), que tal como nas restantes subtendências não são de passagem obrigatórias. Estas etapas preveem modificações em duas vertentes.

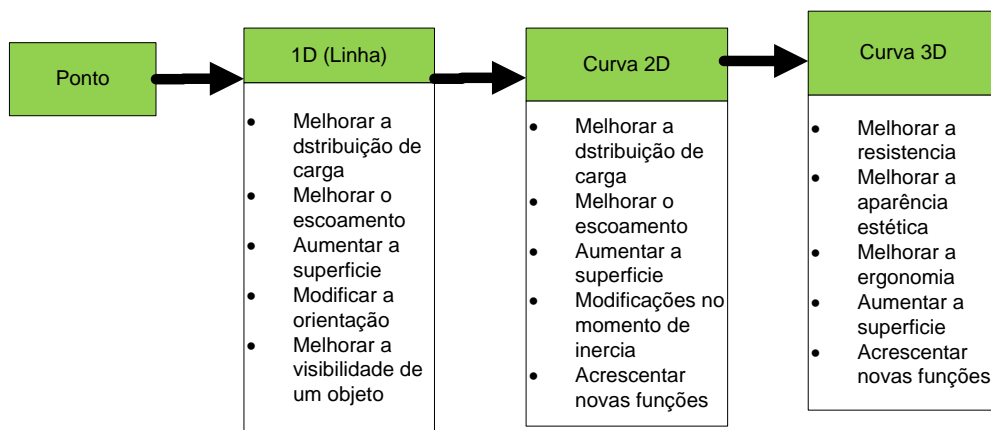
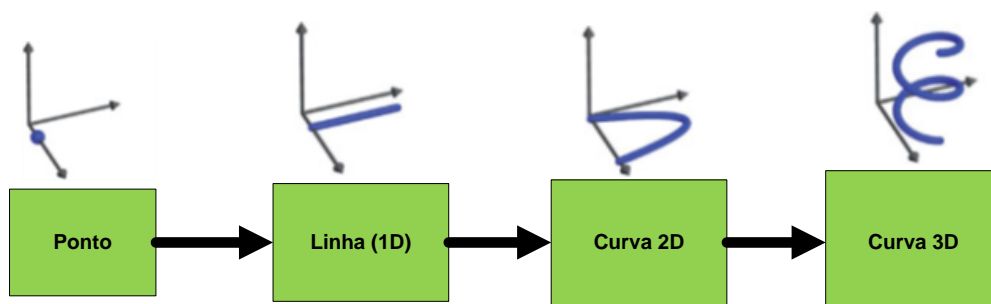


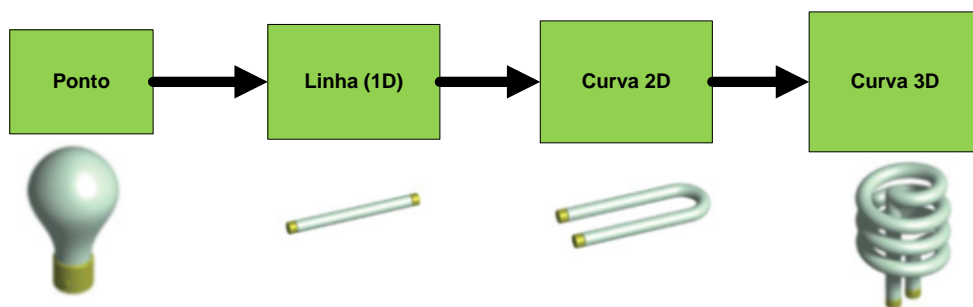
Figura 78 – Evolução da geometria (linear)

A primeira respeita as trajetórias, movimentos ou ações realizadas pelo sistema. Esta tendência diz que os sistemas começam por atuar em pontos individuais, e mais tarde a realizar trajetórias simples como linhas retas, ou curvas num plano. Mais tarde os sistemas conseguem realizar trajetórias mais complexas em diferentes planos, como espirais. Na Figura 79 está representando de uma forma genérica essa evolução.



**Figura 79 – Exemplo genérico da evolução geométrica linear para movimentos.**

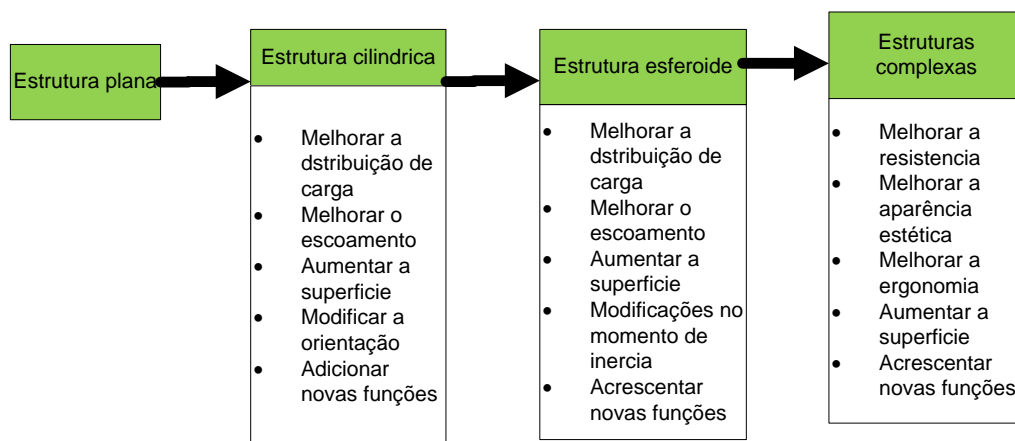
O segundo aspeto que esta tendência também pode refletir, é a forma como é descrita a geometria física do sistema, como demonstra o exemplo da Figura 80. Contudo é de salientar, que na realidade um sistema físico poderá sempre ser descrito por uma curva 3D, uma vez que os objetos físicos são sempre 3D. Assim é necessária, alguma imaginação e capacidade de abstração para conseguir visualizar esta evolução.



**Figura 80 - Exemplo da evolução geométrica linear de uma lâmpada**

#### 7.4. EVOLUÇÃO DE GEOMETRIA (VOLUMÉTRICA)

Esta é uma subtendência complementar ou alternativa à anterior no que respeita a evolução da geometria de um componente ou sistema. Tal como a anterior descreve como é descrita a geometria de um sistema, no entanto abordada de uma forma menos abstrata (Figura 81)



**Figura 81 – Evolução de geometria (volumétrica)**

Apesar de bastante semelhantes no objetivo que descrevem, devido ao fenómeno de inércia psicológica, pode ser útil analisar ambas as subtendências. Na Figura 82 está representado um exemplo genérico deste tipo de evolução.

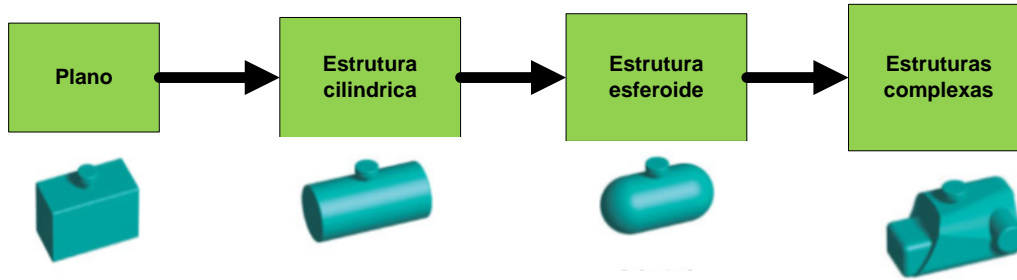


Figura 82 - Exemplo genérico para a evolução geométrica (Volumétrica)

### 7.5. FIBRAS

Esta subtendência, reflete a possível evolução de alguns sistemas físicos, em especial os bidimensionais, em relação a sua estrutura. Como mostra a Figura 83, os sistemas inicialmente são compostos por elementos homogêneos, mais tarde tendem a ser usadas estruturas de malhetadas. No entanto, note-se que, o termo malhas possui na língua portuguesa, uma conotação muito forte ligada as estruturas de alguns tecidos, o que acarreta uma elevada influência da inercia psicológica. Assim não se deve pensar em malhas só a um macro nível, como no exemplo da Figura 84, mas também ao micro e nano nível, como por exemplo o uso da nanotecnologia, ou modificações nas microestruturas de ligas metálicas, também podem configurar esta tendência.

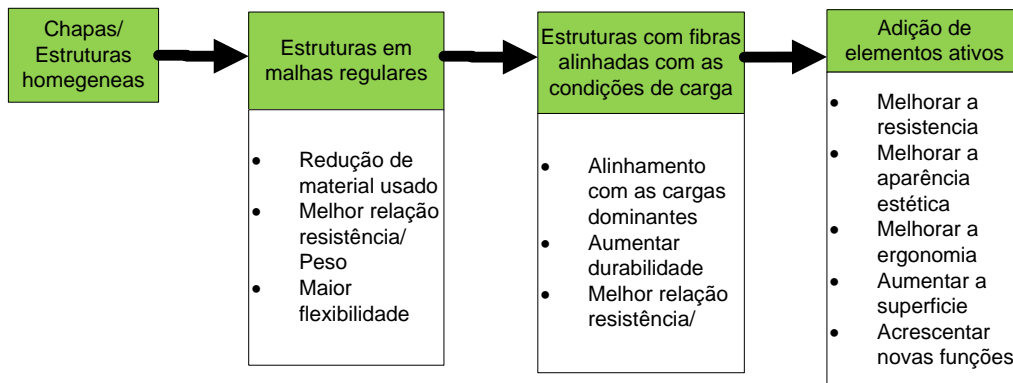


Figura 83 –Evolução do uso de fibras



Figura 84 - Exemplo da tendência de evolução para sistemas de protecção

## 7.6. AUMENTO DE ASSIMETRIA (PARA COMBINAR COM A ASSIMETRIA EXTERNA)

Os sistemas/subsistemas tendem a tornar-se assimétricos de forma a combinarem-se ou encaixarem-se mais facilmente com outros sistemas/subsistemas. Na Figura 85 estão representadas as etapas desta subtendência, bem como os motivos e vantagens da sua aplicação.

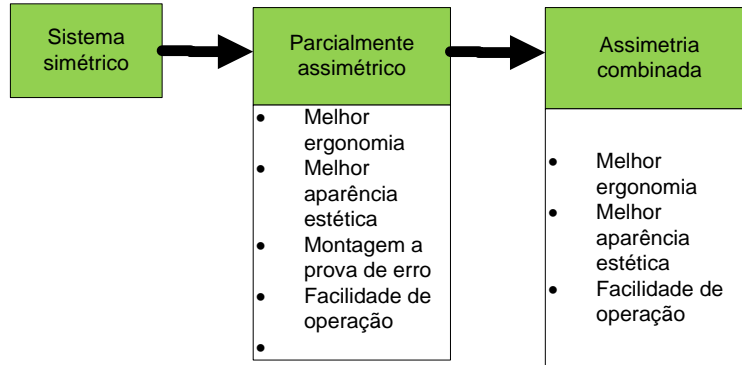


Figura 85 – Evolução do aumento da assimetria

## 7.7. VARIABILIDADE

Esta subtendência pretende representar, o aumento da adaptabilidade e versatilidade que os sistemas podem sofrer. Este aumento dá-se, pelo incremento de estados, físicos, de uma variável ou parâmetro do sistema.

Como se mostra na Figura 86 inicialmente o sistema permite apenas um valor para a variável ou estado, por exemplo velocidade fixa, sendo depois acrescentados novos valores, a forma como estes são variados é o âmbito da subtendência 7.8 ou controlabilidade. Na situação ideal o sistema será capaz de se adaptar a qualquer valor ou estado.

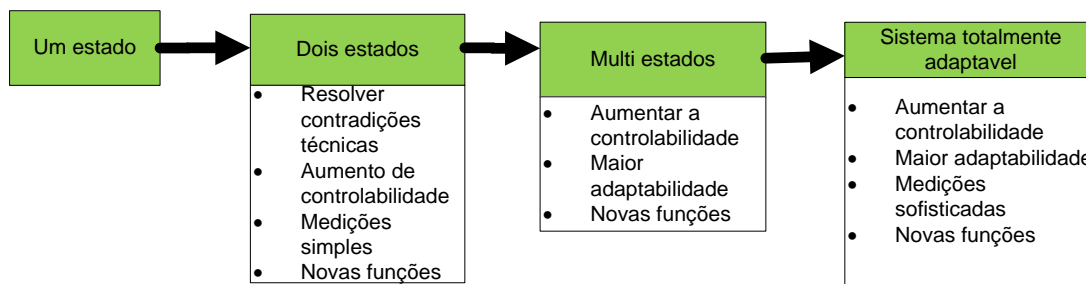
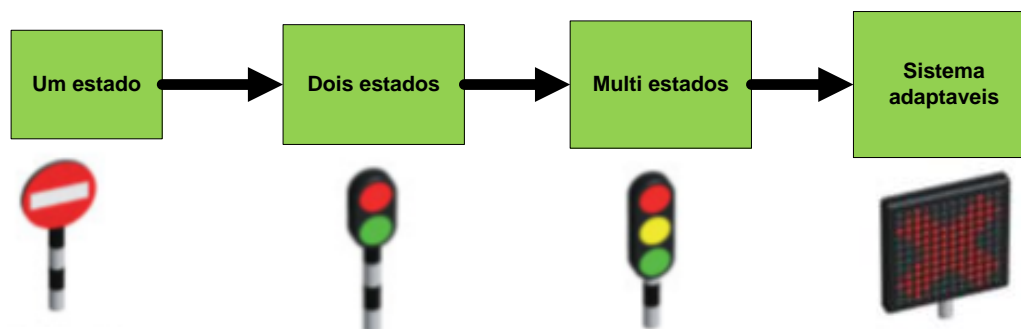


Figura 86 - Etapas do aumento da variabilidade de um sistema

Um exemplo desta evolução é a dos sinais de trânsito, como mostrado na Figura 87, inicialmente o uso de sinais, permite apenas informar sobre um perigo ou regra. Atualmente o uso de

ecrãs nas estradas permite fornecer aos condutores qualquer tipo de informação, e ajustá-la as condições atmosféricas ou as condições da via.



**Figura 87 - Exemplo do aumento de variabilidade de um sistema**

Outros exemplos típicos desta tendência é o uso de materiais que mudam o estado físico, como fluídos frigorigenos, para melhorar as suas funções

## 7.8. CONTROLABILIDADE

Enquanto a tendência 7.7 demonstra o número de estados, a tendência da controlabilidade, como o nome indica, demonstra de que forma estes estados podem ser alterados e controlados.

Na primeira fase não existe qualquer controlo, a variável mantém-se constantes ou possui pequenas oscilações devido as condições de operação, nem o operador nem o sistema consegue alterar o estado da variável. No controlo fixo o operador pode optar por dois estados, sistemas típicos desta fase são sistemas *on/off*. Na terceira fase é introduzida alguma controlabilidade, nesta fase o utilizador pode escolher entre um número fixo de estados pré definidos, um exemplo deste tipo de fase são as caixas de velocidade. Na quarta fase o utilizador fica livre da restrição de estados, a variável pode tomar qualquer valor dentro de uma gama de estados/valores.

A quinta fase corresponde a introdução de feedback, o utilizador não necessita de mais de alterar o estado da variável, o sistema lê os valores da variável em tempo real, e compara-o com valores pré-definidos, alterando a variável em função do estado desta ou outras variáveis.

A última fase condiz ao uso de inteligência artificial, este tipo de sistema analise não só os valores da variável, mas também a sua variação no tempo (uso de derivadas), antevendo o seu comportamento e reagindo em conformidade. Este tipo de sistemas também inclui sistemas de inteligência artificial, estes são capazes de tomar decisões mais complexas, e aprender com base em registos anteriores.

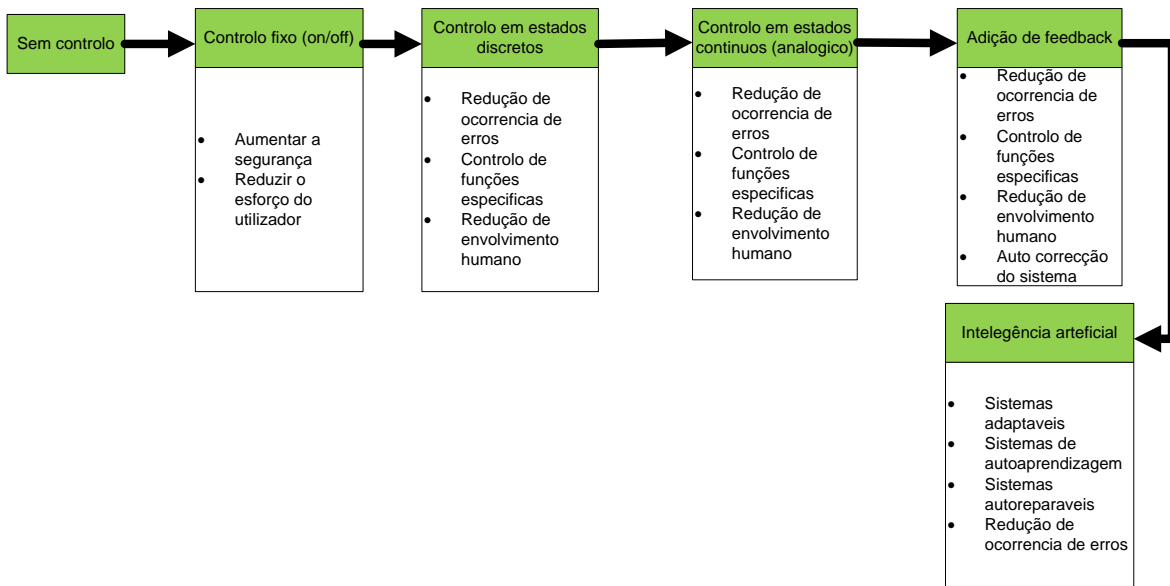


Figura 88 – Evolução da controlabilidade de sistemas

A Figura 89, representa uma possível evolução no que respeita a controlabilidade de um sistema de rega. O próximo passo neste tipo de sistema poderia ser, um sistema capaz de analisar a planta e tomar automaticamente decisões em relação a quantidade de água a fornecer e os nutrientes existentes nesta.

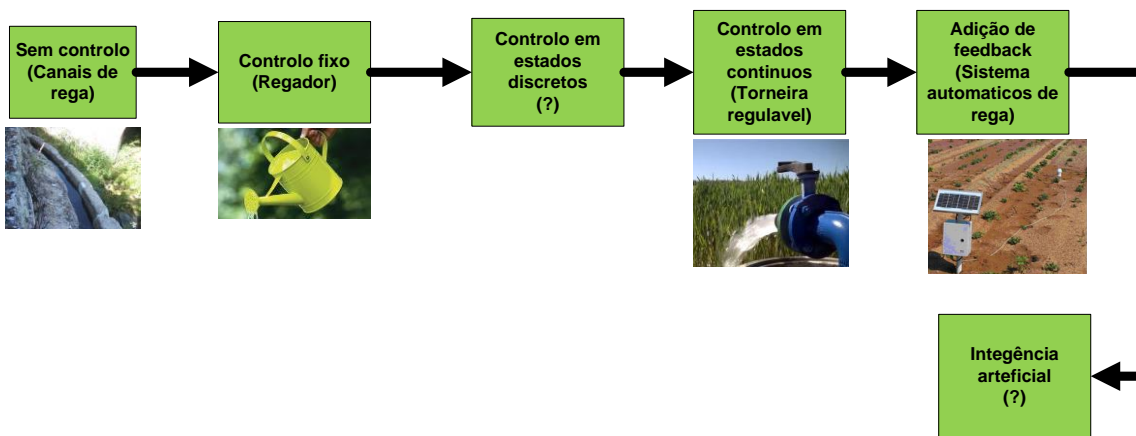


Figura 89 - Exemplo da evolução da controlabilidade num sistema de rega

## 7.9. AUMENTO DA INTERAÇÃO HUMANA

Esta tendência diz respeito, a um aumento da interação entre o utilizador e o sistema. O aumento desta interação dá-se, através do apelo do sistema aos diferentes sentidos e sensações do utilizador (Exemplo: visão, audição, tato, olfato, paladar, sensação de frio/calor entre outros).



## 7.10. USO DA COR

Esta subtendência está especialmente relacionada com sistemas de deteção, medição ou observação, no entanto não está limitada apenas a este tipo de sistema. Esta diz que, o uso do espectro eletromagnético pode ser usado para criar uma melhor interação com o utilizador ou como forma de controlo do sistema. Na Figura 90 estão representadas as etapas destas subtendências, bem como as vantagens da aplicação dessas etapas.

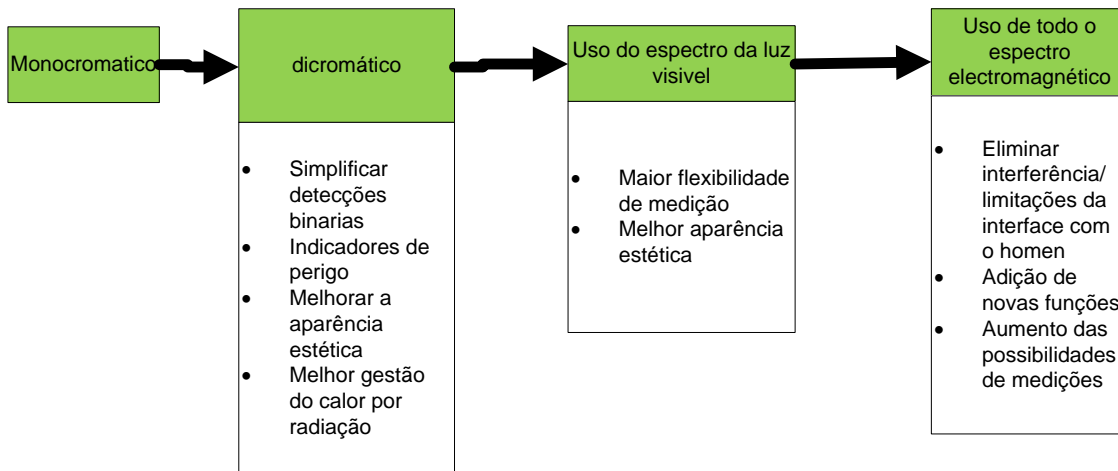


Figura 90 – Evolução através do uso da cor

Um exemplo deste tipo de evolução, é o telescópio. Como mostra na Figura 91 os primeiros telescópios como o de Galileu, permitia apenas ver os astros como pequenas bolas de luz branca, atualmente, temos telescópios capazes de mostrar pequenas variações nos tons da atmosfera de um planeta, bem como captar imagens detalhadas e com vários tons de cor. Na vanguarda desta tecnologia temos os radiotelescópios que permitem observar os astros em comprimentos de onda que seriam impossíveis de ver com apenas o olho humano.

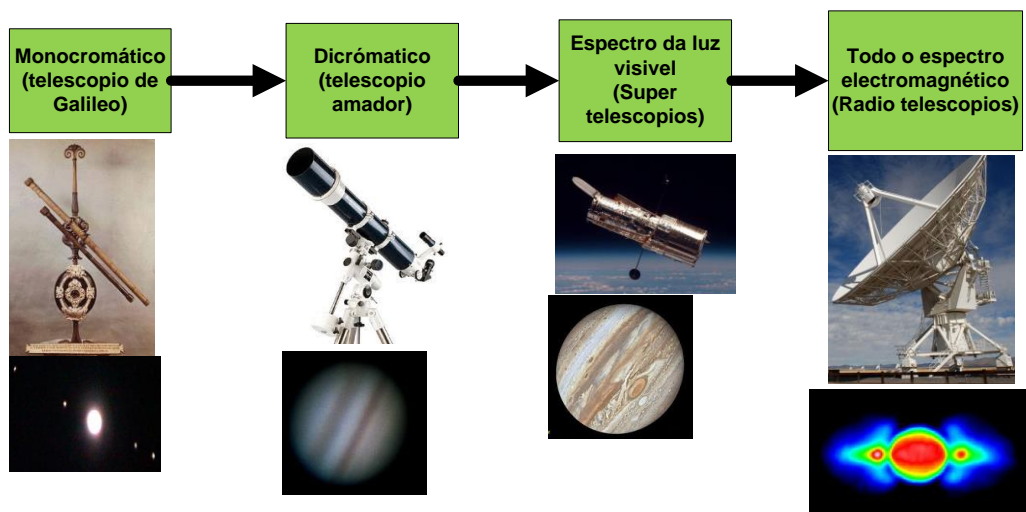


Figura 91 - Exemplo da evolução do uso da cor para o telescópio

## 8. AUTOMAÇÃO

Os sistemas tendem a diminuir a necessidade de interferência humana. Para reduzir a interferência do ser Humano, o sistema tende a incorporar gradualmente funções realizadas pelo utilizador, trazendo assim vantagens na realização de um dado trabalho (Figura 92).

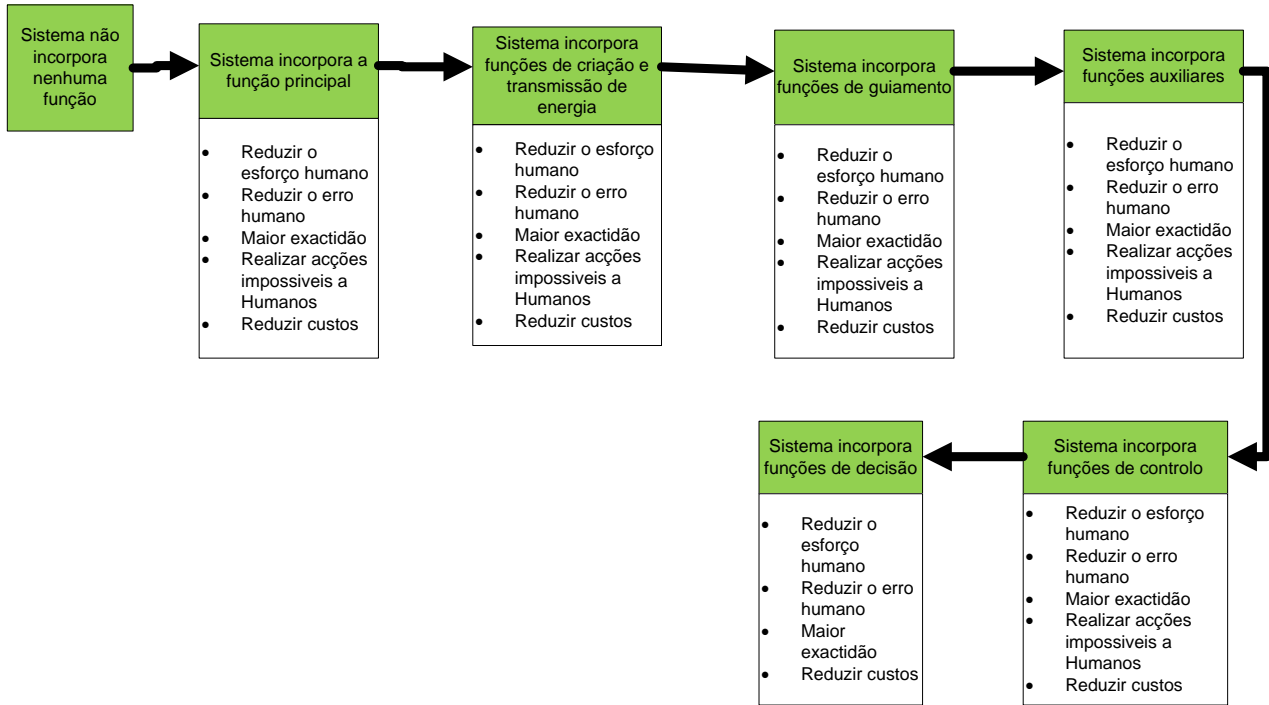


Figura 92 – Tendência de automação

Na Figura 93 está representado um exemplo desta evolução.

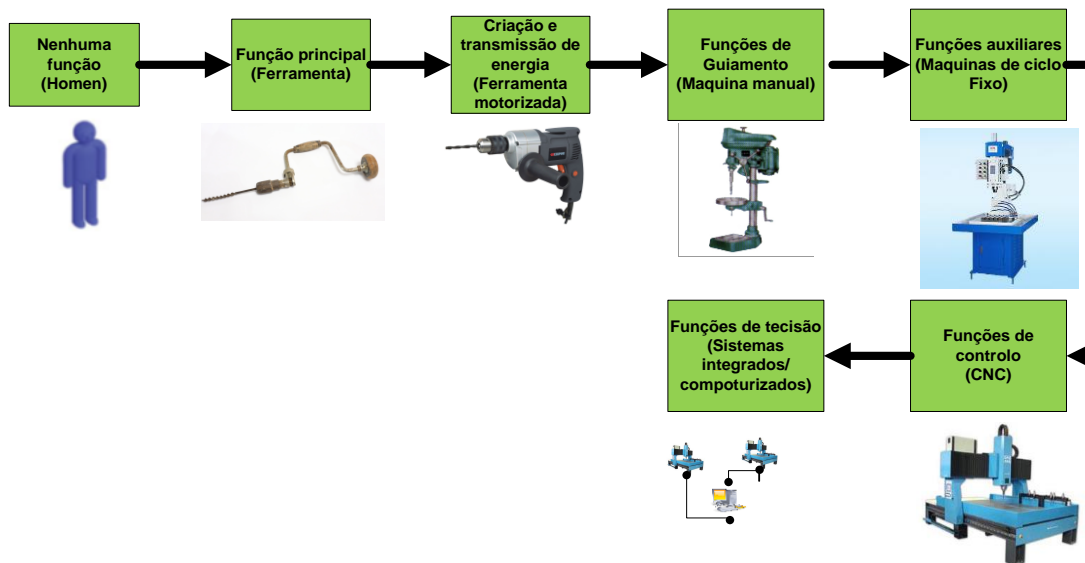


Figura 93 - Exemplo do aumento da automação num sistema de furação

## **ANEXO F – QUESTIONÁRIO DO ESTADO DE INOVAÇÃO** (ADAPTADO DE [9])

### **1. INFORMAÇÃO SOBRE O SISTEMA QUE SE PRETENDE DESENVOLVER OU CRIAR E O SEU AMBIENTE**

#### 1.1 Nome do sistema.

#### 1.2 Qual a função principal do sistema?

Deve-se formular qual o propósito do sistema.

#### 1.3 Estrutura atual ou desejada do sistema.

Deve-se descrever a estrutura do sistema, quando no seu estado de repouso (Não funcionamento), desenhos ou esquemas devem ser usados. Devem também ser indicados sequencialmente os subsistemas e as suas conexões, o supersistema também pode ser descrito.

#### 1.4 Funcionamento do sistema.

Descrever como o sistema funciona durante a realização da função principal, como os subsistemas interagem entre si.

#### 1.5 Ambiente do sistema

Quais os sistemas com que o sistema primário interage e quais os efeitos benéficos e prejudiciais que existem.

Como interage com o supersistema, e que outros sistemas próximos existem e de que forma podem interagir com o sistema.

Deve-se descrever como o sistema interage com o ambiente envolvente.

### **2. RECURSOS DISPONÍVEIS**

Liste os recursos disponíveis e o seu potencial uso na eliminação de efeitos indesejados. Deve ser usada a lista de recursos do Anexo A como guia.

### 3. INFORMAÇÃO RELATIVA A SITUAÇÃO DO PROBLEMA

#### 3.1 Melhoramentos desejados ou inconvenientes que se deseja eliminar.

Indique as causas que levam aos problemas que se desejam eliminar.

#### 3.2 Quais os mecanismos que causam os inconvenientes.

Descreva, caso conheça. Quais os mecanismos e as condições que provocam os efeitos indesejados.

#### 3.3 Historial do desenvolvimento do problema.

Descreva que eventos ao longo do tempo levaram aos problemas e as suas razões.

Após que os passos no desenvolvimento do sistema os efeitos indesejados apareceram.

#### 3.4 Outros problemas a resolver.

É possível modificar a direção da evolução por forma a evitar o efeito indesejado? Mesmo que surjam outros problemas esses podem ser de mais fácil solução.

### 4. MODIFICAÇÃO DO SISTEMA

#### 4.1 Possíveis alterações no sistema.

Avalie e descreva o grau de possibilidade de mudanças no sistema, alguns fatores que podem influenciar essas possibilidades são:

- O estado do regime de produção do sistema (exemplo em desenvolvimento, protótipos, produção em massa, entre outros).
- Perdas diretas e indiretas da não resolução do problema.
- Benefícios obtidos pela resolução dos problemas.
- Use algumas das seguintes afirmações que melhor se enquadraram a possibilidade de mudança.
- Mudanças completas são possíveis incluindo criar novos produtos ou tecnologias.
- Grandes alterações são possíveis mas delimitadas pelos custos ou compatibilidades com as estratégias de mercado.
- Apenas pequenas mudanças são possíveis, opções são restritas pela necessidade de manter a tecnologia existente, obrigações existentes, requisitos de clientes, entre outros (Especifique as restrições).
- É possível apenas mudanças mínimas.

#### 4.2 Limitações na mudança do sistema.

Indique o que pode ou não ser alterado no sistema. Quais características técnicas económicas que devem ser mantidas, quais devem ser aumentadas e quais devem ser diminuídas, e explique o motivo das restrições.

### **5. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE SOLUÇÕES**

#### 5.1 Características tecnológicas desejadas.

#### 5.2 Características económicas desejadas.

#### 5.3 Cronograma desejado.

#### 5.4 Grau de inovação esperado.

#### 5.5 Outros critérios.

Indique quais os componentes que necessitam ser mudados para atingir as características descritas anteriormente, e que mudanças são necessárias.

### **6. HISTORIAL DE TENTATIVAS DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA**

#### 6.1 Tentativas anteriores.

Documente anteriores tentativas de solução do problema e defina os motivos dessas soluções terem falhado.

#### 6.2 Outros sistemas nos quais problemas semelhantes existem.

Defina sistemas nos quais problemas parecidos surgiram, e se foram resolvidos. Procure ver se a solução pode ser aplicada ao seu caso, e quais as limitações que as possam impedir de serem aplicadas no seu caso.



## ANEXO G- PARÂMETROS DE ENGENHARIA (ADAPTADO DE [1] [7])

Tabela 6 – Tabela com os parametros de engenharia usados na tabela de contradições.

| Nº | Parâmetro                                 | Explicação   |
|----|---|--|
|    | Objeto em movimento                       | Objetos que podem mudar de posição por meios próprios ou através de forças externas  |
|    | Objeto estacionário                       | Objetos que não mudem de posição através de meios próprios ou através de forças externas considerando as condições de funcionamento  |
| 1  | Peso de um objeto em movimento            | Peso, massa ou força que objetos exercem sobre um suporte  |
| 2  | Peso de um objeto estacionário            | Peso, massa ou força que objetos exercem sobre um suporte  |
| 3  | Dimensão de um objeto em movimento        | Qualquer dimensão linear (não necessariamente a maior)   |
| 4  | Dimensão de um objeto estacionário        | Qualquer dimensão linear (não necessariamente a maior)   |
| 5  | Área de um objeto em movimento            | Característica geométrica descrita por um plano delimitada por uma linha, seja interna ou externa  |
| 6  | Área de um objeto estacionário            | Característica geométrica descrita por um plano delimitada por uma linha, seja interna ou externa  |
| 7  | Volume de um objeto em movimento          | Espaço ocupado por um objeto   |
| 8  | Volume de um objeto estacionário          | Espaço ocupado por um objeto   |
| 9  | Velocidade                                | Velocidade de um objeto  |
| 10 | Intensidade de Força                      | Intensidade de uma interação que pretende mudar o estado de um objeto  |
| 11 | Pressão ou tensão                         | Força por unidade de área ou tensão  |
| 12 | Forma                                     | Aparência ou contorno externo de um objeto   |
| 13 | Estabilidade do objeto                    | Integridade de um sistema e seus constituintes: desgaste, decomposição química, desmontagem, entropia  |
| 14 | Robustez                                  | A medida em que o objeto é capaz de resistir a mudar em resposta a uma força. A resistência à rutura.  |
| 15 | Durabilidade de um objeto em movimento    | O tempo que o objeto pode executar a ação. Vida útil. O tempo médio entre a falha é uma medida da duração da ação.   |
| 16 | Durabilidade de um objeto estacionário    | O tempo que o objeto pode executar a ação. Vida útil. O tempo médio entre a falha é uma medida da duração da ação  |
| 17 | Temperatura                               | A condição térmica do objeto ou sistema. Vagamente inclui outros parâmetros térmicos, tais como a capacidade de calor, que afeta a taxa de variação da temperatura.            |
| 18 | Intensidade Luminosa                      | Fluxo de luz por unidade de área, também quaisquer outras características de iluminação do sistema, tais como o brilho, a qualidade da luz, etc.                               |
| 19 | Uso de energia por um objeto em movimento | A medida da capacidade do objeto para fazer o trabalho. Este inclui o uso de energia fornecida pela super - sistema (como Energia elétrica ou calor). Necessária para fazer um |



|    |   |  |
|----|---|--|
|    |   | trabalho particular.   |
| 20 | Uso de energia por um objeto estacionário | A medida da capacidade do objeto para fazer o trabalho. Este inclui o uso de energia fornecida pelo super sistema (como Energia elétrica ou calor). Necessária para fazer um trabalho particular.                                |
| 21 | Potência                                  | A taxa de tempo no qual o trabalho é realizado. A taxa de utilização de energia.   |
| 22 | Perdas de energia                         | Uso de energia que não contribuem para o trabalho que está sendo feito. Rendimento energético  |
| 23 | Perdas de substância                      | Perda, parcial ou total, permanente ou temporária, de algum material do sistema, substâncias, partes ou subsistemas  |
| 24 | Perdas de informação                      | Perda, total ou parcial, permanente ou temporária, de dados ou de acesso aos dados num sistema   |
| 25 | Perda de tempo                            | Tempo de ciclo, ou seja, tempo gasto numa ação   |
| 26 | Quantidade de substancia                  | O número ou quantidade de materiais de um sistema, substâncias, peças ou subsistemas que podem ser alterados, total ou parcialmente, permanente ou temporariamente.  |
| 27 | Fiabilidade                               | Capacidade de um sistema de se comportar de uma forma previsível para dadas condições  |
| 28 | Exatidão de medições                      | Aproximação de um valor medido ao valor real   |
| 29 | Precisão de construção                    | A medida em que as próprias características do sistema ou objeto são conformes com as características especificadas ou necessárias.  |
| 30 | Objeto afetado por efeito negativo        | Suscetibilidade do sistema a efeitos negativos externos  |
| 31 | Objeto gera efeito negativo               | Objeto cria efeitos prejudiciais ao sistema  |
| 32 | Facilidade de fabrico                     | O grau de facilidade ou de esforço no fabrico do objeto e sistema.   |
| 33 | Facilidade de operação                    | Simplicidade: O processo não é fácil, se é necessário um grande número de pessoas, grande número de etapas na operação, necessidades especiais de ferramentas.   |
| 34 | Facilidade de reparação                   | Comodidade, conforto, simplicidade, bem como tempo para reparar defeitos e falhas num sistema.   |
| 35 | Adaptabilidade / Versatilidade            | A medida em que um sistema / objeto responde positivamente mudanças externas. Capacidade de um sistema poder ser usado em múltiplas formas ou sob uma variedade de circunstâncias  |
| 36 | Complexidade                              | O número e diversidade de elementos e das suas inter-relações dentro de um sistema. O usuário pode ser um elemento de o sistema que aumenta a complexidade. A dificuldade de dominar o sistema é uma medida da sua complexidade. |
| 37 | Dificuldade de deteção e medição          | Dificuldade em medir ou detetar parâmetros dos sistemas  |
| 38 | Nível de automação                        | A medida em que um sistema ou objeto executa as suas funções sem interferência humana  |
| 39 | Produtividade                             | O número de funções ou operações realizados por um sistema por unidade de tempo. O custo por unidade de produção   |



## **ANEXO H – LISTA DE PRINCÍPIOS INVENTIVOS** (ADAPTADO DE [1] [18])

### **1. SEGMENTAÇÃO**

- Divida o sistema em partes independentes ou secções.
- Divida o seu objeto em partes que podem ser facilmente retiradas.
- Torne o seu sistema modular.
- Aumente o grau de segmentação.

### **2. REMOÇÃO**

- Retire as partes interferentes do objeto.
- Se alguma propriedade do objeto é indesejada, descubra que parte do objeto carrega o efeito negativo e separe essa parte do objeto.

### **3. QUALIDADE LOCALIZADA**

- Em vez de objetos de estrutura homogénea, use objetos com estrutura não homogénea.
- Em vez de ambientes de estrutura homogénea, use ambientes com estrutura não homogénea.
- Se duas funções são feitas pelo mesmo objeto mas isso causa problemas, divida o objeto em duas partes.
- Redesenhe o seu objeto e ambiente, de forma que cada parte esteja em condições próprias de operação.

### **4. ASSIMETRIA**

- Se um objeto tem forma simétrica, torne-o assimétrico.
- Adaptar a forma do sistema à assimetria externa.
- Se o objeto é assimétrico, aumente o grau de assimetria.

### **5. COMBINAÇÃO**

- Combine fisicamente objetos, operações, funções idênticas ou relacionadas.
- Combine objetos, operações, funções idênticas ou relacionadas, de forma a atuarem simultaneamente.

### **6. UNIVERSALIZAÇÃO**

- Se dois objetos executam funções diferentes, crie um único objeto que seja capaz de executar ambas.

- Torne o sistema capaz de executar múltiplas funções.

## **7. CONCATENAÇÃO**

- Coloque um sistema dentro de outro.
- Aumente o número de sistemas inseridos.
- Faça, quando necessário, um sistema passar dinamicamente pela cavidade de outro sistema.

## **8. CONTRAPESO**

- Compense o peso de um sistema combinando-o com outro sistema que provoque forças de elevação.
- Compense o peso de um sistema utilizando forças aerodinâmicas, hidrodinâmicas, de impulsão ou outras do ambiente que providencie sustentação.

## **9. COMPENSAÇÃO PRÉVIA**

- Elimine ações negativas, aplicando antecipadamente o efeito oposto, de forma a eliminar o efeito negativo durante o desempenho do sistema.

## **10. AÇÃO PRÉVIA**

- Introduza, de forma total ou parcial, uma ação útil no sistema antes de esta ser necessária.
- Disponha previamente os sistemas de forma a que entrem em ação no momento e locais mais convenientes.

## **11. PROTEÇÃO PRÉVIA**

- Se o sistema é inconstante, ou inseguro crie antecipadamente condições que o controlem.

## **12. EQUIPOTENCIALIDADE**

- Se o sistema necessitar ou estiver exposto a tensões ou a forças de compressão, modifique o ambiente envolvente do sistema de forma a eliminá-las ou equilibra-las.

## **13. INVERSÃO**

- Em vez da ação definida, execute a ação inversa.
- Transforme a parte móvel do seu sistema em fixa e vice-versa.
- Inverta a posição do sistema.

## 14. ENCURVAMENTO

- Em vez de partes lineares, use partes curvas.
- Use rolamentos, esferas ou espirais.
- Use movimentos rotativos.
- Use forças centrífugas.

## 15. DINAMIZAÇÃO

- Torne o sistema mais dinâmico, flexível ou adaptável.
- Divida o seu objeto em partes que possam mover-se relativamente uma às outras.
- Aumente os graus de liberdade.
- Faça o seu sistema ou ambiente mudar dinamicamente de acordo com as condições de cada fase.

## 16. AÇÃO PARCIAL OU EXCESSIVA

- Se não for possível atingir as mudanças necessárias com precisão ou efetuar alguma ação, reformule o problema. Como fazer ligeiramente menos ou ligeiramente mais e depois atingir o resultado desejado.

## 17. TRANSIÇÃO PARA NOVA DIMENSÃO

- Se o objeto se move numa linha, considere o movimento num espaço bidimensional.
- Se o objeto se desloca num plano, considere o movimento num espaço tridimensional.
- Rearranje objetos de forma a obter arranjos multi camadas em vez de monocamadas.
- Incline o objeto.
- Use o outro lado da área dada.

## 18. VIBRAÇÃO

- Introduza vibrações ou oscilações no sistema.
- Se o objeto tem movimento oscilatório aumente a frequência de oscilação.
- Use frequências de ressonância.
- Use frequências ultrassónicas.
- Use vibrações piezoelétricas em vez de mecânicas.
- Use oscilações ultrassónicas combinadas com campos eletromagnéticos.

## 19. AÇÕES PERIÓDICAS

- Invés de ações contínuas use ações periódicas.
- Modifique a periodicidade das ações.

- Use as pausas entre ações para realizar outras ações.

## **20. CONTINUAÇÃO DA AÇÃO ÚTIL**

- Todas as partes de um sistema devem funcionar continuamente.
- Elimine todas as ações não produtivas.

## **21. ACELERAÇÃO**

- Se um objeto é sujeito a ações, prejudiciais ou perigosas, realize o processo a elevadas velocidades.

## **22. TRANSFORMAÇÃO DE PREJUÍZO EM LUCRO**

- Use efeitos prejudiciais para obter efeitos positivos.
- Elimine um efeito negativo adicionando-o a outro efeito negativo.
- Amplifique o efeito negativo, de tal forma que pare com o prejuízo para o sistema ou ambiente.

## **23. FEEDBACK**

- Introduza feedback.
- Se feedback já estiver a ser usado, torne-o adaptável de acordo com as condições de operação.

## **24. MEDIAÇÃO**

- Use um veículo intermediário para fornecer as ações necessárias, caso não seja possível, utilize objetos ou partes existentes.
- Introduza um intermediário temporário que desapareça, isto é facilmente removido, após cumprir a sua função.

## **25. AUTO SERVIÇO**

- O objeto deve servir-se a ele próprio sintonizando-se, ajustando-se e reparando-se a si próprio.
- Use recursos disponíveis ou desperdiçados.

## **26. USO DE CÓPIAS**

- Se necessário receber ações com objetos indisponíveis, frágeis, complicados ou perigosos, use cópias mais baratas e simples.
- Em vez de objetos reais use imagens óticas (exemplo Fotos, hologramas).
- Use cópias com outros complementos de onda.

## **27. DESCARTÁVEL VS. DURADOR**

- Substitua objetos caros por vários objetos mais baratos e que executem a mesma função.

## **28. SUBSTITUIÇÃO DE MEIOS MECÂNICOS**

- Substitua o princípio mecânico do sistema ou objeto, por um princípio físico diferente (exemplo ótico, acústico, magnético, eletromagnético, entre outros).
- Utilize campos eletromagnéticos para interagir com o sistema.
- Mude de estático para dinâmico, de fixo para variável ou de aleatório para estruturado.
- Utilize campos eletromagnéticos que interajam com sistemas ou objetos eletricamente carregados ou magnetizados.

## **29. ESTRUTURAS HIDRÁULICAS E PNEUMÁTICAS**

- Em vez de sistemas ou partes sólidas use gases ou líquidos: insufláveis, cheios de líquidos, ar amortecedor, hidrostáticos ou hidroreativos.

## **30. USO DE FILMES FINOS E MEMBRANAS FLEXÍVEIS**

- Em vez de estruturas tridimensionais pesadas use, carapaças flexíveis, membranas ou filmes finos.
- Use carapaças flexíveis, membranas ou os filmes finos para isolar o sistema, ou parte do ambiente.

## **31. MATERIAIS POROSOS**

- Faça o seu sistema poroso.
- Use revestimentos porosos.
- Use inserções porosas.
- Se o objeto é poroso, preencha os poros com um outro material gás ou líquido.

## **32. MUDANÇA DE COR**

- Mude a cor do sistema, partes ou ambiente.
- Mude a transparência do sistema, partes ou ambiente.
- Acrescente aditivos coloridos ou luminescentes para modificar a visibilidade do sistema.
- Modifique a emissividade do sistema.

## **33. HOMOGENEIDADE**

- Faça sistemas que interagem, com o mesmo material ou material semelhante.

### **34. DESCARTE E REGENERAÇÃO**

- Se uma parte de um sistema se tornar desnecessária ou indesejada, elimina-a dissolvendo-a, evaporando-a, entre outros, ou então modifique-a para que o efeito negativo seja neutralizado.
- Renove partes consumíveis do sistema durante a operação.

### **35. MUDANÇA DE PARÂMETROS FÍSICO QUÍMICOS**

- Mude o estado de agregação do material.
- Mude o estado físico de um objeto.
- Mude a concentração ou consistência do objeto.
- Mude o grau de flexibilidade do sistema.
- Mude a temperatura do sistema ou ambiente.
- Altere outros parâmetros.

### **36. MUDANÇAS DE FASE**

- Use efeitos físicos associados às mudanças de fase (exemplo mudança de volume, emissão ou absorção de calor, entre outros).

### **37. EXPANSÃO TÉRMICA**

- Use a expansão ou contração térmica dos materiais.
- Misture dois materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica.

### **38. USO DE OXIDANTES FORTES**

- Substitua ar normal por ar enriquecido.
- Substitua ar enriquecido por oxigénio puro.
- Ionize o ar ou oxigénio.
- Use oxigénio ozonizado.
- Use ozono.

### **39. ATMOSFERA INERTE**

- Use gases inertes em vez dos habituais.
- Adicione partes neutras ou aditivos no sistema.

### **40. COMPÓSITOS**

- Use materiais compósitos em vez de materiais uniformes.

# ANEXO I- MATRIZ DE CONTRADIÇÕES

|    | Parâmetro Prejudicado    |                          |                              |                              |                          |                          |                            |                            |                |                      |                   |                |                        |                |                                  |                                  |                |                      |                                    |                                    |                |                   |                      |                      |                |                       |                |                        |                        |                                    |                             |                       |                        |                         |                              |                |                                 |                    |                |               |                |  |      |
|----|--------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|----------------------|-------------------|----------------|------------------------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------|---------------------------------|--------------------|----------------|---------------|----------------|--|------|
|    | 1                        | 2                        | 3                            | 4                            | 5                        | 6                        | 7                          | 8                          | 9              | 10                   | 11                | 12             | 13                     | 14             | 15                               | 16                               | 17             | 18                   | 19                                 | 20                                 | 21             | 22                | 23                   | 24                   | 25             | 26                    | 27             | 28                     | 29                     | 30                                 | 31                          | 32                    | 33                     | 34                      | 35                           | 36             | 37                              | 38                 | 39             |               |                |  |      |
|    | Peso objeto em movimento | Peso objeto estacionário | Dimensão objeto em movimento | Dimensão objeto estacionário | Área objeto em movimento | Área objeto estacionário | Volume objeto em movimento | Volume objeto estacionário | Velocidade     | Intensidade de Força | Pressão ou tensão | Forma          | Estabilidade do objeto | Robustez       | Durabilidade objeto em movimento | Durabilidade objeto estacionário | Temperatura    | Intensidade Luminosa | Uso de energia objeto em movimento | Uso de energia objeto estacionário | Potência       | Perdas de energia | Perdas de substância | Perdas de informação | Perda de tempo | Quantidade substância | Fiabilidade    | Existência de medições | Precisão de construção | Objeto afetado por efeito negativo | Objeto gera efeito negativo | Facilidade de fabrico | Facilidade de operação | Facilidade de reparação | Adaptabilidade Versatilidade | Complexidade   | Dificuldade de deteção/ medição | Nível de automação | Produtividade  |               |                |  |      |
| 1  |                          |                          | 15, 8, 29, 34                |                              | 29, 17, 38, 34           |                          | 29, 2, 40, 48              |                            | 2, 8, 15, 38   | 8, 10, 18, 37        | 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                     |                                    | 12, 36, 18, 31 | 6, 2, 34, 19      | 5, 35, 5, 31         | 10, 24, 35           | 10, 35, 20, 28 | 3, 26, 18, 31         | 1, 3, 11, 27   | 28, 27, 35, 26         | 28, 35, 26, 18         | 22, 21, 18, 27                     | 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  |                          |                          |                              | 10, 1, 29, 35                |                          | 35, 30, 13, 2            |                            | 5, 35, 14, 2               |                | 8, 10, 19, 35        | 13, 29, 10, 18    | 13, 10, 29, 14 | 26, 39, 1, 40          | 28, 2, 10, 27  |                                  | 2, 27, 19, 6                     | 28, 19, 32, 22 | 19, 32, 35           |                                    | 18, 19, 28, 1                      | 15, 19, 18, 22 | 18, 19, 28, 15    | 5, 8, 15, 30         | 10, 15, 35           | 10, 20, 35, 26 | 19, 6, 18, 26         | 10, 28, 8, 3   | 18, 26, 28             | 10, 1, 35, 17          | 2, 19, 22, 37                      | 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  | 8, 15, 29, 34            |                          |                              |                              | 15, 17, 4                |                          | 7, 17, 4, 35               |                            |                | 13, 4, 8             | 17, 10, 4         | 1, 8, 35       | 1, 8, 15, 34           | 8, 35, 29, 34  | 19                               |                                  | 10, 15, 19     | 32                   | 8, 35, 24                          |                                    | 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                      | 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  |                          | 35, 28, 40, 29           |                              |                              |                          | 17, 7, 10, 40            |                            | 35, 8, 2, 14               |                | 28, 10               | 1, 14, 35         | 13, 14, 15, 7  | 39, 37, 35             | 15, 14, 28, 26 |                                  | 1, 10, 35                        | 3, 35, 38, 18  | 3, 25                |                                    |                                    | 12, 8          | 6, 28             | 10, 24, 24, 35       | 24, 26               | 30, 29, 14     |                       | 15, 29, 28     | 32, 28, 3              | 2, 32, 10              | 1, 18                              |                             | 15, 17, 27            | 2, 25                  | 3                       | 1, 35                        | 1, 26          | 26                              |                    | 30, 14, 7, 26  |               |                |  |      |
| 5  | 2, 17, 29, 4             |                          | 14, 15, 18, 4                |                              |                          |                          | 7, 14, 17, 4               |                            |                | 29, 30, 4, 34        | 19, 30, 35, 2     | 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                             |                | 19, 10, 32, 18    | 15, 17, 30, 26       | 10, 35, 2, 39        | 30, 26         | 26, 4                 | 29, 30, 6, 13  | 29, 9                  | 26, 28, 32, 3          | 2, 29, 18, 36                      | 27, 2, 39, 35               | 22, 1, 40             | 40, 16                 | 16, 4                   | 16                           | 15, 16         | 1, 18, 36                       | 2, 35, 30, 18      | 23             | 10, 15, 17, 7 |                |  |      |
| 6  |                          | 30, 2, 14, 18            |                              |                              | 26, 7, 9, 39             |                          |                            |                            |                |                      | 1, 18, 35, 36     | 10, 15, 36, 37 |                        | 2, 38          | 40                               |                                  | 2, 10, 19, 30  | 35, 39, 38           |                                    |                                    | 17, 32         | 17, 7, 30         | 10, 14, 18, 39       | 30, 16               | 10, 35, 4, 18  | 2, 18, 40, 4          | 32, 35, 40, 4  | 26, 28, 32, 3          | 2, 29, 18, 36          | 27, 2, 39, 35                      | 22, 1, 40                   | 40, 16                | 16, 4                  | 16                      | 15, 16                       | 1, 18, 36      | 2, 35, 30, 18                   | 23                 | 10, 15, 17, 7  |               |                |  |      |
| 7  | 2, 26, 29, 40            |                          | 1, 7, 4, 37                  |                              | 1, 7, 4, 17              |                          |                            |                            |                | 29, 4, 38, 34        | 15, 35, 36, 37    | 6, 35, 36, 37  | 1, 15, 29, 4           | 28, 10, 1, 39  | 9, 14, 15, 7                     | 6, 35, 4                         |                |                      | 34, 39, 10, 18                     | 2, 13, 10                          | 35             |                   | 35, 6, 13, 18        | 7, 15, 13, 16        | 2, 22          | 2, 6, 34, 10          | 29, 30, 7      | 14, 1, 40, 11          | 25, 26, 28             | 25, 28, 2, 16                      | 22, 21, 27, 35              | 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  |                          | 35, 10, 19, 14           | 19, 14                       | 35, 8, 2, 14                 |                          |                          |                            |                            |                | 2, 18, 37            | 24, 35            | 7, 2, 35       | 34, 28, 35, 40         | 9, 14, 17, 15  |                                  | 35, 34, 38                       | 35, 6, 4       |                      |                                    |                                    | 30, 6          |                   | 10, 39, 35, 34       | 35, 16, 32, 18       | 35, 3          | 2, 35, 16             |                | 35, 10, 25             | 34, 39, 19, 27         | 30, 18, 35, 4                      | 35                          |                       | 1                      |                         | 1, 31                        |                | 2, 17, 26                       |                    | 35, 37, 10, 2  |               |                |  |      |
| 9  | 2, 28, 13, 38            |                          | 13, 14, 8                    |                              | 29, 30, 34               |                          | 7, 29, 34                  |                            |                | 13, 28, 15, 19       | 6, 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                      |                                    | 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                      | 2, 24, 35, 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 | 8, 1, 37, 18             | 18, 13, 1, 28            | 17, 19, 9, 36                | 28, 10                       | 19, 10, 15               | 1, 18, 36, 37            | 15, 9, 12, 37              | 2, 36, 18, 37              | 13, 28, 15, 12 |                      | 18, 21, 11        | 10, 35, 40, 34 | 35, 10, 21             | 35, 10, 21     | 27                               | 19, 2                            |                | 35, 10, 21           |                                    | 19, 17, 10                         | 1, 16, 36, 37  | 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               | 13, 3, 36, 24         | 15, 37, 18, 1          | 1, 28, 3, 25            | 15, 1, 11                    | 15, 17, 18, 20 | 26, 35, 10, 18                  | 36, 37, 10, 19     | 2, 35          | 3, 28, 35, 37 |                |  |      |
| 11 | 10, 36, 37, 40           | 13, 29, 10, 18           | 35, 10, 36                   | 35, 1, 14, 16                | 10, 15, 36, 28           | 10, 15, 36, 37           | 6, 35, 10                  | 35, 24                     | 6, 35, 36      | 36, 35, 21           |                   | 35, 4, 15, 10  | 35, 33, 2, 40          | 9, 18, 3, 40   | 19, 3, 27                        |                                  | 35, 39, 19, 2  |                      | 14, 24, 10, 37                     |                                    | 10, 35, 14     | 2, 36, 25         | 10, 36, 3, 37        | 37, 36, 4            | 10, 14, 36     | 10, 13, 19, 35        | 6, 28, 25      | 3, 35                  | 22, 2, 37              | 2, 33, 27, 18                      | 1, 35, 16                   | 11                    | 2                      | 35                      | 19, 1, 35                    | 2, 36, 37      | 35, 24                          | 10, 14, 35, 37     |                |               |                |  |      |
| 12 | 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       | 34, 15, 10, 14    |                | 33, 1, 18, 4           | 30, 14, 10, 40 | 14, 26, 9, 25                    | 7, 2                             | 22, 14, 19, 32 | 13, 15, 32           | 2, 6, 34, 14                       |                                    | 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                       | 35, 1                       | 1, 32, 17, 28         | 32, 15, 26             | 2, 13, 1                | 1, 15, 29                    | 16, 29, 1, 28  | 15, 13, 9                       | 15, 1, 32          | 17, 26, 34, 10 |               |                |  |      |
| 13 | 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, 18 | 10, 35, 21, 16       | 2, 35, 40         | 22, 1, 18, 4   | 13, 17, 35             |                | 17, 9, 15                        | 13, 27, 10, 35                   | 39, 3, 35, 23  | 35, 1, 32            | 32, 3, 27, 16                      | 13, 19                             | 27, 4, 29, 18  | 32, 35, 27, 31    | 14, 2, 39, 6         | 2, 14, 30, 40        | 35, 27         | 15, 32, 35            |                | 13                     | 18                     | 35, 24, 30, 18                     | 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 | 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        | 10, 3, 18, 40     | 10, 30, 35, 40 |                        | 27, 3, 26      |                                  | 30, 10, 40                       | 35, 19         | 19, 35, 10           |                                    | 35                                 |                | 10, 26, 35, 28    | 35                   | 35, 28, 31, 40       |                | 29, 3, 28, 18         | 29, 10, 27     | 11, 3                  | 3, 27, 16              | 3, 27                              | 18, 35, 37, 1               | 11, 3, 10, 32         | 32, 40, 25, 2          | 27, 11, 3               | 15, 3, 32                    | 2, 13, 25, 28  | 27, 3, 15, 40                   | 15                 | 29, 35, 10, 14 |               |                |  |      |
| 15 | 19, 5, 34, 31            |                          | 2, 19, 9                     |                              | 3, 17, 19                |                          | 10, 2, 19, 30              |                            | 3, 35, 5       | 19, 2, 16            | 19, 3, 27         | 14, 26, 28, 25 | 13, 3, 35              | 27, 3, 10      |                                  | 19, 35, 39                       | 2, 19, 4, 35   | 28, 6, 35, 18        |                                    |                                    | 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                     | 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 |                          | 6, 27, 19, 16            |                              | 1, 40, 35                    |                          |                          |                            |                            |                |                      |                   |                |                        |                |                                  | 39, 3, 35, 23                    |                |                      | 19, 18, 36, 40                     |                                    | 16             |                   | 27, 16, 18, 38       | 10                   | 28, 20, 10, 16 | 3, 35, 31             | 34, 27, 6, 40  | 10, 26, 24             |                        | 17, 1, 40, 33, 22                  | 35, 10                      | 1                     | 1                      | 2                       |                              | 25, 34, 6, 35  | 1                               | 20, 10, 16, 38     |                |               |                |  |      |
| 17 | 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        | 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                      |                                    | 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                      | 22, 35, 2, 24               | 26, 27                | 26, 27                 | 4, 10, 16               | 2, 18, 27                    | 2, 17, 16      | 3, 27, 35, 31                   | 26, 2, 19, 16      | 15, 28, 25     |               |                |  |      |
| 18 | 19, 1, 32                | 2, 35, 32                | 19, 32, 16                   |                              | 19, 32, 26               |                          | 2, 13, 10                  |                            |                | 10, 13, 19           | 26, 19, 6         | 32, 30         | 32, 3, 27              | 35, 19         | 2, 19, 6                         |                                  | 32, 35, 19     |                      | 32, 1, 9                           | 32, 35, 1, 15                      | 32             |                   | 13, 1, 6             | 1, 6                 | 19, 1, 26, 17  | 1, 19                 |                | 11, 15, 32             | 3, 32                  | 15, 19                             | 35, 19, 32, 39              | 19, 35, 28, 26        | 28, 26, 19             | 15, 17, 13, 16          | 15, 1, 19                    | 6, 32, 13      | 32, 15                          | 2, 26, 10          | 2, 25, 16      |               |                |  |      |
| 19 | 12, 18, 28, 31           |                          | 12, 28                       |                              | 15, 19, 25               |                          | 35, 13, 18                 |                            | 8, 35, 35      | 16, 26, 21, 2        | 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            |                                    |                                    | 6, 19, 37, 18  | 12, 22, 15, 24    |                      |                      | 35, 38, 19, 18 | 34, 23, 16, 18        | 19, 21, 11, 27 | 3, 1, 32               |                        | 1, 35, 6, 27                       | 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 |                          |                          |                              |                              |                          |                          |                            |                            |                |                      | 36, 37            |                | 27, 4, 29, 18          | 35             |                                  |                                  | 19, 2, 35, 32  |                      |                                    |                                    |                |                   |                      |                      |                |                       |                |                        |                        |                                    |                             |                       |                        |                         |                              |                |                                 |                    |                |               | 19, 35, 16, 25 |  | 1, 6 |
| 21 | 8, 36, 38, 31            | 19, 26, 17, 27           | 1, 10, 35, 37                |                              | 19, 38                   | 17, 32, 13, 38           | 35, 6, 38                  | 30, 6, 25                  | 15, 35, 2      | 26, 2, 36, 35        | 22, 10, 35        | 29, 14, 2, 40  | 35, 32, 15, 31         | 26, 10, 28     | 19, 35, 10, 38                   | 16                               | 2, 14, 17, 25  | 16, 6, 19            | 16, 6, 19, 37                      |                                    |                | 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                      | 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 | 15, 6, 19, 28            | 35, 6, 22, 32            | 7, 2, 6, 13                  | 6, 38, 7                     | 15, 26, 17, 30           | 17, 7, 30, 18            | 7, 18, 23                  | 7                          | 16, 35, 38     | 36, 38               |                   |                | 14, 2, 39, 6           | 26             |                                  |                                  | 19, 38, 7      | 1, 13, 32, 15        |                                    |                                    | 3, 38          |                   | 35, 27, 2, 37        | 19, 10               | 10, 18, 32, 7  | 7, 18, 25             | 11, 10, 35     | 32                     | 21, 22, 35, 2          | 21, 35, 2, 22                      |                             | 35, 32, 1             | 2, 19                  |                         | 7, 23                        | 35, 3, 15, 23  | 2                               | 28, 10, 29, 35     |                |               |                |  |      |
| 23 | 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 |                      |                   |                |                        |                |                                  |                                  |                |                      |                                    |                                    |                |                   |                      |                      |                |                       |                |                        |                        |                                    |                             |                       |                        |                         |                              |                |                                 |                    |                |               |                |  |      |





## ANEXO J – PRINCÍPIOS PARA A RESOLUÇÃO DE CONTRADIÇÕES FÍSICAS (ADAPTADO DE [7])

Tabela 7- Princípios para a eliminação de contradições físicas

| Princípio             | Aplicação   | Princípios Inventivos Auxiliares          |
|-----------------------|---|---|
| Separação no espaço   | Verifique se os efeitos opostos são necessários em toda a parte ou em zonas específicas. Caso não seja necessário em toda a parte, tente separar os efeitos no espaço | 1 – Segmentação                           |
|                       |   | 2 – Remoção                               |
|                       |   | 3 – Qualidade localizada                  |
|                       |   | 4 – Assimetria                            |
|                       |   | 7 – Concatenação                          |
|                       |   | 13 – Inversão                             |
|                       |   | 14 – Recurvação                           |
|                       |   | 17 – Transição para nova dimensão         |
|                       |   | 24 – Mediação                             |
|                       |   | 26 – Cópias                               |
| Separação no tempo    | Verifique se os efeitos opostos são necessários no mesmo intervalo operacional ou se existe intervalo entre eles.   | 30 – Filmes finos e membranas             |
|                       |   | 40 – Compósitos                           |
|                       |   | 1 – Segmentação                           |
|                       |   | 7 – Concatenação                          |
|                       |   | 9 – Compensação Prévia                    |
|                       |   | 11 – Amortecimento prévio                 |
|                       |   | 15 – Dinamização                          |
|                       |   | 16 – Ação parcial ou excessiva            |
|                       |   | 18 – Vibrações Mecânicas                  |
|                       |   | 19 – Ações Periódicas                     |
|                       |   | 21 – Aceleração                           |
|                       |   | 24 – Mediação                             |
|                       |   | 26 – Cópias                               |
| Separação em condição | Verifique se um dos requerimentos existe em dadas condições, e se não existe em outras. Caso assim seja altere as condições de operação.                              | 27 – Descartável Vs. Durador              |
|                       |   | 28 – Substituição de um meio mecânico     |
|                       |   | 29 – Estruturas hidráulicas e pneumáticas |
|                       |   | 31 – Materiais Porosos                    |
|                       |   | 32 – Mudança de cor                       |
|                       |   | 35 – Mudança de parâmetros                |
|                       |   | 36 – Mudança de fase                      |
|                       |   | 38 – Oxidantes fortes                     |
| 39 – Atmosfera inerte |   |   |

|                                       |  |   |
|---------------------------------------|--|---|
| Transição para o supersistema         | Verifique se um dos efeitos desejado pode ser transferido para o supersistema.   | 5 – Consolidação                        |
|                                       |  | 6 – Universalização                     |
|                                       |  | 12 – Equipotencialidade                 |
|                                       |  | 22 – Transformação do prejuízo em lucro |
|                                       |  | 33 – Homogeneidade                      |
|                                       |  | 40 – Compósitos                         |
| Transição para o subsistema           | Verifique se um dos efeitos desejados pode ser transferido para um subsistema.   | 1 – Segmentação                         |
|                                       |  | 3 – Qualidade localizada                |
|                                       |  | 24 – Medição                            |
|                                       |  | 27 – Descartável Vs. Durador            |
| Transição para o antissistema         | Verifique se pode solucionar o problema transferindo os requerimentos para um sistema com ação inversa (Antissistema). | 13 – Inversão                           |
| Transição para um sistema alternativo | Tente utilizar um novo sistema   | 6 – Universalização                     |
|                                       |  | 8 – Contrapeso                          |
|                                       |  | 22 – Transformação do prejuízo em lucro |
|                                       |  | 27 – Descartável Vs. Durador            |
|                                       |  | 25 – Auto serviço                       |
|                                       |  | 40 – Compósitos                         |

## ANEXO K – TABELA DE EFEITOS (ADAPTADO DE [1])

Tabela 8- Efeitos para problemas que envolvem mudanças no sistema

| Problemas envolvendo mudanças no sistema  |  |   |                   |
|---|--|---|-------------------|
| Função                                    | Efeito físico  | Efeito químico  | Efeito geométrico |
| Acumulação de frio                        |  | - Decomposição de hidratos, hidretos e hidrogénio gasosos;<br>- Reações endotérmicas<br>- Dissolução  |                   |
| Acumulação de energia mecânica            | - Inércia<br>- Deformação<br>- Efeito giroscópico  |   |                   |
| Acumulação de calor                       | - Radiação<br>- Mudança de fase  | - Hidrogénio<br>- Reação de transporte  |                   |
| Aplicar uma substância a outra substância |  | - Reação de transporte<br>- Estado hidratado<br>- Oxidação-redução<br>- Foto cromismo<br>- Electro cromismo<br>- Automontagem molecular<br>- Membranas líquidas<br>- Deposição de filmes finos<br>- Hidrofilia-Hidrofobia                             |                   |
| Mudança de concentração de uma substância |  | - Reação de transporte<br>- Adsorção-dessorção<br>- Transição para ligações químicas<br>- Tendência de equilíbrio químico<br>- Membranas sem transparentes<br>- Membranas líquidas<br>- "Complexones"   |                   |
| Mudança de densidade                      | Mudança de densidade e viscosidade de fluidos sobre efeito de campos elétricos ou magnéticos | Hidratos gasosos  |                   |
| Mudança de distância                      |  |   | Elipse            |
| Mudança de propriedades elétricas         |  | - Hidratação<br>- Redução de óxidos<br>- Dissolução de sais<br>- 'Self-propagating, high-temperature synthesis'<br>- Tendência de equilíbrio químico<br>- Eletrização por oxidação<br>- Electrocromismo<br>- Complexometria<br>- Camadas hidrofílicas |                   |
| Mudança de propriedades magnéticas        | - 'Screening'<br>- Temperatura de Curie  | - Hidratação<br>- Aglomerados<br>- 'Self-propagating high-temperature synthesis'  |                   |
| Mudança de massa                          |  | - Reações de transporte<br>- Método termomecânico<br>- Transição de ligação química   |                   |



|   |   |  |                |
|---|---|--|----------------|
|   |   | - Transição para estado de hidrato/hidreto<br>- Reações exotérmicas  |                |
| Mudança das propriedades óticas                     |   | -Redução de óxidos<br>- Mudança de cor<br>- Luminosidade<br>- Transparência<br>- Camadas moleculares   |                |
| Mudança de área                                     |   |  | Fita de Mobius |
| Mudança de tamanho                                  | - Expansão térmica<br>- Memória de forma<br>-Deformação<br>- Magnetostricção<br>- Eletrostricção<br>- Efeito piezoelétrico  |  |                |
| Mudança de propriedades superficiais                | - Fricção<br>- Adsorção<br>- Difusão<br>- Efeito de Bauschinger<br>- Descarga elétrica<br>-Oscilações mecânicas ou acústicas<br>- Radiação Ultravioleta   |  |                |
| Mudança de velocidade                               | -Inércia<br>-Sorção   | - Hidratos gasosos<br>- Eletrólise   |                |
| Mudança de volume                                   | - Mudança de fase<br>- Mudança de densidade e - viscosidade de fluidos sobre ação de campos magnéticos/elétricos<br>- Radiação térmica<br>- Ionização por campo elétrico<br>- Ultravioletas<br>- Raio-X Deformação<br>- Difusão<br>- Efeito de Bauschinger<br>- Efeito Termo elétrico<br>- 'Magneto-optical effect'<br>- Cavitação<br>- Foto cromismo<br>- "Intrinsic photo effect" | - Reações de transporte<br>- Dissolução em gases comprimidos<br>- Mudança para estado de Hidrato/Hidreto<br>- Reações termoquímicas<br>- Reações exotérmicas<br>- Transição para estado de ligação química | Elipse         |
| Controlo da folga entre objetos                     | -Expansão térmica<br>- Eletrostricção<br>- Magnetostricção<br>- Efeito piezoelétrico  |  |                |
| Controlo sobre movimento de dispersão de partículas | - Campo electroestático<br>- Campo elétrico ou magnético<br>- Pressão de radiação   |  |                |



|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| Controlo sobre a deslocação de objetos sólidos  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Expansão térmica</li><li>- Eletrostrição</li><li>- Magnetostricção</li><li>- Efeito piezoelétrico</li><li>- Memória de forma</li><li>- Campo magnético</li><li>- Pressão</li><li>- Vibrações mecânicas</li><li>- Força centrífuga</li><li>- Choque hidráulico ou acústico</li><li>- Indução eletromagnética</li><li>- Pressão de radiação</li><li>- Interação de descargas elétricas</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Hidratos gasosos</li><li>- Hidrogénio</li><li>- Eletrólise</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Corpos esféricos</li><li>- Escovas</li><li>- Corpos livres</li></ul> |
| Controlo sobre a deslocação de líquidos e gases | <ul style="list-style-type: none"><li>- Evaporação capilar</li><li>- Pressão capilar</li><li>- Osmose</li><li>- Electro osmose</li><li>- Efeito de Thomson</li><li>- Efeito de Bernulli</li><li>- Movimento ondulatório</li><li>- Forças centrífugas</li><li>- Efeito Weissenber</li></ul>   |  |  |
| Controlo de um campo eletromagnético            | <ul style="list-style-type: none"><li>- "Screening"</li><li>- Mudança de condutividade elétrica</li><li>- Mudança de forma de corpos sujeitos a campos magnéticos</li></ul>  |  |  |
| Controlo sobre a fricção                        | <ul style="list-style-type: none"><li>- Efeito Johnson-Rahbeck</li><li>- Radiação</li><li>- Efeito de estabilidade de um líquido em camada anelar</li><li>- Oscilação</li><li>- Efeito de Kragelsky</li></ul>  | Eletrólise   |  |
| Controlo sobre uma superfície líquida           | <ul style="list-style-type: none"><li>- Inércia</li><li>- Gravitação</li></ul>   |  |  |
| Controlo sobre fluxo térmico                    | Tubos de calor   |  |  |
| Controlo sobre feixe de luz                     | <ul style="list-style-type: none"><li>- Reflexão e refração</li><li>- Efeito electro ótico</li><li>- Fotoelasticidade</li><li>- Efeito Kerr</li><li>- Efeito de Faraday</li><li>- Efeito Gunn</li></ul>  |  |  |
| Deformação de corpos                            | <ul style="list-style-type: none"><li>- Deformação</li><li>- Forças centrífugas</li><li>- Efeito de Alexandrov</li><li>- Memória de forma</li><li>- Expansão térmica</li><li>- Mudança de fases</li><li>- Fluidos magnéticos</li><li>- Emissão de infra vermelhos</li></ul>  |  |  |



|                                    |  |   |  |
|------------------------------------|--|---|--|
| Destruição de corpos (substâncias) | <ul style="list-style-type: none"><li>- Efeito de Alexandrov</li><li>- Memória de forma</li><li>- Cavitação</li><li>- Vibração Mecânica</li><li>- "Dielectric Breakdown"</li><li>- Descargas elétricas</li><li>- Ondas de choque acústicas ou hidráulicas</li><li>- Ressonância</li><li>- Ultrassom</li><li>- Luz coerente</li><li>- Deformação</li><li>- Pressão</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Reação de transporte</li><li>- Reações termomecânicas</li><li>- Hidrogenação</li><li>- Destruição de óxidos</li><li>- Queima</li><li>- Explosão</li><li>- Dissolução</li><li>- "Complexones"</li><li>- Oxidação</li><li>- Tendência de estabilidade química</li></ul> |  |
| Dosagem de substância              | <ul style="list-style-type: none"><li>- Expansão térmica</li><li>- Capilaridade material poroso</li><li>- Condensação de fluidos</li><li>- Efeito piezoelétrico</li><li>- Descarga de Corona</li></ul>   | Hidratos gasosos  |  |
| Fixação de corpos sólidos          | <ul style="list-style-type: none"><li>- Fricção</li><li>- Capilaridade material poroso</li><li>- Uso de ímãs</li><li>- Pó ferromagnético</li></ul>   | Fixação de corpos sólidos   |  |
| Geração de pressão (Forças)        | <ul style="list-style-type: none"><li>- Inércia</li><li>- Efeito de Alexandrov</li><li>- Mudança de fase</li><li>- Expansão térmica</li><li>- Força centrífuga</li><li>- Mudar a densidade de um fluido magnético</li><li>- Memória de forma</li><li>- Expansão térmica</li><li>- Onda de choque hidráulica</li><li>- Onda de choque electro-hidráulica</li><li>- Gradiente de pressão em fluidos magnéticos e eletromagnéticos</li><li>- Ondas de choque acústicas</li><li>- Osmose</li><li>- Campo magnético</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Decomposição de hidratos gasosos</li><li>- Decomposição de ozono líquido</li><li>- Amolecimento de metais</li><li>- Decomposição de hidretos</li></ul>  |  |
| Geração de frio                    | <ul style="list-style-type: none"><li>- Tubos de calor</li><li>- Materiais capilares-porosos</li><li>- Mudança de fase</li><li>- Efeito de Joule-Thomson</li><li>- "Electrets"</li><li>- Ferromagnéticos</li><li>- Efeito de Ranque</li><li>- Efeito magnético-calorífico</li><li>- Termoelectricidade</li><li>- Efeito Dufour</li><li>- Descarga de Corona</li><li>- Princípio de Stirling</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Reações endotérmicas</li><li>- Dissolução</li><li>- Decomposição de hidratos gasosos</li><li>- Hidretos</li></ul>   |  |



|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| Geração de Calor   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fricção</li> <li>- Tubos de calor</li> <li>- Vibração mecânica</li> <li>- Luz infravermelha</li> <li>- Indução eletromagnética</li> <li>- "Surface effect"</li> <li>- Dielétricos</li> <li>- Ferromagnéticos</li> <li>- Adsorção de radiação - por uma substancia</li> <li>- Aquecimento elétrico</li> <li>- Termoeletricidade</li> <li>- Efeito Dufour</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidretos</li> <li>- Reações exotérmicas</li> <li>- Oxidantes fortes</li> <li>- Decomposição de ozono</li> <li>- "Self-Propagation High Temperature Synthesis"</li> <li>- Queima de hidratos gasosos e hidrogénio</li> </ul>   |  |
| Geração de energia eletromagnética                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descarga elétrica</li> <li>- Efeito Josefson</li> <li>- Radiação induzida</li> <li>- Efeito túnel</li> <li>- Luminescência</li> <li>- Efeito Gunn</li> <li>- Efeito Cherenkov-Vavilov</li> </ul>   |  |  |
| Diminuição de ativação de substâncias                      |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligações químicas de gases</li> <li>- Transição para o estado de hidrato</li> <li>- Gases não comprimidos</li> <li>- Hidretos</li> <li>- Fusão-Solidificação</li> <li>- Adsorventes</li> <li>- 'Complexones'</li> </ul>   |  |
| Mistura de gases e líquidos                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vibrações Mecânicas</li> <li>- "Electrets"</li> <li>- Difusão</li> </ul>   |  |  |
| Intensificação da queima                                   |   | Ozono  |  |
| Junção de substâncias heterogéneas                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Memória de forma</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de hidratos ou hidretos</li> <li>- Solda</li> <li>- Fusão-solidificação</li> <li>- Auto montagem molecular</li> </ul>   |  |
| Colocar uma substancia no interior de outra                |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reações de transporte</li> <li>- Ligação química de gases</li> <li>- Hidratos gasosos</li> <li>- Gases não comprimidos</li> <li>- Hidretos</li> <li>- Adsorventes</li> <li>- Dissolução</li> <li>- 'Complexones '</li> <li>- Membranas liquidas</li> <li>- Auto montagem molecular</li> </ul> |  |
| Purificação de substâncias e obtenção de substâncias puras | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interação de descargas elétricas</li> <li>- Efeito Corona</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidratos gasosos</li> <li>- Ozono</li> <li>- Eletrólise</li> <li>- Reações de transporte</li> <li>- Extração de gases comprimidos</li> <li>- Extração de hidretos</li> <li>- Auto montagem molecular</li> <li>- Membranas liquidas</li> <li>- Complexones</li> </ul>                          |  |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| Regeneração de calor                          | Tubos de calor   |  |  |
| Separação de substâncias                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Forças de inércia</li> <li>- Materiais Capilares-porosos</li> <li>- Ultrassons</li> <li>- Ondas acústicas</li> <li>- "Electrets"</li> <li>- Efeito piezoelétrico</li> <li>- Forças centrífugas</li> <li>- Descarga de Corona</li> <li>- Campo Magnético</li> <li>- Adsorção Difusão</li> <li>- Osmose</li> <li>- Electromose</li> <li>- Eletroforese</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reações de transporte</li> <li>- Extração de gases ligados quimicamente</li> <li>- Extração de gases não comprimidos</li> <li>- Ozonídeos</li> <li>- Extração de hidretos</li> <li>- Redução de oxidantes</li> <li>- Tendência de equilíbrio químico</li> <li>- Adsorventes</li> <li>- Substâncias Hidrofóbicas-hidrófilas</li> <li>- Membranas semi transparentes</li> <li>- 'Complexones '</li> <li>- Membranas líquidas</li> </ul> |  |
| Pulverização de substâncias                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interação de descargas elétricas</li> <li>- Descargas de Corona</li> <li>- Efeito piezoelétrico</li> <li>- "Electrets"</li> </ul>   |  | Escovas  |
| Supressão de energia mecânica                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiais capilares-porosos</li> <li>- Cavitação</li> <li>- Espuma</li> <li>- Vibrações mecânicas</li> <li>- Indução eletromagnética</li> <li>- Efeito piezoelétrico</li> <li>- Eletrolise</li> </ul>   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Esferas</li> <li>- Elipses</li> <li>- Escovas</li> <li>- Corpos livres</li> </ul> |
| Fusão de duas substâncias em apenas uma       |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reações de transporte</li> <li>- Reações termomecânicas</li> <li>- Ligações químicas de gases</li> <li>- Hidratos gasosos</li> <li>- Oxidação-redução</li> <li>- Reações exotérmicas</li> <li>- Dissolução</li> <li>- Combinação de substâncias ativa</li> <li>- Ozonização</li> <li>- 'Complexones '</li> <li>- Foto cromismo</li> </ul>   |  |
| Transporte de uma substância através de outra | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mudança de fase</li> <li>- Materiais capilares-porosos</li> <li>- Osmose</li> <li>- Difusão</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reações de transporte</li> <li>- Hidratos e hidretos</li> <li>- Hidrogénio através de metal</li> <li>- Reações termomecânicas</li> <li>- Tendência de estabilidade química</li> <li>- Adsorção</li> <li>- 'Complexones'</li> <li>- Membranas semi transparentes</li> <li>- Membranas líquidas</li> </ul>  |  |
| Transporte de energia mecânica                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deformação</li> <li>- Oscilação</li> <li>- Efeito de Alexandrov</li> <li>- Ondas</li> </ul>   |  |  |
| Transporte de energia radiante                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Condutores de luz</li> <li>- Radiação induzida</li> </ul>   |  |  |
| Transporte de energia elétrica                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indução eletromagnética</li> <li>- Condutividade</li> <li>- Supercondutividade</li> </ul>   |  |  |





## Anexos

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Transporte de calor                           | <ul style="list-style-type: none"><li>- Tubos de calor</li><li>- Radiação</li><li>- Condutividade térmica</li><li>- Convecção</li></ul>                                   |   |  |
| Retirada de eletricidade estática             | <ul style="list-style-type: none"><li>- Descarga de Corona</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Metalização de tecidos</li><li>- Ozono</li><li>- Revestimento hidrófilo</li></ul> |  |
| Interruptor térmico                           | <ul style="list-style-type: none"><li>- Tubos de calor</li></ul>  |   |  |
| Estabilização da temperatura                  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Mudança de fase</li><li>- Ponto de Curie</li><li>- Espuma</li><li>- Indução eletromagnética</li><li>- Pó ferromagnético</li></ul> |   |  |
| Transformação de energia elétrica em mecânica | <ul style="list-style-type: none"><li>- Efeito piezoelétrico</li></ul>  |   |  |

**Tabela 9- Efeitos para problemas envolvendo detecções ou medições**

| Problemas envolvendo mudanças no sistema |  |                |                   |
|--|--|----------------|-------------------|
| Função                                   | Efeito físico  | Efeito químico | Efeito geométrico |
| Aceleração                               | - Vibrações mecânicas<br>- Efeito piezoelétrico  |                |                   |
| Quantidade de gás num líquido            | Cavitação  |                |                   |
| Espessura de ar                          | - Interferência<br>- Luz visível<br>- Luz ultravioleta e substâncias luminescentes   |                |                   |
| Brilho                                   | Efeito piezoelétrico   |                |                   |
| Consumo                                  | - Cavitação<br>- Vibrações mecânicas   |                |                   |
| Compressibilidade de gases               | Permeabilidade dielétrica  |                |                   |
| Descarga de Corona                       | Ozono  |                |                   |
| Defeitos                                 | - Celulites moleculares<br>- Resistência elétrica<br>- Raios-X<br>- Ultrassons   |                |                   |
| Densidade e viscosidade                  | - Força de Arquimedes<br>- Vibrações mecânicas<br>- Ultrassons   |                |                   |
| Deslocamentos                            | - "Electrets"<br>- Interferência<br>- Reflexão de luz<br>- Emissão de luz<br>- Radiação de calor<br>- Deformação<br>- Raios-X<br>- Luminescência<br>- Mudanças de campos elétricos e - magnéticos<br>- Efeito de Doppler |                |                   |
| Distâncias                               | "Electrets"  |                |                   |
| Forças                                   | - Inércia<br>- Efeito piezoelétrico  |                |                   |
| Fricção                                  | Inércia  |                |                   |
| Humidade                                 | - Descarga de Corona<br>- Luz ultravioleta   |                |                   |
| Fugas                                    | Espumas  |                |                   |
| Nível                                    | - Força de Arquimedes<br>- Vibrações mecânicas   |                |                   |
| Massa                                    | - Vibrações mecânicas<br>- Fluidos magnéticos<br>- Ondas Acústicas   |                |                   |



|                   |   |               |                  |
|-------------------|---|---------------|------------------|
| Tensões mecânicas | Luz visível   |               |                  |
| Pressão           | - Vibrações mecânicas<br>- Interação de descargas elétricas<br>- Efeito piezoelétrico<br>- "Electrets"<br>- Descargas de Corona | Gel           | Corpos esféricos |
| Ações esféricas   | Efeito piezoelétrico  |               |                  |
| Radiação          | - Efeito acústico<br>- Expansão térmica<br>- Foto efeito<br>- Luminescência<br>- Efeito foto plástico                           |               |                  |
| Rugosidade        | - Laminaridade<br>- Turbulência<br>- Efeito Bernulli  |               |                  |
| Agudeza           | Descarga de Corona  |               |                  |
| Tamanho           | - Descarga de Corona<br>- Resistência elétrica<br>- Luz visível<br>- Efeito de Mouare   |               |                  |
| Temperatura       | - Expansão térmica<br>- Mudança de fase<br>- Luz visível<br>- Transição através do ponto de Curie                               |               |                  |
| Tensão            | Campo magnético   |               |                  |
| Ultrassons        |   | Gel           |                  |
| Luz ultravioleta  |   | Foto cromismo |                  |
| Vácuo             | Descarga de Corona  |               |                  |
| Vibrações         |   |               | Corpos esféricos |
| Luz Visível       |   | Foto cromismo |                  |
| Massa             | - Vibrações mecânicas<br>- Fluidos magnéticos<br>- Ondas Acústicas  |               |                  |
| Tensões mecânicas | Luz visível   |               |                  |
| Pressão           | - Vibrações mecânicas<br>- Interação de descargas elétricas<br>- Efeito piezoelétrico<br>- "Electrets"<br>- Descargas de Corona | Gel           | Corpos esféricos |
| Ações esféricas   | Efeito piezoelétrico  |               |                  |

|                  |   |   |                  |
|------------------|---|---|------------------|
| Radiação         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Efeito acústico</li> <li>- Expansão térmica</li> <li>- Foto efeito</li> <li>- Efeito foto plástico</li> <li>- Luminescência</li> </ul>   |   |                  |
| Rugosidade       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Laminaridade</li> <li>- Turbulência</li> <li>- Efeito Bernulli</li> </ul>  |   |                  |
| Agudeza          | Descarga de Corona  |   |                  |
| Tamanho          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descarga de Corona</li> <li>- Resistência elétrica</li> <li>- Luz visível</li> <li>- Efeito de Mouare</li> </ul>   |   |                  |
| Temperatura      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Expansão térmica</li> <li>- Mudança de fase</li> <li>- Luz visível</li> <li>- Transição através do ponto de Curie</li> </ul>   |   |                  |
| Tensão           | Campo magnético   |   |                  |
| Ultrassons       |   | Gel   |                  |
| Luz ultravioleta |   | Foto cromismo   |                  |
| Vácuo            | Descarga de Corona  |   |                  |
| Vibrações        |   |   | Corpos esféricos |
| Luz Visível      |   | Foto cromismo   |                  |
| Volume           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistência elétrica</li> <li>- Reflexão de luz</li> <li>- Mudança no coeficiente de retração</li> <li>- Fenómeno Magneticoptico</li> <li>- Fenómeno electroptico</li> <li>- Luz polarizada</li> <li>- Raio-X</li> <li>- Ressonância magnética nuclear</li> <li>- Ressonância paramagnética</li> <li>- Transição através do ponto de Curie</li> <li>- Efeito Hopkins</li> <li>- Efeito Barkhausen</li> <li>- Medição da frequência natural</li> <li>- Ultrassom</li> <li>-Efeito Hall</li> </ul> |   |                  |
| Raios-X          |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ozono</li> <li>- Radio cromismo</li> </ul> |                  |

## ANEXO L – ARIZ 85C (ADAPTADO DE [1] [6])

### ETAPA 1- ANÁLISE DA SITUAÇÃO INICIAL

1. Defina o mini problema.

Indique o propósito do sistema e enumere os seus componentes principais (partes do sistema e partes naturais que com ele interagem).

Enumere os estados do sistema.

Estado 1: deve descrever o estado do sistema e os seus efeitos positivos e negativos (Se X...).

Estado 2: deve descrever o estado inverso do sistema e os seus efeitos positivos e negativos (Se não X...).

2. Definir quais os elementos em conflito.

Identifique quais as ferramentas e os objetos do sistema. A ferramenta será o artefacto que atua sobre os objetos.

3. Represente graficamente os conflitos técnicos existentes para cada estado.
4. Selecione o estado (Passo 1) que prevê o funcionamento ótimo do processo principal.  
Defina o processo principal.
5. Exagerar os conflitos técnicos.

Neste passo, devem ser evitadas expressões que demonstrem alguma relatividade (forte, fraco, grande, pequeno, muito, pouco), devendo ser formulado os efeitos da forma mais específica possível.

6. Descreva o modelo do problema.

Exprima o modelo na forma: “É necessário encontrar um elemento X que crie ou mantem (o efeito positivo exagerado) e elimine por completo (o efeito negativo) ”,

Onde elemento X é um elemento desconhecido.

4. Resolva o mini problema.

Use os princípios inventivos (discriminados no Anexo H), padrões inventivos (descritos no Anexo D) ou efeitos (abordados no Anexo K) para solucionar o problema.

## ETAPA 2- ANÁLISE DE RECURSOS

1. Determine o espaço operacional (OS).

O espaço operacional é o local onde ocorre o conflito.

2. Determine o intervalo operacional (OI).

São os recursos de tempo disponíveis (consultar o Anexo A), sendo T1 os recursos de tempo que antecedem o conflito e T2 os recursos de tempo que sucedem o conflito.

Para situações em que o intervalo operacional é momentâneo, por vezes o conflito pode ser eliminado em T1.

3. Análise de substância e campo de recursos (SFR).

Faça uma lista de todos os SFR disponíveis e da sua possível utilização.

## ETAPA 3- DETERMINAÇÃO DO RESULTADO FINAL IDEAL E CONTRADIÇÕES FÍSICAS

1. Formule o resultado ideal 1.

Exprima o IFR 1 na forma: Sem complicar o sistema ou acrescentar efeitos negativos, o componente X elimina os efeitos prejudiciais (especificar), durante o intervalo operacional (especificar) no espaço operacional (especificar) e realiza o efeito desejado (especificar).

O componente X representa um componente desconhecido.

2. Reforce o resultado ideal 1.

Intensifique o resultado final ideal 1, acrescentado um requerimento novo. Novas substâncias ou campos não devem ser acrescentados exceto SFR.

3. Formulação de contradição física.

Exprima a contradição física segundo esta forma: Para fazer (indique um efeito em conflito), o espaço operacional deveria (indique o estado físico do espaço operacional) durante o intervalo operacional; mas para o fazer (indique o outro estado ou requerimento em conflito) o espaço operacional deveria (Indique o estado físico oposto).

4. Formule o resultado ideal 2.

Exprima o resultado final ideal 2 da seguinte forma: Durante o intervalo operacional (especifique o intervalo) o espaço operacional (especifique o espaço) deveria (especifique o efeito físico oposto), por si só.

5. Resolver as contradições físicas do resultado final ideal 2.

Utilize os métodos para solução de contradições físicas ou efeitos (Anexo J) para solucionar contradições físicas.

#### **ETAPA 4 – MOBILIZAÇÃO E USO DE SFR**

1. Modelação com pequenas pessoas espertas.

Utilize o método da modelação com pequenas pessoas espertas.

2. Mistura de substâncias.

Determine se é possível usar uma mistura de dois recursos de substâncias (referidas no Anexo A) ou substâncias e vazio. Vazio é um recurso de substância, pois existe sempre quantidade ilimitada, é barato e pode facilmente ser misturado com outras substâncias, formando espumas, bolhas, estruturas ocas ou porosas. Ao misturar-se vazio com ar, obtêm-se ar a baixa pressão. O vazio não precisa necessariamente de significar vácuo.

3. Use polisubstâncias compostas por monosubstâncias.
4. Substâncias derivadas.

Determine se é possível usar substâncias derivadas de recursos de substâncias (consultar Anexo A). Estas substâncias derivadas são obtidas a partir dos recursos de substâncias, mudando o seu estado físico (exemplo: gelo e vapor derivam da água), via decomposição (hidrogénio e oxigénio derivam da água).

5. Em vez de substâncias, use campos elétricos ou interações entre campos elétricos.
6. Use binómios campo- aditivos sensíveis ao campo.

#### **ETAPA 5 – APLICAÇÃO DA INFORMAÇÃO RECOLHIDA**

1. Eliminação de contradições físicas.

Utilize o método de separação para a eliminação de contradições físicas, tendo em mente as modificações tidas na etapa 4.

2. Uso de efeitos.

Utilize efeitos para a eliminação de contradições físicas (consultar Anexo K), tendo em mente as modificações tidas na etapa 4.

## **ETAPA 6 – MODIFICAÇÃO OU ALTERAÇÃO DO PROBLEMA**

1. Revisão do mini problema.

Se não tiver uma solução, verifique se o mini problema definido no primeiro ponto da etapa 1 não se trata de uma combinação de vários problemas. Caso seja volte a etapa 1, desagregue e resolva cada problema individualmente.

2. Revisão da contradição.

Se não tiver uma solução volte ao ponto 4 da etapa 1 e escolha o outro estado da contradição.

3. Transição para o supersistema.

Se não tiver uma solução retome ao ponto 1 da etapa 1 mas defina o problema em relação ao supersistema. Se necessário faça várias transições para o supersistema.

## **ETAPA 7 – ANÁLISE DA SOLUÇÃO**

Avalie a solução tentando antecipar problemas de implementação ou *design*.

## **ETAPA 8 – APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO**

1. Determine as mudanças e implicações que a solução causa ao supersistema.
2. Verifique a possibilidade de novas aplicações da solução.



## ANEXO M – TABELAS DE POTENCIAL DE EVOLUÇÃO DO FRICTORQ

Tabela 10 – Classificação do nível de evolução do FRICTORQ I

| Nº | Nível Max | Tendência                         | FRICTORQ I   |           |                 |                   |             |                |                     |        |       |         |      |
|----|-----------|-----------------------------------|--------------|-----------|-----------------|-------------------|-------------|----------------|---------------------|--------|-------|---------|------|
|    |           |                                   | Corpo Padrão | Estrutura | Anel de pressão | Anel de centragem | Base Cônica | Motor/reductor | Sistema de controlo | Sensor | Média | Relação |      |
|    |           |                                   | Nível        |           |                 |                   |             |                |                     |        |       |         |      |
| 1  | 7         | Redução da densidade              | 1,5          | 1,5       | 1,5             | 1,5               | 1,5         | 1              | -                   | 1,5    | 1,43  | 0,20    |      |
| 2  | 4         | Redução do Amortecimento          | 2            |           |                 |                   |             |                |                     |        |       | 2,00    | 0,50 |
| 3  | 10        | Conversões de energia             | 4            |           |                 |                   |             |                |                     |        |       | 4,00    | 0,40 |
| 4  | 9         | Redução dimensões                 | 5            |           |                 |                   |             |                |                     |        |       | 5,00    | 0,56 |
| 5  | 8         | Segmentação de sistemas           | 1            | 2         | 1               | 1                 | 2           | 1              | -                   | 2      | 1,43  | 0,18    |      |
| 6  | 4         | Segmentação de superfícies        | 1            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 2              | -                   | 2      | 1,29  | 0,32    |      |
| 7  | 5         | Segmentação Espaço                | 1            | 1         | 1               | 1                 | 2           | 1              | -                   | 2      | 1,29  | 0,26    |      |
| 8  | 5         | Simplicidade                      | 2            |           |                 |                   |             |                |                     |        |       | 2,00    | 0,40 |
| 9  | 4         | Coordenação de ritmos             | 1            |           |                 |                   |             |                |                     |        |       | 1,00    | 0,25 |
| 10 | 5         | Flexibilidade                     | 1            | 2         | 1               | 1                 | 1           | 1              | 4                   | 1      | 1,50  | 0,30    |      |
| 11 | 4         | Evolução da Geometria linear      | 3            | -         | 1               | 1                 | 1           | 2              | -                   | 1      | 1,50  | 0,38    |      |
| 12 | 4         | Evolução da Geometria Volumétrica | 2            | 1         | 2               | 2                 | 4           | 4              | -                   | 2      | 2,43  | 0,61    |      |
| 13 | 3         | Aumento da assimetria             | 1            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 3              | -                   | 1      | 1,29  | 0,43    |      |
| 14 | 4         | Variabilidade                     | 1            | -         | -               | -                 | 1           | 1              | 4                   | 4      | 2,20  | 0,55    |      |
| 15 | 6         | Controlabilidade                  | 1            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 1              | 2                   | 4      | 1,50  | 0,25    |      |
| 16 | 5         | Aumento da interação humana       | 2            |           |                 |                   |             |                |                     |        |       | 2,00    | 0,40 |
| 17 | 7         | Automação                         | 5            |           |                 |                   |             |                |                     |        |       | 5,00    | 0,71 |
| 18 | 10        | Desempenho                        | 7            |           |                 |                   |             |                |                     |        |       | 7,00    | 0,70 |
| 19 | 10        | Multifuncionalidade               | 1            |           |                 |                   |             |                |                     |        |       | 1       | 0,1  |



Tabela 11 – Classificação do nível de evolução do FRICTORQ II

| Nº | Nível Max | Tendência                         | FRICTORQ II  |           |                 |                   |             |               |                     |        |       |         |
|----|-----------|-----------------------------------|--------------|-----------|-----------------|-------------------|-------------|---------------|---------------------|--------|-------|---------|
|    |           |                                   | Corpo Padrão | Estrutura | Anel de pressão | Anel de centragem | Base Cônica | Motor/redutor | Sistema de controlo | Sensor | Média | Relação |
|    |           |                                   | Nível        |           |                 |                   |             |               |                     |        |       |         |
| 1  | 7         | Redução da densidade              | 1,5          | 1,5       | 1,5             | 1,5               | 1,5         | 1             | -                   | 1,5    | 1,43  | 0,20    |
| 2  | 4         | Redução do Amortecimento          | 2            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 2,00  | 0,50    |
| 3  | 10        | Conversões de energia             | 4            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 4,00  | 0,40    |
| 4  | 9         | Redução dimensões                 | 5            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 5,00  | 0,56    |
| 5  | 8         | Segmentação de sistemas           | 2            | 2         | 1               | 1                 | 2           | 1             | -                   | 2      | 1,57  | 0,20    |
| 6  | 4         | Segmentação de superfícies        | 3            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 2             | -                   | 2      | 1,57  | 0,39    |
| 7  | 5         | Segmentação Espaço                | 1            | 1         | 1               | 1                 | 2           | 1             | -                   | 2      | 1,29  | 0,26    |
| 8  | 5         | Simplicidade                      | 2            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 2,00  | 0,40    |
| 9  | 4         | Coordenação de ritmos             | 1            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 1,00  | 0,25    |
| 10 | 5         | Flexibilidade                     | 1            | 2         | 1               | 1                 | 1           | 1             | 4                   | 1      | 1,50  | 0,30    |
| 11 | 4         | Evolução da Geometria linear      | 3            | -         | 1               | 1                 | 1           | 2             | -                   | 1      | 1,50  | 0,38    |
| 12 | 4         | Evolução da Geometria Volumétrica | 3            | 1         | 2               | 2                 | 4           | 4             | -                   | 2      | 2,57  | 0,64    |
| 13 | 3         | Aumento da assimetria             | 2            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 3             | -                   | 1      | 1,43  | 0,48    |
| 14 | 4         | Variabilidade                     | 1            | -         | -               | -                 | 1           | 1             | 4                   | 4      | 2,20  | 0,55    |
| 15 | 6         | Controlabilidade                  | 1            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 1             | 2                   | 4      | 1,50  | 0,25    |
| 16 | 5         | Aumento da interação humana       | 2            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 2,00  | 0,40    |
| 17 | 7         | Automação                         | 5            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 5,00  | 0,71    |
| 18 | 10        | Desempenho                        | 8            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 8,00  | 0,80    |
| 19 | 10        | Multifuncionalidade               | 1            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 1     | 0,1     |

Tabela 12 - Classificação do nível de evolução do FRICTORQ III

| Nº | Nível Max | Tendência                         | FRICTORQ III |           |                 |                   |             |               |                     |        |       |         |
|----|-----------|-----------------------------------|--------------|-----------|-----------------|-------------------|-------------|---------------|---------------------|--------|-------|---------|
|    |           |                                   | Corpo Padrão | Estrutura | Anel de pressão | Anel de centragem | Base Cônica | Motor/redutor | Sistema de controlo | Sensor | Média | Relação |
|    |           |                                   | Nível        |           |                 |                   |             |               |                     |        |       |         |
| 1  | 7         | Redução da densidade              | 1,5          | 1,5       | 1,5             | 1,5               | 1,5         | 1             | -                   | 1,5    | 1,43  | 0,20    |
| 2  | 4         | Redução do Amortecimento          | 2            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 2,00  | 0,50    |
| 3  | 10        | Conversões de energia             | 4            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 4,00  | 0,40    |
| 4  | 9         | Redução dimensões                 | 5            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 5,00  | 0,56    |
| 5  | 8         | Segmentação de sistemas           | 2            | 2         | 1               | 1                 | 2           | 1             | -                   | 2      | 1,57  | 0,20    |
| 6  | 4         | Segmentação de superfícies        | 3            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 2             | -                   | 2      | 1,57  | 0,39    |
| 7  | 5         | Segmentação Espaço                | 1            | 1         | 1               | 1                 | 2           | 1             | -                   | 2      | 1,29  | 0,26    |
| 8  | 5         | Simplicidade                      | 1,7          |           |                 |                   |             |               |                     |        | 1,70  | 0,34    |
| 9  | 4         | Coordenação de ritmos             | 1            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 1,00  | 0,25    |
| 10 | 5         | Flexibilidade                     | 1            | 2         | 1               | 1                 | 1           | 1             | 4                   | 1      | 1,50  | 0,30    |
| 11 | 4         | Evolução da Geometria linear      | 3            | -         | 1               | 1                 | 1           | 2             | -                   | 1      | 1,50  | 0,38    |
| 12 | 4         | Evolução da Geometria Volumétrica | 3            | 1         | 2               | 2                 | 4           | 4             | -                   | 2      | 2,57  | 0,64    |
| 13 | 3         | Aumento da assimetria             | 2            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 3             | -                   | 1      | 1,43  | 0,48    |
| 14 | 4         | Variabilidade                     | 2            | -         | -               | -                 | 2           | 1             | 4                   | 4      | 2,60  | 0,65    |
| 15 | 6         | Controlabilidade                  | 1            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 1             | 2                   | 4      | 1,50  | 0,25    |
| 16 | 5         | Aumento da interação humana       | 2            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 2,00  | 0,40    |
| 17 | 7         | Automação                         | 5            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 5,00  | 0,71    |
| 18 | 10        | Desempenho                        | 8            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 8,00  | 0,80    |
| 19 | 10        | Multifuncionalidade               | 2            |           |                 |                   |             |               |                     |        | 2     | 0,2     |

Tabela 13 -Classificação do nível de evolução do FRICTORQ IV

| Nº | Nível Max | Tendência                         | FRICTORQ IV  |           |                 |                   |             |                |                     |        |       |         |
|----|-----------|-----------------------------------|--------------|-----------|-----------------|-------------------|-------------|----------------|---------------------|--------|-------|---------|
|    |           |                                   | Corpo Padrão | Estrutura | Anel de pressão | Anel de centragem | Base Cônica | Motor/ redutor | Sistema de controlo | Sensor | Média | Relação |
|    |           |                                   | Nível        |           |                 |                   |             |                |                     |        |       |         |
| 1  | 7         | Redução da densidade              | 1,5          | 1,5       | 1,5             | 1,5               | 1,5         | 1              | -                   | 1,5    | 1,43  | 0,20    |
| 2  | 4         | Redução do Amortecimento          | 2            |           |                 |                   |             |                |                     |        | 2,00  | 0,50    |
| 3  | 10        | Conversões de energia             | 4            |           |                 |                   |             |                |                     |        | 4,00  | 0,40    |
| 4  | 9         | Redução dimensões                 | 5            |           |                 |                   |             |                |                     |        | 5,00  | 0,56    |
| 5  | 8         | Segmentação de sistemas           | 2            | 2         | 1               | 1                 | 2           | 1              | -                   | 2      | 1,57  | 0,20    |
| 6  | 4         | Segmentação de superfícies        | 3            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 2              | -                   | 2      | 1,57  | 0,39    |
| 7  | 5         | Segmentação Espaço                | 1            | 1         | 1               | 1                 | 2           | 1              | -                   | 2      | 1,29  | 0,26    |
| 8  | 5         | Simplicidade                      | 1,9          |           |                 |                   |             |                |                     |        | 1,90  | 0,38    |
| 9  | 4         | Coordenação de ritmos             | 1            |           |                 |                   |             |                |                     |        | 1,00  | 0,25    |
| 10 | 5         | Flexibilidade                     | 1            | 2         | 1               | 1                 | 1           | 1              | 4                   | 1      | 1,50  | 0,30    |
| 11 | 4         | Evolução da Geometria linear      | 3            | -         | 1               | 1                 | 1           | 2              | -                   | 1      | 1,50  | 0,38    |
| 12 | 4         | Evolução da Geometria Volumétrica | 3            | 1         | 2               | 2                 | 4           | 4              | -                   | 2      | 2,57  | 0,64    |
| 13 | 3         | Aumento da assimetria             | 2            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 3              | -                   | 3      | 1,71  | 0,57    |
| 14 | 4         | Variabilidade                     | 2            | -         | -               | -                 | 3           | 1              | 4                   | 4      | 2,80  | 0,7     |
| 15 | 6         | Controlabilidade                  | 1            | 1         | 1               | 1                 | 1           | 1              | 2                   | 4      | 1,50  | 0,25    |
| 16 | 5         | Aumento da interação humana       | 2            |           |                 |                   |             |                |                     |        | 2,00  | 0,40    |
| 17 | 7         | Automação                         | 5            |           |                 |                   |             |                |                     |        | 5,00  | 0,71    |
| 18 | 10        | Desempenho                        | 8            |           |                 |                   |             |                |                     |        | 8,00  | 0,80    |
| 19 | 10        | Multifuncionalidade               | 3            |           |                 |                   |             |                |                     |        | 3     | 0,3     |

**Tabela 14 - Classificação do nível de evolução do potencial FRICTORQ V**

| Nº | Nível Max | Tendência                         | FRICTORQ V   |           |                 |             |       |                     |       |         |
|----|-----------|-----------------------------------|--------------|-----------|-----------------|-------------|-------|---------------------|-------|---------|
|    |           |                                   | Corpo Padrão | Estrutura | Anel de pressão | Base Cónica | Motor | Sistema de controlo | Média | Relação |
|    |           |                                   | Nível        |           |                 |             |       |                     |       |         |
| 1  | 7         | Redução da densidade              | 1,5          | 3         | 1,5             | 3           | 1     | -                   | 2,00  | 0,29    |
| 2  | 4         | Redução do Amortecimento          | 2            |           |                 |             |       |                     | 2,00  | 0,50    |
| 3  | 10        | Conversões de energia             | 5            |           |                 |             |       |                     | 5,00  | 0,50    |
| 4  | 9         | Redução dimensões                 | 6            |           |                 |             |       |                     | 6,00  | 0,67    |
| 5  | 8         | Segmentação de sistemas           | 2            | 2         | 1               | 2           | 1     | -                   | 1,60  | 0,20    |
| 6  | 4         | Segmentação de superfícies        | 3            | 1         | 1               | 1           | 2     | -                   | 1,60  | 0,40    |
| 7  | 5         | Segmentação Espaço                | 1            | 1         | 1               | 2           | 1     | -                   | 1,20  | 0,24    |
| 8  | 5         | Simplicidade                      | 3            |           |                 |             |       |                     | 3,00  | 0,60    |
| 9  | 4         | Coordenação de ritmos             | 1            |           |                 |             |       |                     | 1,00  | 0,25    |
| 10 | 5         | Flexibilidade                     | 1            | 2         | 1               | 1           | 1     | 4                   | 1,67  | 0,33    |
| 11 | 4         | Evolução da Geometria linear      | 3            | -         | 1               | 1           | 2     | -                   | 1,75  | 0,44    |
| 12 | 4         | Evolução da Geometria Volumétrica | 3            | 1         | 2               | 4           | 4     | -                   | 2,80  | 0,70    |
| 13 | 3         | Aumento da assimetria             | 2            | 1         | 1               | 1           | 3     | -                   | 1,60  | 0,53    |
| 14 | 4         | Variabilidade                     | 3            | -         | -               | 3           | 4     | 4                   | 3,50  | 0,88    |
| 15 | 6         | Controlabilidade                  | 2            | 1         | 1               | 1           | 5     | 5                   | 2,50  | 0,42    |
| 16 | 5         | Aumento da interação humana       | 2            |           |                 |             |       |                     | 2,00  | 0,40    |
| 17 | 7         | Automação                         | 5            |           |                 |             |       |                     | 5,00  | 0,71    |
| 18 | 10        | Desempenho                        | 8            |           |                 |             |       |                     | 8,00  | 0,80    |