

As Ferramentas da TRIZ para a Ideação

“Inspiração... é o que transforma noites em claro em dias de sol.” Autor desconhecido

Este capítulo complementa o anterior, com a descrição das ferramentas da TRIZ. Nele, são apresentadas as Tendências da Evolução (TEs), o Método dos Princípios Inventivos (MPI), as Heurísticas para a Transformação de Sistemas e as 121 Heurísticas (121H), o Método da Separação (MS), os Efeitos Científicos, o Método das Pequenas Pessoas Espertas (PPE), o Método das Partículas ou Método dos Agentes (MP/MA), a Análise Substância-Campo (Análise Su-Campo), o Algoritmo para a Solução de Problemas Inventivos (ARIZ)¹², a Hibridização, o Método SIT e o Software de TRIZ.

5.1 TENDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO (TES)

As Tendências da Evolução, ou TEs, são heurísticas que têm a finalidade de estimular a criação de novos sistemas técnicos a partir daqueles atualmente existentes. A pesquisa realizada para o desenvolvimento da IDEATRIZ incluiu a identificação de todas as TEs existentes, bem como a avaliação de sua utilidade para a finalidade de ideação de novos produtos.

¹² Aqui, aparece a mesma questão de tradução discutida anteriormente para o termo TRIZ. A tradução mais fiel ao original russo seria Algoritmo para a Resolução de Problemas Inventivos, mas, a tradução Algoritmo para a Solução de Problemas Inventivos não chega a ser incorreta, quando considerada conceitualmente e é a adotada.

5.1.1 Origem das TEs

Altshuller (1979) hipotetizou que existe uma evolução dos sistemas técnicos. Como visto no Capítulo 4, Engels, com as leis da dialética, bem como outros filósofos mais antigos, indicava a existência de tal evolução.

Na tecnologia, evolução é um estudo relativamente recente, diferentemente do que ocorre na biologia. Entretanto, não se pode esperar um paralelo direto entre evolução tecnológica e evolução das espécies. Sistemas técnicos inexistem independentemente da humanidade, ao contrário dos seres vivos.

A evolução tecnológica está associada ao que se pode referir como “famílias” de artefatos, ou seja, artefatos que executam a mesma função principal e que têm sub-funções e configurações similares¹³.

Para Altshuller (1979), a evolução dos sistemas técnicos ocorre de acordo com a Curva S e as Leis da Evolução dos Sistemas Técnicos. A Ilustração 5.1 apresenta a Curva S (A), o número de invenções (B), o nível inventivo (C) e a lucratividade das invenções (D) ao longo do tempo, para um mesmo sistema.

As curvas B e C mostram, segundo Altshuller, que o máximo nível inventivo e o menor número de invenções acontecem na criação do sistema, com uma ou poucas invenções dos níveis 4 ou 5. Em seguida, o número de invenções cresce, com as tentativas de viabilizar tecnicamente o novo sistema. Neste momento, há um pico na curva C, devido a invenções de nível 3. Depois disto, a quantidade de invenções cresce e o nível inventivo cai. São grandes quantidades de invenções de nível 2 ou 1, que trazem pequenas melhorias ao sistema.

A última curva representa o ganho financeiro com as invenções. No início, há perdas, porque a sociedade ainda não percebe valor no novo sistema e, portanto, não está disposta a pagar por ele. O aumento é gradativo, atingindo o pico quando da maturidade do sistema.

¹³ Em sua Teoria dos Sistemas Técnicos, Hubka & Eder (1984) propõem uma classificação dos sistemas técnicos, a qual poderia ser utilizada para estabelecer com maior exatidão o que é uma família de artefatos.

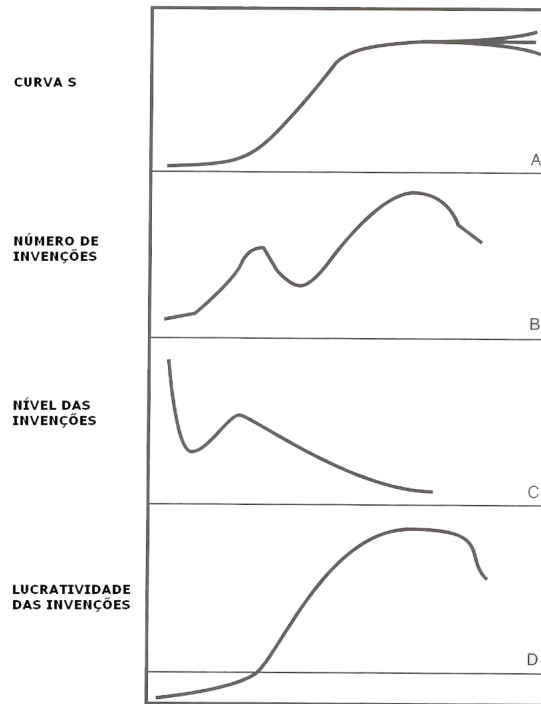


Ilustração 5.1 – Correlações da Curva S (adaptado de Altshuller, 1979)

De acordo com Altshuller (1979), uma vez determinada a posição atual de um sistema na Curva S, há três possíveis implicações:

- se o sistema está na infância, há a oportunidade de tentar viabilizá-lo, por meio do incentivo a invenções de nível 2 e 3. Por outro lado, o caminho para o estágio seguinte da Curva S, de rápido crescimento, comumente, é bloqueado pelo sistema atualmente dominante;
- se o sistema está no estágio de crescimento rápido, é preciso determinar o limite físico com base em fatores objetivos, de modo a decidir se há espaço para desenvolvimentos no sistema atual ou se seria melhor investir num novo sistema, com maior limite físico; e
- se o sistema está maduro ou em declínio, a melhor decisão é investir num novo sistema, com maior limite físico.

A Curva S pode ser utilizada, portanto, como um padrão auxiliar na análise evolutiva de sistemas técnicos. O poder deste modelo de apoiar previsões é, entretanto, limitado e, como se pode verificar por meio da Ilustração 5.2, a plotagem de dados reais pode não ser facilmente correlacionável com as curvas propostas por Altshuller (1979).

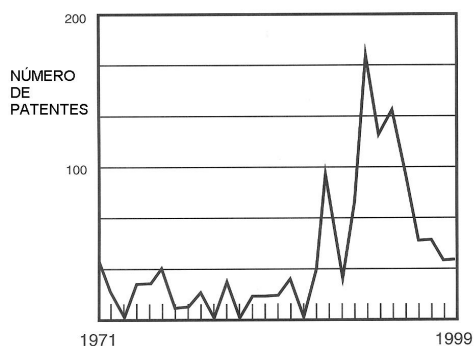


Ilustração 5.2 – Número de patentes ao longo do tempo para filtros usados em cafeteiras (adaptado de Clausing & Fey, 2004)

Para Altshuller (1979), as leis da evolução dos sistemas técnicos permitem aumentar a previsibilidade do processo de evolução da tecnologia. As leis são sintetizadas no Quadro 5.1.

Ao propor as Leis da Evolução dos Sistemas Técnicos, Altshuller acreditou estar contribuindo de duas formas para a evolução da tecnologia. De um lado, as leis permitiriam a criação de novos sistemas técnicos, por dedução, a partir de sistemas técnicos existentes; de outro, as leis também seriam um critério de decisão sobre qual a solução mais adequada para um problema, ou seja, qual a solução que modifica o sistema em acordo com as leis e não em oposição às mesmas e, portanto, tem maiores chances de “sobreviver”.

Quadro 5.1 – Leis da evolução

	Lei	Exemplo
Leis da gênese dos sistemas técnicos (“estática”)	A1) Completeza das partes do sistema	Para existir, um sistema técnico deve ter um motor, uma transmissão, um sistema de operação e um sistema de controle. Para que um sistema técnico seja controlável, pelo menos uma de suas partes precisa ser controlável.
	A2) Condutividade de energia	Todo sistema técnico é um transformador de energia. Para que funcione, é preciso que, pelo menos, um dos subsistemas seja capaz de conduzir energia. Para que uma parte do sistema técnico seja controlável, é preciso que haja fluxo de energia entre esta parte e o subsistema de controle.
	A3) Harmonização dos ritmos	Subsistemas dos sistemas técnicos devem ter ritmos de operação compatíveis.
Leis do desenvolvimento (“cinemática”)	A4) Aumento da idealidade	O desenvolvimento dos sistemas técnicos ocorre no sentido do aumento de seu grau de idealidade. O peso, volume e área dos sistemas técnicos tendem a zero, mas, a capacidade de realizar a função não é reduzida.
	A5) Desigualdade da evolução dos subsistemas	O desenvolvimento dos subsistemas de um sistema técnico é desigual. Quanto mais complexo um sistema, mais desigual é o desenvolvimento de suas partes.
	A6) Transição para o supersistema	Quando o desenvolvimento de um sistema técnico isolado chega ao limite, ele é integrado num supersistema, como uma de suas partes.
Tendência de desenvolvimento dos sistemas técnicos (“dinâmica”)	A7) Transição do macro para o micronível	O desenvolvimento dos subsistemas de operação ocorre, primeiro, no macronível e, depois, no micronível.
	A8) Aumento do envolvimento de su-campos	O desenvolvimento dos sistemas técnicos ocorre no sentido do aumento da participação de su-campos.

Como exemplo da aplicação das TEs, pode-se considerar o sistema lápis. Considerando-se a TE A1, verifica-se que o lápis corresponde ao sistema de operação. Uma evolução do lápis, mais completa, poderia conter motor, transmissão e controle, elementos cujas funções, nesse sistema simples, são realizadas pelos usuários. A aplicação da TE A8 indica que há vantagem (aumento da controlabilidade e precisão da execução da função) em criar novos su-campos e submeter o lápis à ação dos mesmos. A aplicação de uma das leis ou a combinação das duas poderia ter conduzido à concepção do plotter. A finalidade das TEs, como exemplificado, é conduzir o pensamento para a consideração de possíveis direções evolutivas para o sistema sob análise.

Uma lei pode ser definida como uma generalização que descreve fatos ou eventos recorrentes na natureza e na sociedade. Além de Altshuller (1979), muitos especialistas em TRIZ, como, por exemplo, Salamatov (1991) e Petrov (2002), acreditam que existem leis objetivas, as quais descrevem o desenvolvimento dos sistemas técnicos.

Entretanto, uma vez que as leis da evolução dos sistemas técnicos foram obtidas por indução ou abdução e não a partir de lógica formal, este autor prefere concordar com Polovinkin (1985) e Savransky (2000) e considerar que as mesmas, na realidade, não são leis, mas, heurísticas, assim como os princípios inventivos, os padrões inventivos e os princípios de separação. Evidências para justificar este raciocínio foram encontradas por Da Rocha *et al.* (2004) e De Carvalho *et al.* (2006), em trabalhos que envolveram a pesquisa patentária de exemplos e contra-exemplos para as TEs. Nestas pesquisas, foram encontrados contra-exemplos para algumas das leis da evolução dos sistemas técnicos, o que permite concluir que elas não são sempre válidas e, portanto, são classificadas mais adequadamente como tendências do que como leis.

O próprio Altshuller parece ter desistido, depois de algum tempo, do termo lei, porque, em 1989, com outros autores, publicou 8 “padrões evolutivos” (ALTSHULLER *et al.*, 1989), que são: Curva S; Aumento da idealidade; Desenvolvimento desigual das partes de um sistema; Aumento do dinamismo e da controlabilidade; Aumento da complexidade seguida por simplificação; Coordenação e descoordenação dos elementos de um sistema; Transição para o micronível e aumento do uso de campos e Redução do grau de envolvimento humano.

Há algumas similaridades entre os padrões evolutivos e as leis (ALTSHULLER, 1979), mas, destacam-se mais as diferenças:

- eliminação das TEs Completeza das partes do sistema, Condutividade de energia, Desigualdade da evolução dos subsistemas e Transição para o supersistema;
- inclusão das TEs Curva S, Aumento do dinamismo e da controlabilidade, Aumento da complexidade seguida por simplificação e Redução do grau de envolvimento humano.

Aumento do dinamismo e da controlabilidade e Redução do grau de envolvimento humano são TEs de fácil compreensão. Aumento da complexidade seguida por simplificação é uma tendência observada, por exemplo, no videocassete¹⁴. Os primeiros modelos eram aparelhos relativamente simples, aos quais foi sendo agregada, no decorrer do tempo, uma grande quantidade de funções (controles de imagem, programação, entre outros). Nos mo-

¹⁴ Nota-se que esta TE tem grande similaridade com o conceito da tecnologia interruptiva voltada para o baixo mercado.

delos mais recentes, observa-se simplificação e concentração nas funções principais, que são as de reproduzir e gravar.

5.1.2 Outras Propostas Relativas às TEs

Após as leis da evolução dos sistemas técnicos de Altshuller (1979), complementadas pelos padrões evolutivos de Altshuller *et al.* (1989), vários outros autores ocuparam-se das TEs. A seguir, são sintetizadas e discutidas as ideias de Polovinkin (1985), Salamatov (1991), Linde & Hill (1993), Invention Machine (1995), Savransky (2000), Petrov (2002), Mann (2002) e Zakharov (2004).

Polovinkin (1985) descreveu 8 “transformações em acordo com as tendências evolutivas” como sendo a última classe de suas “heurísticas para transformações em sistemas” (item 5.3). As novidades propostas por Polovinkin são:

- a admissão de uma TE bidirecional: Coordenação ou descoordenação da ação da substância portadora de função com a frequência natural da substância objeto da função;
- a inclusão de uma TE com etapas: Mudar a estrutura da substância portadora de função de rígida para elástica e dinâmica, de acordo com a tendência geral de sólido (com rigidez gradativamente menor) para líquido (com viscosidade gradativamente menor) para gás e para campo.

Salamatov (1991), em acordo com a ideia estabelecida por Polovinkin, de definir não somente uma tendência geral, mas, etapas segundo as quais ocorre a evolução dos sistemas técnicos, esquematizou o processo de expansão e convolução na evolução dos sistemas técnicos, como mostrado na Ilustração 5.3. Salamatov vai um pouco além da simples proposição de etapas e procura mapear possíveis caminhos por meio dos quais pode ocorrer a evolução de um sistema técnico.

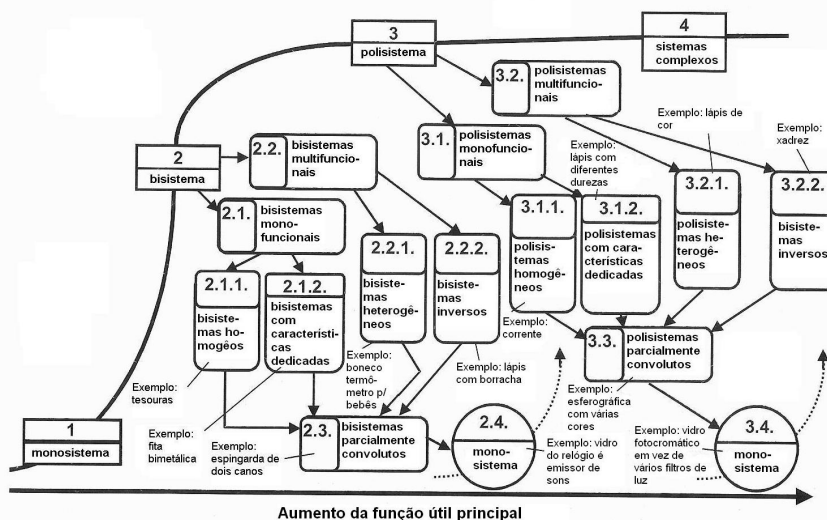


Ilustração 5.3 – Esquema da evolução dos sistemas técnicos (adaptado de Salamatov, 1991)

Para Salamatov, a evolução dos sistemas técnicos ocorre, num sentido, na direção do aumento da complexidade (mono-bi-poli, ou seja, de mono-sistema a poli-sistema) e, no sentido oposto, na direção da simplificação ou convolução (de bi-sistema ou poli-sistema para monossistema). A duplicação do sistema original (casco de embarcação) inicial resulta num bi-sistema (catamarã), ou, com mais de dois sistemas envolvidos, num poli-sistema (trimarã). A integração é observada não somente em sistemas idênticos ou homogêneos, mas, também, entre sistemas com características dedicadas ou especializadas, sistemas heterogêneos e sistemas inversos. Em todos estes casos, a integração de sistemas passa pelos mesmos estágios.

Salamatov considera que a transição mono-bi-poli pode ocorrer em qualquer estágio de evolução e em qualquer nível da hierarquia de um sistema técnico (sistema, subsistema e super-sistema).

A formação de bi-sistemas e poli-sistemas envolve modificações qualitativas de três parâmetros: propriedades, conexões e meios internos. Esta transição deve levar a mudanças qualitativas, também denominadas super-propriedades, que não eram observáveis antes da integração dos subsistemas. Por exemplo, o mono-sistema faca tem certas propriedades. O bi-sistema tesoura apresenta uma nova propriedade, não existente em duas facas. Ao cortar um pedaço de papel, por exemplo, a tesoura dispensa uma superfície de apoio.

Linde & Hill (1993) propõem, dentro da estrutura da WOIS (*WiderspruchsOrientierte InnovationsStrategie* / Estratégia da Inovação Orientada para Contradições), TEs muito similares à primeira proposta de Altshuller (1979), sendo a única aparente diferença a introdução da TE Infinitude da evolução tecnológica. Esta “TE”, entretanto, é, na verdade, uma premissa da TRIZ, implícita na Lei da Negação da Negação. Mesmo o mais evoluído sistema técnico contém problemas e contradições, as quais podem ser resolvidas, levando a novos e melhores sistemas técnicos, num processo que não tem fim.

A versão de 1995 do programa de computador Invention Machine (INVENTION MACHINE, 1995) inclui as TEs apresentadas no Quadro 5.2.

Observa-se, aqui, como nas propostas de Polovinkin (1985) e de Salamatov (1991), o estabelecimento de etapas segundo as quais ocorre a evolução. O programa detalha e representa graficamente estas etapas, como mostrado para a tendência Dinamização, na Ilustração 5.4.

Quadro 5.2 – TEs do programa Invention Machine

TEs	Etapas
Segmentação de ferramentas	Sólido – pó – líquido – gás – campo
Segmentação de objetos	Sólido – pó – líquido – gás – campo
Segmentação de substâncias	Monolito – conjunto de placas ou cerdas (escova) – a granel – pasta ou gel – líquido ou espuma – gás ou aerossol – plasma – vácuo – campo
Introdução de vazios	Sistema monolítico – sistema com um vazio – sistema com vários vazios – sistema poroso – sistema com poros dinamizados
Dinamização	Sistema imóvel – sistema com uma junta – sistema com múltiplas juntas – sistema completamente elástico – sistema com líquido ou gás – sistema com campo
Dinamização de objetos	Sistema imóvel – sistema com uma junta – sistema elástico – sistema com líquido – sistema com campo
Aumento da intensidade de campos, forças e interações	Valor constante – tendência única – oscilação – pulsação – ressonância – onda estacionária – onda viajante
Mono-bi-poli	Monosistema – Bi ou polisistema monofuncional – Sistema monofuncional com características dedicadas – Sistema polifuncional – Sistema polifuncional com características opostas
Interação entre objetos	Interação – Coordenação pela introdução de substância externa – Coordenação pela introdução de recurso – Coordenação no tempo ou no espaço – Interação eliminada
Introdução de intermediários	Interação entre dois objetos – Aditivo dentro do objeto – Aditivo entre objetos – Aditivo sobre o objeto – Aditivo nas cercanias
Coordenação dos ritmos	Sem vibrações – Com vibrações – Com ressonância – Coordenação das vibrações – Uso de ondas estacionárias e viajantes
Arranjo de forma e movimento de objetos	Ponto – linha – plano – espaço tridimensional
Transformações de campos, forças e interações	Geração – conversão – mudança de estrutura – acumulação
Substâncias inteligentes	Aumento do uso de substâncias inteligentes

As TEs do Invention Machine (1995) incluem algumas novidades: Segmentação, Introdução de vazios, Introdução de aditivos, Arranjo de forma e movimento de objetos e Substâncias inteligentes. Elas não são exatamente novidades na TRIZ, porque são derivados dos princípios inventivos e dos padrões inventivos, mas, como tendências, aqui é a primeira vez que são propostas.

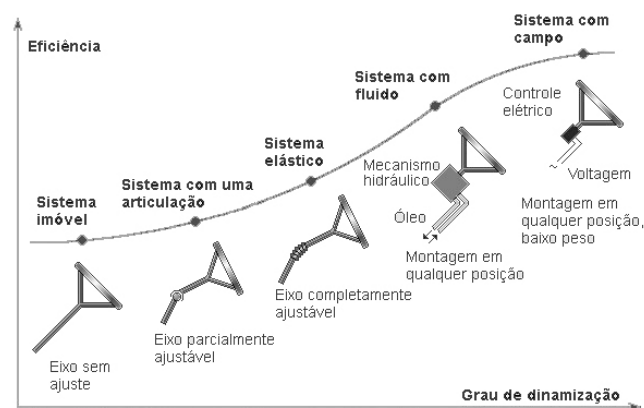


Ilustração 5.4 – TE Dinamização

Nota-se, ainda, a divisão de tendências em tipos similares, como no caso da Segmentação (de ferramentas, objetos e substâncias) e Dinamização (Dinamização e Dinamização de objetos).

Também percebe-se, em alguns casos, o aparecimento de novos nomes para tendências já identificadas anteriormente. Coordenação dos ritmos é uma tendência identificada por todos os autores anteriormente citados. No caso de Altshuller, 1979, a tendência correspondente é Harmonização dos ritmos. O mesmo acontece para Dinamização e Aumento da intensidade de campos, forças e interações, associada à tendência Aumento do envolvimento de su-campos, de Altshuller (1979).

Savransky (2000) não propõe grandes novidades em relação às TEs anteriormente descritas. A única diferença é a criação da tendência bidirecional Transição para o super-sistema e para o micro-nível.

Petrov (2002) criou um sistema hierárquico detalhado, o qual procede de leis mais gerais para leis mais específicas. Para ele, existem leis da evolução das necessidades e das funções e leis da organização dos sistemas. A contribuição de Petrov (2002) não se dá na proposição de novas leis, mas, na tentativa de organizar e hierarquizar as leis da evolução numa estrutura coerente. Ele alcança este objetivo com seu sistema, mas, na experiência deste autor, torna a aplicação das TEs mais complexa do que as demais alternativas abordadas neste segmento do trabalho, sem que novos benefícios sejam obtidos.

Mann (2002) propôs 31 TEs, sintetizadas no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – As 31 TEs de Mann

TE	Etapas
Materiais inteligentes	1) Material passivo – 2) Material adaptável de uma forma – 3) Material adaptável de duas formas – 4) Material totalmente adaptável
Segmentação do espaço	1) Monolítico sólido – 2) Estrutura oca – 3) Estrutura com múltiplas cavidades – 4) Estrutura porosa / capilar – 5) Estrutura porosa com elementos ativos
Segmentação da superfície	1) Superfícies lisas – 2) Superfícies nervuradas – 3) Superfícies ásperas em 3 dimensões – 4) Superfícies ásperas com poros ativos
Segmentação do objeto	1) Sólido monolítico – 2) Sólido segmentado – 3) Sólido particulado – 4) Fluido – 5) Fluido segmentado – 6) Gás – 7) Plasma – 8) Campo – 9) Vácuo
Evolução macro-nano	Contínuo, cada vez menor (1...10)
Redes e fibras	1) Estrutura de folha homogênea – 2) Estrutura bidimensional de malha regular – 3) Fibra tridimensional disposta de acordo com as condições de carregamento – 4) Adição de elementos ativos
Decréscimo da densidade	Contínuo, cada vez menor (1...10)
Aumento da assimetria	1) Sistema simétrico – 2) Assimetria parcial – 3) Assimetria casada
Quebra de fronteiras	1) Muitas divisas – 2) Poucas divisas – 3) Nenhuma divisa
Evolução geométrica linear	1) Ponto – 2) Linha – 3) Plano – 4) Superfície tridimensional
Evolução geométrica volumétrica	1) Estrutura planar – 2) Estrutura bidimensional – 3) Estrutura axisimétrica – 4) Estrutura completamente tridimensional
Dinamização	1) Sistema imóvel – 2) Sistema com juntas – 3) Sistema totalmente flexível – 4) Sistema fluido ou pneumático – 5) Sistema baseado em campos

Quadro 5.3 – As 31 TEs de Mann – continuação

TE	Etapas
Coordenação das ações	1) Ação não coordenada – 2) Ação parcialmente coordenada – 3) Ação totalmente coordenada – 4) Diferentes ações durante os intervalos
Coordenação dos ritmos	1) Ação contínua – 2) Ação periódica – 3) Ressonância – 4) Onda viajante
Casamento com não-linearidades externas	1) Consideração linear do sistema – 2) Consideração parcial das não-linearidades – 3) Acomodação plena das não-linearidades
Mono-bi-poli (similar)	1) Monosistema – 2) Bisistema – 3) Trisistema – 4) Polisistema
Mono-bi-poli (diversos)	1) Monosistema – 2) Bisistema – 3) Trisistema – 4) Polisistema
Mono-bi-poli (aumento das diferenças)	1) Componentes similares – 2) Componentes com características dedicadas – 3) Componente e componente negativo – 4) Componentes diferentes
Atenuação reduzida	1) Atenuação pesada – 2) Atenuação crítica – 3) Atenuação leve – 4) Sem atenuação
Aumento do uso dos sentidos	1) 1 sentido – 2) 2 sentidos – 3) 3 sentidos – 4) 4 sentidos – 5) 5 sentidos
Aumento do uso da cor	1) Uma cor – 2) Duas cores – 3) Espectro visível – 4) Todo o espectro
Aumento da transparência	1) Opaco – 2) Parcialmente transparente – 3) Totalmente transparente – 4) Elementos transparentes ativos
Foco de compra dos clientes	1) Desempenho – 2) Confiabilidade – 3) Conveniência – 4) Preço
Evolução mercadológica	1) Commodity – 2) Produto – 3) Serviço – 4) Experiência – 5) Transformação
Ponto de projeto	Projeto otimizado: 1) Para um ponto de operação – 2) Para dois pontos de operação – 3) Para diversos pontos de operação – 4) Continuamente
Graus de liberdade	1) 1 Grau de liberdade (GL) – 2) 2 GL – 3) 3 GL – 4) 4 GL – 5) 5 GL – 6) 6 GL
Aparamento	1) Sistema complexo – 2) Eliminação de componentes não-chave – 3) Eliminação de subsistemas não-chave – 4) Sistema aparado
Controlabilidade	1) Controle direto – 2) Controle por meio de intermediário – 3) Retroalimentação – 4) Retroalimentação inteligente
Redução do envolvimento humano	1) Humano – 2) Humano e ferramenta – 3) Humano e ferramenta energizada – 4) Humano e ferramenta semi-automática – 5) Humano e ferramenta automática – 6) Ferramenta automática
Metodologia de projeto	1) Tentativa e erro – 2) Projeto para estado estável – 3) Efeitos transientes incluídos – 4) Efeitos de degradação lenta incluídos – 5) Efeitos casados – 6) Projeto para a Lei de Murphy
Redução do número de conversões de energia	1) N conversões – 2) 3 Conversões – 3) 2 Conversões – 4) 1 Conversão – 5) Nenhuma conversão

O sistema de Mann expande a adoção de TEs derivadas de outras heurísticas da TRIZ, como os princípios inventivos e os padrões inventivos e a segmentação das TEs em etapas, buscando, desta forma, possibilitar diagnósticos evolutivos e avaliações do potencial evolutivo de um sistema, além da ideação, que é o principal benefício do uso das TEs.

No próximo item, são abordadas as metodologias propostas por Linde & Hill (1993), Zlotin & Zusman (2001), Mann (2002), Clausing & Fey (2004) e Zakharov (2004), para a ideação com uso das TEs.

5.1.3 Ideação com Uso das TEs

A *WOIS* – *WiderspruchsOrientierte InnovationsStrategie* ou Estratégia de Inovação Orientada à Contradição – é uma tentativa de unificação da TRIZ com conceitos da escola alemã de metodologia de projeto. Foi criada por Linde & Hill (1993).

O modelo da *WOIS* é apresentado na Ilustração 5.5. No lado esquerdo da figura, a cada etapa aumenta o grau de abstração na formulação do problema e, no lado direito, a cada etapa aumenta o grau de concretização da solução. Na *WOIS*, conceitos e ferramentas de planejamento de produto (mercado, resultado da empresa, necessidades dos clientes), de metodologia de projeto (função global, funções parciais, princípios de funcionamento) e da TRIZ (contradições, leis da evolução dos sistemas técnicos) são utilizados.

A partir da necessidade empresarial de melhoria dos resultados, é feita uma análise do mercado e das necessidades dos clientes. A partir desta análise, busca-se soluções disponíveis. Se existirem soluções, elas podem ser compradas, levando de forma direta a um efeito econômico e à consequente melhoria nos resultados da empresa. Se não houver soluções desenvolvidas ou disponíveis para compra, passa-se para a próxima etapa de abstração.

Uma vez tomada a decisão pela continuidade do desenvolvimento, a função global do sistema é definida e busca-se soluções prontas para realizá-la. Esta busca pode ser feita, por exemplo, na literatura especializada e em bancos de patentes.

Se a solução não puder ser obtida, existe uma contradição econômico-tecnológica, ou seja, o bem econômico necessário não pode ser obtido, porque a tecnologia disponível não permite. Procura-se, então, solucionar esta contradição por meio de analogias. Busca-se soluções para contradições surgidas em outras situações conhecidas para delas retirar uma solução adequada ao problema em estudo.

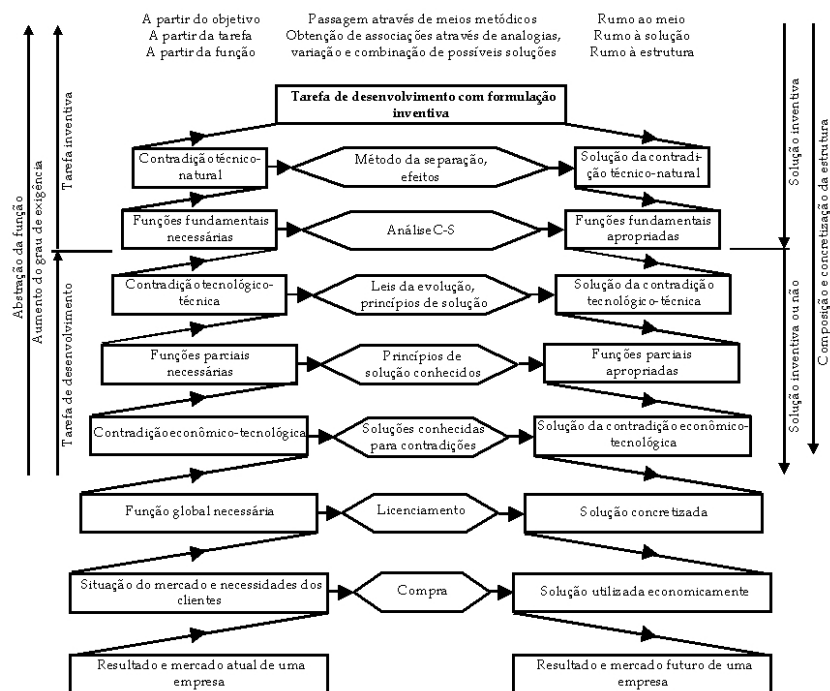


Ilustração 5.5 – Modelo WOIS

Caso nenhuma solução satisfatória para a contradição econômico-tecnológica seja encontrada, deve-se definir o STI1 (Sistema Técnico Ideal 1) - a passagem para a próxima etapa de abstração. Nesta etapa, obtém-se a estrutura funcional de um sistema conhecido e que possa realizar a função global desejada. Perfaz-se uma análise das funções parciais da estrutura funcional e de seus respectivos princípios de funcionamento. A seguir, identifica-se a função parcial que impede a realização da função global desejada e procura-se princípios de funcionamento que possam executar a função adequadamente.

Se um princípio de funcionamento coerente for encontrado, um novo sistema técnico é desenvolvido a partir da nova estrutura funcional. Se isso não for possível, existe uma contradição tecnológico-técnica, ou seja, a função global desejada não é tecnicamente viável, porque não há sistemas técnicos disponíveis para tal.

Linde & Hill (1993) sugerem que se procure remover a contradição tecnológico-técnica por meio do uso de regras, regularidades da evolução dos sistemas técnicos e princípios inventivos.

Caso a solução para a contradição tecnológico-técnica ainda não tenha sido encontrada, deve-se passar para a próxima etapa de abstração, com a formulação do STI2. A partir da função fundamental para a qual não se encontrou solução, formula-se um modelo su-campo da situação problemática. Por meio da utilização das soluções padrão para modelos su-campo, procura-se uma solução para o problema.

Se uma solução adequada ainda não for encontrada, existe uma contradição técnico-natural (ou contradição física), já que leis naturais inviabilizam uma solução adequada para o problema. Formula-se, então, o STI3. Esta é a etapa de máxima abstração, a de formulação inventiva da tarefa de desenvolvimento. Os meios propostos para solucionar esta contradição são os métodos da separação e o uso dos efeitos físicos, químicos, geométricos e biológicos. Se uma solução adequada for encontrada, ela deverá ser desenvolvida até se obter um produto no mercado.

Linde & Hill (1993) argumentam que, para nem todos os desenvolvimentos, faz-se necessária a abstração até à contradição tecnológico-natural. De acordo com as prioridades da empresa e, principalmente, para garantir a liquidez, pode-se optar pelo contínuo desenvolvimento de pequenas inovações. As inovações de escopo limitado podem ser obtidas em níveis de abstração mais baixos, nas etapas iniciais do modelo.

A WOIS é uma metodologia útil e tem casos de sucesso reportados (LINDE & HILL, 1993). Por outro lado, é complexa, contendo muitos elementos, e, para sua aplicação, é necessário conhecer praticamente todas as técnicas da TRIZ.

O processo de ideação de Zlotin & Zusman (2001), denominado Evolução Dirigida (ED), é apresentado na Ilustração 5.6.

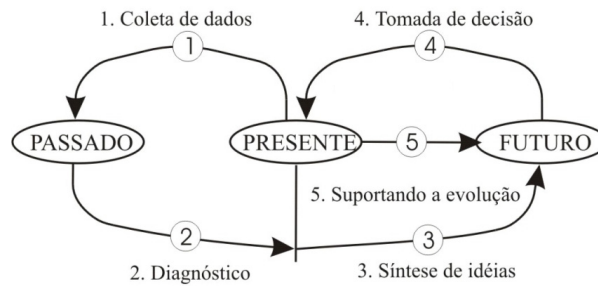


Ilustração 5.6 – Esquema geral da ED (adaptado de Zlotin & Zusman, 2001)

O Estágio 1 da ED corresponde à coleta de dados históricos. Neste estágio, procura-se entender o funcionamento do sistema em estudo, seus componentes e o ambiente no qual o mesmo opera. Estuda-se a evolução histórica do sistema, desde seu surgimento, e busca-se revelar os pontos positivos e problemas. As ferramentas utilizadas são um questionário, um procedimento de análise de falhas e um esquema para a formulação de problemas do tipo função-ligação-função, como o descrito no item 4.6 .

O segundo estágio, de diagnóstico, procura revelar em que ponto do processo evolutivo o sistema se encontra e quais as prováveis direções que ele tomará no futuro, com uso das TEs. As ferramentas deste estágio são uma análise de recursos evolutivos, análise da Curva S e as TEs de Altshuller et al. (1989).

A síntese de ideias tem como objetivo gerar ideias que permitam levar o sistema ao próximo estágio evolutivo. As ferramentas recomendadas para este estágio são o processo de solução de problemas da Ideation e o *brainstorming* da Ideation.

O estágio 4, de tomada de decisão, visa à preparação de todas as informações necessárias para a tomada de decisão, considerando as direções da evolução identificadas para o sistema. As ideias geradas são agrupadas em conceitos bem definidos. Separam-se os conceitos a serem aproveitados a curto, médio e longo prazo. As ferramentas utilizadas são o processo de solução de problemas da Ideation, o *brainstorming* da Ideation, as TEs, a predição de falhas da ED e a análise dos recursos evolutivos.

O último estágio, de apoio ou suporte ao processo de evolução, envolve o gerenciamento de projetos que permitam alcançar, de fato, os produtos futuros. É feito um planejamento e um monitoramento do processo de evolução, com vistas a revelar possíveis desvios dos cenários previstos e implementar as correções necessárias.

Cada etapa do processo de ED conta com um conjunto específico de ferramentas, as quais podem ser aplicadas com ou sem auxílio de software.

Nas aplicações da ED realizadas sob a orientação deste autor (BOGÉA *et al.*, 2005; KAUS *et al.*, 2005), ficaram evidentes alguns pontos fortes e fracos da metodologia. A ED conduz a um estudo muito detalhado do sistema, o qual, por um lado, força a atenção para certos elementos que, à primeira vista, poderiam não mostrar relevância, mas que podem constituir-se em recursos valiosos. A coleta e análise dos dados históricos, bem como a avaliação e análise da aplicabilidade das TEs apontam, de forma eficaz, diversas possíveis direções de evolução do sistema. Quanto às deficiências, estão a falta de orientação contida na principal referência (ZLOTIN & ZUSMAN, 2001) e a dificuldade de aplicação do processo, que é trabalhoso e demorado.

O processo proposto por Mann (2002) inclui a realização de um diagnóstico evolutivo e identificação do potencial evolutivo, além da ideação propriamente dita.

O diagnóstico evolutivo consiste em identificar o quanto um sistema já evoluiu e o quanto poderia evoluir em relação a todas as TEs a ele aplicáveis. Cada uma das TEs de Mann é dividida em estágios. A TE Segmentação do objeto, por exemplo, sugere que existe uma evolução de sólido monolítico para estrutura oca, estrutura com múltiplas cavidades, estrutura porosa ou capilar e estrutura porosa com elementos ativos (Ilustração 5.7).

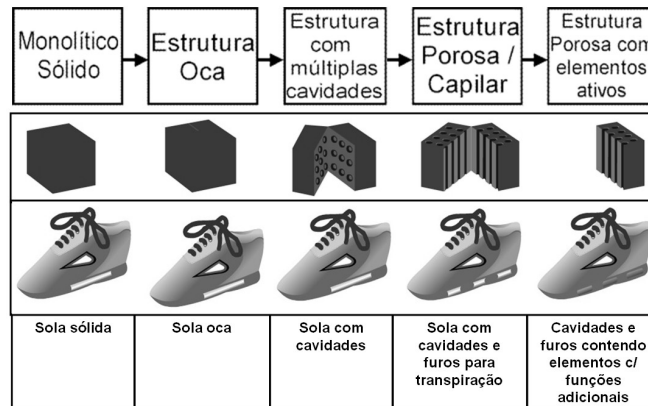


Ilustração 5.7 – TE Segmentação do objeto

A Ilustração 5.8 mostra um gráfico que resume o diagnóstico evolutivo e a avaliação do potencial evolutivo para um rolamento de rolos. A equipe que fez a avaliação considerou que as TEs aplicáveis são as indicadas nos eixos. Os níveis alcançados representam o quanto o sistema analisado já evoluiu (área sombreada no gráfico) e a área não sombreada é o potencial evolutivo.

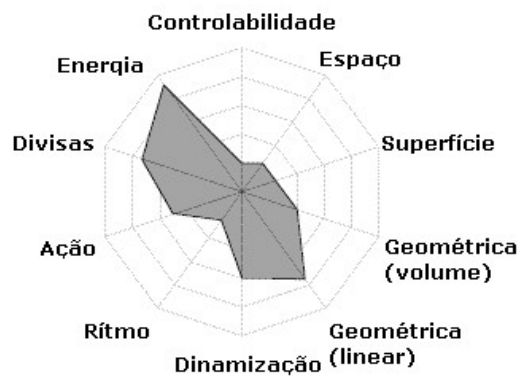


Ilustração 5.8 – Gráfico radar do potencial evolutivo de um rolamento de rolos

Mais útil que a identificação do potencial evolutivo, entretanto, é a geração de ideias que levem ao aproveitamento do potencial evolutivo de um sistema. Contribuindo para este fim, Mann (2002) oferece indicações, para cada uma das TEs, como exemplificado, no Quadro 5.4, para a TE Segmentação do espaço.

Quadro 5.4 – Exemplo de indicações para a TE Segmentação do espaço

Etapas de evolução		Motivos para as transições
De	Para	
Monolítica sólida	Oca	Peso reduzido, uso de material reduzido, espaço para inserir outro material, furo para pendurar um objeto, aumento do momento de inércia, possibilidade de passar algo por meio do objeto, melhoria da transferência de calor.
Oca	Múltiplas cavidades	Melhoria da transferência de calor, melhoria das propriedades de resistência, possibilidade de passar múltiplas coisas por meio do objeto, aumento da área de superfície.
Múltiplas cavidades	Porosa / Capilar	Aumento da área de superfície, melhoria da relação resistência/peso, melhoria da transferência de calor.
Porosa / Capilar	Ativa	Melhoria da transferência de calor, adição de uma nova função, possibilidade de variação nas propriedades.

O uso das TEs de Mann é eficaz e pode conduzir a resultados relevantes, como verificado nos estudos de caso apresentados pelo próprio Mann (2005), por Bogéa *et al.* (2005), Kaus *et al.* (2005) e De Carvalho *et al.* (2007). Porém, ao contrário dos demais processos de ideação abordados neste segmento, o processo de Mann carece de elementos para orientar o início e o final do processo de ideação, ou seja, a seleção do produto a analisar e a avaliação das ideias.

O processo *TechNav*, proposto por Clausing & Fey (2004), é uma evolução do modelo Evolução Guiada, de Fey & Rivin (1999). O *TechNav* objetiva o desenvolvimento conceitual de tecnologias com base nas leis e linhas da evolução dos sistemas técnicos e análise mercadológica. O processo *TechNav* é mostrado na Ilustração 5.9.

Na primeira fase do processo *TechNav*, faz-se uso de análise de patentes, para determinar a posição do sistema em sua Curva S. Esta análise fornece subsídios para decidir quais as mudanças que precisam ser feitas no sentido de avançar o sistema em sua Curva S e quais as novas tecnologias que poderão surgir para substituir o sistema atual.

A fase 2 envolve a análise do sistema frente às leis e linhas da evolução, as quais são utilizadas para identificar direções estratégicas de evolução. De acordo com Clausing & Fey (2004), há duas saídas típicas desta fase: uma ou mais contradições e uma ou mais direções de alto potencial para o desenvolvimento do sistema. As TEs propostas por Altshuller (1979) também são as adotadas por Clausing & Fey (2004).

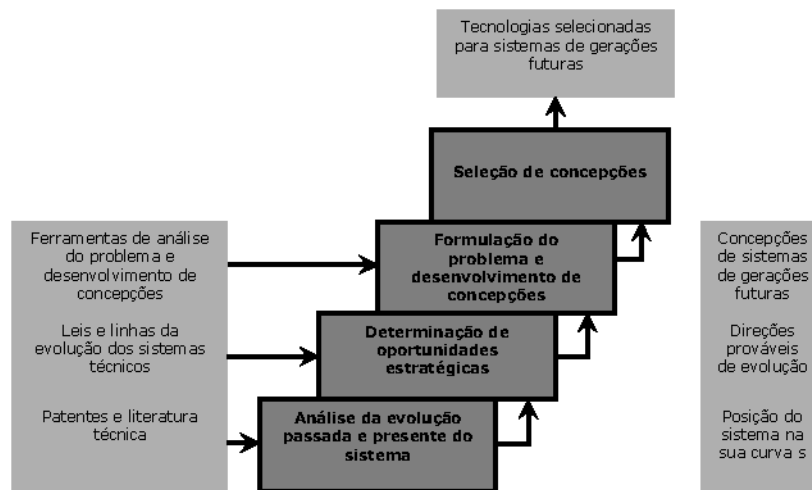


Ilustração 5.9 – Processo *TechNav*

A fase seguinte no processo *TechNav* é aquela na qual são feitas a formulação e solução conceitual de problemas com uso das ferramentas de análise e geração de ideias da TRIZ.

Na TRIZ, existem os conceitos de mini-problema e maxiproblema¹⁵. Na etapa 3 do *TechNav*, o que se faz é identificar mini-problemas e maxi-problemas relevantes. Para solucionar mini-problemas, pode-se usar o método da separação, o método dos princípios inventivos ou o ARIZ. Para solucionar maxi-problemas, pode-se usar as TEs e a Análise Su-Campo. A abordagem da TRIZ, mesmo que o foco seja num sistema completo, é sempre pontual. É uma abordagem essencialmente diferente, por exemplo, da metodologia de Pahl & Beitz (1986), que trabalha com análise e síntese (divisão do sistema em funções, geração de vários princípios de funcionamento para cada uma e combinação em concepções variantes).

Após a geração de soluções conceituais, na última fase, é realizada a avaliação das soluções conceituais geradas, de acordo com critérios técnicos e econômicos. Para tanto, é recomendado o processo de seleção de Pugh (1991).

O processo de Clausing & Fey (2004) é muito similar à ED, de Zlotin & Zusman (2001), com a vantagem da menor complexidade.

Zakharov (2004) propôs o Esquema Universal de Evolução, conforme mostrado na Ilustração 5.10. O esquema inclui tendências (em negrito na ilustração) e um caminho por meio do qual o autor entende que acontece a evolução dos sistemas técnicos.

A caixa 1 corresponde à identificação de um problema no sistema em questão, que indica a diminuição da sua viabilidade e, conseqüentemente, a incerteza sobre a continuidade de sua existência. Isto corresponde a uma contradição administrativa: é preciso mudar o sistema, mas, não se sabe exatamente o que precisa ser feito.

A segunda caixa é uma consequência da primeira. Valor é definido como a razão entre as funções desejadas e indesejadas do sistema.

¹⁵ Mini-problemas são problemas formulados de forma tal a minimizar a intervenção no sistema: tudo no sistema permanece como está ou é melhorado, mas, a melhoria desejada é obtida. Maxi-problemas são problemas formulados de forma a questionar o sistema técnico atual, gerando concepções completamente novas.

Se um sistema com as funções necessárias não existe, ou se o sistema em análise não tem recursos para as mudanças necessárias, torna-se necessária a passagem para a etapa 3, Criação de um Novo Sistema. Para Zakharov, a esta caixa corresponde a tendência do Aumento da Completeza: presença dos componentes (elementos e conexões) necessários e a mínima funcionalidade dos componentes.

Se, por outro lado, o sistema possui recursos para as mudanças necessárias, o caminho é a caixa 4, Desenvolvimento do Sistema Existente.

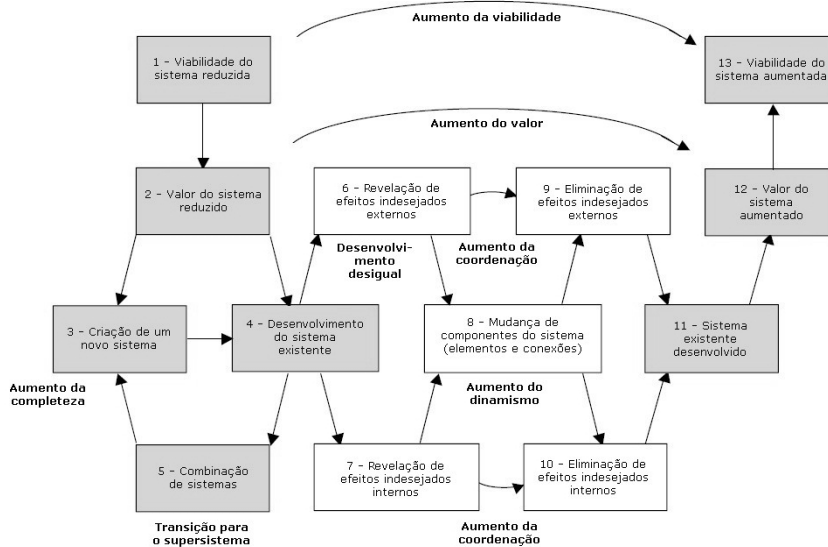


Ilustração 5.10 – Esquema Universal de Evolução

A caixa 5, Combinação de Sistemas, pode ser usada quando pelo menos um de dois ou mais sistemas não possui recursos para melhoria. Desta forma, pode ser analisada a possibilidade de combinar os sistemas. Como descrito por Salamatov (1991), Invention Machine (1995), Petrov (2002) e Mann (2002), tal combinação pode ser de sistemas similares, diferentes ou antagônicos. A transição da caixa 5 para a 3 ocorre se um novo sistema, com novas propriedades, é criado. Uma vez satisfazendo à tendência do Aumento da Completeza, o sistema originado inicia um novo ciclo de desenvolvimento, como um sistema existente.

As caixas de 1 a 5 representam um ciclo completo de criação de um sistema. As caixas de 6 a 8 detalham o desenvolvimento do sistema e as caixas de 11 a 13 mostram o resultado do desenvolvimento.

As caixas 6 e 7 correspondem, respectivamente, à busca por efeitos indesejados externos entre componentes (elementos e conexões) do sistema e o supersistema e entre componentes do próprio sistema. A caixa 6 está associada à tendência Desenvolvimento Desigual das Partes do Sistema.

A caixa 8 corresponde à tendência Aumento do Dinamismo, que é realizado por:

- mudanças quantitativas ou qualitativas dos elementos e/ou conexões – transição de elementos rígidos para elementos elásticos, transição do macro para o micro-nível, eliminação do envolvimento humano;
- mudanças em propriedades do sistema – confiabilidade, manutenibilidade, produtividade e outras;

- mudanças em processos temporais no sistema – transição de processos contínuos para periódicos, pulsantes e ressonantes e para propriedades com gradiente temporal; e
- mudanças espaciais no sistema – transição de propriedades como, por exemplo, peso, densidade, temperatura, condutividade, para propriedades químicas com gradiente espacial.

Estas mudanças podem acontecer com ou sem o aparecimento de contradições e sua solução.

As caixas 9 e 10, Eliminação de Efeitos Indesejados Externos e Eliminação de Efeitos Indesejados Internos, indicam que os efeitos indesejados desapareceram, diminuíram em importância ou tornaram-se não-críticos. As transições das caixas 6 para 9 e 7 para 10 correspondem à tendência Aumento da Coordenação.

A caixa 11 indica que o sistema existente foi desenvolvido como um todo e as caixas 12 e 13 são consequências: o valor e a viabilidade são aumentados. As transições das caixas 2 para 12 e 1 para 13 correspondem, respectivamente, às tendências do Aumento da Idealidade e Aumento da Viabilidade.

O sistema proposto por Zakharov é inovador, não tanto do ponto de vista das tendências (somente a tendência Aumento da Viabilidade é introduzida), mas, como roteiro segundo o qual acontece a evolução dos sistemas técnicos. Neste sentido, o único roteiro previamente existente é o de Salamatov (1991), mais limitado em escopo. Em seu artigo, Zakharov (2004) apresenta alguns exemplos que ilustram seu esquema da evolução em ação.

Em síntese, as TEs têm a vantagem, em relação às abordagens intuitivas e mesmo sistemáticas, de orientar a ideação para direções provavelmente mais promissoras, pelo menos do ponto de vista tecnológico. Por outro lado, a ideação com uso das TEs carece de propósito: muitas das ideias geradas não têm conexão com os interesses mercadológicos. Deste modo, muito trabalho é deixado para a etapa posterior à de ideação, que é a de avaliação. Na metodologia IDEATRIZ, isso é evitado, com o foco na maximização do valor.

5.2 MÉTODO DOS PRINCÍPIOS INVENTIVOS (MPI)

O MPI é baseado na aplicação dos chamados princípios inventivos para a geração de ideias. Os princípios inventivos são algumas das heurísticas mais conhecidas da TRIZ (ALTSHULLER, 1969). O raciocínio por detrás do uso dos princípios inventivos é que as mesmas soluções inventivas genéricas que foram utilizadas de forma bem sucedida para resolver problemas no passado podem ser utilizadas com sucesso em situações similares, no futuro. Os 40 princípios inventivos são mostrados no Quadro 5.5, assim como detalhados e exemplificados no Apêndice 3.

Uma forma de aplicar os princípios inventivos é livremente, como se faria numa sessão de *brainstorming* com o uso de questões evocativas: “E se for tentada a segmentação? Ou o uso e descarte?” Para aumentar a eficácia desta alternativa de aplicação dos princípios,

existe uma ordenação, do mais utilizado para o menos utilizado na resolução de problemas: 35, 10, 1, 28, 2, 15, 19, 18, 32, 13, 26, 3, 27, 29, 34, 16, 40, 24, 17, 6, 14, 22, 39, 4, 30, 37, 36, 25, 11, 31, 38, 8, 5, 7, 21, 23, 12, 33, 9 e 20¹⁶.

Quadro 5.5 – Princípios inventivos

1	Segmentação ou fragmentação	2	Remoção ou extração	3	Qualidade localizada	4	Mudança de simetria
5	União ou consolidação	6	Universalização	7	Aninhamento	8	Contrapeso
9	Compensação prévia	10	Ação prévia	11	Amortecimento prévio	12	Equipotencialidade
13	Inversão	14	Recurvação	15	Dinamização	16	Ação parcial ou excessiva
17	Transição para nova dimensão	18	Vibração mecânica	19	Ação periódica	20	Continuidade da ação útil
21	Aceleração	22	Transformação de prejuízo em lucro	23	Retroalimentação	24	Mediação
25	Auto-serviço	26	Cópia	27	Uso e descarte	28	Substituição de meios mecânicos
29	Construção pneumática ou hidráulica	30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis	31	Uso de materiais porosos	32	Mudança de cor
33	Homogeneização	34	Descarte e regeneração	35	Mudança de parâmetros e propriedades	36	Mudança de fase
37	Expansão térmica	38	Uso de oxidantes fortes	39	Uso de atmosferas inertes	40	Uso de materiais compostos

A forma mais recomendada de uso dos princípios inventivos envolve a identificação de uma contradição técnica a ser solucionada, a transposição das características contraditórias para parâmetros de engenharia, a definição dos princípios inventivos a utilizar, a partir de uma consulta à matriz de contradições e, somente então, a busca de soluções com o uso dos princípios inventivos. Os parâmetros de engenharia correspondem à generalização das grandezas envolvidas em problemas técnicos de diferentes áreas, como apresentado no Quadro 5.6. A interpretação dos parâmetros de engenharia é detalhada no Apêndice 4.

Por exemplo, em latas para conter bebidas gaseificadas, deseja-se minimizar a quantidade de material utilizado para fabricar a lata – de modo a reduzir custos – e, ainda assim, possibilitar o empilhamento. Se a quantidade de material utilizada é diminuída, a carga admissível para o empilhamento das latas também diminui, o que é indesejável. Logo, os parâmetros de engenharia conflitantes são 4 – comprimento do objeto estacionário e 11 – tensão ou pressão.

A matriz de contradições é um índice que aponta, para a maioria dos pares de parâmetros de engenharia conflitantes, os princípios inventivos que teriam a maior probabilidade de solucionar o conflito (com base no fato de terem sido úteis para resolver o mesmo conflito até à época em que foi criada a matriz). A matriz de contradições é apresentada no Anexo.

¹⁶ Esta seria a ordem mais racional para a própria numeração dos princípios inventivos. Acredita-se não ter sido adotada por somente ter sido obtida após a definição dos nomes e números.

Quadro 5.6 – Parâmetros de engenharia

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

Voltando ao problema das latas para bebidas gaseificadas, consultando a matriz de contradições, obtém-se os seguintes princípios: 1 – segmentação ou fragmentação; 14 – recurvação e 35 – mudança de parâmetros e propriedades. A partir do princípio 1, pode-se chegar a uma das concepções existentes – latas corrugadas. Essa solução soluciona o conflito, mas, cria um problema adicional: gasto excessivo de material. Este novo problema poderia ser, novamente, modelado em termos de um conflito entre parâmetros de engenharia e solucionado. As latas de alumínio atualmente mais comuns podem ser consideradas exemplos do princípio 14: a forma recurvada destas latas permite que a pressão interna contribua para aumentar a resistência mecânica. O princípio 35 poderia levar a uma concepção que incluísse uma modificação no material das latas, como um tratamento térmico, por exemplo, para aumento de resistência. Diversas outras soluções poderiam ser ainda geradas, com base nestes mesmos princípios ou outros, sugeridos a partir de modelagens diferentes do problema com uso da matriz de contradições.

Uma forma adicional de uso dos princípios inventivos inclui a formulação de uma contradição e da contradição inversa e uso da matriz de contradições. No exemplo da lata, a contradição identificada foi entre a redução da espessura da parede e a consequente redução da capacidade de empilhamento. A contradição inversa seria entre o aumento da capacidade de empilhamento, conflitando com a espessura da parede da lata. Agindo desta forma, o solucionador de problemas pode chegar a mais princípios inventivos que sejam eficazes na remoção da contradição.

O MPI é o método mais popular da TRIZ, chegando a ser, erroneamente, confundido com a própria TRIZ. Provavelmente, isso ocorre devido à simplicidade e universalidade do método, que, embora criticado por muitos dentro da própria comunidade de especialistas em TRIZ¹⁷, por ser “pouco melhor do que a velha tentativa e erro”, tem comprovado sua utilidade na resolução prática de problemas e consequente adoção.

17 O próprio Altshuller não incluiu o MPI na última versão do ARIZ, o ARIZ-85V (Algoritmo para a Solução Inventiva de Problemas), desenvolvida em 1985 (Altshuller, 1986).

Em 2003, foi feito um trabalho de atualização da matriz de contradições, baseado no fato de que houve muitas mudanças na tecnologia desde que a versão clássica da matriz foi criada (MANN *et al.*, 2003). Em resumo, este trabalho resultou na manutenção dos 40 princípios inventivos, aumento do número de parâmetros de engenharia de 39 para 48 e atualização da matriz, ou seja, dos princípios inventivos indicados para solucionar cada contradição técnica.

5.3 HEURÍSTICAS PARA A TRANSFORMAÇÃO DE SISTEMAS E 121 HEURÍSTICAS (121H)

As heurísticas para a transformação de sistemas foram compiladas por A. I. Polovinkin (POLOVINKIN, 1985, 1988, 1991) a partir da análise das melhores práticas na resolução de problemas por parte de engenheiros e projetistas da antiga URSS. Trata-se de heurísticas similares aos princípios inventivos e que foram obtidas de acordo com a frequência de seu uso prático, como pesquisado por Polovinkin.

As 121H (DE CARVALHO *et al.*, 2003) são um subconjunto considerado mais universal das heurísticas para a transformação de sistemas de Polovinkin. Como não universais, naquela pesquisa, foram entendidas as heurísticas relativas a segurança e fatores legais, válidas somente na antiga URSS.

As 121H estão divididas nas categorias:

- 1 - Transformações de forma (16 heurísticas);
- 2 - Transformações de estrutura (18 heurísticas);
- 3 - Transformações no espaço (16 heurísticas);
- 4 - Transformações no tempo (8 heurísticas);
- 5 - Transformações de movimentos e forças (15 heurísticas);
- 6 - Transformações de materiais (23 heurísticas);
- 7 - Expedientes de diferenciação (11 heurísticas);
- 8 - Transformações quantitativas (14 heurísticas).

Por exemplo, a heurística 1.2, segunda heurística da categoria Transformações de forma, sugere “Criar cavidades num sistema ou o contrário – se o sistema contém cavidades, removê-las”. Um exemplo desta heurística é a patente US5200573 (BLOOD, 1991): projétil com uma matriz de cavidades na superfície, em que as cavidades servem para reduzir o arrasto aerodinâmico.

Não foi criado, ainda, um índice para a seleção das 121H, como ocorre no caso do MPI, com a matriz de contradições. Isto cria uma desvantagem para o uso da ferramenta, a qual ainda precisa ser superada. Para o efeito de seleção da heurística a ser utilizada em determinada situação existem, como descrito em De Carvalho *et al.* (2003), uma estatística de frequência de uso das 121H entre patentes internacionais analisadas e uma correlação das 121H com os princípios inventivos.

5.4 MÉTODO DA SEPARAÇÃO (MS)

O método da separação serve para a solução de contradições físicas. De acordo com Altshuller (1969), para solucionar uma contradição física, deve ocorrer uma separação. Tal

separação pode acontecer no espaço, no tempo, no sistema ou de acordo com condições específicas, conforme mostrado no Quadro 5.7.

A escolha do princípio de separação a ser utilizado é feita de acordo com os tempos de operação e zonas do produto e da ferramenta. Produto é o elemento passivo envolvido numa situação problemática e ferramenta é o elemento ativo. De acordo com Savransky (2000), os tempos e zonas de operação do produto (T_p , Z_p) e da ferramenta (T_f , Z_f) podem estar separados, tocar-se ou interceptar-se.

A utilização deste método pode partir de uma definição do princípio de separação a utilizar conforme a disposição de Z_p , Z_f , T_p e T_f , ou não. Para uma mesma situação problemática, mais de um princípio de separação pode apontar para soluções interessantes, como no exemplo descrito a seguir.

Quadro 5.7 - Princípios de separação

Condição de Z_f , T_f , Z_p e T_p	Quando Z_f e Z_p estão separadas	Quando T_f e T_p estão separados	Por vezes, quando Z_f e Z_p ou T_f e T_p interceptam-se	Por vezes, quando Z_f e Z_p ou T_f e T_p tocam-se
Princípio de separação a utilizar	Separação no espaço	Separação no tempo	Separação entre as partes e o todo (separação no sistema)	Separação conforme a condição
Possíveis separações	Característica é aumentada num local e diminuída em outro.	Característica é aumentada num período e diminuída em outro.	Característica tem um valor no nível do sistema e valor oposto no nível de componentes.	Característica é aumentada sob uma condição e diminuída sob outra.
	Característica está presente em um local e ausente em outro.	Característica está presente em um período e ausente em outro.	Característica existe no nível do sistema e não existe no nível dos componentes.	Característica existe sob uma condição e inexistente sob outra

Torres de destilação são montadas no solo e, posteriormente, alçadas à posição vertical por meio de um guindaste. Estas torres, de seção circular, muito longas e com paredes finas, podem romper-se durante o processo de suspensão para a montagem, devido às grandes tensões de tração produzidas pela flexão sob o peso próprio. O simples aumento da espessura das paredes da torre não solucionaria o problema. A contradição física pode ser formulada como: a resistência à flexão da torre deve ser baixa (ou, apenas o suficiente para a utilização final, na posição vertical) e deve ser alta (para resistência à flexão durante a suspensão).

Por meio da separação no espaço, pode-se imaginar que o momento de inércia da seção transversal da torre seja modificado, sendo a suspensão feita de forma a submeter somente o eixo maior à flexão. Isto poderia ser feito pela modificação da seção de circular para elíptica ou retangular ou, ainda, pela adição de material somente na região de um dos eixos da seção. A separação no tempo indica que a resistência à flexão não precisa ser alta durante todo o tempo. Uma possível solução seria adicionar uma estrutura interna ou externa, suspender a torre até a posição vertical e, posteriormente, remover a estrutura. Uma segunda opção seria construir a torre a partir de segmentos telescópicos (na totalidade da torre ou em partes da mesma), encurtando a torre durante a suspensão e aumentando o comprimento na situação final. Outra solução poderia ser derivada da separação entre as partes e o todo: segmentos da torre seriam montados no solo e, em seguida, suspensos e montados na vertical. A solução da torre telescópica também poderia ser alcançada pela utilização da separação entre as partes e o todo.

5.5 EFEITOS CIENTÍFICOS

Por meio do estudo de patentes, Altshuller descobriu que, com frequência, patentes de nível inventivo alto são resultado da aplicação de efeitos pouco conhecidos. Assim, boa parte da dificuldade de encontrar soluções inventivas deriva do desconhecimento ou esquecimento sobre os efeitos por parte do solucionador de problemas. Altshuller criou listas de efeitos, organizadas conforme a função que se pretende realizar. As listas de efeitos da TRIZ são, de certa forma, similares às listas propostas na obra de Koller (1994). Koller, entretanto, limitou-se a identificar efeitos físicos para a realização de funções. Na TRIZ, os efeitos podem envolver a física, a química, a matemática, a biologia e outras ciências. As tabelas de efeitos podem ser utilizadas para apoiar a aplicação de qualquer dos métodos da TRIZ e são encontradas na literatura, em programas de computador e na Internet. Livros como Altshuller *et al.* (1989) e Salamatov (1999) trazem listas de efeitos. Programas como o Invention Machine Lab (INVENTION MACHINE, 1995), IWB (IDEATION, 2007) e CREAX Innovation Suite (CREAX, 2007a) incluem bases de efeitos especialmente interessantes, porque contêm os efeitos, com explicações e exemplos de uso dos mesmos. Recentemente, têm surgido bases de efeitos na Internet, como a da CREAX (CREAX, 2007b).

Supondo-se que, num problema, seja necessário realizar a função “aumentar área”, a base de efeitos do Invention Machine Lab (INVENTION MACHINE, 1995) sugere os seguintes efeitos: estruturas esféricas, superfícies corrugadas, elipses, atrito, inércia, fita de Möbius, senóide, supercondutividade térmica e material granulado. A fita de Möbius resultou, efetivamente, em soluções que envolvem o aumento de área, tais como lixas e fitas magnéticas na forma dessa fita.

Outro exemplo referente a efeitos (neste caso, um efeito biológico) ocorre na detecção de vazamentos em gasodutos. Este é um problema que pode demandar complexas soluções técnicas. O uso de organismos vivos pode facilitar a execução da operação. Uma solução biológica para a função “detectar substância” é adicionar uma substância com odor de carne em decomposição ao gás, o qual, vazando, atrairia urubus, que circundariam a região do vazamento e facilitariam a detecção à distância. Outro efeito biológico potencialmente útil, neste caso, seria a adição de uma substância ao gás, na presença da qual, certos tipos de plantas mudam de cor. Este tipo de planta seria semeado em volta do gasoduto, permitindo a detecção visual de vazamentos, por meio de um sobrevôo de helicóptero.

5.6 MÉTODO DAS PEQUENINAS PESSOAS ESPERTAS (PPE)

A origem das PPE está na analogia pessoal, ou empatia, que também é utilizada no método *Synectics* (Gordon, 1961). A empatia consiste na busca de soluções para um problema por meio de identificação pessoal com o objeto do problema. Altshuller (1979) sugeriu a substituição da pessoa, utilizada na empatia, por pequeninas pessoas imaginárias, que executariam as tarefas necessárias para a solução do problema. As justificativas para esse tipo de modelagem de um problema são empíricas. De acordo com Altshuller, ao utilizar a empatia, algumas possíveis soluções promissoras para problemas por ele propostos em seminários – como, por exemplo, corte, fragmentação ou explosão – acabavam não sendo consideradas pelos solucionadores de problemas, por serem inaceitáveis para humanos. Já com as PPE, essas soluções passam a ser possíveis.

Para facilitar a compreensão, o problema da concepção de uma chave universal para parafusos é analisado (DE CARVALHO, 1999). Com tal ferramenta, não existiria a necessidade de possuir diversas chaves ou uma chave única com muitas ponteiros.

As primeiras duas etapas do método são gráficas. Com base nos dados do problema e no resultado final ideal, elaboram-se croquis das situações inicial e final. Na Ilustração 5.13, são apresentados croquis feitos para a situação inicial (vários tipos de parafusos, vários tipos de chave) e a situação final (vários tipos de parafusos, um tipo de chave). Em seguida, croquis de situações intermediárias são feitos. A estes últimos, aplicam-se as partículas. No exemplo, foi feito um croqui representando a situação intermediária, com partículas aplicadas na região da ponta da chave.

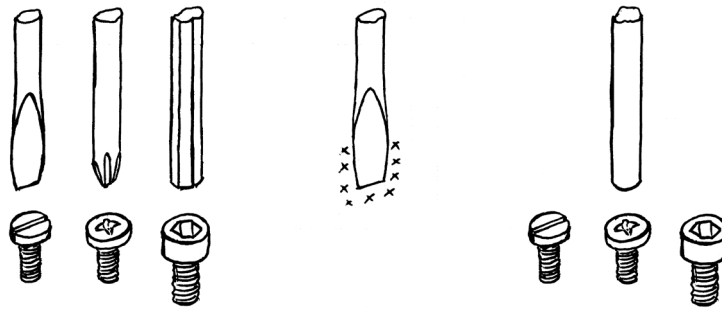


Ilustração 5.13 – Croquis para o problema da chave universal

A árvore e/ou apresentada na Ilustração 5.14 indica que, se uma única chave deve ser capaz de apertar todos os tipos de parafuso, as partículas (xx) devem adaptar a forma da chave, fixar a forma da chave e transferir torque da chave para o parafuso. Neste exemplo, não foram explorados caminhos alternativos (“ous” da árvore e/ou).

Uma vez definidas as ações, as propriedades que as partículas devem ter são identificadas. Por exemplo, para que as partículas reconheçam a forma da cabeça do parafuso, poderiam ser “inteligentes”, “controláveis”, “móveis” e “organizadas”.

Na penúltima etapa, deve-se procurar definir como as partículas devem surgir e como devem terminar e a que elementos elas corresponderão, na realidade. Para executar esta etapa, é interessante consultar tabelas de efeitos, como descrito no item 5.5 .

Para o problema da chave universal, as seguintes soluções foram imaginadas:

- o torque da chave deve ser transmitido ao parafuso magneticamente. A chave deve aplicar um campo magnético apropriado à cabeça do parafuso. Este campo magnético pode ser induzido por uma bobina com geometria adequada. A chave estaria limitada ao trabalho com parafusos ferromagnéticos e, provavelmente, aplicações com pequeno torque;
- a ponta da chave deve ser feita de um material termoplástico. A ponta seria amolecida pela aplicação de calor, a forma seria adaptada à forma da cabeça do parafuso (por pressão) e resfriada para a transmissão de torque. O controle do processo poderia ser melhorado com a adição de pó ferromagnético com um ponto de Curie adequado na formulação do termoplástico, sendo o material resultante aquecido por indução somente até a temperatura correta.

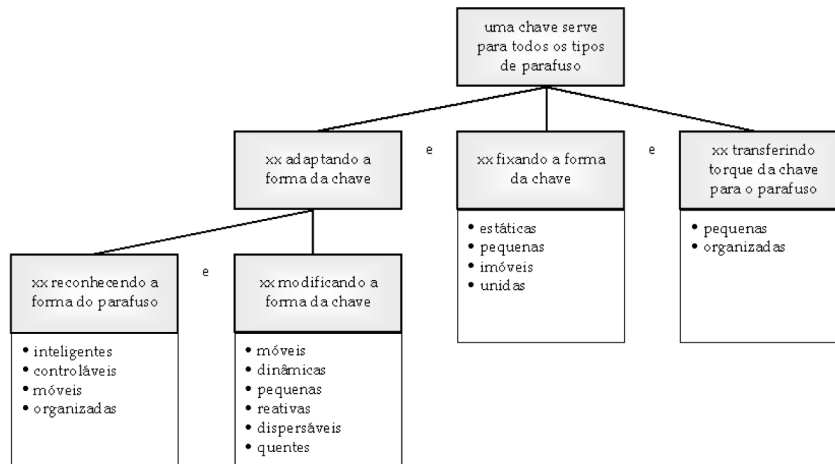


Ilustração 5.14 – Árvore e/ou para o problema da chave universal

5.8 ANÁLISE SUBSTÂNCIA–CAMPO (ANÁLISE SU-CAMPO)

A base para este tipo de análise é o modelo su-campo (substância-campo), desenvolvido por Altshuller (1979). Um modelo su-campo corresponde a um sistema técnico minimamente funcional. Campo é o provimento de energia e/ou informação, e inclui os campos tradicionalmente estudados na Física (gravitacional, elétrico, magnético) e outros, menos ortodoxos (pressão hidráulica, odor). Substância é um objeto ou sistema, com qualquer nível de complexidade. Campos atuam sobre substâncias e a interação entre substâncias ou entre substâncias e campos pode gerar outros campos. Tomando-se um *plotter* como exemplo: o papel é uma substância, a caneta é a segunda substância e a máquina provê um campo mecânico. O campo atua sobre uma substância (caneta ou ponta de grafite), fazendo-a interagir com a outra (o papel).

A análise su-campo começa pela definição da função principal do sistema técnico em questão e definição do resultado final desejado. Após esta definição, constrói-se um modelo do sistema em termos de campos e substâncias (modelo su-campo). Então, procura-se definir qual dos padrões inventivos deve ser utilizado para, partindo da situação problemática modelada, chegar ao resultado desejado. Existem 76 padrões inventivos (ALTSHULLER *et al.*, 1989) e um algoritmo que permite identificar aquela mais provavelmente útil para solucionar o problema. Uma vez identificadas os padrões inventivos a serem utilizados, é necessário determinar que funções os elementos do modelo su-campo precisarão executar e, a partir das funções, que propriedades esses elementos deverão ter. Procura-se, então, identificar no sistema e cercanias que substâncias e campos possuem as propriedades necessárias ou podem vir a possuí-las, se adequadamente modificados. A partir de todas estas informações, podem ser geradas soluções para o problema.

Por exemplo, durante o processo de trefilação para obtenção de um arame de aço, a matriz de trefilação desgasta-se, fazendo com que o diâmetro de sucessivos lotes de arame aumente progressivamente. Isso faz com que seja necessária troca frequente da matriz. A função principal do sistema é reduzir o diâmetro do arame. Isso é conseguido, principal-

mente, por meio do estiramento. O resultado desejado é realizar a função sem que ocorra desgaste da matriz. O modelo su-campo do problema é mostrado no lado esquerdo da Ilustração 5.15. O campo F1 (força de tração) atua sobre o arame (S2), que interage, ao mesmo tempo, adequadamente e inadequadamente com a matriz (S1). A interação indesejada é indicada com uma seta ondulada. Por meio do algoritmo para identificação de padrões inventivos, chegou-se à conclusão de que o su-campo deveria ser alterado (seta vazada) para a situação da direita, em que um campo adicional F2 é aplicado a S1, com o objetivo de melhorar o desempenho do sistema.

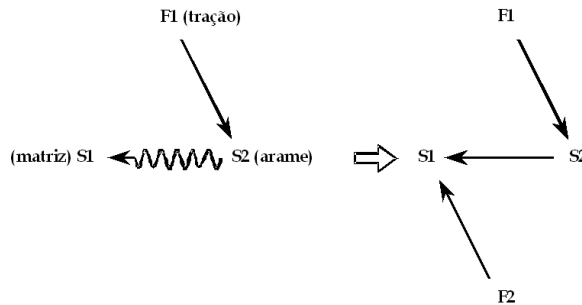


Ilustração 5.15 – Modelo su-campo do problema de trefilação

A partir do modelo su-campo da direita (padrão inventivo), pode-se definir que as funções dos elementos F1 e S2 devem permanecer as mesmas. A função de F2 deve ser manter invariável a geometria da matriz. S1 deve manter sua função de reduzir o diâmetro do arame e, ainda, permitir a ação de F2 no sentido de manter a geometria invariável. As propriedades de F1 e S2 devem permanecer as mesmas. As propriedades imaginadas para S1 são a suscetibilidade a um campo térmico (dilatação térmica) ou magnético. Chegou-se a essas propriedades por eliminação, considerando-se que, dificilmente, a suscetibilidade a um outro tipo de campo poderia levar a uma solução. A partir das propriedades imaginadas para S1, pode-se concluir que F2 deverá ser um campo térmico ou magnético. Na solução térmica imaginada, S1 seria construída de forma a permitir a refrigeração progressiva e proporcional ao desgaste. Isso poderia ser conseguido por meio de refrigeração da matriz pelo óleo lubrificante, usualmente utilizado neste tipo de conformação, pela aplicação de jatos de líquido refrigerante na matriz ou por refrigeração em circuito fechado. A solução magnética poderia consistir numa matriz especial, composta por um núcleo de partículas ferromagnéticas cercadas por uma bobina eletromagnética. A geometria da matriz seria controlada por meio de um campo magnético, por meio da intensidade da corrente elétrica na bobina.

A Síntese Energética de Sistemas (SES), descrita por Savransky (2000), é um processo de geração de ideias derivado da análise su-campo e baseia-se na consideração dos fluxos de energia num sistema técnico.

5.9 ARIZ

ARIZ é o acrônimo russo para Algoritmo para a Solução Inventiva de Problemas. Embora esteja incluída neste trabalho como um subitem das ferramentas para a geração de

ideias, o ARIZ é um processo integrado de formulação e solução de problemas inventivos. Trata-se de uma sequência detalhada de ações para problemas considerados de difícil solução. Sucessivas versões do ARIZ foram desenvolvidas, desde 1956. A última versão desenvolvida por Altshuller é a de 1985, ou ARIZ-85V, cuja estrutura é apresentada na Ilustração 5.16. Cada item da estrutura apresentada na figura desdobra-se em diversos subitens.

A solução de um problema com o ARIZ começa pelas etapas analíticas (etapas 1, 2 e 3). Na primeira etapa, é feita a transição do problema inicial, definido vagamente ou mesmo erroneamente, para um mini-problema, formulado por meio da regra: tudo no sistema permanece igual, mas, a função necessária é executada. A seguir, formula-se a contradição técnica. Então, um modelo do problema – um diagrama simplificado do conflito – é formulado e procura-se utilizar as soluções padrão para su-campos para solucionar o problema. Passa-se, então, para a segunda etapa, na qual especifica-se a zona e o tempo de operação (onde e quando ocorre o problema) e os recursos neles disponíveis. Na terceira etapa, são identificados o resultado final ideal e a contradição física.

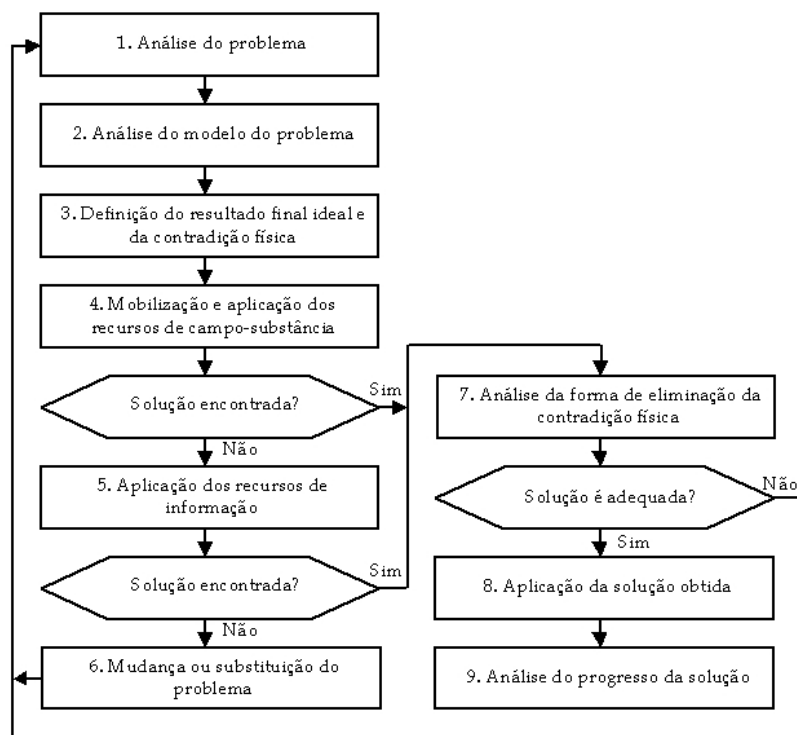


Ilustração 5.16 – ARIZ-85V

A parte seguinte do ARIZ é focada na solução de problemas, propriamente dita. A solução deve superar a contradição física. Na quarta etapa do ARIZ, procura-se solucionar o problema por meio das PPE e da aplicação dos recursos identificados na segunda etapa. Se a solução for encontrada, pode-se passar, diretamente, para a sétima etapa. Se a solução não for encontrada, passa-se para a quinta etapa, em que se procura fazer uso das bases de conhecimento da TRIZ: soluções padrão para su-campos, princípios de separação e listas de efeitos para a remoção da contradição física. Se uma solução adequada não for obtida, o algoritmo deve ser reiniciado, com a mudança ou substituição do problema (etapa 6).

As três últimas etapas do ARIZ servem para a verificação, generalização e acompanhamento da solução obtida. Na sétima etapa, verifica-se se a solução obtida está suficientemente próxima do ideal, ou seja, se não são necessárias modificações excessivas no sistema. Se a solução for considerada muito distante da ideal, o algoritmo deve ser reiniciado. Se a solução for considerada satisfatória, passa-se para a oitava etapa, de generalização da solução. Nesta etapa, investiga-se o impacto da solução no supersistema (sistema de nível superior ao estudado), outras maneiras de aproveitar a solução e a possibilidade de aplicação do princípio utilizado para a obtenção da solução de outros problemas no mesmo sistema ou cercanias. Na nona e última etapa, analisa-se o processo de solução em busca de desvios e, conseqüentemente, oportunidades para a melhoria do próprio ARIZ.

5.10 HIBRIDIZAÇÃO

A Hibridização é uma técnica cuja finalidade é transferir características úteis de um sistema alternativo para um sistema fundamental (GERASIMOV & LITVIN, 1990; PRUSHINSKIY *et al.*, 2005). O processo de hibridização é resumido na Ilustração 5.17.

Sistema fundamental é o sistema original, com o qual se está trabalhando. Sistemas alternativos são aqueles que possuem características vantajosas exatamente em aspectos nos quais o sistema fundamental é desvantajoso, ou possuem características desejadas que o sistema fundamental não possui.

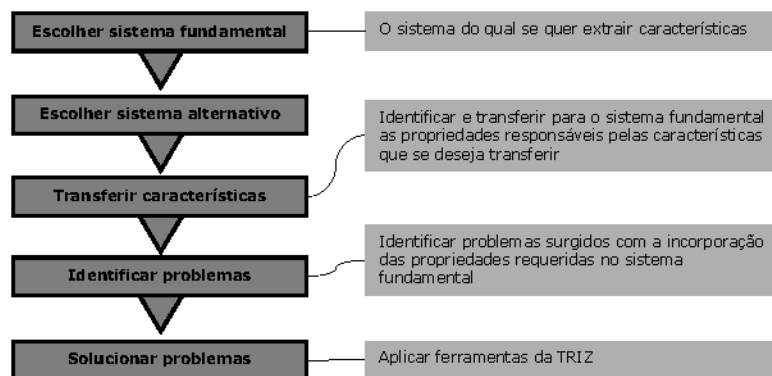


Ilustração 5.17 – Processo de hibridização

O parafuso é um sistema alternativo ao prego. Ambos realizam a função global de fixação. O prego tem, como principal vantagem, a simplicidade de aplicação e, como principal desvantagem, a facilidade de soltar-se. O parafuso é de aplicação mais complicada, mas, solta-se com maior dificuldade. O parafuso auto-atarraxante é um exemplo de hibridização: pode ser considerado um “prego” com a vantagem da maior dificuldade de soltar-se.

Para compreender a Hibridização, considere-se um mancal hidrostático como sistema fundamental. Este tipo de mancal tem a vantagem da simplicidade e a desvantagem do alto atrito na partida, momento no qual ocorre a maior parte do desgaste num mancal deste tipo,

devido ao contato de metal com metal. O sistema alternativo, rolamento de esferas, é de construção mais complexa, mas, o atrito na partida é muito menor, devido à pequena área de contato. O problema é como conseguir a vantagem do baixo atrito sem o aumento da complexidade. Esta é uma contradição técnica. Usando o MPI (explicado no item 5.2), um dos princípios indicados é o 14 – Recurvação. Uma das heurísticas deste princípio sugere o uso de rolos, esferas, espiras ou domos. Uma solução possível é adicionar esferas microscópicas ao óleo, que diminuiriam a área de contato na partida.

5.11 MÉTODO SIT

Os métodos conhecidos como USIT (SICKAFUS, 1997) e ASIT¹⁸ (HOROWITZ, 2003) derivam do método SIT – *Structured Inventive Thinking*, ou Pensamento Inventivo Estruturado (HOROWITZ & MAIMON, 1997), desenvolvido em Israel, a partir da TRIZ. As principais diferenças entre o SIT e a TRIZ são:

- a substituição dos conceitos fundamentais de contradição, idealidade e uso de recursos pelas chamadas condições suficientes para que uma solução seja considerada criativa;
- a substituição da base de conhecimento da TRIZ por um número significativamente menor de heurísticas.

Segundo Horowitz & Maimon (1997), as condições suficientes para que uma solução seja considerada inventiva por especialistas em uma determinada área são a condição mundo fechado (MF) e a condição mudança qualitativa (MQ). Qualquer solução que atenda a estas condições é uma solução inventiva. Em seu trabalho, Horowitz e Maimon (1997) demonstram, empiricamente, a validade das condições suficientes na caracterização de uma solução como criativa.

A condição MF significa que nenhum objeto novo pode ser adicionado ao sistema, exceto objetos adjacentes ao sistema. Pode haver remoção de objetos do sistema. Somente é permitido adicionar objetos se já existissem objetos similares no sistema (por exemplo, adicionar mais rodas a um automóvel).

A condição MQ significa que uma característica do problema precisa ser modificada de uma função crescente para uma função decrescente ou um valor constante. Por exemplo, numa lâmpada incandescente, quanto maior a temperatura do filamento, menor a vida da lâmpada. Aplicando a condição MQ, a relação entre temperatura e vida deve ser eliminada, com o aumento da temperatura não tendo mais influência sobre a vida ou tornada positiva, com o aumento da temperatura resultando em aumento da vida.

A estrutura do método SIT é mostrada na Ilustração 5.18. Existem três etapas principais: reformulação do problema, por meio da aplicação das condições suficientes; seleção de uma estratégia de pensamento; seleção e aplicação de um método para provocação de ideias. Estas etapas são detalhadas a seguir.

¹⁸ USIT significa *Unified Structured Inventive Thinking*, ou Pensamento Inventivo Estruturado Unificado e ASIT significa *Advanced Structured Inventive Thinking*, ou Pensamento Inventivo Estruturado Avançado.

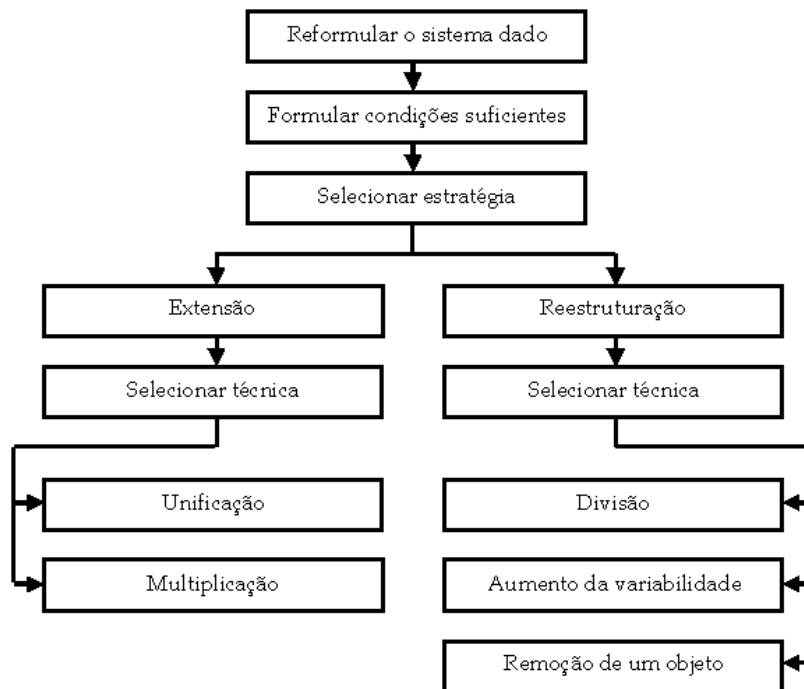


Ilustração 5.18 – Estrutura do Método SIT

Na etapa de reformulação do sistema e formulação das condições suficientes, a meta para a solução do problema é estabelecida, utilizando-se as condições suficientes. A condição MF é somada às restrições existentes e a condição MQ muda a tarefa: em vez do requisito inicial, de redução do nível de um efeito indesejado, propõe-se a mudança qualitativa de uma relação matemática entre quaisquer duas características do problema. O usuário elabora uma lista de objetos do sistema, uma lista de objetos adjacentes ao sistema e uma lista de características do problema. O problema é reformulado como: encontrar uma solução na qual pelo menos uma das funções crescentes definidas tornar-se-á decrescente ou constante, sendo que a solução somente envolverá elementos do sistema ou de suas adjacências.

A segunda etapa consiste em decidir pela estratégia de Extensão ou de Reestruturação. Uma possível solução é composta por três elementos: o estado final desejado – deduzido da condição MQ, os objetos a serem modificados e a modificação necessária. A condição MF limita os objetos a serem utilizados na solução aos já existentes no sistema e adjacências. Há duas possibilidades, nesta etapa:

- o estado final necessário pode ser deduzido da condição MQ. Isto pode acontecer em casos nos quais o estado final desejado pode ser obtido por meio de uma simples operação, a qual não interferirá com outras operações necessárias no sistema. A estratégia recomendada é a Extensão, com as técnicas de Unificação ou Multiplicação;
- o estado final necessário não pode ser deduzido da condição MQ, ou o estado final pode ser deduzido, mas, contradiz outros requisitos fundamentais do sistema. Neste caso, a estratégia a ser usada é a Re-estruturação e as técnicas, Divisão, Aumento da Variabilidade ou Remoção.

5.11.1 Unificação

A técnica da Unificação consiste na identificação de um sistema ou objeto do próprio sistema onde ocorre o problema ou adjacências, que executará a operação definida na solução conceitual. A aplicação desta técnica consiste de quatro passos: formular a operação necessária; obter uma lista de todos os objetos do sistema e adjacências; selecionar um destes objetos; e determinar as modificações necessárias no objeto para que ele execute a operação necessária.

Por exemplo, amostras de um determinado material têm de ser expostas à corrosão por um ácido num recipiente a altas temperatura e pressão, para avaliação da resistência à corrosão. Amostras do material são mergulhadas no ácido, no interior do recipiente. O problema é que, além das amostras, as paredes do recipiente são corroídas e precisam ser trocadas com frequência. Soluções rotineiras para o problema são o revestimento do recipiente com um material protetor ou a substituição do recipiente por um outro, mais resistente.

Os parâmetros envolvidos são a concentração do ácido, a frequência de troca do recipiente, a temperatura e a pressão. Os elementos do sistema e adjacências são as amostras, o ácido, o recipiente e o sistema responsável pela produção da atmosfera. O problema é reformulado como: encontrar um modo de submeter as amostras ao ácido, sendo que a frequência de troca do recipiente torne-se independente ou função decrescente da concentração do ácido (condição MQ) e sem a adição de novos elementos ao sistema composto por amostras, ácido, recipiente e sistema responsável pela produção da atmosfera (condição MF).

Usando a técnica de Unificação, verifica-se que os objetos existentes que podem ser escolhidos para executar esta operação são as próprias amostras. A modificação necessária nas amostras seria a produção de cavidades nas mesmas, para receber o ácido. Esta solução satisfaz às condições MQ, pois a concentração do ácido é tornada independente da frequência de troca do recipiente e MF, pois nenhum elemento novo é introduzido no sistema.

5.11.2 Multiplicação

Para ilustrar a aplicação da técnica da Multiplicação, cita-se o problema do projeto de um anti-descarrilador para um trem. Esse sistema atua diretamente sobre o sistema de freios de um trem. Um esquema do sistema é mostrado no lado esquerdo da Ilustração 5.19. No sistema de freios, há um tubo que contém ar comprimido. O trem é freado pela queda da pressão do ar comprimido. Em situações de emergência, como num descarrilamento, o ar precisa ser liberado muito rapidamente. Para a liberação de grande quantidade de ar em pouco tempo, é necessária uma abertura grande. A válvula que fecha essa abertura precisa ser submetida a uma força relativamente grande durante a operação normal do trem. Essa força é exercida pelo anti-descarrilador. O problema é que a força necessária para equilibrar a força exercida pela pressão do ar é 10 vezes maior que a força disponível no anti-descarrilador. Soluções comuns para o problema seriam o uso de alavancas ou a diminuição do tamanho das aberturas, associado ao aumento do número de anti-descarriladores.

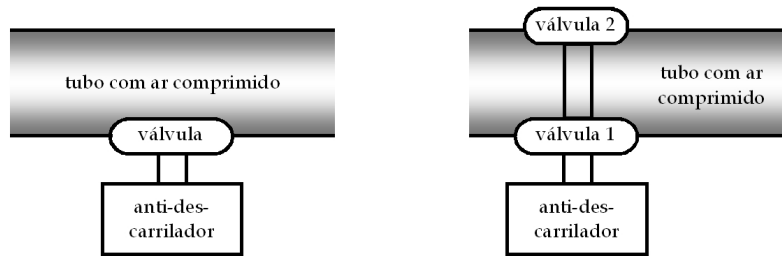


Ilustração 5.19 – Problema do anti-descarrilador

Usando o método SIT, os seguintes parâmetros do problema são identificados: probabilidade de alarme falso, probabilidade de abertura prematura da válvula, força no anti-descarrilador, pressão do ar, área da válvula. Os elementos do sistema são: tubo, ar, válvula e antidescarrilador. O problema pode ser reformulado como: frear o trem em caso de descarrilamento, sendo que a força no anti-descarrilador deve ser independente ou função decrescente da pressão do ar (condição MQ), sem a adição de novos elementos ao mundo fechado composto pelo tubo, ar, válvula e anti-descarrilador (condição MF).

Os passos da técnica da Multiplicação são: formular a operação necessária; obter uma lista de todos os elementos do sistema e adjacências; selecionar um destes elementos para ser multiplicado - a(s) cópia(s) do elemento executarão a operação necessária; determinar as modificações necessárias na(s) cópia(s) para execução da operação necessária.

No problema, analisando os elementos disponíveis, verifica-se que o elemento que pode ser multiplicado para solucionar o problema é a válvula. A solução imaginada é o uso de uma segunda abertura com uma segunda válvula (válvula 2), um pouco menor que a primeira (válvula 1) e posicionada do lado oposto, como mostrado no lado direito da Ilustração 5.19. A válvula 2 deve ser conectada à válvula 1, de modo a possibilitar a compensação de parte da força exercida pela pressão do ar sobre a válvula 1. Deste modo, a força exercida pelo anti-descarrilador passa a ser suficiente para manter a válvula fechada durante a operação normal do trem.

5.11.3 Divisão

Considere-se o seguinte problema: um paciente tem um tumor em seu estômago. O tumor não pode ser removido cirurgicamente. Para a destruição do tumor, é necessário submetê-lo a uma fonte radioativa de certa intensidade. O problema é que, nesta intensidade, a radiação irá destruir, também, tecido sadio. Em intensidades mais baixas, o tecido sadio não será destruído, mas, o tumor também não será eliminado. Uma solução ordinária para o problema seria o tratamento do tumor por quimioterapia.

Impondo as condições MQ e MF, reformula-se o problema como: destruir o tumor, sendo que a destruição do tecido saudável deve ser independente ou função decrescente da intensidade da radiação e nenhum novo elemento é adicionado ao sistema composto pelo feixe de radiação, tumor e tecido saudável.

A técnica da Divisão é composta de três passos: gerar uma lista de elementos do sistema; selecionar um elemento e dividi-lo em seus elementos mais básicos, em partes menores

ou de forma randômica; buscar uma maneira de utilizar os novos graus de liberdade obtidos para criar um estado em que a condição QC seja satisfeita (partes diferentes em locais diferentes, ordenação diferente, etc.).

Aplicando a técnica da Divisão ao problema do tumor, pode-se considerar a divisão do feixe de radiação. Com essa divisão e com a posterior interseção dos raios sobre o tumor, pode-se obter a intensidade de radiação desejada somente sobre o tumor. Desta forma, o tecido saudável não é exposto a níveis perigosos de radiação.

5.11.4 Aumento da Variabilidade

Como exemplo dessa técnica, sugere-se o problema da obtenção de um empuxo constante em motores a jato com combustível sólido. O motor atual tem a forma de um cilindro oco (Ilustração 5.20A). Assim, o empuxo é menor no início da combustão (quando pouco combustível foi queimado e a área de combustão é menor) e maior no final (quando a área de combustão é maior). Soluções ordinárias para o problema seriam o aumento do comprimento do cilindro, de forma a diminuir a variação da área de combustão ou a alteração da geometria de combustão (queima na base do cilindro, como num cigarro).

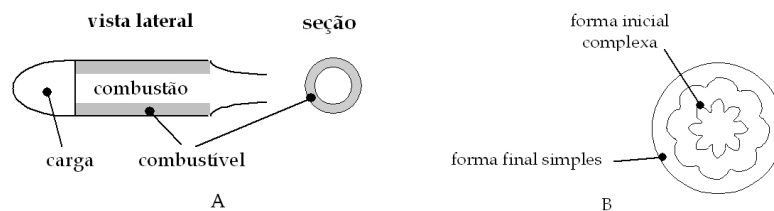


Ilustração 5.20 – Problema do empuxo constante num motor a jato

Identificando os parâmetros do problema, verifica-se que são o desperdício de energia, o empuxo variável, o aumento do empuxo, o aumento da área de queima e o aumento do perímetro da queima. Os elementos do sistema são o combustível sólido, o comburente e o cilindro. O problema pode ser reformulado como: obter o empuxo, sendo que a área de queima deve tornar-se independente ou função decrescente do perímetro (MQ) e sem que nenhum novo elemento seja adicionado ao sistema composto por combustível, comburente e cilindro (MF).

A técnica do Aumento da Variabilidade pode ser utilizada para solucionar esse problema. Esta técnica consiste de quatro passos: gerar uma lista de elementos do sistema e adjacências (no exemplo, combustível sólido, comburente e cilindro); selecionar um elemento (neste caso, o combustível sólido); selecionar dois parâmetros X e Y que não estejam relacionados no sistema atual - um novo grau de liberdade será o tipo de relacionamento entre estes parâmetros (X = forma da seção transversal; Y = progresso da combustão); procurar utilizar o novo grau de liberdade obtido para criar um estado em que a condição QC seja atendida. A solução encontrada é a variação da forma da seção transversal do combustível sólido, desde a forma de uma estrela até a forma de um círculo. Assim, embora o raio médio aumente, o perímetro e a área são mantidos constantes (Ilustração 5.20B).

5.11.5 Remoção

A técnica da Remoção consiste em procurar atender à condição MQ por meio da eliminação de um dos elementos do sistema ou adjacências.

Exemplificando, considere-se o problema da movimentação de um navio quebra-gelo. Em regiões com camadas de gelo finas, o navio quebra o gelo pela ação do casco na horizontal. Em regiões com grossas camadas de gelo, o navio precisa ser impulsionado para sobre o gelo, de forma a quebrá-lo com seu peso. O problema é a lentidão desse processo. O navio é pesado, necessita ter um casco muito resistente e motores potentes para funcionar adequadamente, sobrando pouco espaço para a carga. Uma solução ordinária para aumentar a velocidade do navio seria o aumento da potência de propulsão. Com isso, entretanto, embora haja melhoria na velocidade, o processo continua lento e a capacidade de carga diminui.

O problema reformulado é: a velocidade do navio deve tornar-se independente ou função decrescente da capacidade de carga, sem a adição de elementos ao sistema casco, gelo, propulsão.

Utilizando-se a técnica de Remoção, pode-se imaginar que o casco seja removido. Se o casco for totalmente removido, não poderá haver transporte de carga. Porém, parte do casco pode ser removida, na região que ficaria em contato com o gelo, como mostrado na Ilustração 5.21. Somente entrarão em contato com o gelo as partes delgadas do casco, as quais cortarão o gelo.

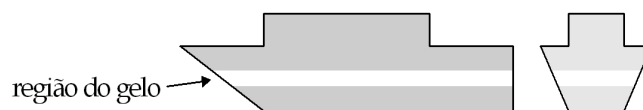


Ilustração 5.21 – Problema do navio quebra-gelo

5.12 SOFTWARE DE TRIZ

A TRIZ pode ser aplicada totalmente sem o uso de ferramentas computacionais. Entretanto, o uso dessas ferramentas pode tornar o processo mais simples. Os principais pacotes de software de TRIZ são os das empresas Invention Machine (1995), Ideation International (IDEATION, 2007) e CREAX (CREAX, 2007a). O software de TRIZ oferece apoio:

- ao processo de aprendizado da TRIZ, por meio de tutoriais;
- à tarefa de formulação do problema, com ferramentas como diagramas para a modelagem da situação problemática e geração, a partir dos dados inseridos pelo usuário nos modelos, de declarações de problemas e de contradições;
- ao processo de resolução dos problemas e de ideação, com a apresentação das diversas heurísticas da TRIZ e o uso de exemplos ilustrados, que facilitam o entendimento das mesmas;
- ao processo de avaliação das ideias, com ferramentas de avaliação multicritério; e
- ao registro e reporte dos processos de formulação de problemas, geração e avaliação de ideias.

5.13 CONSIDERAÇÕES SOBRE A TRIZ

No Quadro 5.8, é feita uma avaliação, baseada na experiência do autor, da aplicabilidade dos conceitos e ferramentas da TRIZ para as diferentes classes de problemas propostas por Savransky (2000): melhorias e solução de problemas em sistemas existentes, síntese, gênese, busca de novos usos e diagnose em novos sistemas.

Quadro 5.8 – Aplicabilidade dos conceitos e ferramentas da TRIZ

Partes da TRIZ	Tipos de problemas					
	Em sistemas existentes		Em novos sistemas			
	Melhorias	Solução de problemas (produção, qualidade)	Síntese (a partir de STs existentes)	Gênese (partindo de necessidade)	Technology push (novos usos)	Diagnose (prever e prevenir problemas)
Fundamentos e Conceitos	x	x	x	x	x	x
Ferramentas para a Análise da Situação Problemática e Formulação de Problemas	x	x	x	x		x
Ferramentas para a Ativação da Imaginação	x	x	x	x	x	x
Tendências da Evolução (TEs)	x	x	x	x	x	
Método dos Princípios Inventivos (MPI)	x	x				
121 Heurísticas	x	x				
Método da Separação (MS)	x	x				
Efeitos	x	x	x	x		x
Pequenas Pessoas Espertas	x	x	x	x		
Método das Partículas ou Método dos Agentes (MP/MA)	x	x	x	x		
Análise Su-Campo	x	x	x	x		
ARIZ	x	x	x	x		x
Hibridização			x	x		
SIT / USIT / ASIT	x	x				
Software de TRIZ	x	x	x	x		x

Observa-se, no Quadro 5.8, que vários conceitos e ferramentas da TRIZ podem ser utilizados diretamente para a ideação de novos produtos (na classificação utilizada, síntese, gênese e busca de novos usos). As demais ferramentas, como o MPI e o MS, por exemplo, também podem ser acessórias para a ideação de novos produtos. A metodologia IDEATRIZ faz uso de tais conhecimentos.

As ferramentas da TRIZ são eficazes em indicar a direção para ideias não óbvias, o que pode ser considerado um avanço em relação à geração espontânea de ideias utilizada nos métodos intuitivos e, mesmo, nos métodos sistemáticos, descritos no Capítulo 4. Citando Mann (2002):

“Geralmente, descrevemos esta parte do processo,” (a geração de soluções) “quando ele aparece nos outros métodos, como a parte do ‘insira o milagre aqui’ porque, se você analisar todos estes processos (...), verá que todos eles dependem fortemente do brainstorming como ‘o’ meio para se gerar soluções”.

A argumentação acerca da eficácia da TRIZ pode parecer vazia, porque há escassez de estudos científicos comparando métodos para a solução criativa de problemas em geral.

Entretanto, além dos estudos de Altshuller (1956, 1979, 1986), importantes evidências a respeito da eficácia da TRIZ em comparação com métodos intuitivos e sistemáticos na geração de ideias criativas podem ser encontradas nos trabalhos de Horowitz & Maimon (1997) e Horowitz (1998).

O maior problema observado, o qual tem impacto direto no objetivo deste trabalho, é que o processo de geração de ideias por meio das técnicas da TRIZ sofre do que se pode chamar “viés inventivo”. As ideias obtidas com a TRIZ não têm, necessariamente, foco nas necessidades atuais e futuras dos clientes.

A razão para a ausência de foco no mercado está intimamente relacionada ao próprio processo que levou à criação da TRIZ e sua identidade: estudar patentes e delas retirar as fórmulas genéricas da invenção. O foco em patentes desconsidera o sucesso mercadológico. Muitas patentes jamais foram implementadas por meio de produtos ou processos e muitos produtos de grande sucesso no mercado jamais foram patenteados. A consideração do sucesso mercadológico vem sendo trazida para dentro do âmbito da TRIZ apenas recentemente.

É impossível julgar, a priori, se uma ideia gerada por meio de heurísticas da TRIZ, por mais inventiva que seja, terá, efetivamente, sucesso mercadológico. Para contornar o viés inventivo, torna-se necessário um processo de avaliação – estratégia adotada na metodologia IDEATRIZ.

Por outro lado, esta pesquisa pretende chegar a uma metodologia que incorpore a agregação de valor para os clientes já na ideação de novos produtos. Embora seja um processo heurístico e fortemente baseado na TRIZ, a metodologia IDEATRIZ, descrita no Capítulo 6, incorpora conhecimentos relativos ao sucesso das inovações em termos de oferta de benefícios para os clientes, como detalhado a seguir.

