



UMA PROPOSTA DE INSTRUMENTO PARA SISTEMATIZAÇÃO DO
PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO EM PROJETOS DO SETOR DE
ARQUITETURA, ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO BASEADO NA TRIZ

Diana de Almeida Pinto Regalla

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Rio de Janeiro

Março de 2018

UMA PROPOSTA DE INSTRUMENTO PARA SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO
DE TOMADA DE DECISÃO EM PROJETOS DO SETOR DE ARQUITETURA,
ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO BASEADO NA TRIZ

Diana de Almeida Pinto Regalla

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Ricardo Manfredi Naveiro, D.Sc.

Prof. Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos, D.Sc.

Prof. Roberto Machado Corrêa, D.Sc.

Prof. Édison Renato Pereira da Silva, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
MARÇO DE 2018

Regalla, Diana de Almeida Pinto

Uma Proposta de Instrumento para Sistematização do Processo de Tomada de Decisão em Projetos do Setor de Arquitetura, Engenharia e Construção Baseado na TRIZ/Diana de Almeida Pinto Regalla – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

VIII, 146 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 115-118.

1. Setor de AEC. 2. Metodologia e Concepção de Projeto. 3. TRIZ. 4. Processos Decisórios. I. Naveiro, Ricardo Manfredi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, João e Teresa, e à minha irmã Sabrina, pelo amor incondicional e pelo apoio nas decisões mais difíceis da minha vida. Obrigada por me levantar nos piores momentos e comemorar os momentos de VITÓRIA. Agradeço também ao meu namorado, Fábio, por todo amor e companheirismo e por me fazer enxergar o mundo como um lugar melhor, tornando esses dois anos mais leves e muito mais felizes.

Agradeço ao meu orientador Prof. Ricardo Manfredi Naveiro, por ter acreditado no meu potencial, pela motivação e pela sabedoria com que conduziu este trabalho. Um agradecimento especial ao Prof. Roberto Machado Corrêa que além de me conceder a oportunidade de realizar o estudo de caso em um projeto sob sua orientação, atuou praticamente como coorientador dessa pesquisa, dedicando seu tempo e experiência. Obrigada aos dois por me despertar o apreço pela conexão entre as engenharias civil e de produção.

Agradeço à equipe de projetos da Fluxo Consultoria, ao Diretor do IPPMG, Dr. Bruno Leite, e à todos os funcionários do Hospital por me deixar fazer parte da realização deste projeto, fornecendo toda informação necessária para a realização da minha pesquisa.

Agradeço a todos os professores do PPE e da COPPE pela excelência no ensino. Obrigada àqueles que compartilharam seus conhecimentos de forma agradável e ética e obrigada também àqueles que dificultaram o caminho tornando a chegada mais suada, porém mais prazerosa.

Por fim, agradeço às minhas amigas da vida toda, Manu e Mano, pelo companheirismo diante das mudanças de nossas vidas e por vocês serem sempre meu porto seguro. Agradeço também aos amigos do mestrado, em especial à Marcela e Andréa, por compartilhar e ajudar na busca de um objetivo comum.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UMA PROPOSTA DE INSTRUMENTO PARA SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO
DE TOMADA DE DECISÃO EM PROJETOS DO SETOR DE ARQUITETURA,
ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO BASEADO NA TRIZ

Diana de Almeida Pinto Regalla

Março/2018

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Programa: Engenharia de Produção

Os crescentes avanços tecnológicos no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) vêm, constantemente, influenciando os processos de trabalho e rompendo paradigmas, causando mudanças nas relações funcionais e intensificando a competitividade entre os agentes dessa indústria. Esse fato evidencia a necessidade de organização do processo de projeto, que pode ser alcançado por meio de metodologias sistemáticas, já que a falta de domínio do processo de criação pode promover resultados ineficazes. A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) oferece uma abordagem sistemática, baseada no conhecimento tácito dos profissionais, direcionada ao processo criativo de solução de problemas. Propõe-se o uso da TRIZ nas etapas iniciais do processo para delimitar o espaço de busca por soluções, de forma sistemática e eficaz, integrando-se aos demais modelos de suporte ao projeto. Seu uso compreende diversas técnicas e consiste, essencialmente, na reestruturação do problema de um projeto específico em um problema genérico, cuja solução tenha princípios referenciais consolidados, os Princípios Inventivos (PIs). O trabalho apresenta a adaptação dessa teoria clássica, comumente utilizada no desenvolvimento de novos produtos, para o setor de AEC, campo ainda não suficientemente explorado pela teoria, resultando na proposta de um instrumento para sistematizar o processo decisório diante das contradições de projetos. Para testar o instrumento, um estudo de caso foi realizado no Instituto de Pediatria e Puericultura Martagão Gesteira (IPPMG) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Como resultado, soluções práticas significativas tanto para a validação do instrumento quanto para o projeto em si foram alcançadas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

AN INSTRUMENT PROPOSAL FOR SYSTEMATIZATION OF THE DECISION-
MAKING PROCESS IN PROJECTS OF ARCHITECTURE, ENGINEERING AND
CONSTRUCTION INDUSTRY BASED ON TRIZ

Diana de Almeida Pinto Regalla

March/2018

Advisor: Ricardo Manfredi Naveiro

Department: Production Engineering

The increasing technological advances in Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry are constantly influencing work processes and breaking paradigms, causing changes in the functional relations between the agents of this industry and intensifying the competitiveness between the architecture and engineering offices and between the builders. This fact evidences the need for design process organization, which can be achieved through systematic methodologies, since the lack of control of the creation process can result in ineffective methodological systems. The Inventive Problem Solving Theory (TRIZ) offers a systematic, human-oriented and knowledge-based approach, driving the creative problem-solving process. The proposal to use TRIZ in the initial stages of the process allows the delimitation of the search space for solutions in a systematic and efficient way. Its use comprises several techniques and consists essentially in the restructuring of a specific design problem in a generic problem whose solution has consolidated referential principles, Inventive Principles (IPs). The paper presents the adaptation of this classic theory, commonly used in the development of new products, for the AEC industry, a field not yet sufficiently explored by the theory, resulting in the proposal of an instrument to systematize the decision-making process in the face of contradictions. To test the instrument, a case study was conducted at the Martagão Gesteira Institute of Pediatrics and Child Care (IPPMG) of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ). As a result, significant practical solutions for both validation of the instrument and the project itself have been achieved.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Justificativa	3
1.4	Limitações da Pesquisa.....	4
1.5	Metodologia.....	5
1.6	Estrutura da Dissertação.....	7
2	Projetos no Setor de AEC.....	9
2.1	O Setor de AEC	9
2.2	Metodologia de Projetos no Setor de AEC	10
2.3	Organização de Projetos no Setor de AEC	13
2.4	Sistemas de Auxílio ao Projeto	16
2.5	Natureza do Projeto	19
2.6	Colaboração nos Projetos	22
2.7	Modelos de Suporte ao Projeto.....	27
3	TRIZ.....	29
3.1	Contextualização.....	29
3.1.1	Panorama Geral.....	31
3.1.2	Filosofia	36
3.2	Estrutura TRIZ	36
3.2.1	Conceitos Fundamentais.....	39
3.2.2	Padrões de Evolução dos Sistemas Técnicos.....	41
3.2.3	Questionário de Situação da Inovação (QSI)	44
3.2.4	Processo de Formulação de Problemas (PFP)	45
3.2.5	Método dos Princípios Inventivos (MPI) e Matriz de Contradições (MC) 46	
3.2.6	Campos de Aplicação da TRIZ.....	50
4	A TRIZ na Arquitetura e Construção.....	51
4.1	Incipiência da TRIZ no setor de AEC	51
4.2	Os Conceitos Fundamentais da TRIZ para Arquitetura e Construção	52
4.3	A TRIZ aplicada na Indústria da Construção.....	54
4.4	Princípios Inventivos (PIs) para Arquitetura	55
4.4.1	Aplicação dos PIs em Projetos Arquitetônicos: o Método dos Princípios Inventivos (MPI) e a Matriz de Contradições (MC)	56

5	Proposta de Interpretação da TRIZ para Projetos de AEC	58
5.1.1	Trajectoria de Desenvolvimento.....	58
5.1.2	Princípios Inventivos (PIs) para Projetos de AEC.....	59
5.1.3	Parâmetros de Engenharia (PEs) para Projetos de AEC.....	76
6	O Estudo de Caso: IPPMG	80
6.1	Identificação e Condução do Caso	80
6.2	Análise do Caso	84
6.2.1	Questionário de Situação da Inovação (QSI)	85
6.2.2	Busca de Soluções	90
6.2.3	Resultados e Discussões	106
7	Conclusões e Considerações Finais	111
7.1	Conclusões.....	111
7.2	Sugestões para trabalhos futuros	113
	Referências Bibliográficas	115
	Apêndice A – Matriz de Contradições para o Setor de AEC.....	119
	Apêndice B – Resultado das Soluções geradas no Estudo de Caso	131
	Anexo A - 40 Princípios Inventivos	133
	Anexo B – Parâmetros de Engenharia.....	137
	Anexo C – Matriz de Contradições.....	140
	Anexo D – Planta baixa original do 1º pavimento do edifício do IPPMG	144
	Anexo E – Planta baixa original do 2º pavimento do edifício do IPPMG	145
	Anexo F – Plantas baixa atualizadas do térreo e do 3º pavimento do edifício do IPPMG	146

1 Introdução

1.1 Antecedentes

Formada em Engenharia Civil com ênfase em projetos estruturais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, a autora desta pesquisa teve a oportunidade de trabalhar tanto na indústria da Construção Civil, participando da execução de um corredor rodoviário para transporte público metropolitano com 45 metros de extensão, quanto no setor de projetos de infraestrutura, atuando como engenheira calculista do projeto executivo de estações de metrô de um grande centro urbano.

A instalação da crise no setor da Construção Civil em 2016 despertou na autora o desejo de mudar de área, fazendo com que abrisse mão do mestrado profissional em Engenharia Civil, já em andamento, para iniciar o mestrado acadêmico em Engenharia de Produção na COPPE. Sem renunciar aos seus conhecimentos já adquiridos, decidiu-se que a linha de pesquisa do novo mestrado seria na área de projetos do setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC).

A busca pelo tema foi iniciada com um extenso estudo sobre esse setor, mapeando quais métodos e tecnologias haviam surgido nos últimos anos para auxiliar no processo desse tipo de projeto, entre outros aspectos. Eis que durante a disciplina de Gestão do Conhecimento, oferecida pelo Programa de Engenharia de Produção (PEP), surgiu o interesse de trabalhar o tema de resolução de problemas complexos atrelado ao pensamento sistemático. Foi assim que o orientador dessa dissertação indentificou a oportunidade de apresentar a teoria de resolução de problemas inventivos, a TRIZ, à aluna, tema que já vinha sendo estudado por ele.

Em meio à formulação da questão de pesquisa para incorporar a TRIZ ao setor de AEC, o Professor Roberto Machado Corrêa, consultor da Fluxo Consultoria (empresa junior de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro), viabilizou a possibilidade de aplicar a pesquisa a um estudo de caso real sob sua orientação. Dessa forma, o projeto de reforma de algumas unidades do Instituto de Pediatria e Puericultura Martagão Gesteira (IPPMG) da UFRJ foi o caso escolhido para testar um estudo ainda incipiente sobre a adaptação dos conceitos fundamentais da TRIZ a projetos do setor de AEC. Além de participar como observadora das reuniões de projeto para coletar os dados necessários ao estudo de caso, a autora atuou como tutora dos alunos de engenharia civil, integrantes da equipe de projetos da Fluxo Consultoria.

1.2 Objetivos

O pressuposto deste trabalho é que as metodologias sistemáticas de suporte ao projeto favorecem a criação, focalizando o espaço de busca por soluções e reduzindo o tempo de desenvolvimento do projeto.

Dessa forma, o objetivo central deste trabalho é explorar um método de tomada de decisão em projetos capaz de auxiliar na resolução dos conflitos existentes entre requisitos de projeto, de forma a alcançar uma solução factível capaz de atender simultaneamente aos requisitos conflitantes. Trata-se, portanto de explorar um método de apoio ao processo de resolução problemas no qual se procura satisfazer simultaneamente requisitos conflitantes que, numa abordagem convencional seriam objeto de uma solução de compromisso, priorizando o atendimento de um requisito em detrimento do outro.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- ✓ Revisar o campo conceitual da atividade de projetar, com ênfase no setor de AEC;
- ✓ Identificar especificidades dos projetos desse setor incluindo as características dos projetos e os métodos e metodologias utilizadas;
- ✓ Analisar os métodos de suporte à solução criativa de problemas complexos, em particular a TRIZ, teoria da resolução inventiva de problemas;
- ✓ Adaptar a TRIZ para aplicações no setor de AEC e propor um instrumento aplicado às etapas iniciais do processo de desenvolvimento desses projetos;
- ✓ Executar um estudo de caso, na busca da validação do instrumento proposto, assim como avaliar a sua eficácia na resolução do problema nas etapas de programa de necessidades e de estudo preliminar de um projeto real.

Assim, o estudo realizado proporcionará contribuições significativas para a sistematização do processo de projetos do setor de AEC pelos seguintes motivos:

- ✓ É focado na fase inicial do processo de projeto, quando as principais decisões são tomadas;
- ✓ Trata as contradições de parâmetros e requisitos de projeto como elementos recorrentes e necessários;
- ✓ Propõe a exploração de uma metodologia geral para uso específico.

1.3 Justificativa

Segundo a CONAC (Coordenação de Contas Nacionais), órgão da Diretoria de Pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a participação da indústria da construção civil no valor adicionado bruto (a preços básicos) do Brasil foi de 5,6% em 2016. Entende-se por valor adicionado bruto o valor que a atividade agrega aos bens e serviços consumidos no seu processo produtivo, ou seja, é a contribuição ao produto interno bruto pelas diversas atividades econômicas. Esse dado estatístico revela a importância de um determinado setor para a economia de um país.

Em pesquisa apresentada pelo IBGE em 2017 aponta-se que, apesar da queda de 3,6% do PIB nacional em 2016, acompanhada da queda de 5,1% na atividade da construção civil e da redução de 2,8% da força de trabalho no setor, o peso da construção civil no investimento ainda é alto (55%). Esses números mostram que o reaquecimento da atividade no setor é crucial para a recuperação da economia brasileira, comprovando a importância da construção civil na participação da economia nacional.

O reaquecimento da atividade do setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) no Brasil depende não somente de fortes investimentos, mas também de inovações, tanto em suas tecnologias como em seus processos, para atingir estabilidade e desenvolvimento. Sem essa variável, o setor nacional torna-se obsoleto, perde competitividade e não consegue acompanhar as necessidades de crescimento do país. Além do âmbito operacional, a inovação também se faz necessária na fase criativa do projeto. A concepção de um projeto de AEC é um processo complexo, que se enquadra em temas que vão desde soluções técnicas até artísticas para responder às questões propostas.

Os requisitos iniciais de projetos nesse setor evidenciam, cada vez mais, aspectos conflitantes, que envolvem objetivos contraditórios por parte dos intervenientes no projeto: projetista, cliente, construtora, comunidade, usuários, legislação etc. Além disso, observa-se frequentemente uma inconsistência entre o que é solicitado e o que é esperado pelo cliente ou entre o que é projetado e o que de fato é construído. Por isso foram incorporadas fases adicionais no processo de projeto, como o *As Built*, e aditivos contratuais relativos à mudança de escopo. Entretanto, mudanças realizadas no projeto após as principais tomadas de decisão acarretam custos adicionais muito altos, colocando em risco o sucesso de um empreendimento.

Diante dos diversos conhecimentos específicos inseridos nos atuais projetos, cada vez mais complexos, que muitas vezes constituem-se em parâmetros contrários ou conflitantes, o projetista pode lidar com a situação de algumas formas. A mais recorrente é pelo estabelecimento de compromissos (*trade-off*), onde uma solução aceitável é selecionada, de forma a ultrapassar o problema.

Já a maneira criativa de solucionar requisitos conflitantes não busca o atendimento a um único requisito, nem o estabelecimento de um compromisso entre os mesmos: a solução criativa é aquela que encontra nos requisitos, aparentemente conflitantes, impulso para gerar inovações e descobertas. É nesta forma de geração de ideia para solucionar problemas de projetos complexos, como os do setor de AEC, que essa dissertação estará focada.

1.4 Limitações da Pesquisa

As limitações da pesquisa estão relacionadas, em aspectos bibliográficos, ao baixo número de publicações que aborde a inserção da teoria na qual o instrumento proposto se baseia, a teoria de resolução de problemas inventivos (TRIZ), em projetos do setor de AEC e à quase inexistência de testes (estudos de casos) realizados no sentido da validação dessas pesquisas. Essa relação será apresentada no item 1.6 deste trabalho.

É importante ressaltar também a limitação prática da pesquisa. A interpretação dos conceitos e princípios da TRIZ para o setor de AEC será baseada na TRIZ original, que já possui sua credibilidade comprovada por ser uma teoria clássica, amadurecida por mais de 40 anos, bem aceita pela comunidade acadêmica e profissional, originada a partir da análise de milhares de patentes, criada por um engenheiro conceituado da marinha soviética que possuía todas as informações necessárias disponíveis. Ainda assim, o instrumento proposto nesta dissertação será aplicado a um único estudo de caso, em consequência do limite de tempo para realização desta pesquisa.

Outro ponto que vale ressaltar é que foram utilizadas adaptações da TRIZ realizadas por autores que fizeram uma atualização desta teoria *vis a vis* os progressos técnicos ocorridos, constatando a imutabilidade dos principais conceitos utilizados.

1.5 Metodologia

O trabalho se trata de uma pesquisa qualitativa de abordagem exploratória, que visa proporcionar maior familiaridade com o problema (explicitá-lo). Para tanto, o foco principal da pesquisa foi, com base na fundamentação teórica, executar um trabalho empírico (estudo de caso) em busca do conhecimento extenso e acurado sobre um fenômeno específico.

A pesquisa foi iniciada com um mapeamento sistemático da literatura seguida de uma revisão sistemática da mesma, conforme Silva e Júnior (2013). No que tange os assuntos abordados no Capítulo 2, Projetos no Setor de AEC, foi utilizada a heurística de “Ramos & Raízes” (R&R) de maneira direta, ou seja, transpondo a etapa de mapeamento da bibliografia existente. Os ramos (principais obras e autores) foram dados pelo orientador da dissertação e as raízes (referências que cada trabalho cita) foram encontradas pela aluna executora da dissertação. Assim, os ramos sugeridos pelo orientador da dissertação para esse assunto foram:

Livros:

- ✓ SILVA, E. **Uma Introdução ao Projeto Arquitetônico**. 2ª impress, ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, 1991.
- ✓ NAVEIRO, R. M. Engenharia do Produto. In: BATALHA, M. O. (Ed.). **Introdução a Engenharia de Produção**. 1a. ed. Rio de Janeiro: Elsevier/Campus, 2007. p. 135–156.

Artigos:

- ✓ NAVEIRO, R. M. Knowledge Management in Product Design : the Baja Project. In: **21st International Conference on Production Research**, p. 6, 2011.

Teses:

- ✓ SOUZA FILHO, R. S. **O Desenvolvimento Integrado de Projetos no Setor de Arquitetura, Engenharia e Construção através de um Sistema Operacional**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2004.
- ✓ NUNES, R. C. P. **O Desenvolvimento Colaborativo de Projetos de Engenharia e Arquitetura Apoiado por um Gerenciador de Documentos**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2004.
- ✓ LOPES, C. A. **Proposta de Ferramenta Colaborativa para Gerenciamento de Empreendimentos no Setor de Arquitetura, Engenharia e Construção**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

Periódicos e Eventos:

- ✓ Ambiente Construído e Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC).

Autores:

- ✓ Formoso, C. T. E Melhado, S. B.

Já para o assunto abordado no Capítulo 3, a TRIZ, fez-se o mapeamento sistemático da literatura existente. A Figura 1 ilustra o processo: em um primeiro momento ocorre a etapa de pesquisa, em que uma busca de referências justificável é feita em bases de pesquisa conhecidas; em seguida, as referências são organizadas em softwares apropriados para esse fim e a gestão de referências é feita em uma planilha Excel; por fim, as referências são inseridas no software de escrita.

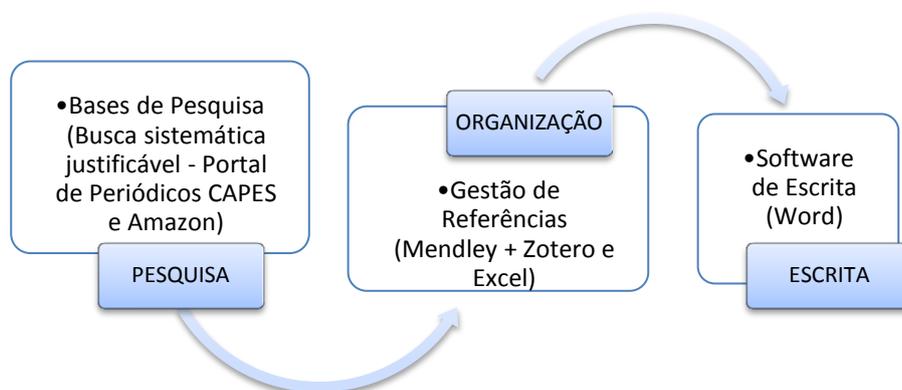


Figura 1 - Procedimento do MSL
Fonte: Elaboração própria

A Figura 2 apresenta resumo das heurísticas até o período de maio de 2017, dos quais a partir da análise inspeccional dos tipo 1 e 2, além da leitura analítica de textos de maior relevância, foram selecionadas as obras aqui apresentadas até o momento. Os softwares Mendley e Zotero estão sendo utilizados para a gestão das referências da pesquisa.

Além disso, foi feita uma busca avançada na base de dados dos periódicos da CAPES para encontrar publicações sobre o uso da TRIZ no setor de AEC, assunto abordado no Capítulo 4 desta dissertação. A Figura 3 mostra os termos utilizados e a quantidade de publicações encontradas. Além disso, observou-se recorrentes citações de referências encontradas na "literatura cinza" como *blogs*.

Heurística
001. Título: TRIZ
002. Título: Inventive Principles
003. Tópico: TRIZ
003. Tópico: Inventive Principles
005. Tópico: Inventive Principles Method
006. Autor: Altshuller, G. S.
007. Autor: de Carvalho, M. A.

Figura 2 - Heurísticas para MS (até maio 2017)
Fonte: Elaboração própria

	Termo 1	Termo 2	Total 1	Filtro 0: Duplicata	Total 2	Filtro 1: Título	Filtro 2: Resumo
1-	TRIZ	Arquitetura	17	0	17	4	5
2-	TRIZ	Engenharia	24	3	21	6	2
3-	TRIZ	Construção Civil	11	3	8	1	2

Figura 3 - Busca na base de dados da CAPES (até maio 2017)
Fonte: Elaboração própria

Concomitante à revisão bibliográfica, fez-se a coleta de dados para o estudo de caso. Em seguida, elaborou-se a proposta de instrumento, que por sua vez foi testada em um estudo de caso real, sendo conduzido segundo a sugestão de Cauchick Miguel (2012). O método de pesquisa está apresentado esquematicamente na Figura 4.

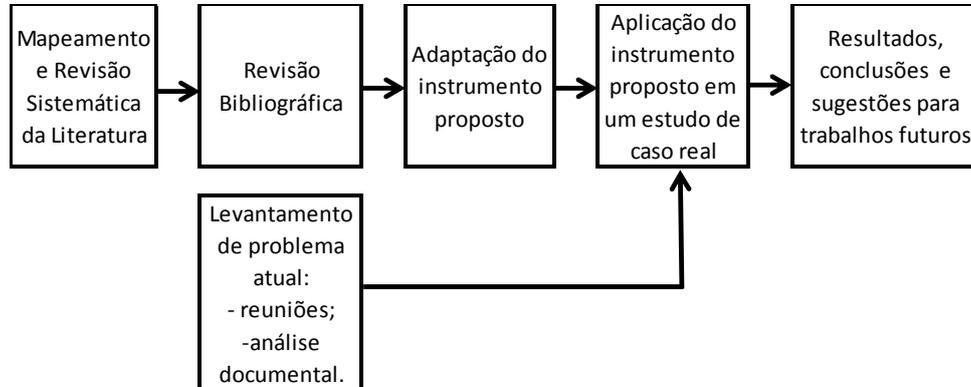


Figura 4 - Esquema do método utilizado na condução da pesquisa
Fonte: Elaboração própria

1.6 Estrutura da Dissertação

O texto da dissertação está estruturado em sete capítulos. No primeiro capítulo introduz-se o contexto da pesquisa, evidenciando as questões a serem estudadas, delimitando o escopo e a contribuição do trabalho, além da metodologia de pesquisa utilizada na dissertação e sua estrutura.

O capítulo 2 se insere dentro do contexto de fundamentação teórica, abordando questões de caráter teórico e de embasamento para a metodologia de pesquisa utilizada. Inicialmente são abordadas características de projetos do setor no qual a pesquisa está inserida, o setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Aspectos relevantes e particularidades desse setor são explicitados de modo a justificar como se dá a estruturação da metodologia dos projetos neste setor. Em seguida, mostra-se como são organizados esses projetos, bem como algumas tecnologias que auxiliam nesta tarefa. Após isso, o assunto é expandido ao se explorar características inerentes à atividade de projetar, incluindo aspectos colaborativos e métodos de suporte ao processo de projeto, levando ao tema no qual a pesquisa está baseada, a TRIZ.

Dessa forma, o capítulo 3 traz uma revisão bibliográfica da teoria utilizada na pesquisa - a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ). Primeiramente, faz-se uma abordagem geral dos tipos de problemas que a teoria se propõe a resolver. A teoria é contextualizada, tornando possível extrair e compreender sua filosofia e estratégia. Em seguida, apresenta-se a estrutura da teoria, ressaltando seus conceitos fundamentais e suas ferramentas. Por fim, citam-se alguns campos para os quais a TRIZ já foi adaptada e utilizada.

Nessa linha, o capítulo 4 enfatiza a incipiência do uso da TRIZ na área de projetos arquitetônicos e de construção civil. Sendo assim, esse capítulo pretende apresentar trabalhos que já foram realizados no sentido de adaptar a teoria para viabilizar seu uso nesses tipos de projeto e que também serviram de base para criação do instrumento proposto no capítulo seguinte.

O capítulo 5 mostra detalhadamente a adaptação das ferramentas originais da TRIZ para o campo de projetos AEC realizada pela autora. Além disso, apresenta como esta interpretação propiciou a elaboração de um instrumento robusto para a sistematização do processo decisão em projetos desse setor.

O capítulo 6 dá continuidade ao trabalho, apresentando o estudo de caso real no qual o instrumento proposto foi aplicado, visando validação do mesmo. A unidade de análise (o caso) foi apresentada detalhadamente, assim como sua motivação e desenvolvimento. Ainda, realizou-se uma discussão dos resultados obtidos no estudo de caso.

O capítulo 7 apresenta as conclusões e sugestões de trabalhos futuros na linha de pesquisa deste estudo. Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas consultadas durante o estudo, além dos apêndices e anexos.

2 Projetos no Setor de AEC

O capítulo 2 da dissertação se insere dentro do contexto de fundamentação teórica, abordando questões de caráter teórico e de embasamento para a metodologia de pesquisa utilizada. O capítulo se inicia com a abordagem de características de projetos do setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Aspectos relevantes e particularidades desse setor são explicitados de modo a justificar como se dá a estruturação da metodologia dos projetos neste setor. Em seguida, mostra-se como são organizados esses projetos, bem como algumas tecnologias que auxiliam nesta tarefa. Posteriormente, exploram-se características inerentes à atividade de projetar, incluindo aspectos colaborativos e métodos de suporte ao processo de projeto, levando ao tema no qual a pesquisa está baseada, a TRIZ.

2.1 O Setor de AEC

A indústria da construção civil brasileira possui características próprias que a torna menos ágil que as demais indústrias, na aquisição e aproveitamento das técnicas de garantia e controle da qualidade. Para melhor entender esse atraso na construção civil, pode-se fazer as seguintes reflexões de caráter comparativo (JACOSKI, 2003):

a) Por ser muito antiga, trata-se de uma indústria muito tradicional, dotada, portanto, de uma grande inércia;

b) Possui caráter nômade, na qual a constância de condições, matérias-primas e processos se dão com mais dificuldades que em indústrias de caráter fixo;

c) Possui produtos únicos e não produtos seriados;

d) Trata-se de uma indústria à qual se aplica a produção concentrada (operários móveis atuando sobre um produto fixo) ao invés da produção em cadeia (produtos móveis passando por operários fixos);

e) Trata-se de uma indústria que emprega mão-de-obra de caráter temporário sem possibilidades de promoção dentro da empresa, repercutindo numa baixa motivação para o trabalho e, numa diminuição da qualidade do produto;

f) Apresenta uma grande dispersão e diversidade da produção, caracterizada por realizar-se em locais distintos – fábricas, escritórios de planejamento e projetos e canteiros de obras – e por gerar, através de vários processos, diferentes produtos como materiais, projetos, edifícios, infraestrutura urbana;

g) Geralmente, falta coordenação modular de seus processos.

Além disso, essa indústria é fragmentada, composta por um conjunto heterogêneo de empresas, que variam desde o ponto de vista do porte (predominância em pequenas e médias empresas) até sob a ótica da tecnologia empregada em seus processos produtivos. Em consequência disso, a cadeia produtiva da construção civil apresenta também sérias dificuldades de agregação da informação de todo o setor, devido à dispersão dos dados e a heterogeneidade dos agentes participantes. Este problema não é apenas detectado em relação à cadeia produtiva, mas é um reflexo do que ocorre internamente dentro de cada empresa. O fluxo de informações entre departamentos, entre projetos, e setores, em geral, acontece de forma dispersa e muitas vezes sem controle (JACOSKI; LAMBERTS, 2002).

O potencial de utilização da Tecnologia e Informação (TI) na indústria da construção é muito grande. Dado o tamanho do setor, suas características de uso intensivo de informação e a atual ineficiência de comunicação e baixa produtividade, os benefícios na integração da TI aos processos do setor seriam enormes. No entanto, há barreiras de diversas naturezas que ainda impedem a adoção generalizada destas tecnologias pela indústria da construção. Considerando-se os avanços tecnológicos dos últimos anos, o setor de AEC está incorporando gradativamente as novas Tecnologias da Informação, apesar de seu caráter tradicionalmente conservador (NASCIMENTO; SANTOS, 2002).

2.2 Metodologia de Projetos no Setor de AEC

Kiatake (2004) apresenta ideias marcadas por grandes debates sobre métodos e processos de projeto na arquitetura. Segundo a autora, a primeira geração de métodos de projeto defendia uma busca comum pela racionalização do processo de projeto e o desenvolvimento de formas de análise. A segunda geração declarava que, os problemas de projeto eram tratados como se fossem problemas bem estruturados (*tame problems*), quando na verdade, são problemas complexos, mal estruturados (*wicked problems*) e, assim, propunham um modelo argumentativo baseado na dúvida, e realizado, passo a passo, com um ciclo de posição, argumentação e decisão, repetido continuamente, além de enfatizar a participação social no processo. A partir de então, as pesquisas sobre Métodos de Projeto diversificaram-se em inúmeras abordagens, escopos e filosofias, enfocando sobre aspectos ora abstratos, ora concretos, ora sobre o artefato produzido, ora sobre o processo da atividade de projetar (KIATAKE, 2004).

O surgimento da terceira geração de métodos de projeto foi demarcado com incorporação da teoria do conhecimento à filosofia de projeto, vendo a pluralidade como um valor positivo, o conflito como inevitável e essencial, e definindo como melhor solução aquela que "melhor preenche o padrão de requisitos conflitantes, porque o problema é multifacetado, de acordo com as diversas pessoas envolvidas, e, geralmente, com propósitos não compatíveis e conflitantes em relação ao mesmo objeto" (Dülgeroglu-Yüksel, 1999 apud KIATAKE, 2004).

Pela ótica de Ruschel *et al* (2013), o processo de projeto é um conjunto de atividades com fases pré-estabelecidas para desenvolver produtos e serviços de acordo com as necessidades dos clientes. Do ponto de vista macro, no processo de projeto as fases e atividades tem início com o planejamento estratégico, seguido pelo planejamento do empreendimento, a concepção do produto, o desenvolvimento do produto e a entrega final. Corre em paralelo ao desenvolvimento do produto a obra, com o acompanhamento técnico dos projetistas, coleta de dados e elaboração de projeto *as-built*, bem como a elaboração dos documentos para o manual do usuário (no caso de projeto de produtos). Finalizada a obra tem-se a entrega das unidades e a avaliação pós-ocupação. O ciclo do processo de projeto se fecha com a retroalimentação ao planejamento estratégico de novos projetos (RUSCHEL *et al.*, 2013). O esquema foi ilustrado na Figura 5.

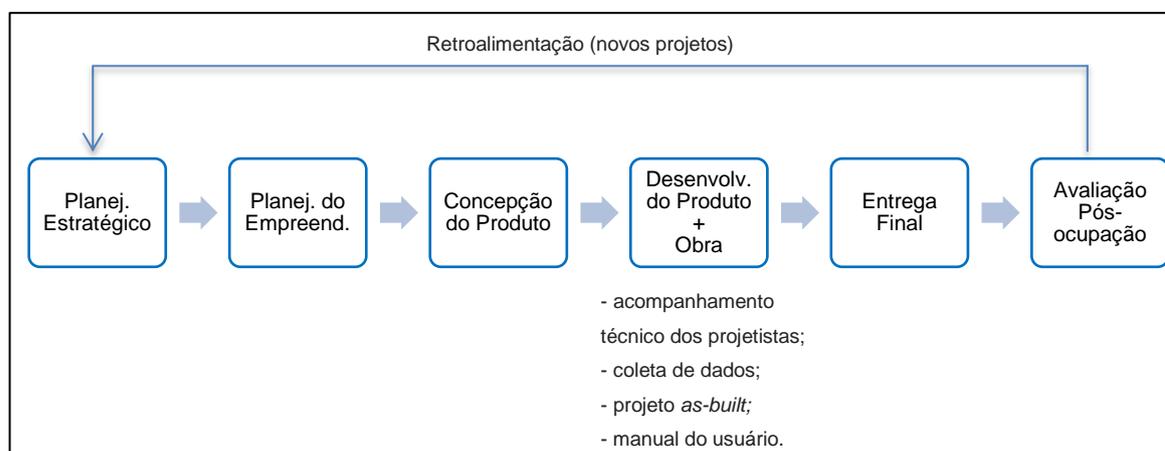


Figura 5 – Esquema do processo de projeto no setor de AEC (ponto de vista macro)

Fonte: Elaboração própria

Conforme características já elucidadas anteriormente, as atividades de projeto no setor de AEC se diferenciam do setor de produtos industriais tradicionais posto que, naquele setor, cada empreendimento é desenvolvido de acordo com um projeto exclusivo. A menos que o projeto seja padronizado, não costuma haver uma produ-

ção em série dos empreendimentos de construção civil. Além disso, os produtos industriais tradicionais possuem uma instalação fabril fixa onde essa produção é realizada em larga escala (*mass production*). Já no caso de empreendimentos tradicionais do setor de AEC a fábrica é construída e demolida durante a construção.

Adicionalmente, uma característica peculiar do setor de AEC é a divisão que existe entre “serviços” e “obras”, ou entre “projeto” e “execução”, até mesmo na legislação, onde são previstos como distintos os “contratos de serviço” e os “contratos de obra”. Os primeiros estariam relacionados a tudo o que é necessário, em termos de projeto, para que se viabilize fisicamente um determinado produto ou empreendimento - as atividades de “escritório” - e o contrato de obra está relacionado às atividades de execução propriamente dita - a obra. Em consequência disso, as empresas desse setor também se organizam basicamente, segundo esta divisão, entre Empresas de Serviços e Empresas Construtoras (SOUZA FILHO *et al.*, 2003).

Outra característica importante da metodologia de projeto deste setor é a fragmentação do projeto em disciplinas, ou áreas de conhecimento específicas, tais como: arquitetura, estruturas, instalações, geotecnia, incêndio etc. Essa divisão ocorre principalmente na elaboração de projetos, mas também pode ocorrer na execução do empreendimento, e acaba gerando uma divisão de pequenos núcleos de profissionais dentro de uma equipe maior de projeto do empreendimento. Por causa dessa fragmentação, existe enorme necessidade de coordenar as partes para que o projeto seja integrado.

Na construção civil a coordenação de um projeto é de responsabilidade de um profissional centralizador do processo, capacitado para integrar os processos, traduzir os anseios do empreendedor e coordenar a equipe de projetistas. A este profissional cabe interagir em todos os subprojetos, visando à perfeita compatibilidade entre os mesmos, além de conciliar um universo de competências diferentes, ambientes de especialização técnica com linguagens e representações próprias.

No caso do chamado mercado imobiliário, as construtoras geralmente organizam o projeto de um determinado empreendimento, contratando terceiros para cada disciplina ou conjunto de disciplinas que o compõe. Por conseguinte, são contratados escritórios ou profissionais liberais especializados para o projeto arquitetônico, para o cálculo estrutural, para as instalações elétricas, de água/esgoto, de comunicações etc. Como consequência desta situação, muitas incompatibilidades de projeto só se tornarão visíveis no decorrer da execução da obra, sendo responsáveis por mudanças e improvisações de projeto.

A obra é um momento onde praticamente todas as decisões do projeto já foram tomadas e qualquer alteração que ocorra no projeto durante esta fase é custosa e muitas vezes, traumática. Essa falta de consistência das informações decorrentes deste processo desintegrado de elaboração de projetos é a causa principal das insatisfações do cliente, do aumento de custos e do tempo de execução da obra, e das perdas e desperdícios, que podem atingir percentuais elevados.

Com projetos cada vez mais complexos, surge com força cada vez maior a solicitação sobre os processos de projeto, que passa a se caracterizar como um dos gargalos para a evolução do setor na busca por um caráter mais industrial. Para projetos de grande porte surge também a necessidade de utilizar ferramentas que sejam capazes de realizar a compatibilização de projetos, ou seja, realizar a atividade de gerenciar e integrar projetos correlatos, visando o ajuste entre os mesmos, conduzindo-os para a obtenção dos padrões de qualidade determinada pela obra (RUSCHEL *et al.*, 2013).

Posto isto, nos projetos de edificações, bem como na maioria dos projetos do setor de AEC, o problema de projeto (necessidade do cliente) geralmente é pouco definido, e a atenção dos projetistas oscila entre a compreensão do problema e de sua solução desenvolvida gradualmente, em função das incertezas e dos diferentes interesses envolvidos que devem ser satisfeitos. Assim, o projeto de edificação, pela sua natureza, é também a integração de processos.

2.3 Organização de Projetos no Setor de AEC

Com o aumento da complexidade dos projetos no setor de AEC, surgiu a necessidade de se utilizarem ferramentas mais poderosas para auxiliar sua coordenação. A organização do projeto em etapas existe há muito tempo e não teve grandes alterações. O propósito da divisão de um projeto em etapas é facilitar o planejamento e a definição de uma forma de pagamento proporcional aos serviços prestados, ficando claro o caráter de indivisibilidade do projeto como um todo.

A NBR 13532: Elaboração de Projetos de edificações - Arquitetura, norma elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define as etapas de execução da atividade técnica do projeto de arquitetura, na sequência indicada:

a) levantamento de dados para arquitetura: momento reservado para coleta de informações de referência que representem as condições preexistentes, de interesse

para instruir a elaboração do projeto, podendo incluir dados físicos, técnicos, legais e jurídicos, sociais, econômicos, financeiros, entre outros;

b) programa de necessidades de arquitetura: etapa destinada à determinação das exigências de caráter prescritivo ou de desempenho (necessidade e expectativas dos usuários) a serem satisfeitas pela edificação a ser concebida;

c) estudo de viabilidade de arquitetura: quando se faz a elaboração de análise e avaliações para seleção e recomendação de alternativas para a concepção da edificação e seus elementos, instalações e componentes;

d) estudo preliminar de arquitetura: etapa destinada à concepção e à representação do conjunto de informações técnicas iniciais e aproximadas, necessários à compreensão da configuração da edificação, podendo incluir alternativas;

e) anteprojeto de arquitetura ou de pré-execução: momento designado à concepção e à representação das informações técnicas provisórias de detalhamento da edificação e de seus elementos, instalações e componentes, necessárias ao inter-relacionamento das atividades técnicas de projeto e suficientes à elaboração de estimativas aproximadas de custos e de prazos dos serviços e de obra implicados;

f) projeto legal de arquitetura: momento em que se faz a representação das informações técnicas necessárias à análise e aprovação, pelas autoridades competentes, da concepção da edificação e de seus elementos e instalações, com base nas exigências legais (municipal, estadual, federal), e à obtenção do alvará ou das licenças e demais documentos indispensáveis para as atividades de construção;

g) projeto básico de arquitetura (opcional): etapa opcional destinada à concepção e à representação das informações técnicas da edificação e seus elementos, instalações e componentes, ainda não completas ou definitivas, mas consideradas compatíveis com os projetos básicos das atividades técnicas necessárias e suficientes à licitação (contratação) dos serviços e obras correspondentes;

h) projeto para execução de arquitetura: etapa destinada à concepção e à representação final das informações técnicas da edificação e de seus elementos, instalações e componentes, completas, definitivas, necessárias e suficientes à licitação (contratação) e à execução dos serviços e obras correspondentes.

Nessa mesma linha, a Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (AsBEA) oferece uma definição macro em relação às etapas básicas do projeto como integrante das atividades de um escritório de arquitetura. A primeira etapa é a **concepção**, que consiste na interpretação de um programa previamente estabelecido

do, representado graficamente, definindo o partido adotado como melhor alternativa de solução. A concepção se inicia com os estudos preliminares e se aperfeiçoa através do amadurecimento natural das ideias. Em outras palavras, é o estágio inicial no qual se analisa o problema, para determinação da viabilidade de um programa e do partido a ser adotado. Segundo SILVA (1991), nesse momento o detalhamento é dispensável.

A segunda etapa é a **execução**, que ocorre após a definição da concepção, quando se faz necessária a elaboração dos seus componentes em forma de desenhos, possibilitando a execução de cada um deles, assim como sua integração. É o momento em que a solução conclusiva do problema é apresentada e, por isso, a representação gráfica deve vir acompanhada de elementos textuais, configurando-se de maneira mais detalhada, com informações, especificações e memoriais que definam claramente o edifício a ser implantada.

A terceira é a etapa de **coordenação**. Essa atividade se sobrepõe às outras etapas anteriores, abrangendo o projeto arquitetônico, bem como todas as atividades multidisciplinares que lhe são inerentes. Os projetos multidisciplinares podem ser elaborados tanto pelo escritório de arquitetura, como também por firmas especializadas em forma de subcontratação ou, ainda, contratadas em separado junto ao proprietário do edifício. Independente de quem realize essas atividades interdisciplinares, elas devem estar subordinadas à coordenação da empresa de arquitetura, como condição absoluta para a boa solução das interferências que poderão surgir.

Atualmente, existe também uma etapa adicional que é muito importante para manutenção dos edifícios que é o projeto *as-built*. Essa fase consiste na elaboração de um conjunto de desenhos do projeto executivo revisado e desenvolvidos conforme o que foi executado em obra. Na verdade, representa o fato de que os projetos nem sempre podem prever todas as interferências, modificações e revisões necessárias no processo de construção e, neste caso, a documentação final da obra deve ser revisada pelos responsáveis das atividades técnicas. Dependendo das alterações não previstas, as mudanças podem ocorrer tanto no projeto legal, com a regularização da obra perante os órgãos públicos, como nos projetos executivos, com o objetivo de garantir a consistência das informações fornecidas pela documentação para a operação e manutenção do edifício.

Independente dessas definições, as contradições ou requisitos conflitantes podem aparecer em todas as etapas de um projeto. Conforme as decisões vão sendo tomadas no decorrer do projeto, novas contradições vão surgindo. As contradições

são compromissos ou *trade-offs* assumidos em projetos nos quais, usualmente, adota-se uma solução em que o aprimoramento de uma característica é acompanhado pela deterioração de outra. No entanto, quanto mais conflitos forem explicitados e resolvidos nas etapas iniciais do projeto, menos mudanças ocorrerão ao longo do desenvolvimento do projeto e, conseqüentemente, menos custoso será o processo. Nesse sentido, os conflitos e contradições somente serão evidenciados no início do projeto se o problema for estruturado da melhor maneira possível em suas etapas iniciais.

Visando auxiliar na organização do projeto, estruturando-o de maneira mais aperfeiçoada, algumas metodologias de auxílio ao projeto foram introduzidas nas empresas dedicadas à indústria da construção como, por exemplo, as ferramentas de *design* gráfico, as maquetes eletrônicas e o *Building Information Modeling* (BIM). O próximo tópico abordará melhor essas metodologias, enfocando no BIM.

2.4 Sistemas de Auxílio ao Projeto

Até os anos 2000, a principal ferramenta utilizada pelos projetistas para auxiliar no desenho final das especificações de projeto era o conjunto de *softwares* CAD (*Computer Aided Design*), que se tornou tão popular que passou a representar uma classe de ferramentas para criação de desenho da tipologia do projeto. Entretanto, engenheiros utilizam essas ferramentas CAD somente após as principais decisões de projeto já terem sido tomadas. Esses sistemas servem para a rastreabilidade de decisões, mas são falhos para representar muitos aspectos de projeto como racionalização, manutenção, planejamento, entre outros. Não atendendo a essas questões, os sistemas CAD têm seu uso limitado como uma ferramenta de auxílio ao desenho.

Outro conjunto de *softwares* de auxílio ao projeto bastante difundido são os pacotes de análise. As análises podem invalidar uma proposta de projeto e, por isso, conhecimentos específicos são necessários para decidir quais alterações são necessárias para viabilizar um projeto ou qual fator tornou uma proposta inviável. Assim como nos sistemas CAD, as ferramentas de análise são utilizadas muito tempo após os projetistas terem tomado suas principais decisões.

Já sistemas baseados em conhecimento podem ser utilizados nas etapas iniciais do projeto, quando os projetistas tomam as principais decisões, a partir da avaliação de conhecimentos utilizados no projeto. É sabido que as decisões tomadas no início de um projeto são as mais importantes, uma vez que servem de marco para

definição das próximas etapas (definição do método construtivo etc.). Assim, mudanças ocorridas após esses marcos tendem a ser mais custosas.

No início da década de 90, uma nova metodologia de projeto que vem revolucionando o cenário de projetos surgiu. BIM significa em inglês *Building Information Modeling* (ou em português Modelo de Informação da Construção), mas alguns autores destacam que o significado das siglas poderia apontar também para *Building Information Management* (em português: Gestão de Informação da Construção). No campo do projeto de arquitetura e engenharia significa uma metodologia de projeto que utiliza como elemento central de trabalho o modelo tridimensional virtual do objeto projetado. Essa definição de *Building Information Modeling* no *Handbook of BIM* (EASTMAN *et al.*, 2014) engloba desde o ponto de partida de uma tecnologia até todo o processo de construção.

Ainda, alguns autores colocam o BIM como um divisor de águas dos sistemas CAD, mas na verdade o BIM pode ser visto como um método de trabalho inserido dentro da disciplina maior CADD (*Computer Aided Design and Drafting*). O BIM veio para complementar com novas perspectivas, enriquecer e trazer mais complexidade à tradicional disciplina de projeto assistido por computador.

Percebeu-se a importância em abandonar as simples representações de elementos através de linhas, formas e texto, e se passasse a representar um modelo como uma associação de elementos individuais, através de uma modelação orientada por objeto. No BIM são estabelecidas ligações que definem o modo de interação dos elementos entre si e com o modelo global. Os objetos são organizados numa estrutura racional dividida por especialidade e estratificada por nível de pormenorização.

O BIM abrange geometria, relações espaciais, informações geográficas, as quantidades, bem como propriedades construtivas de componentes (por exemplo, detalhes dos fabricantes) e pode ser utilizado em todo ciclo de vida da construção: desde a concepção do projeto de edificações, passando pela construção, pelo gerenciamento, a manutenção pós-ocupação, o gerenciamento de infraestrutura e a fabricação de componentes construtivos (MENEGOTTO, 2004).

A metodologia BIM pressupõe que, quando se modela um edifício virtual, toda informação necessária à representação gráfica (desenhos rigorosos), à análise construtiva, à quantificação de trabalhos, assim como os tempos de execução do trabalho pela mão-de-obra, desde a fase inicial do empreendimento até a sua con-

clusão, ou até mesmo ao processo de desmontagem ao fim do ciclo de vida útil, se encontre no modelo.

Um modelo BIM conjuga dois aspectos importantes: a construção geométrica integral do modelo 3D associada ao comportamento do modelo. Se o primeiro aspecto envolve tudo o que se refere ao corpo físico do modelo, no segundo se procura encontrar formas de relacionar esse corpo às respostas que ele dá aos fatores externos (climáticos, urbanísticos etc.) e internos (funcionamento, consumo etc.). Para que esses aspectos possam ser equacionados o modelo precisa ser alimentado com dados que se traduzam no futuro em informação útil (MENEGOTTO, 2004).

A metodologia BIM exige que o modelo virtual do projeto seja único e a unificação da base de dados evitaria a redundância (duplicidade) dos dados associadas com o modelo. Todos os documentos produzidos estão sincronizados com o modelo através de associações bidirecionais, sendo representações diferentes de um mesmo e único objeto. Este fator, pelo menos em teoria, contribui favoravelmente para manter a consistência da informação introduzida ao projeto.

A informação de um modelo que utiliza a metodologia BIM encontra-se interligada por relações paramétricas. Isso significa que as alterações são processadas em tempo real em todo o modelo, evitando a propagação de erros e dinamizando os processos de atualização. Esta funcionalidade tira partido das relações paramétricas entre os elementos do modelo na medida em que permite trabalhar em qualquer uma das vistas sem a preocupação de ajustar as restantes. O modelo executa as alterações automaticamente. Por outro lado, sendo o utilizador a definir que vista pretende extrair, consegue-se retirar pormenores que de forma manual são muito complexos para desenhar. A compatibilização de modelos é um dos benefícios do BIM, possibilitando a compatibilização dos elementos, a identificação de erros e omissões, a produção de vistas e a extração de quantidades globais.

Os *softwares* tradicionais de projeto, ou seja, aqueles que são baseados em algoritmos numéricos, normalmente são utilizados para solucionar problemas bem definidos. Esses tipos de problemas são simples e possuem uma solução definida, podendo ser solucionados a partir de um problema padrão. É o caso de definir a tensão em uma viga, ou a quantidade de armadura de uma laje. Frequentemente, a única interação entre o usuário e o sistema é a criação do arquivo de dados para que o *software* execute a análise e providencie um resultado único.

Idealmente, uma combinação do uso de um sistema de banco de dados contendo informações sobre projetos existentes, em conjunto com um sistema baseado

no conhecimento que possua informações processadas e contextualizadas sobre o processo de projeto, adicionados a sistemas CAD e de análise, providenciará ao projetista suporte em todas as fases do processo. Ainda assim, existe uma etapa que não é determinística para a execução de um projeto, mas que auxilia em sua melhoria e na inovação, que é a fase de criação, provida pela mente humana.

A modelagem dos requisitos dos clientes é complexa, à medida que existe uma grande quantidade de informações qualitativas e é preciso considerar a diversidade de requisitos que normalmente existem entre os diferentes envolvidos no processo. Porém, se a captura de requisitos puder ser realizada de maneira sistemática, na qual toda informação fosse exaustivamente levantada e processada, tornando-se explícita para a equipe de desenvolvimento do projeto, seria mais simples controlar se os requisitos de diferentes clientes estão sendo atendidos de forma equilibrada.

Considerando-se o fato de que as ferramentas que utilizam a metodologia BIM conjugam informação a elementos gráficos de projeto, pode-se dizer que o BIM é capaz de atuar como um meio de comunicação para identificar e representar visualmente as contradições. Atrelando o BIM a ferramentas que sistematizem o processo de tomada de decisões para explicitar todas as contradições presentes em um projeto, preferencialmente na fase inicial, os custos e as frustrações com mudanças seriam drasticamente reduzidos.

Assim, observa-se que o BIM pode ser utilizado em todas as fases do empreendimento e pode ser combinado à diversas ferramentas para apoiar a atividade de projeto. Isso é possível devido à facilidade de normalização de seus modelos. A padronização da estrutura de dados para o processo foi viabilizada em alguns países pela adoção de Normas Nacionais direcionadas ao BIM. No Brasil, a ABNT definiu uma comissão especial de estudo para definir uma norma local para a modelagem de Informação da construção, sob o número ABNT/CEE-134: Modelagem de Informação da Construção – BRASIL.

2.5 Natureza do Projeto

Projeto, em uma visão teórica, pode ser definido como um plano, desejo ou intenção para a realização de um ato no futuro ou, em termos práticos, como uma descrição escrita e detalhada de um empreendimento que será realizado. A palavra “projeto” é oriunda do termo em latim *projectum* que significa “algo lançado à frente”. Por isso, também pode ser uma composição provisória de uma medida qualquer que vai ser realizada no futuro.

Não existe uma definição capaz de descrever o termo projeto, mesmo delimitando ao campo de estudo ao projeto de produtos “engenheirados”. Uma definição bem difundida seria a de que projetar é uma atividade que produz uma descrição de algo que ainda não existe, porém capaz de viabilizar a construção de um produto em fase de criação (NAVEIRO, 2007).

Por outro lado, as atividades de projetar, conceber artefatos e construir edifícios são inerentes ao ser humano desde épocas remotas. Segundo Silva (1991), na sociedade primitiva o projeto era inconcebível e dispensável, pois o modelo concreto do objeto a ser construído era sugerido ou imposto pela tradição, sendo a construção do abrigo atribuição do próprio usuário. Posteriormente, na sociedade intermediária, o projeto era igualmente dispensável, servindo apenas para melhorar a comunicação entre as partes, com a diferença de que começou a existir a divisão social do trabalho com a distinção entre as figuras do usuário e construtor que, por sua vez, possuíam um modelo comum.

Foi somente quando o setor de construção se institucionalizou que o projeto passou a ser uma etapa indispensável, servindo de linguagem comum entre as partes constituintes do processo. Além disso, especialização profissional manifestou-se como divisão social do trabalho. Com a evolução das sociedades começam a aparecer projetos de grande porte e a etapa de projetar torna-se indispensável, servindo como um elemento de registro e comunicação desempenhando também função jurídica ou documental (além de técnica) e o projeto passa a ser interesse público (SILVA, 1991).

A atividade de projetar pode ser considerada, usualmente, como uma atividade complexa, uma vez que ao longo de sua progressão, arquitetos e engenheiros se deparam com problemas de natureza mal estruturada e incompleta. Também pode ser considerado um processo baseado no conhecimento em que dados, informações e conhecimentos são processados simultaneamente por uma equipe de trabalho composta por diversos profissionais envolvidos durante o ciclo de vida de um produto, buscando compreender e solucionar estes problemas.

Segundo Cross (2008), o processo de busca por uma solução está vinculado à tarefa de compreensão de um problema mal estruturado ou mal definido, isto é, problema e solução são aspectos complementares de um projeto que devem ser tratados simultaneamente. Por esse motivo, a simples proposição de uma solução inicial para um problema pode fazer clarear uma região cinza, incerta, do projeto. Além

disso, os novos conceitos propostos pela solução inicial podem revelar dificuldades que não haviam sido identificadas à priori.

Em consequência da imprecisão, característica inerente à atividade de projetar, ao longo do processo de estruturação de um problema, o projetista toma decisões baseadas no conhecimento incompleto que possui do problema até aquele momento. Na maioria das vezes, essa é a forma mais eficiente de se conduzir o processo, uma vez que diminuir o grau de imprecisão acerca de um determinado requisito de projeto pode ser caro, e mostrar-se dispensável mais adiante (NAVEIRO, 2007).

Melhor explicando o que já foi dito nos tópicos anteriores, o processo de projeto envolve uma sequência típica de etapas em que o grau de incerteza diminui à medida que o trabalho progride e a progressão do trabalho pode ser vista como uma coleção de estados sucessivos em que as idéias abstratas vão sendo incorporadas ao produto final. Nessa linha, é certo afirmar que os riscos e incertezas são maiores no início do projeto. Esses fatores diminuem ao longo da vida do projeto à medida que as decisões são tomadas e as entregas são aceitas. Em consequência disso, a capacidade de influenciar as características finais do produto do projeto, sem impacto significativo sobre os custos, é mais alta em seu início e diminui à medida que se progride para o seu término.

A Figura 6 ilustra a ideia de que os custos das mudanças e correções de erros geralmente aumentam significativamente à medida que o projeto se aproxima do término (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2013).

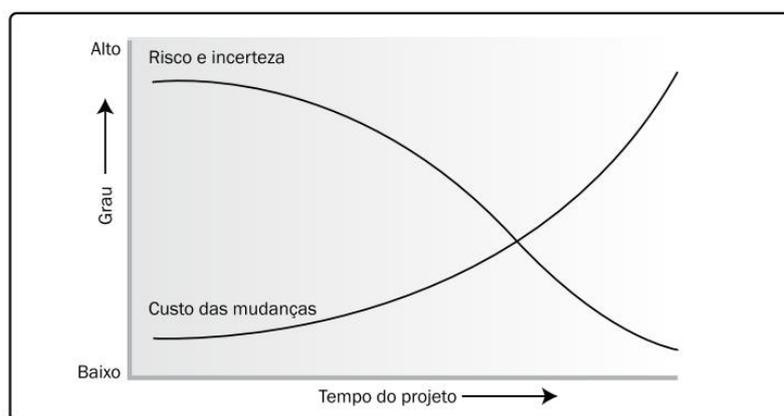


Figura 6 - Impacto da variável com base no tempo decorrido do projeto.

Fonte: PMBOOK (5ª ed., p.39)

Nesse sentido, outro aspecto importante a ser ressaltado é relacionado à finalidade do projeto em descobrir uma solução que atenda aos condicionantes iniciais. A partir disso, pode-se refinar a solução descoberta com o intuito de melhorá-la, procurando-se a solução ótima. Todavia, nem sempre existe uma solução ótima; muitas vezes existe uma série de soluções igualmente boas, algumas melhores do que as outras em alguns aspectos. Convém lembrar que em todo projeto existem sempre condicionantes conflitantes, tais como, “desempenho x custo”, “conforto x desempenho” ou ainda “conforto x custo”. Nesse caso, as soluções obtidas são contingentes, isto é, atendem parcialmente a um fator mais do que a outro. A decisão relativa ao aspecto que terá mais prioridade faz parte dos processos coletivos de negociação e de tomada de decisão (NAVEIRO, 2007).

O “projetar” também é algo visto com um alto grau de inovação. No entanto, a maioria dos projetos empresariais não tem alto conteúdo inovador. Naveiro (2007) destaca que o que se verifica atualmente nas empresas é que uma boa parte do conjunto de atividades que compõem o processo de desenvolvimento de produtos se concentra em implantar modificações e melhorias incrementais naqueles já existentes. Ao final de certo tempo, o conjunto de inovações incrementais que vai se agregando ao produto muda radicalmente o aspecto e o desempenho do produto, mantendo, porém, a concepção original.

O próximo tópico irá tratar dos aspectos colaborativos dentro dos projetos, bem como os tipos de conhecimento que estão inseridos em seu processo, e também seus desdobramentos.

2.6 Colaboração nos Projetos

O projetar é um processo coletivo considerado como comunicação e colaboração efetiva. Nesta ótica, um projeto pode ser visto como um ambiente de negociação e tomada de decisão no qual os participantes de uma equipe têm um conhecimento comum que lhes habilita a perceber o que é relevante para ser compartilhado e a selecionar como apresentar a informação de forma útil à equipe.

Esse processo coletivo é visto como um processo gerencial dividido em várias etapas, do qual participam diversos intervenientes. O processo individual do projeto refere-se a um processo de tomadas de decisões, que ocorre individualmente em cada projetista (NUNES, 2004).

As primeiras reuniões de projeto (ou programa de necessidades) são necessárias para completar aquilo que não foi dito pelo cliente ou clarificar aquilo que está implícito em seu discurso. A partir daí, o arquiteto/engenheiro elabora o programa do projeto de arquitetura (ou estudo preliminar) que engloba os requisitos e restrições definidas pelo cliente complementadas pelas informações do profissional habilitado. Sendo assim: projetar envolve uma grande quantidade de conhecimentos práticos, denominados conhecimentos tácito, que só são adquiridos com a prática.

A definição e a contextualização do conhecimento podem ser encontradas em bibliografias de diferentes campos de estudo e produzidas por diversos autores. Uma primeira abordagem identifica os elementos constituintes dos conhecimentos manipulados por profissionais em atividades de resolução de problemas e tomadas de decisão, que está em concordância com o assunto deste trabalho. Podem-se identificar três classes de elementos, caracterizados por:

- **Dado:** conjunto discreto e objetivo de fatos sobre um determinado evento. É a parcela quantificável e objetiva do repertório de informação e conhecimento, e habitualmente está armazenado em um banco de dados ou documentos (exemplo de dado: temperatura da atmosfera);

- **Informação:** são dados contextualizados. É uma mensagem contendo um emissor e um receptor, cujo significado envolve uma nova interpretação baseada em um conjunto de dados (exemplo de informação: dados de temperatura e pressão atmosférica indicam que deve chover dentro de uma hora). O fluxo de informações de um projeto pode ocorrer por meios tecnológicos, como sistemas computacionais, ou por meio da interação entre as pessoas envolvidas.

- **Conhecimento:** é a capacidade individual das pessoas de acumular informações e tomar decisões a partir dos dados contextualizados, ou seja, da informação. É uma mistura fluida de experiências, valores, informação contextual e intuição, formando um *framework* (um “painel”) mental, habilitando uma pessoa a avaliar e obter novas experiências.

Nessa linha de pensamento, o conhecimento pode ser interpretado como algo impossível de ser completamente estruturado e de ter sua lógica pormenorizada. Por esse motivo, está apenas “na mente” das pessoas e só se manifesta quando é utilizado.

De forma semelhante, Brèzillon e Pomerol (2001 apud NAVEIRO, 2011), procuram definir conhecimento como um processo construtivo e progressivo que se remete a dados. Para estes autores, os dados são símbolos percebidos por uma

pessoa e transformados em informações a partir da interpretação do que é compreendido por ela. Ou seja, a informação é composta por dados estruturados com conteúdos semânticos e traduzíveis por uma linguagem natural. Em outras palavras, a informação se configura como dados com significados compreensíveis, algo que pode ser compartilhado e utilizado de maneira imediata com base no conhecimento de cada indivíduo.

Ainda segundo aqueles autores, informação é a saída (*output*) da interpretação de dados e a entrada (*input*) para um processo de tomada de decisão baseado em conhecimento, levando à acumulação de conhecimento. O conhecimento desempenha a função de transformar dados em informação, derivar novas informações de outras já existentes e gerar novos conhecimentos. É também um meio para a contextualização de dados e, ao mesmo tempo, um resultado desse processo de transformação de dados em informação.

Considerando-se o exposto, a atividade de projetar envolve uma gama de conhecimentos acumulados por arquitetos, técnicos e engenheiros ao longo de sua vida profissional. As fontes de conhecimento acumulados variam da educação formal para a experiência individual, incluindo o conhecimento derivado de situações semelhantes. Definir uma estrutura cognitiva para um problema de projeto e suas soluções é um processo de aprendizagem baseado no conhecimento que envolve conhecimento prático, bem como ativos teóricos (NAVEIRO, 2011).

Engenheiros utilizam pelo menos dois tipos de conhecimento quando estão projetando, que podem ter abordagens distintas, como: conhecimento declarativo e processual ou conhecimento tácito e explícito (NONAKA e HIROTAKA, 1997):

Passaremos a analisá-los:

- **Conhecimento Declarativo:** é o conhecimento mais descritivo obtido por fatos, relações lógicas, fórmulas. Como exemplo pode-se citar o cálculo do momento fletor máximo de uma viga bi-apoiada, que é realizado a partir de um processo conhecido, isto é, pode ser obtido através da fórmula $PL^2/8$ (sendo P a carga distribuída na viga e L o comprimento do vão).

- **Conhecimento Processual:** é o conhecimento obtido por experiência. Como exemplo pode-se citar o conhecimento necessário para fazer uma curva dirigindo um carro. Pessoas habilitadas a dirigir carros sabem como se faz (basta girar o volante), mas é difícil explicar de forma descritiva para alguém que não dirige como realizar essa tarefa (em que ponto da curva se deve começar a girar o volante?).

Já a segunda abordagem se refere a:

• **Conhecimento Explícito:** são os conhecimentos estruturados e capazes de serem verbalizados. Configuram-se como parte estruturada e objetiva do conhecimento, podendo ser transportada, armazenada e compartilhada em documentos e sistemas computacionais. Exemplo: normas, registros bibliográficos, livros, manuais, procedimentos de trabalho, entre outros.

• **Conhecimento Tácito:** são conhecimentos inerentes às pessoas. É a parte não estruturada do conhecimento, a qual não é possível registrar ou transmitir com facilidade a outra pessoa. Como exemplo pode-se citar a execução de uma receita de quindim¹. Mesmo que se tenha a receita pronta, o quindim feito por uma pessoa que nunca o fez não será igual ao quindim feito por uma pessoa experiente, pois a execução desse doce envolve técnicas que não são facilmente descritas de maneira explícita.

Este assunto leva-nos à distinção entre teoria e prática ou “saber como” (*know how*) contra “saber que” (*know that*). Teoria refere-se a modelos de domínio, explicações causais ou regras que explicam certos fenômenos, que são tipos de conhecimento normalmente adquiridos pela educação formal. A prática, ou conhecimento tácito, refere-se a algo que pode ser adquirido por pessoas que fazem eficientemente uma determinada tarefa (especialistas). O conhecimento tácito pode ser descrito como um conhecimento semiconscente e inconsciente estabelecido na mente dos indivíduos. Ou seja, o conhecimento tácito de um indivíduo é constituído por técnicas e habilidades, o chamado *know-how*, valores pessoais, crenças ou modelos mentais.

Do ponto de vista temporal, enquanto o conhecimento explícito lida com eventos que já aconteceram o conhecimento tácito é criado *on time* (“aqui e agora”) em um contexto prático específico e sua comunicação também exige uma forma de “processamento simultâneo”. Sendo assim, o conhecimento tácito está relacionado aos sentidos, às experiências físicas, à percepção individual podendo ser interpretado como uma característica extremamente pessoal de natureza subjetiva e intuitiva, o que torna difícil a transmissão e a descrição. Voltando à discussão das classes de elementos existentes (dado, informação e conhecimento) podemos elucidar: informação é explícito e conhecimento é tácito.

Em referência à atividade de projetar, constata-se que projetistas fazem uso intensivo do conhecimento processual, ou seja, aquele que é obtido pela experiência. É esse tipo de conhecimento que distingue um profissional experiente de um recém-formado, ou alunos em final de curso de alunos iniciantes.

¹ Doce brasileiro de origem portuguesa cujos principais ingredientes são: gema de ovo, açúcar e leite de coco.

Ferguson (1992) vai além. Logo no prefácio de seu livro “*Engineering and the Mind’s Eye*” o autor critica a visão de que todo conhecimento provém da ciência e declara que a engenharia é tanto uma questão de intuição e pensamento não verbal como de equações e computação:

“muitos objetos de uso cotidiano foram claramente influenciados pela ciência, mas as suas formas, dimensões e aparência foram determinadas por tecnologistas - artesãos, engenheiros e inventores - usando modos não científicos de pensamento. Facas de cozinha, pontes, relógios e aviões são como são porque ao longo dos anos seus projetistas e construtores estabeleceram suas formas, estilos e texturas” (FERGUSON, 1992: xi).

Ainda, argumenta que o sistema de educação de engenharia que ignora o pensamento não verbal irá produzir engenheiros que são perigosamente ignorantes da quantidade imensa de maneiras sutis em que o mundo real difere do mundo matemático que seus professores lhes ensinam (FERGUSON, 1992).

Vincenti (1990) compartilha do mesmo pensamento que o autor anterior e expande esse argumento. Em seu livro “*What Engineers Know and How They Know it*”, o autor apresenta várias formas de obtenção do conhecimento em engenharia que não a transferência a partir da ciência. Vincenti (1990, p. 207-224) detalha também os tipos de conhecimento em engenharia:

1. Conceitos fundamentais de projeto: envolvem princípios operacionais e configurações normais de um artefato;

2. Critérios e especificações: tradução de aspectos qualitativos gerais para aspectos quantitativos específicos do projeto, resultando em termos técnicos concretos;

3. Ferramentas teóricas: envolvem tanto conceitos intelectuais para pensar sobre projeto até métodos matemáticos e teorias para fazer cálculos de projeto;

4. Dados quantitativos: obtidos empiricamente ou calculados por meio de teorias e são tipicamente representados em gráficos ou tabelas;

5. Considerações práticas: nascem da experiência prática e geralmente não são colocadas em teorias, tabulações ou programações de computador, tendo que ser aprendidas na prática e não em livros;

6. Instrumentalidades de projeto: procedimentos, formas de pensar e habilidades de julgamento fundamentais para realizar um projeto.

Consoante ao que foi explicitado, engenheiros e projetistas não obtêm conhecimento tácito e não são incentivados a desenvolver sua criatividade durante o curso de engenharia. Nesse sentido, os sistemas de auxílio ao projeto com base em conhecimento (citados no item 2.4), bem como os modelos de suporte ao projeto (próximo tópico), foram desenvolvidos para ajudar esses profissionais a ultrapassar problemas complexos em suas vidas profissionais.

2.7 Modelos de Suporte ao Projeto

Consoante ao exposto no item anterior, podemos afirmar que, de maneira geral, existem três tipos básicos de conhecimentos necessários para projetar: conhecimentos para avaliar conceitos, conhecimentos para a estruturação do processo de projeto e conhecimentos para gerar ideias (NAVEIRO, 2007).

Conhecimentos para avaliar conceitos provêm parcialmente da experiência e parcialmente da qualificação formal obtida nos cursos de graduação, enquanto conhecimentos sobre a estruturação do processo de desenvolvimento de projetos podem ser adquiridos através do treinamento formal. Esses dois tipos de conhecimento apresentam a particularidade de serem independentes do domínio, ou seja, existem semelhanças entre o processo de desenvolvimento de projeto de um edifício e o de um produto industrial, uma vez que a progressão do projeto é composta de etapas semelhantes.

A natureza da *expertise* em projeto está relacionada às atividades intelectuais de solução de problemas e com as estratégias usadas pelos projetistas para reduzir a complexidade das atividades de um projeto. As principais estratégias mentais utilizadas por esses profissionais são os mecanismos de associação, decomposição e prototipagem associadas às representações externas do artefato (croquis, diagramas etc.).

Vários mecanismos, sistemas mecânicos engenhosos e projetos de arquitetura são concebidos a partir de associações com outros produtos/projetos já existentes ou associações relativas à observação de seres vivos. É o que ocorre, por exemplo, quando alunos de graduação pouco experientes são desafiados a desenvolver uma prensa de alavancas para latas. Muitos deles podem começar o projeto associando-o ao princípio de funcionamento de um amassador de batatas e ao de uma prensa para conserto de pneus, usada em pequenas borracharias. A maior ou menor quan-

tidade de associações vai depender do repertório de observações e práticas que cada indivíduo vai construindo ao longo de sua vida profissional.

O terceiro tipo de conhecimento básico necessário para projetar é a geração de ideias, que depende do desenvolvimento de habilidades específicas, associada a alguma experiência dentro do domínio a que pertence o objeto a ser projetado. Muitos autores consideram que a própria habilidade ou criatividade pessoal podem ser parcialmente construídas, uma vez que se trata de um repertório de soluções envolvendo mecanismos, conhecimento de componentes etc. que o aprendiz vai formando ao longo da vida.

Segundo De Carvalho (2007), muitas ideias também podem emergir diretamente das fontes de ideias. Essas fontes podem ser externas (como a voz do cliente e dos usuários líderes) ou internas (que se compõe da tecnologia, setores da própria empresa, outras empresas e mudanças ambientais). No entanto, outras ideias demandam elaborações adicionais e o uso de mecanismos diferenciados. Este autor cita três métodos:

- Métodos intuitivos: baseados, principalmente, nos estudos psicológicos da criatividade e confiam na intuição pura ou numa pequena estruturação do processo de ideação. Exemplos: *Brainstorming*, Questionários e *Checklists*, *Lateral Thinking*;

- Métodos sistemáticos: são muito mais estruturados e são considerados, por muitos, como mais adequados para a solução de problemas complexos, com a abordagem de subdividir um problema original em problemas mais simples, resolver os problemas simples e combinar tais soluções numa solução para o problema original. Além de tender a facilitar a divisão do trabalho e a rastreabilidade do processo criativo. Exemplos: Análise do Valor, Análise e Síntese Funcional, Analogia Sistemática;

- Métodos heurísticos (computacionais e não computacionais): contêm métodos baseados em regras e padrões do processo criativo, procurando fazer uso de múltiplas regras, bases de conhecimento e do computador. Exemplos: Algoritmos, Programas, a maioria dos métodos da TRIZ.

O foco dessa dissertação estará centrado em abordar detalhadamente um método heurístico de geração de ideias calcado nas duas últimas formas de obtenção de conhecimento em engenharia descritas por Vincenti (1990), através de considerações práticas e pelas instrumentalidades de projeto. Esse método será abordado no próximo capítulo.

3 TRIZ

Esse capítulo se inicia a partir da revisão bibliográfica TRIZ - a Teoria da Solução Inventiva de Problemas. Faz-se uma abordagem geral dos tipos de problemas que a teoria se propõe a resolver e, em seguida, a teoria é contextualizada, tornando possível extrair e compreender sua filosofia e estratégia. Após, a estrutura da teoria é detalhada, ressaltando seus conceitos fundamentais e suas ferramentas. Por fim, citam-se alguns campos para os quais a TRIZ já foi adaptada e utilizada.

3.1 Contextualização

Conforme vimos nos capítulos anteriores, a atividade de projetar envolve não só conhecimentos técnicos sobre o produto que será desenvolvido, mas também processos de aprendizagem que estão ligados ao conhecimento prático. No entanto, o processo de criação não possui métodos rígidos ou universais que resolvam a

totalidade dos problemas, pois cada caso é único e precisa de soluções específicas (BIANCHI, 2008).

Com exceção dos modelos de geração de formas, que lidam com um aspecto específico da criatividade em projeto, os demais modelos suportam o processo de construção e registro dos problemas, e embora possam facilitar a descoberta de relações entre os seus diversos elementos, não possuem ferramentas de auxílio à geração de ideias, tendo abordagens mais focadas para o desenvolvimento posterior das soluções geradas (KIATAKE, 2004).

A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) criada por G. S. Altshuller na antiga União Soviética a partir da análise de milhares de patentes como uma nova ciência para a teoria da invenção oferece uma abordagem sistemática que capacita à forma criativa de solução de problemas. A metodologia compreende diversas técnicas e consiste essencialmente na reestruturação do problema de projeto específico em um problema genérico, cuja solução tenha princípios referenciais consolidados.

Dessa forma, a TRIZ pode ser definida como sendo uma metodologia heurística, uma vez que se fundamenta no uso de métodos estruturados para orientar a solução de problemas, invés da intuição, além de utilizar o enfoque em sistemas durante a formulação e na solução dos problemas. É orientada ao ser humano, pois foi concebida para uso humano, e apesar dos mecanismos de formulação e solução de problema poderem ser implementados computacionalmente, a competência central da TRIZ é a solução conceitual de problemas, para a qual o cérebro humano ainda é mais adequado que o computador. Além disso, é uma teoria baseada em conhecimento, visto que utiliza fontes originais de informações como heurísticas para a solução de problemas (as patentes), faz uso de efeitos oriundos das ciências para a solução de problemas e fundamenta-se no levantamento e utilização de conhecimentos referentes ao domínio do problema específico a ser solucionado (DE CARVALHO, 2007).

A seguir será traçado um panorama geral para mostrar em quais situações a metodologia da TRIZ é aplicável e se mostra mais adequada do que àquelas tradicionais em se tratando de resolução de problemas.

3.1.1 Panorama Geral

Existem dois grupos de problemas que as pessoas enfrentam: aqueles com soluções geralmente conhecidas e aqueles com soluções desconhecidas. Os problemas pertencentes ao primeiro grupo, geralmente podem ser resolvidos por informações encontradas em livros, revistas técnicas ou com especialistas em assuntos (MAZUR, 1996). Estas soluções seguem o padrão geral de resolução de problemas mostrado na Figura 7.

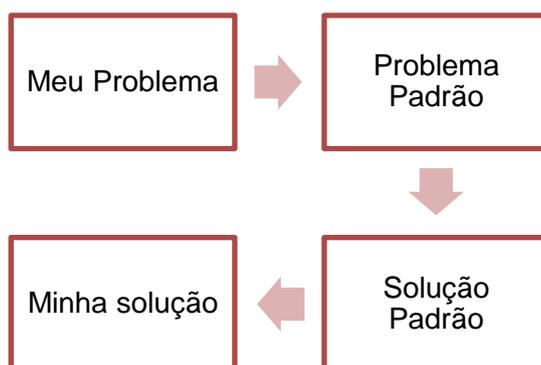


Figura 7 - Modelo Geral de Resolução de Problemas
Fonte: adaptada de Mazur (1996)

Nesse caso, o problema particular é elevado a um problema padrão de natureza semelhante ou análoga. Uma solução padrão é conhecida e dessa solução padrão vem uma solução particular para o problema. Por exemplo, uma equação do segundo grau é um problema particular que pode ser associado ao problema padrão das equações com forma $ax^2 + bx + c = 0$ (sendo x a incógnita e a , b e c números reais que exercem a função de coeficientes da equação). Esse problema padrão possui uma solução padrão conhecida, que é a Fórmula de Bhaskara². Sendo assim, a Fórmula de Bhaskara possibilitará encontrar as raízes da equação do segundo grau proposta. Em outras palavras, a solução padrão aplicada ao problema específico irá gerar uma solução específica.

Os métodos tradicionais de geração de ideias, como o *Brainstorming*, por exemplo, procuram encurtar o caminho, fazendo com que o fluxo se dê diretamente do "meu problema" para a "minha solução", como é mostrado na Figura 8.

• ² Fórmula utilizada para encontrar as raízes de uma equação do 2º grau, com forma $\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4.a.c}}{2.a}$.

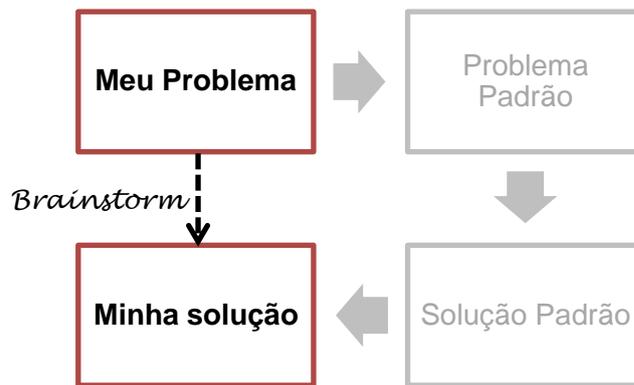


Figura 8 – Exemplo de Método Tradicional de Resolução de Problemas

Fonte: Elaboração própria

Entretanto, como colocado por Kiatake (2004) e Mazur (1996), esse tipo de abordagem oferece algumas desvantagens, tais como:

- o número de tentativas para se chegar a uma solução cresce de acordo com a complexidade do problema. Como sabemos, a maioria dos problemas de projeto são complexos e por isso exigem um número infinito de tentativas aleatórias para se encontrar a solução, o que torna o método uma extensão, em maior ou menor grau, do tradicional método "tentativa-e-erro";
- pelo fato de ser baseado em ferramentas psicológicas, como intuição e criatividade, os métodos tradicionais dificultam a transmissão de conhecimentos e experiências para outras pessoas;
- embora formado por um grupo interdisciplinar, sempre será virtualmente impossível ter um grupo representado por todas as áreas relevantes ao problema.

Em decorrência, pode ocorrer a chamada inércia psicológica, onde as soluções consideradas geralmente estão dentro da própria experiência da pessoa e não existe busca de tecnologias alternativas para desenvolver conceitos novos. Quando os efeitos limitadores da inércia psicológica são superados em um mapa de soluções abrangendo amplas disciplinas científicas e tecnológicas, descobre-se que a solução ideal pode estar fora do campo de conhecimento do solucionador.

O segundo grupo de problemas são aqueles que não possuem solução conhecida, ou que a solução se encontra fora do campo de conhecimento ou, ainda, problemas que possuem requisitos contraditórios. Esse segundo grupo de problemas é denominado “problemas inventivos”.

Uma abordagem alternativa ao processo inventivo é aquele em que o problema é tomado a um nível de abstração mais alto, no qual o processo de solução ocor-

re através da sua conversão ao padrão normal de solução de problemas. A TRIZ fornece meios para que esse processo seja possível, facilitando a criação de projetos melhores, em menos tempo. O método supera os efeitos limitantes da inércia psicológica, através de um mapa de solução que cobre amplas disciplinas científicas e tecnológicas (KIATAKE, 2004).

A estratégia da TRIZ para a solução de problemas pode ser resumida como mostrado na Figura 9.

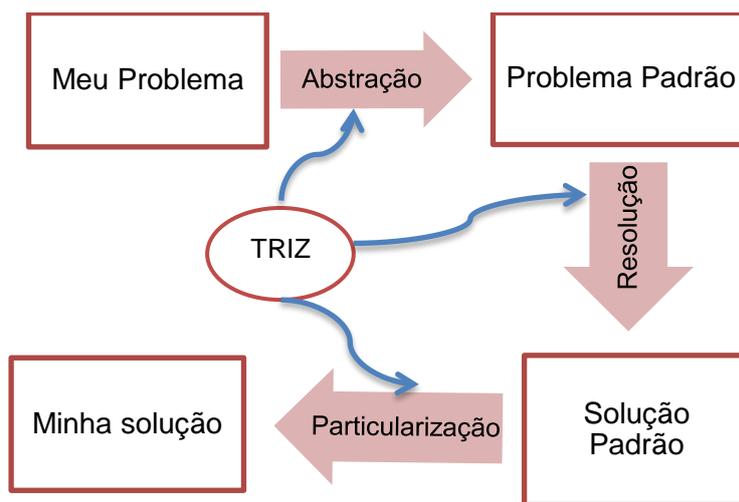


Figura 9 - Estratégia de solução de problemas da TRIZ
Fonte: adaptada de De Carvalho (2007)

A partir de um problema específico, o solucionador de problemas utiliza as ferramentas para a análise da situação problemática e formulação de problemas para realizar a abstração e chegar a um problema genérico. Então, uma ou mais ferramentas para a ideação são utilizadas para obter soluções genéricas. Por último, a solução genérica precisa ser particularizada, ou seja, adaptada, para chegar à solução específica (DE CARVALHO, 2007).

Altshuller definiu mais claramente um problema inventivo como aquele em que a solução faz surgir outro problema, como o aumento da resistência de uma placa de metal, fazendo com que seu peso fique mais pesado. Normalmente, os inventores devem recorrer a um *trade-off* ou um compromisso entre as contradições existentes em um projeto e, portanto, não alcançar uma solução ideal. A solução ideal é aquela na qual se atende aos parâmetros conflitantes de projeto, sem ter que abrir mão de nenhum deles.

Durante seus estudos, Altshuller categorizou as patentes analisadas de uma maneira nova. Em vez de classificá-las de acordo com a indústria em que estavam

inseridas, tais como automóvel, aeroespacial etc., ele desviou o foco do assunto para revelar o processo de resolução de problemas. Ele descobriu que muitas vezes os mesmos problemas haviam sido resolvidos repetidamente usando os mesmos princípios, posteriormente definidos como os 40 Princípios Inventivos (PIs) fundamentais da TRIZ (MAZUR, 1996).

Dessa forma, Altshuller definiu cinco níveis inventivos para classificar as patentes, baseados nos seguintes critérios:

- até que ponto o conhecimento utilizado para definir o conceito de solução era remoto da área de conhecimento do inventor;
- o número teórico de tentativas e erros para se chegar a uma solução, usando processo de geração livre de ideias;
- em que proporção a solução final foi substancial para mudar a solução original.

A Tabela 1 resume a classificação feita por Altshuller.

Tabela 1 - Níveis Inventivos (adaptada de De Carvalho, 1999)

Nível	Grau de Inventividade	% das Soluções	Número Estimado de Tentativas	Definição	Posição do Problema e dos Meios de Solução
1	Solução aparente ou convencional (Trivial)	32%	10	solução por métodos bem conhecidos dentro da especialidade	Dentro de uma área de uma profissão
2	Pequena invenção dentro do paradigma (Melhoria)	45%	100	aprimoramento de um sistema existente, geralmente com algum compromisso	Dentro de uma área de uma indústria
3	Invenção substancial dentro da tecnologia	18%	1.000	aprimoramento tecnológico essencial de um sistema existente	Em uma área da ciência
4	Invenção fora da tecnologia	4%	100.000	nova geração de projeto, utilizando ciência, não tecnologia	Fora da área da ciência onde o problema foi originado
5	Descoberta	1%	1.000.000	principal descoberta e nova ciência	Fora dos limites da ciência contemporânea

Esses níveis são descritos como (TERNINKO; ZUSMAN; ZLOTIN, 1998):

- O nível 1 diz respeito às patentes que descrevem a resolução de problemas rotineiros, limitadas a pequenas mudanças em relação ao estado da técnica. São aqueles problemas de projeto que possuem soluções óbvias obtidas a partir de

algumas opções explícitas. Não são consideradas invenções, mas extensões, aprimoramentos de um sistema existente que não foi consideravelmente modificado.

- As invenções de nível 2 envolvem um pouco mais de conhecimento por parte do inventor, mas, ainda sem a introdução de conhecimento de áreas remotas e sem que tenha ocorrido a resolução de uma contradição. As soluções estabelecem algum compromisso óbvio e requerem conhecimento de um único campo de tecnologia.

- Invenções de nível 3 representam mudanças mais significativas, muitas vezes com a introdução de elementos que eram estranhos para determinada indústria e envolvem a remoção de contradições. A resolução da contradição é resolvida dentro do sistema existente, frequentemente através da introdução de um elemento tecnológico inteiramente novo. Este tipo de solução pode envolver centenas de ideias, testadas por tentativa-e-erro.

- O nível 4 corresponde àquelas invenções que não tem, praticamente, nada a ver com o estado da técnica, ou seja, utilizam princípios de funcionamento diferentes dos tradicionais e, portanto, estão criando novos paradigmas tecnológicos. São as soluções encontradas na ciência, não na tecnologia, que envolvem um princípio completamente diferente para uma função primária. Nessas soluções, uma contradição é eliminada porque a sua existência é impossível dentro do novo sistema.

- Finalmente, as invenções de nível 5 correspondem ao resultado de pioneirismo científico e tecnológico, ou seja, são as invenções somente possíveis pela aplicação da descoberta de um novo fenômeno ou efeito. Em outras palavras, são as soluções encontradas fora do conhecimento científico contemporâneo, que ocorrem quando um novo fenômeno é descoberto e aplicado a um problema inventivo. Normalmente, uma descoberta de nível 5 acarreta descobertas e invenções nos outros quatro níveis. Exemplo deste tipo de invenção é a descoberta do *laser*.

Deste modo, Altshuller focou a pesquisa de resolução de problemas conflitantes em projetos de patentes por heurísticas, princípios e leis nas invenções consideradas de alto nível inventivo (3, 4 e 5). Para ele, a TRIZ deveria ser utilizada para resolver problemas dos níveis 2, 3, 4 e 5. Problemas do nível 1 não necessitam ser resolvidos com o uso da TRIZ (DE CARVALHO, 2007).

3.1.2 Filosofia

Mais de 40 anos de estudos de patentes, tomados de diferentes áreas de engenharia, resultaram em diversas descobertas importantes que formam aspectos filosóficos da TRIZ.

O primeiro deles é que todos os sistemas de engenharia evoluem de acordo com as mesmas regularidades, independentes do domínio ao qual eles pertencem. Essas regularidades podem ser estudadas e usadas eficientemente para solução de problemas, bem como para prever a posterior evolução de qualquer sistema de engenharia.

O segundo é que os sistemas de engenharia, assim como os sistemas sociais, evoluem por meio da eliminação de vários tipos de conflitos. O conjunto básico de princípios para eliminar os conflitos é universal para todos os domínios da engenharia. A origem dos princípios baseia-se nas regularidades do desenvolvimento do sistema.

Outro aspecto consiste em que qualquer problema inventivo pode ser representado como um conflito entre novos requisitos e parâmetros de um sistema de engenharia prototípico, que não é mais capaz de atender a esses requisitos isolados. Encontrar uma solução inventiva para o problema significa resolver o conflito, sob a condição de que nenhum compromisso é admissível.

Por fim, ao procurar por uma solução inventiva para um problema formulado como um conflito há, frequentemente, necessidade de se empregar conhecimento físico desconhecido ao domínio do engenheiro. Para organizar e direcionar a busca pelo conhecimento apropriado deve ser utilizado indicadores de fenômenos físicos. Nesses indicadores, os efeitos físicos devem ser classificados de acordo com as funções técnicas que podem realizar.

3.2 Estrutura TRIZ

A TRIZ é estruturada em diversas partes, de acordo com os objetivos de cada técnica e o tipo de modelo de problema no qual a técnica opera. A Figura 10 apresenta a estrutura da TRIZ clássica, desenvolvida por Altshuller e seus colaboradores. Conforme mostra a figura, essa metodologia é formada por: (a) Leis baseadas nos principais conceitos básicos da teoria, bem como nos padrões de evolução dos Sistemas Técnicos (STs); (b) Métodos para formulação de problemas inventivos; (c) Métodos para a solução criativa de problemas.

A classificação dos diferentes métodos de solução de problemas da TRIZ, apresentada na Figura 10, é feita com base nos critérios de grau de inovação e etapa principal do processo de solução atendida pelo método. O grau de inovação diferencia entre problema de reengenharia (ou problema de reprojeto) e de inovação. A etapa do processo de solução diferencia entre análise preliminar e solução de problemas.

Alguns métodos de análise preliminar de problemas temos: análise de restrições, análise função-componente e análise para previsão da evolução. Já como métodos para solução de problemas temos: análise de interações, a análise de contradições, o método dos princípios inventivos, o método da separação, a análise C-S, o método das partículas e o ARIZ - Algoritmo para a Solução Inventiva de Problemas. Como meio de apoio para a solução de problemas é utilizada a base de informações sobre efeitos físicos, químicos e geométricos. A descrição detalhada de todos esses métodos podem ser encontradas em De Carvalho (1999).

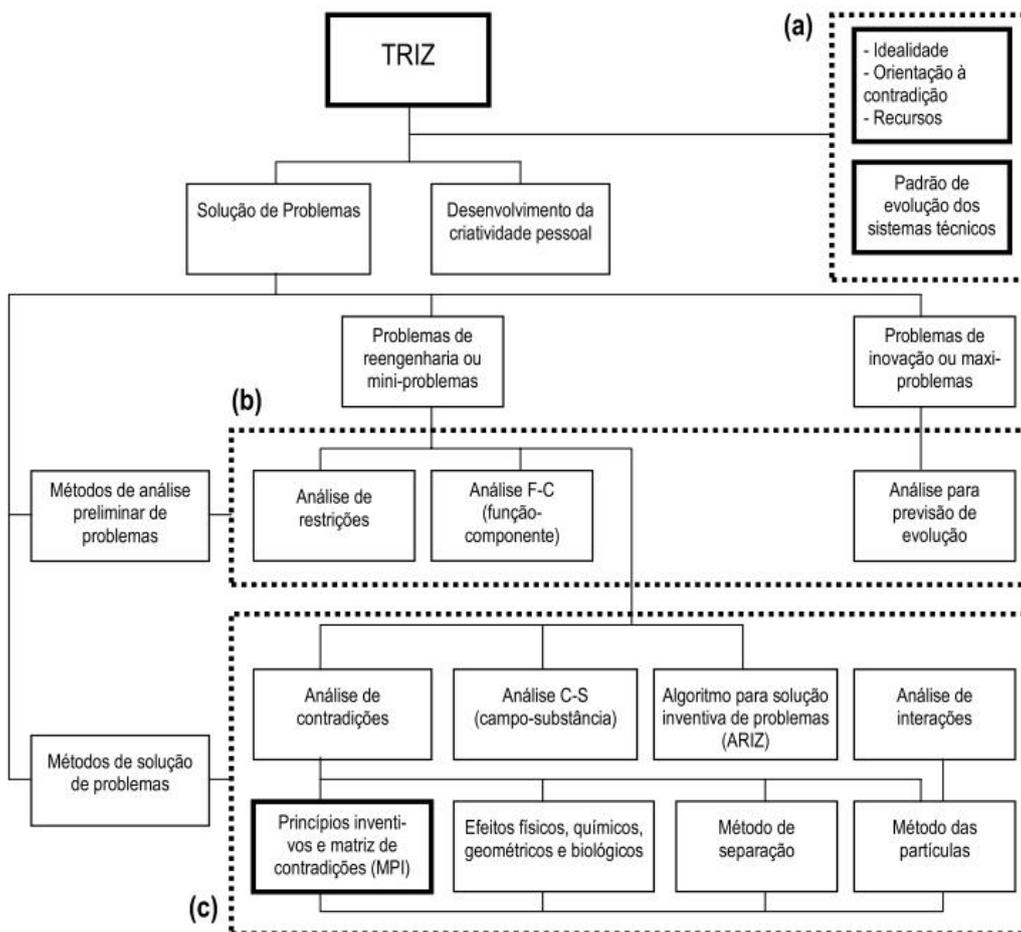


Figura 10 - Estrutura da Teoria da Solução Inventiva de Problemas

Aproximadamente há uma década, novas ferramentas analíticas surgiram para suprir lacunas da teoria. A necessidade de métodos e ferramentas para estruturar o espaço dos problemas, que visa destacar o problema central e identificar os elementos das contradições que causam esse problema, decorre do fato de que a TRIZ clássica é fraca no gerenciamento de problemas complexos quando os conflitos estão ocultos, as contradições são múltiplas e a formulação da contradição técnica adequada é difícil. Altshuller também destacou o "esclarecimento sistemático da situação do problema" como uma direção importante para o desenvolvimento futuro da TRIZ. Esta necessidade resultou em um conjunto de métodos e ferramentas para análise da situação inicial e definição do problema (NAJARI; BARTH; SONNTAG, 2015).

Conforme comentado anteriormente, a natureza do projeto se relaciona com as atividades intelectuais de solução de problemas e com as estratégias usadas pelos projetistas para reduzir a complexidade das atividades de um projeto. Assim é possível perceber que a resolução de problemas em projetos não depende somente do conhecimento técnico do profissional de engenharia e arquitetura, mas depende também da capacidade de elaboração de associação, decomposição e prototipagem que o indivíduo possui, bem como das considerações práticas vindas da experiência e das instrumentalidades de projeto obtidas por procedimentos, formas de pensar e habilidades de julgamento de cada um.

Visando auxiliar e desenvolver essas últimas capacidades, atualmente as ferramentas da TRIZ podem ser divididas em ferramentas analíticas (que ajudam a definir, formular e modelar o problema) e ferramentas baseadas no conhecimento (derivadas do conhecimento acumulado da experiência inovadora humana, e organizadas e estruturadas para fornecer aos usuários o mais alto nível de resolução de problemas). Dentre as ferramentas do primeiro grupo estão: o Questionário de Situação da Inovação (QSI), o Processo de Formulação de Problemas (PFP), Análise de Contradição, Análise de Campo de Substância e ARIZ (sigla russa para *Algorithm of Inventive Problems Solving*). Já no segundo grupo estão: os 40 Princípios Inventivos (PIs) junto com a Matriz de Contradições (MC), os Princípios de Separação e as 76 Soluções Padrão.

O presente trabalho se concentrará no método de solução de problemas mais difundido da TRIZ - o Método dos Princípios Inventivos (MPI) e Matriz de Contradições (MC). No entanto, o mesmo será antecipado por ferramentas que

auxiliam na formulação exata do problema em questão (o Questionário de Situação da Inovação, QSI, e o Processo de Formulação de Problemas, PFP). Para isso, a seguir será feita uma breve descrição dos principais conceitos da teoria e dos padrões de evolução dos sistemas técnicos; em seguida descrever-se-ão essas ferramentas (o QSI, o PFP e o MPI), cuja utilização no campo da arquitetura será explorada mais adiante nesta dissertação.

3.2.1 Conceitos Fundamentais

Os conceitos fundamentais são alguns dos elementos-chave da TRIZ. São eles: a idealidade, o uso de recursos existentes e a orientação à contradição. Esses conceitos estão elucidados a seguir conforme Terninko, Zusman e Zlotin (1998).

Idealidade:

A idealidade de um sistema técnico é a razão entre o número de funções desejadas (ou funcionalidades úteis – FU) realizadas pelo sistema e o número de funções indesejadas (ou efeitos prejudiciais – FP) que o mesmo tem que executar para cumprir essas funcionalidades. Efeitos úteis são todos os resultados proveitosos do funcionamento do sistema e efeitos prejudiciais são os custos do sistema.

O próprio sistema técnico (ST) equivale, na TRIZ, ao preço pago pela execução das funções desejadas por seus usuários e, quanto mais evoluído o sistema (mais próximo do ideal), menor é esse preço. A partir do conceito de idealidade, é definido o Resultado Final Ideal (RFI), como sendo uma solução à qual se pretende chegar na solução do problema, arbitrária e mais próxima do ideal que a solução atual. A evolução dos sistemas técnicos é um processo governado por padrões e ruma no sentido do sistema ideal.

Recursos:

Um recurso é qualquer característica disponível em um sistema ou no seu meio ambiente, que possuem habilidades funcionais ou tecnológicas e que não está sendo usado para seu pleno potencial. A utilização de recursos torna o sistema mais próximo do ideal. Há casos em que a simples procura por recursos não aproveitados em um sistema leva a soluções inventivas. Seguindo este conceito, a TRIZ enfatiza o uso máximo de todos os recursos pertencentes ao sistema ou ao seu ambiente.

Existem diferentes classes de recursos: recursos de substância (perda, fluxo, propriedades da substância); recursos de campo (energia do sistema, energia do meio ambiente, fluxo de substância, propriedade de substância); recursos de espaço

(espaço vazio, outra dimensão, arranjo vertical, aninhamento); recursos de tempo (pré e pós trabalho, programação, operações paralelas); recursos informacionais (propriedades inerentes, trânsito de informação, mudança de estado de informação); recursos funcionais (espaço do recurso dentro da função primária, utilização de efeitos indesejados, utilização de funções secundárias geradas).

Contradições:

Em termos de metodologias de projeto, o conceito de contradição é o que mais diferencia a TRIZ das outras abordagens metodológicas. As contradições são compromissos ou *trade-offs* assumidos em projetos. Segundo Savransky (2000), em contraste com um projeto de rotina que conduz a uma suavização da contradição (o dogma *trade-off* ou solução de compromisso) ou à escolha de combinações preferenciais em um conflito (o princípio “ou... ou”), um projeto baseado na TRIZ aspira identificar e resolver a contradição, criando um sistema, na qual o aprimoramento de uma característica não é acompanhado pela deterioração de outra (o dogma “e... e”), alcançando o chamado princípio “vencedor-vencedor”. A orientação à contradição consiste em não procurar evitá-la, mas, resolvê-la criativamente.

Altshuller e seus colaboradores distinguiram três tipos de contradições. São elas administrativas, técnicas e físicas, descritas a seguir (SAVRANSKY, 2000):

- As contradições administrativas ocorrem quando algo é necessário para gerar ou receber algum resultado, para evitar o fenômeno indesejável, mas não se sabe como alcançar o resultado. Por exemplo, quando se quer aumentar a qualidade da produção e diminuir o custo das matérias-primas. Tal forma de problema remete a uma situação inventiva. A contradição administrativa em si é provisória, não tem valor heurístico e não mostra uma direção para a resposta.

- As chamadas contradições técnicas ocorrem quando um parâmetro de projeto só é conseguido em detrimento de outro parâmetro (a melhoria do parâmetro “A” do sistema piora o parâmetro “B”), ou seja, uma ação é simultaneamente útil e prejudicial. A introdução ou amplificação da ação útil ou a recessão do efeito indesejado conduz à deterioração de alguns subsistemas ou de todo o sistema. A contradição técnica representa um conflito entre dois subsistemas.

- As denominadas contradições físicas ocorrem quando estados opostos devem estar presentes em um mesmo produto (estar quente e estar frio, por

exemplo). Uma contradição física implica requisitos inconsistentes para uma condição física do mesmo elemento do ST ou operação do ST.

De acordo com Altshuller, um problema inventivo contém, pelo menos uma contradição, e a exploração de contradições existentes em um sistema é um meio de descobrir soluções criativas. A Matriz de Contradição é uma das principais ferramentas TRIZ e é utilizada para comparar os parâmetros que melhoram o sistema com aqueles que pioram o sistema, indicando os princípios inventivos mais adequados para resolver uma contradição técnica. Em relação às contradições físicas, estas podem ser resolvidas pelos princípios de separação que consideram quatro estratégias diferentes para descobrir quando cada um dos dois estados opostos é necessário ou desejado. São elas: a separação no espaço, no tempo, numa condição (um sistema ou um ambiente) ou pela transição para um sistema alternativo (LABOURIAU; NAVEIRO, 2014).

A TRIZ contém várias ferramentas de eliminação de contradições. A principal delas é a Matriz de Contradições (anexo C), a partir da qual pode-se acessar os Princípios Inventivos (anexo A) utilizados por inventores de diversas áreas, na resolução de contradições semelhantes. O Método dos Princípios Inventivos (MPI) e Matriz de Contradições (MC) serão apresentados mais a frente.

3.2.2 Padrões de Evolução dos Sistemas Técnicos

A previsão tecnológica tradicional tenta prever "as características futuras de máquinas, procedimentos ou técnicas". Baseia-se em pesquisas, simulações e tendências para criar um modelo probabilístico de desenvolvimentos futuros. Em outras palavras, dá uma previsão, mas não inventa a tecnologia que está sendo prevista. Com base nos padrões de "como" as pessoas pensam e não "em que" as pessoas pensam, esses padrões são como um roteiro para o futuro. Em vez de prever tecnologias futuras, pode-se sistematicamente inventar tecnologias futuras usando os padrões de evolução dos sistemas técnicos (MAZUR, 1996).

Esses padrões da evolução dos sistemas técnicos correspondem às regularidades encontradas por Altshuller ao analisar como os sistemas tecnológicos de centenas de milhares de patentes de diferentes áreas se desenvolveram ao longo do tempo. Eles descrevem como poderá ocorrer o desenvolvimento de um sistema técnico na direção do sistema técnico ideal (DE CARVALHO, 1999).

Essa lógica pode ser utilizada para prever como um determinado sistema deve ser desenvolvido e definir as tarefas de desenvolvimento. São, portanto, úteis para orientar a solução de problemas técnicos, para previsão tecnológica e definição de estratégias e táticas de desenvolvimento, na etapa de planejamento de produto.

Altshuller formulou oito tendências para evolução dos sistemas técnicos. São elas (TERNINKO; ZUSMAN; ZLOTIN, 1998):

1 - Evolução em estágios: a tecnologia segue um ciclo de vida (nascimento, crescimento, maturidade, declínio). No estágio 1 ainda não existe um sistema, mas estão sendo desenvolvidas condições importantes para a sua emergência; No estágio 2, um novo sistema surge devido à invenção de alto nível, mas seu desenvolvimento é lento; Já no estágio 3, a sociedade reconhece o valor do novo sistema; No estágio 4, os recursos do conceito original do sistema acabam; No estágio 5, a próxima geração de sistema emerge para substituir o sistema original; e por fim, no estágio 6, algum uso limitado do sistema original pode coexistir com o novo sistema.

Pode-se citar como exemplo a evolução em estágio de um avião. No primeiro estágio tentativas manuais de voar são um fracasso; no segundo estágio, os irmãos Wright, considerados por muitos como sendo os inventores desse objeto³, voam em um biplano à uma velocidade de 30 milhas por hora; já no terceiro estágio começa a haver utilização desses aviões pelo Exército, já se tem recursos financeiros disponíveis e a velocidade aumenta para 100 milhas por hora. No quarto estágio vê-se que as estruturas originais (madeira e corda) alcançam seu limite, então passa-se para um quinto estágio no qual desenvolve-se um monoplano de estrutura metálica. Por fim, no sexto estágio diversos tipos de novos aviões foram desenvolvidos, mas algum uso limitado de biplanos ainda existe.

2 - Idealidade Crescente: é a busca por sistema cada vez mais próximos do ideal. Como exemplo, pode-se citar o antiquado computador ENIAC que, em 1946 pesava muitas toneladas, ocupava uma sala e realizava apenas algumas funções computacionais. Em 2011, MacBook da Apple pesa 920 gramas e é capaz de fazer processamento de texto, cálculos matemáticos, comunicação, gráfico, vídeo e som, reconhecimento de pressão, entre outros inúmeros atributos.

³ No Brasil, acredita-se que o inventor do avião foi o aeronauta brasileiro Alberto Santos Dumont, tendo em vista que o mesmo resolveu uma das questões essenciais do voo, tirar o avião do chão, dando a chave da decolagem. Executou isso publicamente e foi reconhecido por uma comissão internacional. Além disso, inventou o primeiro avião a ser produzido em série na história: o Demoiselle, de 1907. No entanto, essa discussão transcende o escopo deste trabalho.

3 - Desenvolvimento não uniforme de subsistemas: resultam em contradições. Os subsistemas têm diferentes curvas de ciclos de vida. Subsistemas primitivos seguram o desenvolvimento do sistema total. Um erro comum é concentrar-se em melhorar o subsistema errado. Aerodinâmicas pobres foram limitações aos primeiros aviões, uma vez que os projetistas se concentraram na força da máquina ao invés de melhorar a aerodinâmica.

4 - Dinamismo e controle crescentes: busca por sistemas mais dinâmicos e controlados. Por exemplo, os primeiros automóveis eram controlados por velocidade da máquina, depois veio a caixa de câmbio manual, seguida de transmissões automáticas e transmissões continuamente variáveis (CVT).

5 - Complexidade crescente, seguida de simplicidade (Redução): sistemas de música estéreo evoluíram somando componentes separados como speakers, rádio AM/FM, toca fitas cassete, CD player etc. para "boom box" integrado. Atualmente, pode-se tudo isso dentro de um aplicativo no telefone celular.

6 - Combinação e descombinação de partes: utilizando os automóveis como exemplo, observa-se que inicialmente eram usados feixe de molas para absorver vibrações. Esses feixes eram uma reunião de partes descombinadas emprestadas de carruagens de cavalos e qualquer outra coisa disponível. Mais tarde, refinamentos permitiram ajustes das partes, de forma que elas fossem combinadas em um sistema - o amortecedor. Propositadamente, as partes descombinadas criam recursos adicionais das diferenças, como a utilização de uma mola bimetálica que mudasse o coeficiente da mola quando uma corrente fosse aplicada, por exemplo. Posteriormente, faz-se combinações e descombinações automáticas, conforme necessário. Por exemplo, pode-se fazer o controle de um sistema de suspensão ativo por computador.

7 - Transição para micro-sistemas e uso crescente de campos: macro-sistemas são transformados em micro-sistemas por meio de campos de energia para alcançar melhor desempenho ou controle. Como exemplo pode-se citar o desenvolvimento de sistemas de cocção (fogão à lenha - gás - forno elétrico - forno microondas).

8 - Envolvimento humano decrescente: redução do desenvolvimento humano e ampliação da automação. À exemplo disso, tem-se o desenvolvimento de lavagem de roupas (tanque - máquina de lavar com campainha - máquina de lavar automática - máquina de lavar automática com compartimentos para alvejante e amaciante).

Para De Carvalho (2007), Altshuller ao propor as Tendências da Evolução dos Sistemas Técnicos acreditou estar contribuindo de duas formas: a primeira seria na criação de novos sistemas técnicos, por dedução, a partir de sistemas técnicos existentes; e a segunda, acreditou que as tendências seriam um critério de decisão para a solução mais adequada para um problema.

3.2.3 Questionário de Situação da Inovação (QSI)

O Questionário de Situação da Inovação (QSI) foi desenvolvido por Boris Zlotin, na *Kishinev School of TRIZ*, em Moldova, por volta dos anos 1980. Essa ferramenta analítica consolidou-se como parte da TRIZ clássica no final dos anos 90, sendo acatada pelo seu inventor e incluída na obra *Tools of Classical TRIZ*⁴, visando suprir uma lacuna de aplicação prática da teoria. Seu objetivo é estruturar melhor o problema, uma vez que é por meio dele que se explicita o maior número possível de informações relevantes, a partir do qual é possível desenvolver a busca por soluções.

Terninko, Zusman e Zlotin (1998) dão algumas sugestões conforme o QSI deve ser preenchido (sugerem não usar termos técnicos, por exemplo) e sobre os itens a serem registrados. A sequência será apresentada a seguir:

- Informações sobre o sistema: Nome do sistema; Função útil (FU) primária; Estrutura do sistema; Meio ambiente do sistema; Recursos disponíveis (recursos de substância, recursos funcionais, recursos de tempo, recursos de espaço).

- Informações sobre a situação do problema: Defeitos a eliminar; Mecanismos que causam defeitos; História de desenvolvimento do problema; Outros problemas a serem resolvidos.

- Modificando o sistema: Possíveis mudanças no sistema e Limitações para mudar o sistema.

- Critérios para selecionar conceitos de solução: Características tecnológicas desejáveis; Características econômicas desejáveis; Tempo desejável; Grau de inovação desejado; Outros critérios.

- História de tentativas de solução ao problema: Tentativas anteriores de resolver o problema e outros sistemas com problemas semelhantes.

- Resultado Final Ideal (RFI).

⁴ Zlotin B., Zusman A., Altshuller G., Philatov V.: 1999, TOOLS OF CLASSICAL TRIZ. Ideation International Inc. 266 pages, ISBN 1928747027.

3.2.4 Processo de Formulação de Problemas (PFP)

Seguindo o mesmo histórico do QSI, o PFP foi desenvolvido por Alla Zusman, em 1990, pelos mesmos motivos. O PFP consiste na construção de simples gráficos de fluxo de causa e efeito que explicitam as ligações entre as principais funções prejudiciais (FPs) e funções úteis (FUs) do sistema.

Ao utilizar essa ferramenta, faz-se uma distinção visual entre as FPs e as FUs, melhorando a identificação imediata de cada uma. Assim, as funções prejudiciais são escritas entre colchetes e sublinhadas [FP], enquanto as funções úteis são colocadas entre parênteses (FU). Além disso, essas funções são indicadas por diferentes formatos no gráfico de fluxo, sendo as FPs representadas por quadrados em cinza e as FUs representadas por círculos brancos.

Sendo assim, existem três ligações possíveis entre as FPs e as FUs. São elas:

FU_n causa  FP_n

FU_n é introduzida para eliminar  FP_n

FU_n é requerida para  FU_{n+1}

Essas três ligações levam a oito perguntas, sendo quatro relacionadas a FU e quatro relacionadas a FP. São elas:

Quatro questões para as FUs:

1. Esta FU é requerida para uma outra FU?
2. Esta FU causa alguma FP?
3. Esta FU é introduzida para eliminar alguma FP?
4. Esta FU requer alguma outra FU para ser realizada?

Quatro questões para as FPs:

5. Esta FP causa alguma outra FP?
6. Esta FP é causada por alguma outra FP?
7. Esta FP é causada por alguma FU?
8. Alguma FU foi introduzida para eliminar esta FP?

Cada uma das funções passa por essas perguntas e assim são geradas as relações causais entre elas, formando o gráfico de fluxo. Em seguida, afirmações são geradas a partir do gráfico de fluxo e, a partir da análise de cada um dos enunciados gerados pela interpretação do gráfico de fluxo, novas soluções para as contradições do projeto podem ser extraídas.

3.2.5 Método dos Princípios Inventivos (MPI) e Matriz de Contradições (MC)

O Método dos Princípios Inventivos (MPI) é um método eficaz para geração de ideias sendo, provavelmente, a ferramenta mais difundida dos métodos da TRIZ (DE CARVALHO; BACK, 2001). Esse método é baseado na aplicação dos chamados Princípios Inventivos (PIs) e no conceito de Parâmetros de Engenharia (PEs).

Os PIs são heurísticas, ou sugestões de possíveis soluções, para resolução de um determinado problema. Tais princípios foram obtidos a partir da generalização e agrupamento de soluções repetidamente utilizadas na criação, desenvolvimento e melhoria de sistemas técnicos (STs) de diferentes áreas. Correspondem aos princípios regulares utilizados em soluções inovadoras, identificados no desenvolvimento de projetos através da análise de uma grande quantidade de patentes (DE CARVALHO; BACK, 2001). Altshuller formulou 40 PIs, mostrados na Tabela 2. A descrição completa de cada um deles é ilustrada no Anexo A.

Tabela 2 - Os 40 Princípios inventivos da TRIZ

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

Os PEs correspondem à generalização das grandezas envolvidas em problemas técnicos de diferentes áreas. Conforme o tipo de problema, estas grandezas devem ser maximizadas, minimizadas ou mantidas ao redor de um valor meta. Os 39 PEs identificados por Altshuller são mostrados na Tabela 3⁵. A descrição de cada um deles é ilustrada no Anexo B.

Tabela 3 - Os 39 Parâmetros de Engenharia

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

Os PIs podem ser aplicados de duas formas. A primeira é pelo uso direto, que consiste em realizar uma simples análise de cada um dos 40 princípios e aplicar de maneira análoga no ST a ser melhorado. A aplicação é realizada livremente, como se faria em uma sessão de *brainstorming*, por meio de questões evocativas. Segundo De Carvalho (2007), para aumentar a eficácia desta alternativa de aplicação dos princípios, existe uma ordenação, do mais utilizado para o menos utilizado na resolução de problemas (frequência de uso). Essa ordem seria: 35, 10, 1, 28, 2, 15, 19,

⁵ 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. Em resumo, este trabalho resultou na manutenção dos 40 PIs, aumento do número de PEs de 39 para 48 e atualização da matriz. Para fins dessa dissertação, utilizaremos os 39 PEs originais. O estudo em questão pode ser encontrado em: MANN, D.; DEWULF, S.; ZLOTIN, B.; ZUSMAN, A. Matrix 2003: Updating the TRIZ Contradiction Matrix. Ieper: CREAX Press, 2003.

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 20. 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.

A segunda forma de aplicação é através da Matriz de Contradições (MC) e corresponde a:

- 1) identificação das contradições técnicas dentro do ST;
- 2) modelagem das contradições encontradas em PEs conflitantes (Tabela 3 e Anexo B);
- 3) definição dos PIs a utilizar, a partir de uma consulta à MC (Anexo C);
- 4) aplicação dos PIs (Tabela 2 e Anexo A) para buscar soluções;

A MC (Anexo C) permite o cruzamento dos PEs conflitantes, sugerindo PIs que já foram utilizados anteriormente na resolução de uma contradição análoga. No cruzamento das linhas com as colunas estão os números dos PIs mais utilizados para a solução da contradição dos parâmetros conflitantes. A Figura 11 ilustra o processo do MPI.

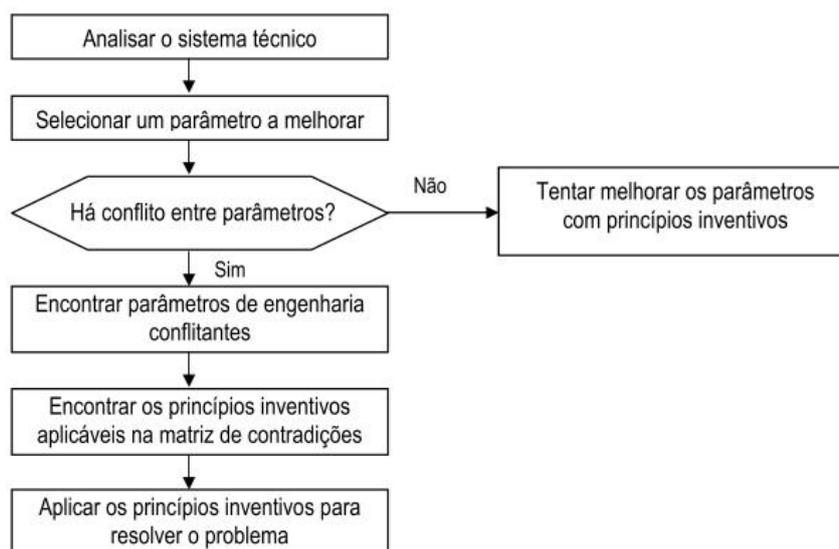


Figura 11 - Solução de problemas com os Princípios Inventivos
Fonte: Altshuller (1969, apud De Carvalho, 1999)

Um exemplo bem simples de utilização do MPI é o exemplo de projeto de latas para conter bebidas gaseificadas, apresentado por De Carvalho (1999). No caso ilustrado, deseja-se diminuir a quantidade de material utilizado para fabricar a lata (de modo a reduzir custos) e, ainda assim, manter sua integridade estrutural, possibilitando o empilhamento. Se a quantidade de material utilizada é diminuída, a carga

admissível também reduz, o que é indesejável. Logo, os parâmetros de engenharia conflitantes podem ser: PE-4: comprimento do objeto parado e PE-11: tensão ou pressão.

Consultando a MC, obtêm-se os seguintes princípios inventivos (Figura 12):

- PI-1: segmentação ou fragmentação;
- PI-14: recurvação;
- PI-35: mudança de parâmetros e propriedades.

Resultado Indesejado		...	10	11	...	39
				Tensão ou Pressão		
Característica a alterar						
...	...					
4	Comprimento do objeto parado			1, 14, 35		
5	...					
39	...					

Figura 12 - Princípios encontrados na Matriz de Contradições
Fonte: Elaboração própria

A partir dos PIs sugeridos de acordo com a MC, pode-se chegar a algumas opções de solução:

a) A partir do PI-1 (segmentação e fragmentação), pode-se chegar ao conceito já aplicado das latas corrugadas. Essa solução aumenta a resistência mecânica das latas, mas, não economiza material;

b) O PI-35 poderia levar a uma concepção que incluísse uma modificação no material das latas, como um tratamento térmico, para aumento de resistência. No entanto, essa solução teria impacto negativo sobre o custo;

c) A maioria das latas de alumínio utilizadas atualmente pode ser considerada como uma aplicação do PI-14 (recurvação), na qual a forma recurvada da lata faz com que a pressão interna aumente a resistência mecânica. Esta solução é a mais próxima do ideal, já que faz uso de um recurso disponível no sistema e anteriormente não utilizado (pressão).

Diversas outras soluções poderiam ser geradas, com base nos princípios sugeridos pelo uso da matriz de contradições. Além dos três princípios sugeridos, não podem ser descartados os outros princípios inventivos. As soluções encontradas e outras soluções interessantes também poderiam ser obtidas através da aplicação de outros princípios inventivos.

Vale ressaltar que a aplicação do MPI e da MC requer um alto grau de abstração. Os princípios reunidos nas ferramentas da TRIZ configuram as soluções de problemas obtidas a partir de análises do desenvolvimento de patentes criadas pelas maiores mentes inventivas do mundo.

3.2.6 Campos de Aplicação da TRIZ

As ferramentas da TRIZ foram elaboradas pensando-se, inicialmente, no segmento de desenvolvimento de produtos. No entanto, como essa é uma metodologia versátil, seus métodos já foram adaptados para diversas áreas do conhecimento.

Ellen Domb, editor-chefe do jornal da TRIZ⁶, reuniu diversos artigos apresentando, por meio de exemplos, a possível adaptação dos princípios inventivos em diferentes áreas para alcançar soluções de problemas específicos. Essas adaptações foram realizadas com a colaboração de especialistas das diversas áreas de conhecimento, como: área de negócios e finanças, área de tecnologia de alimentos, engenharia química e engenharia avançada (desenvolvimento de *software* e microeletrônica), área da saúde, área da educação e estudos sociais, área de administração e marketing, área de gestão de operação e processos, área de gestão da qualidade e também o campo de arquitetura.

Para fins de desenvolvimento deste trabalho, será abordado de maneira aprofundada no próximo capítulo, o uso dos conceitos fundamentais da TRIZ em projetos de arquitetura.

⁶ Site: <https://triz-journal.com>

4 A TRIZ na Arquitetura e Construção

O capítulo 4 é iniciado a partir de uma reflexão sobre a iniciação dos conceitos da TRIZ para projetos do setor de AEC. Em seguida, são apresentados trabalhos precedentes que discutem e promovem o uso dos conceitos fundamentais da TRIZ em projetos de arquitetura, utilizados como base para a elaboração do instrumento proposto nesta dissertação.

4.1 Incipiência da TRIZ no setor de AEC

Apesar da TRIZ já ter sido exaustivamente explorado na área de processo de desenvolvimento de produtos (PDP), trabalhos que incorporam a TRIZ nos processos de projetos arquitetônicos e de construção civil são ainda incipientes. A maioria possui caráter teórico, de revisão bibliográfica ou de verificação da viabilidade do uso da teoria no campo de AEC, necessitando de estudos que foquem na adaptação dos conceitos fundamentais da TRIZ clássica para a realidade da arquitetura e construção e mais trabalhos experimentais para validação das teorias.

Conforme explicado no item 1.5, no mapeamento sistemático realizado nas principais bases de dados indexadas da internet, até o ano de 2017, encontraram-se alguns trabalhos com aplicação direta da TRIZ nesses tipos de projetos, citados a seguir. A maior parte dos trabalhos, como os de Mann e Ó' Cathain (2001a e 2001b) e Labuda (2015), exploram a aplicabilidade da TRIZ no campo da arquitetura e construção a partir de exemplos e mostram como a TRIZ pode oferecer mecanismos para definir e especificar problemas, gerando soluções fundamentalmente mais robustas em projetos de edifícios que combinam considerações técnicas e estéticas. Em Kiatake (2004) foi realizada a primeira adaptação da TRIZ clássica para projetos arquitetônicos, sendo seu uso testado em um estudo de caso real.

Já Nazidizaji, Tomé e Regateiro (2014) exploram os parâmetros e contradições levantados por problemas arquitetônicos específicos, através da análise de um

pequeno problema inventivo na arquitetura utilizando as ferramentas da TRIZ. Em outro estudo os mesmos autores se propuseram a desenhar uma estrutura de pesquisa sobre a aplicação da TRIZ na arquitetura em termos de problemas mal estruturados ou mal definidos (NAZIDIZAJI; TOME; REGATEIRO, 2015).

Em outro viés, Najari, Barth e Sonntag (2015) apresentam um estudo empírico explorando a possibilidade de adaptar um dos conceitos fundamentais da TRIZ como estratégia conceitual para os estágios iniciais de um processo de projeto. Enquanto isso, Najari *et al.* (2016) corrobora a viabilidade e eficiência do uso da TRIZ em projetos arquitetônicos e, por fim, Renev e Chechurin (2016) apresentam uma revisão da literatura na área de aplicação TRIZ na indústria de construção revelando que o uso da TRIZ nessa área ainda é bastante limitado.

Partes desses trabalhos serão comentadas nos tópicos seguintes para melhor explicar como a interpretação do instrumento proposto por essa dissertação foi elaborada.

4.2 Os Conceitos Fundamentais da TRIZ para Arquitetura e Construção

Na literatura pode-se encontrar, hoje, mais de 200 diferentes métodos para apoiar o processo de solução criativa de problemas. Bianchi (2008) pesquisou quais métodos de estímulo à criatividade eram mais utilizados pelos docentes dos cursos de arquitetura e, entre alternativas, a TRIZ foi colocada como opção de método por ser bastante divulgada na literatura de solução criativa de problemas em outras áreas (especialmente em engenharia mecânica). A investigação feita por Bianchi (2008) mostrou que a TRIZ não era conhecida pelos docentes de projeto de arquitetura - 79% dos docentes brasileiros e 93% dos docentes estrangeiros afirmaram desconhecer este método.

O trabalho de Nazidizaji, Tome e Regateiro (2015) apresenta uma sugestão de estrutura de pesquisa para aplicação da teoria TRIZ na arquitetura em termos de problemas mal estruturados ou mal definidos. Nesta ocasião, os autores mostraram como os conceitos fundamentais da TRIZ podem ser inseridos na arquitetura. A título de exemplo, os mesmos aplicaram a Lei da Idealidade da TRIZ no contexto de projetos arquitetônicos expondo como exemplo o que seria um edifício ideal: a área ocupada na área urbana é zero e, ao mesmo tempo, o espaço interior ilimitado. É bonito de todos os pontos de vista. Quando os indivíduos estão dentro do prédio, em

qualquer espaço é possível visualizar todas as direções, ao mesmo tempo em que não há visão de fora para dentro e cria o maior grau de privacidade (ou maior grau de controle sobre privacidade).

A idealidade é a essência do idealismo, enquanto a contradição é a lei básica da dialética materialista. Um dos primeiros conhecimentos extraídos pelos pesquisadores da TRIZ foi que resolver um problema significava remover uma contradição. Por esse motivo, outro ponto relevante é a definição de contradição para arquitetura. Que tipos de contradições existem na arquitetura? Como essas contradições podem ser classificadas? A seguir estão listados alguns exemplos de contradições no campo da arquitetura (NAZIDIZAJI; TOME; REGATEIRO, 2015):

- Um exemplo de contradição na arquitetura pode ser verificado quando se quer uma janela grande com uma visão melhor do ambiente externo e da paisagem e que possibilite maior entrada de luz natural, mas que não aumente a troca de calor com o ambiente externo;

- Outro caso é quando, dependendo da localização geográfica, a luz do lado oeste é indesejada por esquentar o ambiente (“sol da tarde”), mas por outro lado, a vista lateral ocidental contém uma cena bonita (pôr-do-sol no mar, montanhas, um elemento de cartão postal). A contradição está no fato do cliente querer e não querer essa janela ao mesmo tempo;

- Em termos de acessibilidade, para ocupar menos terras e ter uma melhor acessibilidade, constrói-se uma cidade elevada, que gera mais riscos sobre forças do vento e do terremoto, impactando na segurança;

- Outro caso é quando se quer construir uma casa maior, mas a casa maior necessita de mais material e mais peso, conseqüentemente mais custos e danos ao meio ambiente;

- Em relação à privacidade, geralmente os quartos são projetados longe da entrada, mas os quartos ficam menos acessíveis.

Esses são apenas alguns exemplos que podem ser encontrados no trabalho supracitado. Como conclusão deste artigo, os autores ressaltam que a aplicabilidade do método na arquitetura deve ser avaliada uma vez que projetos arquitetônicos possuem conceitos, componentes e funções específicas. Dessa forma, é fundamental considerar a geração de uma nova interpretação da teoria em etapa anterior ao seu uso na arquitetura.

Ainda segundo Nazidizaji, Tome e Regateiro (2015), a teoria é aplicável no campo da arquitetura uma vez que a evolução dos sistemas da arquitetura por seus aspectos tecnológicos é semelhante a outros campos de engenharia. Apesar disso,

a evolução dos espaços e sua interação com os usuários devem ser consideradas por pesquisas adicionais e até mesmo os prováveis princípios de evolução devem ser extraídos. Colocam ainda que os conceitos culturais, psicológicos e sociais do projeto arquitetônico são os principais desafios para a aplicação TRIZ na arquitetura.

Assim como constatado por Mann e O’Cathain (2001b e 2001c), o trabalho de Nazidzaji, Tome e Regateiro (2015) ratifica que a contradição no projeto de elementos e detalhes da arquitetura é muito comparável aos problemas de engenharia, portanto, os 39 PEs e os 40 PIs podem ser usados, desde que haja uma interpretação específica redefinindo esses conceitos para a arquitetura, uma vez que a evolução dos espaços e sua interação com o usuário é característica recorrente em projetos deste campo.

4.3 A TRIZ aplicada na Indústria da Construção

Em recente pesquisa, Renev e Chechurin (2016) elaboraram uma revisão da literatura sobre a aplicação da TRIZ na indústria da construção. Deste estudo revelou-se que, apesar de teoria estar sendo amplamente utilizada em muitos campos desde o início dos anos 2000, quando a inovação tornou-se parte integrante do mundo moderno, o número de publicações relacionadas à aplicação da TRIZ na indústria da construção é inferior a 2% de todos os estudos relacionados à TRIZ na base de dados *SCOPUS*.

Com base na análise das publicações encontrados, o estudo revela que o uso da TRIZ na construção ainda é bastante limitado. De acordo com a ETRIA (*European TRIZ Association*), uma pesquisa mundial realizada em 2009, apenas 3,5% dos profissionais de construção são dedicados ao uso da teoria, o que significa que a TRIZ permanece marginal no setor imobiliário.

A revisão da literatura sobre esse assunto mostrou que existem pesquisadores trabalhando nessa direção, tentando usar as ferramentas da TRIZ em situações que necessitam ideias únicas para resolver problemas complexos específicos em áreas como o desenvolvimento de técnicas e tecnologias de construção, projeto de novas estruturas e materiais de construção, gerenciamento de projetos de construção e engenharia de valores etc. No entanto, a aplicação bem sucedida dessas ferramentas não é possível sem uma adaptação criativa. Apesar da teoria ter provado ser uma metodologia bastante única, ainda há muitas situações controversas que exigem que as ferramentas da TRIZ sejam adaptadas a um campo industrial específico e a construção não é uma exceção (RENEV; CHECHURIN, 2016).

Novamente fica explícito que é fundamental a elaboração de uma adaptação dos conceitos fundamentais, princípios e ferramentas da TRIZ para o sucesso de seu uso em projetos do setor de AEC.

Nessa linha, os dois próximos tópicos apresentam estudos que foram realizados outrora, abordando os aspectos tratados nesta discussão, no sentido testar a adaptação dos princípios inventivos da TRIZ para Arquitetura.

4.4 Princípios Inventivos (PIs) para Arquitetura

A utilização da TRIZ no campo da Arquitetura possui ainda poucas aplicações práticas. Uma forma, sugerida por Mann e Ó'Cathain (2001a) foi utilizar pacotes de "bancos de conhecimentos" organizados por funções (*TRIZ-base software*), tornando possível acessar em todas as soluções, já alcançadas por outros inventores, àqueles requisitos funcionais abstratos que foram formulados.

Outra forma foi sugerida por Kiatake (2004), que procurou adaptar os 40 PIs para utilização específica nesta área, demonstrando que os mesmos podem ser verificados também em soluções arquitetônicas. Essa adaptação foi desenvolvida a partir dos exemplos de uso dos 40 PIs para projetos de arquitetura, encontrados no trabalho de Mann e Ó'Cathain (2001a). Nessa ocasião, foram definidos 15 objetivos específicos de projetos arquitetônicos e, em seguida, os 40 PIs originais da TRIZ foram atribuídos a pelo menos um desses objetivos arquitetônicos. A Tabela 4 mostra essa relação e a explicação de cada objetivo será apresentada no Capítulo 5.

Tabela 4 - Objetivos x Princípios (adaptada de KIATAKE, 2004)

OBJETIVO ARQUITETÔNICO	PRINCÍPIOS INVENTIVOS IDENTIFICADOS
Conforto Visual (Estética)	2, 13, 14, 32, 33, 35
Conforto Olfativo	2
Conforto Acústico	2, 18, 31, 39
Conforto Térmico	3, 13, 17, 29, 32, 35, 36, 38
Eficiência	5, 6, 9, 13, 14, 17, 18, 19, 23, 25, 28, 33, 35, 36, 40
Ergonomia	4
Equilíbrio	8, 12, 24, 39
Flexibilidade	2, 15, 30, 35, 37
Impacto Visual	18, 19
Independência	1
Movimento	15
Praticidade	5, 6, 13, 26, 29, 30
Produtividade	1, 3, 6, 10, 16, 20
Racionalização	1, 4, 7, 13, 14, 17, 19, 20, 22, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 34, 37
Segurança	2, 3, 9, 11, 13, 21

4.4.1 Aplicação dos PIs em Projetos Arquitetônicos: o Método dos Princípios Inventivos (MPI) e a Matriz de Contradições (MC)

Kiatake (2004) identificou os objetivos de projetos de arquitetura visando relacionar os PIs diretamente às Funções Úteis (FUs) de um sistema arquitetônico, possibilitando a primeira forma de utilização do MPI, ou seja, a aplicação direta dos PIs ao caso específico, sem o uso da MC. Estes objetivos correspondem ao propósito do projeto, que pode ser alcançado através de várias FUs. Como exemplo, o objetivo "racionalização" (do espaço) pode ser obtido através da Função Útil "dividir em partes", cujo exemplo seria a "porta dobrável", uma aplicação comum do PI-1 (Segmentação). As FUs foram identificadas pela autora no enunciado dos Princípios e correspondem ao texto original de Altshuller (anexo A). A explicação detalhada dessa adaptação pode ser encontrada em Kiatake (2004).

A segunda forma de aplicação sugerida por Kiatake (2004), consiste na identificação das contradições encontradas na formulação dos problemas e utilização da MC a partir da modelagem dos conflitos em PEs. Esse uso exige o tratamento do problema específico através de parâmetros conflitantes genéricos da Tabela 3.

Essa autora ainda apresentou três estudos de caso a fim de exemplificar as duas formas de aplicação dos PIs. Nesta ocasião, foram selecionadas três soluções

arquitetônicas criativas para análise, cujos PIs utilizados em cada uma delas foram identificados.

O primeiro estudo de caso se tratou em uma solução parcial de projeto resultante unicamente da identificação dos PIs utilizados. No segundo caso a solução foi completa, partindo-se do levantamento das principais informações do projeto (como meio ambiente do sistema, restrições, objetivos e resultado final ideal (RFI), bem como a proposta apresentada), anteriormente à identificação dos PIs. No último caso, além da identificação dos princípios, um conflito de projeto foi selecionado para demonstrar a segunda forma de utilização do MPI: a aplicação da Matriz de Contradições⁷.

O capítulo seguinte apresentará uma outra interpretação para o uso dos PIs, dessa vez, em projetos do setor de AEC.

⁷ A análise completa dos três estudos de caso pode ser encontrada no Capítulo 4 da Dissertação de Mestrado de Kiatake (2004).

5 Proposta de Interpretação da TRIZ para Projetos de AEC

Esse capítulo mostra detalhadamente a adaptação das ferramentas originais da TRIZ para o campo de projetos AEC realizada pela autora. Além disso, apresenta como esta interpretação propiciou a elaboração de um instrumento robusto para a sistematização do processo decisão em projetos desse setor.

5.1.1 Trajetória de Desenvolvimento

Com base no que foi apresentado até o momento, realizou-se outra interpretação dos PIs originais da TRIZ para o campo de projetos no setor de AEC, propiciando a elaboração de um instrumento robusto para a sistematização do processo decisório diante de situações conflitantes em projetos desse setor.

Sendo assim, deu-se início à nova interpretação. Inicialmente, fez-se uma análise detalhada de três trabalhos anteriores em que dois apresentam, por meio de exemplos, situações em que os PIs originais da TRIZ podem ser aplicados para projetos de arquitetura (MANN; Ó'CATHAIN, 2001a) e de construção (LABUDA, 2015) e outro que buscou iniciar o processo de adaptação desses 40 PIs em termos de objetivos arquitetônicos (KIATAKE, 2004), servindo como base para elaboração do instrumento proposto nesta pesquisa. Em suma, a análise detalhada desses estudos, associada ao conhecimento sobre engenharia civil da autora, fez emergir uma nova interpretação dos PIs da TRIZ para projetos no setor de AEC.

O desenvolvimento da nova interpretação abrangeu a seguinte trajetória: primeiramente os objetivos arquitetônicos delineados por Kiatake (2004) foram ampliados para objetivos de projetos de AEC e os 40 PIs da TRIZ clássica foram novamente associados a, pelo menos um, dos objetivos específicos de AEC, de acordo com a interpretação da autora (item 5.1.2). Em seguida, os PEs que haviam sido extraídos a partir de patentes de projetos de produtos, foram interpretados para casos de projetos no setor de AEC (item 5.1.3). Por fim, formulou-se uma automatização no programa Excel para transpor a MC original da TRIZ em uma nova MC, agora destinada a projetos de AEC (Apêndice A). Esse último processo foi realizado de maneira automática, por meio de fórmulas, para evitar erros humanos de digitação.

5.1.2 Princípios Inventivos (PIs) para Projetos de AEC

Baseado nos 15 objetivos arquitetônicos estabelecidos por Kiatake (2004), foram definidos 18 objetivos específicos para projetos do setor de AEC. São eles:

- a) Visibilidade: inclui tanto o conforto quanto o impacto visual relacionado ao sistema de iluminação, uso de cores, texturas e contrastes, além da estética;
- b) Conforto Olfativo: relacionado aos estímulos olfativos característicos do ambiente;
- c) Conforto Acústico: relacionado às propriedades acústicas dos materiais (capacidade de absorver, refletir e transmitir sons e ruídos), bem como ao posicionamento das estruturas que permitem a propagação de sons;
- d) Conforto Térmico: relacionado ao bem estar gerado pela temperatura ambiente e umidade;
- e) Eficiência: capacidade de ser efetivo, competente, produtivo, conseguindo o melhor rendimento com o mínimo de erros e/ou dispêndios;
- f) Ergonomia: tudo que relaciona a interação homem-máquina, incluindo a otimização das condições de trabalho humano;
- g) Equilíbrio: posição estável (sem oscilação ou desvios) relacionada à condição de um sistema em que as forças que sobre ele atuam se compensam, anulando-se mutuamente;
- h) Flexibilidade: relacionado à maleabilidade dos elementos;
- i) Independência: separação de funções, relacionado à autonomia, liberdade com relação a algo ou imparcialidade;
- j) Movimento: relacionado ao deslocamento, mudança de posição, locomoção;
- k) Praticidade: relativo à facilidade, funcionalidade ou usabilidade de um objeto ou prática;
- l) Produtividade: referente ao resultado daquilo que se produz, do que é rentável, relacionando os meios, recursos utilizados e a produção final, associado à técnica e ao capital empregado.
- m) Racionalização: relativo à distribuição controlada de recursos, bens e serviços escassos/limitados;
- n) Segurança: estado, qualidade ou condição de algo ou alguém que está livre de perigos, incertezas, assegurado de danos e riscos eventuais;
- o) Acessibilidade: relacionado à facilidade na aproximação, no tratamento ou na aquisição;

- p) Sustentabilidade: ações e escolhas relacionadas ao desenvolvimento econômico e material do empreendimento sem agredir o meio ambiente, usando os recursos naturais de forma inteligente;
- q) Estanqueidade: objetos e estruturas estanques, isentos de furos, trincas ou porosidades que possam deixar sair ou entrar parte de seu conteúdo;
- r) Durabilidade: relacionado à vida útil.

Em seguida, os 40 PIs originais da TRIZ foram contemplados um a um e relacionados a pelo menos um dos 18 objetivos específicos supracitados, aproveitando e adaptando os exemplos encontrados em trabalhos anteriores (MANN; Ó'CATHAIN, 2001a; KIATAKE, 2004; LABUDA, 2015). A seguir as relações serão fundamentadas por meio de exemplos.

PI-1: Segmentação ou Fragmentação

Confere às seguintes orientações: divida um objeto em partes independentes; torne um objeto seccionável; aumente o grau de segmentação de um objeto. Assim, pode se relacionar aos objetivos (e) eficiência, (i) independência, (l) produtividade, (m) racionalização, (n) segurança, (o) acessibilidade e (q) estanqueidade.

Como exemplos, tem-se: construção em etapas (e); compartimentação de ambientes por característica de uso (i); circuitos independentes para assegurar falhas em circuitos (i); divisórias (i); janelas com vários painéis(i); construção ou elementos pré-fabricados que facilite a montagem/ desmontagem e agiliza a execução *in loco* (l); portas dobráveis ou de correr para economizar espaço (m); recipientes separados para reciclagem de diferentes materiais (m); projeto contra o colapso estrutural progressivo (n); controle de acesso com mecanismos físicos que limitem o acesso não autorizado (n); segregação entre pedestres, ciclistas e veículos (n); acesso principal segregado entre rampa e escada (o); acesso distinto das entradas social e de serviço (o); antessalas com diferença de pressão (q).

PI-2: Remoção ou Extração

Confere às seguintes orientações: extraia (remova ou separe) uma parte ou propriedade interferente de um objeto; extraia a única parte ou propriedade necessária. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (b) conforto olfativo, (c) conforto acústico, (h) flexibilidade, (n) segurança e (p) sustentabilidade.

Como exemplos, tem-se: salões com vãos livres maiores, sem pilares internos, utilizando tetos de lajes nervuradas ou protendidas (a); estacionamento de veículos

no subsolo; vidros com estrutura *glazing*⁸ (a); área de fumantes em construções públicas para isolar o elemento perturbador – fumante - do espaço coletivo (b); lixeiras fora dos edifícios (b); equipamentos barulhentos fora da construção (c); estacionamento de veículos no subsolo (c); áreas próprias para descanso e de encontro em locais de trabalho (c); divisões de vidro à prova de barulho em escritórios (c); armários com acesso por chave tanto por dentro quanto por fora permitindo entregas de bens quando os ocupantes não estão presentes(h); retirada de apoios para estruturas mais flexíveis (h); medidores externos evitando o acesso das companhias à propriedade (n); escape de fogo ou elevador externo para não interferir na planta (n); antenas para-raios (n); calhas condutoras da água da chuva para longe da estrutura do edifício, permitindo seu reaproveitamento (p).

PI-3: Qualidade Localizada

Confere às seguintes orientações: produza a transição de uma estrutura homogênea de um objeto ou meio ambiente externo (ação externa) para uma estrutura heterogênea; faça diferentes partes do objeto realizarem diferentes funções e úteis.; coloque cada parte do objeto sob condições mais favoráveis à sua operação. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (d) conforto térmico, (e) eficiência, (l) produtividade, (n) segurança; (q) estanqueidade e (r) durabilidade.

Como exemplos, tem-se: materiais de construção de acabamento texturizado (a); utilização de gradientes de temperatura, propiciando temperatura adequada em diferentes níveis (d); vidros com filmes de baixa emissão (d); padrão variável de insolação(d); distribuição não homogênea de vergalhão no concreto dá propriedades de resistência sob medida (e); peças de construção especiais, como tijolos e blocos de canto, agilizam a montagem construtiva (l); pilares de maiores dimensões ou paredes mais espessas na base das construções em relação aos níveis superiores para acomodar maiores cargas estruturais (n); anti-derrapantes em escadas (n); para-choques em portas (n); maior padrão de segurança para janelas do térreo (n); armadura de reforço nas aberturas (n); parede à prova de umidade em locais molhados (q); tratamentos de superfície de materiais/revestimentos - pintura auto-limpante, pintura anticorrosiva, entre outras (r).

⁸ O sistema “glazing” obedece ao mesmo conceito do sistema “pele de vidro”, no qual toda a estrutura de alumínio instalada é visualizada apenas no interior do edifício, deixando as fachadas mais leves e limpas.

PI-4: Assimetria

Confere às seguintes orientações: substitua a forma simétrica de um objeto por uma forma assimétrica; se o objeto já é assimétrico, aumente o grau de assimetria. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (f) ergonomia, (m) racionalização e (q) estanqueidade.

Como exemplos, tem-se: fachadas modernas como a do Museu da Imagem e do Som no Rio de Janeiro (a); diferenciação de *layout* para homens e mulheres ou para destros e canhotos (f); assentos de formas humanas (f); maçanetas de puxar *versus* placas para empurrar em portas (f); paredes anguladas que otimizam espaços (m); encaixes tipo macho-e-fêmea (m); portas duplas com folhas de diferentes tamanhos (m); divisor de drenagem simples (q); calha de alto fluxo usa a assimetria para controlar melhor o fluxo de entrada da água da chuva do telhado para o tubo descendente (q).

PI-5: Fusão ou Consolidação

Confere às seguintes orientações: combine no espaço objetos idênticos ou semelhantes, montar peças idênticas ou similares para executar operações paralelas; faça operações contíguas ou paralelas/simultâneas (ao mesmo tempo). Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (e) eficiência, (k) praticidade, (m) racionalização, (o) acessibilidade e (p) sustentabilidade.

Como exemplos, tem-se: edifícios que se misturam ao meio ambiente em termos de forma, textura, material, cor (a); torneira mix que conjuga fornecimento de água quente e fria em um único sistema (e); salas multi-funções (e); painéis sanduíche⁹ (e); grupos cooperativos de construção – parcerias (e); vidros *glazing* duplo ou triplo em que a fusão de vários vidros fornece as características técnicas precisamente necessárias (k); conceito de bairros em rede, permitindo o compartilhamento de carga entre múltiplas propriedades (m); sistemas de aquecimento ou resfriamento central (m); células fotovoltaicas em toldos (m); acesso total a todas as partes do prédio para pessoas com deficiência (o); recolher a água da chuva do telhado, que pode ser usada, por exemplo, para lavar sanitários, regar jardins, lavar carros etc. (p).

⁹ tipo de material compósito constituído por uma estrutura de três camadas: duas lâminas finas, rígidas e resistentes de material denso, separadas por uma camada de um material de baixa densidade e que pode ser muito menos rígido e resistente do que as lâminas.

PI-6: Universalização

Confere às seguintes orientações: faça o objeto realizar múltiplas funções, eliminando a necessidade de outras peças. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (e) eficiência, (g) equilíbrio, (k) praticidade e (l) produtividade.

Como exemplos, tem-se: o *smart glass*¹⁰ como material para as paredes - transparência variável do vidro permite reduzir temporariamente a sua visibilidade (a); sofá-cama (e); móveis multi-uso (e); campainhas com sensores de fumaça (e); armário embutido (e); paredes como caixa d'água (e); sensores de presença em capachos (e); construções flutuantes, que eliminam o uso de fundações (g); concreto aparente, que dispensa aplicação de revestimentos (k); uso de normas garantindo a padronização e assegurando o bom desempenho (l); caixilhos padronizados de pronta entrega (l).

PI-7: Aninhamento

Confere às seguintes orientações: coloque um objeto dentro do outro, que por sua vez é colocado dentro de um terceiro objeto; um objeto passa através da cavidade de outro objeto. Assim, pode se relacionar aos objetivos (k) praticidade e (m) racionalização.

Como exemplos, tem-se: tubulação vazada para passagem de fiação (k); portas de correr economizando o espaço de abertura (m); elevadores hidráulicos evitando a necessidade de diferença de nível (m); cofre dentro de uma parede ou sob placas de piso (m); persianas rolôs (m); espaço de circulação como rota de retorno do ar quente (m); cadeiras empilháveis (m); integração de serviços (m); shafts (m); assentos retráteis em auditórios (m); arquivos deslizantes (m); prumadas que passam através da estrutura de uma construção (m).

PI-8: Contrapeso

Confere às seguintes orientações: compense o peso de um objeto, juntando a outro objeto que tem uma força de levantamento; compense o peso de um objeto, produzindo forças aerodinâmicas ou hidrodinâmicas.. Assim, pode se relacionar ao objetivo (g) equilíbrio.

À exemplo, pode-se citar: guindastes, elevadores e portões automáticos; construções flutuantes; construção de pontes utilizando o método de balanços sucessivos.

¹⁰ vidro dinâmico que pode ser escurecido instantaneamente, precisamente e uniformemente, ao receber um determinado impulso elétrico.

PI-9: Compensação prévia

Confere às seguintes orientações: se é necessário realizar alguma ação com efeitos úteis e nocivos, considere a contra-ação para os efeitos nocivos antecipadamente; se um objeto estará sob tensão, produza a anti-tensão antecipadamente. Assim, pode se relacionar aos objetivos (e) eficiência, (n) segurança, (p) sustentabilidade e (r) durabilidade.

Como exemplos, tem-se: uso do material MDF (*Medium Density Fiberboard*) que não empena (e); concreto protendido, que prevê a deformação das barras de aço sob carga posterior, tracionando as barras antecipadamente (n); projeto sustentável, antecipando as ações de desequilíbrio do meio ambiente (p); materiais recicláveis, que evitam a degradação da natureza (p); uso de energia renovável (p); pintura permeável ao vapor, que ajuda a evitar a podridão na madeira (r); galvanização (r); separação de metais para evitar a corrosão eletrolítica (r).

PI-10: Ação prévia

Confere às seguintes orientações: realize a ação requerida antecipadamente (total ou parcialmente); arranje os objetos, de modo que eles possam agir sem perda de tempo, enquanto esperam pela ação (e na posição mais conveniente). Assim, pode se relacionar aos objetivos (k) praticidade, (l) produtividade e (n) segurança.

Como exemplos, tem-se: posicionamento adequado de tomadas (k); infraestrutura de TI (k); elementos pré-moldados, permitindo rearranjos posteriores, antecipando possíveis mudanças de uso (l); carpetes em placas, que antecipam a necessidade de substituição posterior e agilizam a colocação inicial (l); máquinas para pagamento antecipado do estacionamento (l); concreto de mistura pronta (l); forro de gesso em placas (l); gerenciamento da cadeia de suprimentos (l); extintores de incêndio (n); colocação de cerca de segurança para muros (n).

PI-11: Amortecimento prévio

Confere à seguinte orientação: compense a confiabilidade relativamente baixa de um objeto por contramedidas tomadas antecipadamente (medidas de emergência antecipadas). Assim, pode se relacionar aos objetivos (d) conforto térmico, (n) segurança e (r) durabilidade.

Como exemplos, tem-se: cortinas de ar em portas externas para reduzir perdas ou ganhos de calor excessivos (d); circuitos de iluminação de emergência e geradores, que compensam, antecipadamente, a falta de energia (n); porta corta fogo, que compensa, antecipadamente, a propagação do fogo, em caso de incêndio (n); coeficientes de segurança no cálculo estrutural, utilizados como amortecimento

prévio de cargas imprevistas (n); pilares de bloqueio impedindo a colisão de carros na estrutura principal; amortecimento no guarda-corpo de rodovias; redutores de velocidade em estradas (n); antenas para-raios (n); áreas com risco de inundação nos níveis inferiores da construção(n); paredes e tetos resistentes ao fogo e vidro à prova de chamas (n); molas de amortecimento na fundação dos edifícios (n); rodapés para proteção da base da alvenaria contra desgaste (r); pisos amortecidos em salas esportivas e corredores de hospitais (r).

PI-12: Equipotencialidade

Confere à seguinte orientação: mude a condição de trabalho, de forma que um objeto não necessite ser levantado ou abaixado. Assim, pode se relacionar aos objetivos (g) equilíbrio, (o) acessibilidade e (r) durabilidade.

Como exemplos, tem-se: inclusão de um poço de inspeção dentro de uma garagem, eliminando a necessidade de elevadores para subir e descer o carro durante a manutenção (g); plataformas de limpeza para limpar objetos grandes (g); rampas para cadeiras de rodas (o); normas para atendimento de deficientes, equalizando a utilização das edificações para diferentes usuários (o); fachadas com sistemas de controle de temperatura, que equiparam pressões internas e externas, evitando patologias construtivas (r).

PI-13: Inversão

Confere às seguintes orientações: ao invés de uma ação ditada pelas especificações do problema, implemente uma ação oposta; torne o objeto uma peça móvel, ou torne uma peça móvel imóvel e o meio ambiente externo móvel; vire o objeto de cabeça para baixo. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (d) conforto térmico, (k) praticidade, (m) racionalização, (n) segurança e (p) sustentabilidade.

Como exemplos, tem-se: inversão da concepção tradicional de projeto, como por exemplo sala de estar no pavimento superior prioriza a vista (a); em vez de ocultar as instalações dentro do prédio, coloque-as visíveis (a); inversão da concepção tradicional de projeto em que dormitórios ficam no pavimento inferior proporcionam melhor conforto térmico (d); esteiras e escadas rolantes, em que ao invés da pessoa se movimentar, a esteira se movimenta (k); o sistema *drive through* de lanchonetes e bancos, invertendo as funções de entrega (k); para afrouxar as peças presas, esfriar a parte interna em vez de aquecer a parte externa (k); lojas de autoatendimento (k); janelas giratórias em que a limpeza pode ser feita pelo lado interno da construção (k); ao invés de projetar cada vez mais estacionamentos,

forneça "nenhum" estacionamento (m); calçadas que são ruas para pedestres e não para automóveis (n); escolher a localização do prédio de acordo com a incidência de luz para aproveitar luz natural invés de projetá-lo em um local onde já tenham instalações (p).

PI-14: Recurvação

Confere às seguintes orientações: substitua partes lineares ou superfícies planas por curvas, e formas cúbicas por formas esféricas.; use rolos, bolas e espirais; substitua um movimento linear por um movimento rotatório; utilize força centrífuga. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (d) conforto térmico, (e) eficiência, (m) racionalização, (n) segurança, (q) estanqueidade e (r) durabilidade.

Como exemplos, tem-se: paredes curvas, evitando efeitos desagradáveis de corredores longos (a); pilares de seção circular (a); portas giratórias ajudam a manter o calor dentro de um prédio (d); arcos, abóbadas e cúpulas, que combinam forma à função estrutural (e); estruturas geodésicas, que proporcionam máxima cobertura espacial com mínimo uso material (m); telhado curvo evita a necessidade de construir um cume (m); escadas em espiral (m); bordas curvas em janelas de avião, evitando concentração de tensão e fissuras (n); rotatória em rodovias, reduzindo o risco de acidentes de cruzamentos (n); bordas de móveis arredondadas (n); torre de observação rotativa (n); extremidades arredondadas de borracha para garantir que o ar não passe (n); bordas arredondadas facilitam limpeza e reduzem o acúmulo de impurezas (r).

PI-15: Dinamização

Confere às seguintes orientações: faça as características de um objeto, ambiente externo ou processo ajustar-se ao desempenho ótimo, a cada estágio de operação; divida um objeto em elementos, capazes de mudar a posição relativa entre eles; se um objeto é imóvel, torne-o móvel ou intercambiável. Assim, pode se relacionar aos objetivos (f) ergonomia, (f) flexibilidade, (j) movimento e (o) acessibilidade.

Como exemplos, tem-se: *layouts* flexíveis de escritórios ou fábricas (f); piso elevado ou laje dupla, que possibilita alterações na configuração de cabeamentos elétricos, telefônicos, logísticos etc. (h); juntas de dilatação, que absorvem a contração e expansão dos materiais de construção (h); carpete em placas (h); sistemas de cobertura automáticos permitem abrir e fechar conforme a necessidade (j); estruturas anti-sísmicas (j); estruturas retráteis (j); sistemas automatizados em

geral: persianas, coberturas etc. (j); pontes móveis (j); projeto de portas móveis para melhorar acessibilidade de cadeirantes (o).

PI-16: Ação Parcial ou Excessiva

Confere à seguinte orientação: se for difícil obter 100% de um efeito desejado usando determinado método de solução, alcance algo "mais ou menos", para simplificar bastante o problema. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (l) produtividade, (m) racionalização e (n) segurança.

Como exemplos, tem-se: usar portas de vidros quando não há espaço para janelas garantindo maior entrada de luz (a); usar tinta reflexiva ou com material fluorescente em vez de sistemas de iluminação artificial (a); técnica de pintura com máscaras, na qual pinta-se em excesso - por cima das máscaras - e depois o excesso é removido, facilitando e agilizando a operação (l); sistemas de condicionamento de ar coletivos, que consideram a satisfação de temperatura de 90% das pessoas (l); utilização de artesões especializados para completar o trabalho de elementos pré-fabricados no local (l); banheiros canadenses, em que um banheiro compartilhado para dois quartos (m); armadura mínima em elementos estruturais de concreto armado quando não existem forças de tração, mas uma armadura mínima é prevista em norma (n).

PI-17: Transição para nova dimensão

Confere às seguintes orientações: remova problemas de mover um objeto em linha, permitindo movimentos bidimensionais (ao longo de um plano). Analogamente, problemas de mover um objeto em um plano são removidos se o objeto for alterado para permitir movimento tridimensional; use uma montagem multinível de objetos, ao invés de um único nível; incline o objeto ou vire-o "sobre o seu lado"; projete imagens sobre áreas vizinhas ou sobre o lado reverso do objeto. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (d) conforto térmico, (e) eficiência e (m) racionalização.

Como exemplos, tem-se: iluminação indireta (a); *bay windows*¹¹, que aumentam a área de superfície para captação de calor, em locais frios (d); uso de treliças, melhorando a estabilidade estrutural (e); estruturas piramidais (e); telhados com materiais corrugados ou ondulados com alta rigidez e baixo peso (e); sistemas de elevadores para estacionamento de veículos (m); escadas em espiral (m);

¹¹ ou janela saliente, é um tipo de janela que se projeta para fora do edifício, sendo protegida por vidros e geralmente instalada no térreo.

introdução de declives e acives entre as estações ferroviárias reduzindo os requisitos de energia de aceleração e desaceleração (m).

PI-18: Vibração mecânica

Confere às seguintes orientações: oscile ou vibre um objeto; se existe oscilação, aumente a sua frequência, até mesmo como a ultrassônica; use a frequência de ressonância de um objeto; ao invés de vibradores mecânicos, use piezovibradores; use vibrações ultrassônicas combinadas com um campo eletromagnético. Assim, pode se relacionar aos objetivos (c) conforto acústico, (l) produtividade e (n) segurança.

Como exemplos, tem-se: paredes não paralelas, que previnem eco (c); ruído branco para disfarçar barulho de conversa (c); uso de vibradores mecânicos de imersão na concretagem (l); compactação do solo (l); uso de *scanner* de parede para detectar armaduras, encanamentos, fiações através do concreto ou alvenaria (l); ressonância para acelerar o fluxo de concreto da tremonha (l); detecção de trincas usando ultrassom (m).

PI-19: Ação periódica

Confere às seguintes orientações: substitua uma ação contínua por uma periódica (impulso); se uma ação já é periódica, mude a sua frequência; use pausas entre os impulsos para produzir ação adicional. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (e) eficiência e (m) racionalização.

Como exemplos, tem-se: flashes de luz de advertência chamam mais a atenção do que luzes contínuas (a); bate-estacas (e); soldagem por pontos (e); variação do espaçamento das armaduras em um mesmo elemento estrutural (e); sensores de presença permitem o desacionamento de energia na ausência de pessoas (m).

PI-20: Continuidade de ação útil

Confere às seguintes orientações: realize uma ação sem quebra - todas as partes de um objeto devem estar constantemente operando à total capacidade; remova um movimento inútil e intermediário. Assim, pode se relacionar aos objetivos (l) produtividade, (m) racionalização e (p) sustentabilidade.

Como exemplos, tem-se: melhorias contínuas em sistemas de gestão da qualidade visando o aumento da qualidade do projeto (l); funcionários multifuncionais (l); pintura de secagem rápida (l); espaços multi-funcionais não

compartimentados (m); melhora do processo de compostagem ao girar continuamente o material (p).

PI-21: Aceleração

Confere à seguinte orientação: realize operações destrutíveis, nocivas ou perigosas a uma velocidade muito alta. Assim, pode se relacionar aos objetivos (l) produtividade e (n) segurança.

Como exemplos, tem-se: uso de elementos pré-fabricados (l); projetos simultâneos com equipes multidisciplinares (l); utilização do BIM em projetos (l); uso de aditivos para acelerar a pega do concreto (l); uso de escorregadores como escape em situações de emergência como incêndio por exemplo (n); uso de dinamite para implosão de edifícios (n).

PI-22: Transformação de prejuízo em lucro

Confere às seguintes orientações: utilize um efeito prejudicial (particularmente nocivo para o meio ambiente ou seu redor), para obter um efeito positivo; remova um fator indesejado, combinando-o com outro fator indesejado; aumente o fator prejudicial até o ponto em que deixe de ser nocivo. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (m) racionalização, (p) sustentabilidade e (r) durabilidade.

Como exemplos, tem-se: aproveitar a localização difícil em uma encosta da montanha, uma cachoeira etc. a fim de aumentar a atratividade da composição espacial do edifício ou usar os elementos existentes do entorno como os elementos importantes da composição do espaço projetado (a); utilização de entulho para enchimentos (m); sistema de aquecimento por energia solar (p); sistema de coleta de águas pluviais para reaproveitamento (p); reciclagem (p); compostagem (p); produtos químicos tóxicos para proteger a madeira da infestação e da podridão (r).

PI-23: Retroalimentação

Confere às seguintes orientações: introduza retroalimentação para melhorar um processo ou ação; se já existe retroalimentação, mude sua magnitude, frequência ou inverta-a. Assim, pode se relacionar aos objetivos (d) conforto térmico, (e) eficiência, (l) produtividade e (n) segurança.

Como exemplos, tem-se: termostatos e sensores possuem dispositivos de retorno para controle da temperatura (d); portas com visor para observação (e); avaliação pós-ocupação – APO (e); projeto simultâneo (e); gerenciamento da cadeia de suprimentos (e); envolver os fabricantes e usuários durante os estágios iniciais do projeto (l); sensores de calor para detectar fogo em caso de incêndio (n).

PI-24: Mediação

Confere às seguintes orientações: use um objeto ou processo intermediário para transferir ou realizar uma ação; conecte temporariamente um objeto a outro que seja fácil de remover. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (b) conforto olfativo, (c) conforto acústico, (d) conforto térmico e (g) equilíbrio.

Como exemplos, tem-se: *hall* e salas de estar funcionam como espaços de transição entre ambientes fechados e abertos, evitando o impacto da mudança brusca (a); portas de fumaça, evitando que a fumaça passe de um ambiente de fumante para não fumante (b); blindagem acústica para portas antirruído (c); fachadas "pele de vidro" podem funcionar como zonas de transição térmica (d); uso de vigas de equilíbrio em sapatas associadas (g).

PI-25: Auto serviço

Confere às seguintes orientações: faça um objeto servir-se realizando funções úteis auxiliares; o objeto deve servir-se e realizar operações suplementares de reparação. use material e energia perdida. Assim, pode se relacionar aos objetivos (e) eficiência, (l) produtividade e (m) racionalização.

Como exemplos, tem-se: tinta autolimpante em fachadas (e); contrapiso autoescoante (e); concreto autoadensável (l); pavimento autonivelante (l); poço de água com autoabastecimento (m); fatores naturais de sombra e orientação solar (m); lâmpadas com sensores de luz capazes de regular a energia da luz reduzindo o consumo (m).

PI-26: Cópia

Confere às seguintes orientações: use uma cópia simples e barata, ao invés de um objeto que é complexo, caro, frágil ou inconveniente; substitua um objeto ou sistema de objetos por uma cópia ou imagem óptica; uma escala pode ser usada para reduzir ou aumentar a imagem; se cópias ópticas visíveis já são usadas, substitua-as por cópias infravermelhas ou ultravioletas. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (k) praticidade, (m) racionalização e (n) segurança.

Como exemplos, tem-se: materiais com texturas que imitam elementos naturais, muitas vezes, são mais baratos e simplificam o projeto (a); realidade virtual (k); simulações eletrônicas e maquetes como protótipos para experimentações (k); a altura das edificações pode ser determinada através da medida das suas sombras (k); uso de *drones* para filmagem aérea de uma área extensa (k); uso de soluções de projetos anteriores em projetos semelhantes (k); técnicas de construção mais baratas (m); uso de painéis e placas mais baratas com laminados que imitam

materiais mais caros, como madeira maciça, alumínio (m); imagens em infravermelho para detectar fontes de calor, como intrusos em um sistema de segurança (n); sistema ultravioleta como método não destrutivo para de detecção de trincas (n); raios-X para detectar falhas estruturais (n).

PI-27: Uso e descarte

Confere à seguinte orientação: substitua um objeto caro por um conjunto de objetos baratos, comprometendo outras propriedades (por exemplo, a longevidade). Assim, pode se relacionar aos objetivos (l) produtividade e (m) racionalização.

Como exemplos, tem-se: sistema de fôrma perdida (l); porta-papéis descartável (m); revestimentos menos duradouros (m).

PI-28: Substituição de meios mecânicos

Confere às seguintes orientações: substitua um sistema mecânico por um sistema óptico, acústico, olfativo ou de gosto; use um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para interação com o objeto; substitua campos (campos estáticos para móveis, de campos não estruturados para estruturados); use um campo em conjunto com partículas ativas (ferromagnéticas). Assim, pode se relacionar aos objetivos (c) conforto acústico e (e) eficiência.

Como exemplos, tem-se: ruído branco em vez de paredes mais grossas ou isolantes (c); sensores óticos, acústicos, fotoelétricos (e); sistemas inteligentes (e); interruptores sensíveis ao movimento, eliminando a necessidade do interruptor mecânico (e).

PI-29: Construção pneumática ou hidráulica

Confere às seguintes orientações: substitua partes sólidas de um objeto por gás ou líquido. Essas partes podem usar ar ou água para inflar ou usar ar ou amortecimentos hidrostáticos; use pressão negativa ou atmosférica. Assim, pode se relacionar aos objetivos (d) conforto térmico, (k) praticidade, (l) produtividade e (m) racionalização.

Como exemplos, tem-se: refrigeração por sistemas de circulação de água (d); cortinas de ar em portas externas reduzindo as perdas ou ganhos de calor excessivo (d); mobiliário inflável (k); método pneumático para construção de cascas em concreto armado (l); máquinas pneumáticas para fabricação de blocos de concreto (l); laje alveolar (l); elevador hidráulico, substituindo o elevador mecânico comum, dispensando espaço para casa de máquinas (m).

PI-30: Uso de filmes finos ou membranas flexíveis

Confere às seguintes orientações: substitua a construção habitual por membranas e filmes flexíveis; isole um objeto do meio ambiente externo com um filme ou membrana finos. Assim, pode se relacionar aos objetivos (h) flexibilidade, (k) praticidade, (m) racionalização e (q) estanqueidade.

Como exemplos, tem-se: juntas de silicone (h); coberturas infláveis (k); vigas de seção I ou T, ao invés de seção sólida (m); sistema de impermeabilização com membranas flexíveis (q).

PI-31: Uso de materiais porosos

Confere às seguintes orientações: torne um objeto poroso ou use elementos porosos adicionais (*inserts*, revestimentos etc.); se um objeto já é poroso, preencha os poros antecipadamente com alguma substância ou função útil. Assim, pode se relacionar aos objetivos (c) conforto acústico, (d) conforto térmico, (m) racionalização e (n) segurança.

Como exemplos, tem-se: materiais porosos absorvem som (c); vácuo entre divisórias impede a propagação do som (c); isolamento através de espuma extrudada (c); isolamento através de espuma extrudada (d); vazios na estrutura que aliviam a carga (m); elementos vazados (m); concreto celular (m); graute em vazios de blocos de concreto para aumentar a capacidade portante (n).

PI-32: Mudança de cor

Confere às seguintes orientações: mude a cor de um objeto ou do seu entorno; mude a translucidez de um objeto ou do seu entorno; use aditivos coloridos para observar objetos ou processos difíceis de ver; se tais aditivos já são usados, empregue traços luminescentes ou elementos radioativos. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (d) conforto térmico, (m) racionalização, (n) segurança e (o) acessibilidade.

Como exemplos, tem-se: pinturas especiais com efeitos visuais (a); efeitos de transparência (a); uso de cores opostas para aumentar a visibilidade (a); efeito de sombras (d); concreto translúcido, reduzindo a necessidade de luz artificial, podendo ser mais resistente que o concreto convencional (m); marcas de segurança fluorescentes em garagens e estradas (n); pintura da parte inferior das árvores (n); jogo de cores e texturas para deficientes visuais – daltonismo (o).

PI-33: Homogeneização

Confere à seguinte orientação: faça os objetos interagirem com um objeto primário do mesmo material, ou de um material propriedades iguais. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade e (e) eficiência.

Como exemplos, tem-se: uso de estilos ou linguagens arquitetônicas homogeneiza o projeto, evitando contrastes desagradáveis (a); a utilização de materiais com propriedades distintas e coeficientes de dilatação similares, evitando rachaduras, como o concreto armado (e); metais adjacentes semelhantes para evitar a corrosão eletrolítica (e).

PI-34: Descarte e regeneração

Confere às seguintes orientações: depois que um elemento de um objeto completou a sua função ou tornou-se inútil, rejeite ou modifique-o (por exemplo descarte, dissolva ou evapore); restaure qualquer parte já usada (mas que ainda pode ser consumida) de um objeto. Assim, pode se relacionar aos objetivos (m) racionalização e (p) sustentabilidade.

Como exemplos, tem-se: fôrmas metálicas reutilizáveis para estruturas de concreto (m); estrutura de gelo ou dióxido de carbono - gelo seco - para fazer um modelo para uma estrutura de barragem temporária, preenchido com terra, sobrando apenas a estrutura final depois que o gelo derrete (m); sistemas de reaproveitamento de água usada (m); concreto despejado diretamente nas trincheiras sem necessidade de fôrmas (m); sistemas de reciclagem de águas cinzentas (p); projeto de edifícios temporários com materiais mais baratos e menos duráveis utilizados na reciclagem (p).

PI-35: Mudança de parâmetro ou propriedade

Confere à seguinte orientação: mude o estado agregado de um objeto (gás, líquido, sólido), a concentração de densidade ou consistência, o grau de flexibilidade, a temperatura ou características técnicas. Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade, (d) conforto térmico, (e) eficiência, (h) flexibilidade, (n) segurança e (r) durabilidade.

Como exemplos, tem-se: aumento da concentração de água na mistura de tinta, para efeito rústico (a); gradientes de pressão barométricos para melhorar a ventilação em edifícios altos (d); "cortina térmica", com ar quente soprado, usado nas portas de prédios públicos (d); utilização de adesivos ao invés de fixação mecânica (e); utilização de selantes de borracha de silicone injetados (e); uso de aditivos na concretagem (e); uso de resina de epóxi em chumbadores químicos,

reforço com fibra de carbono etc. (e); tubulação flexível para instalações de ar condicionado, ventilação etc. (h); uso de vidro laminado (n); pisos de epóxi em áreas que exigem maior resistência (r).

PI-36: Mudança de fase

Confere à seguinte orientação: implemente um efeito desenvolvido durante transição de fase de uma substância. Por exemplo, durante a mudança de volume ou durante a liberação ou absorção de calor. Assim, pode se relacionar aos objetivos (e) eficiência e (m) racionalização.

Como exemplos, tem-se: aproveitar o derretimento de grandes cubos de gelo para abaixar equipamentos pesados, naturalmente (e); armazenar energia térmica usando materiais de transição de fase como, por exemplo, sulfato de sódio (m).

PI-37: Expansão térmica

Confere às seguintes orientações: use expansão ou contração de um material por calor; se a expansão térmica já estiver sendo usada, use vários materiais com diferentes coeficientes de expansão de calor. Assim, pode se relacionar aos objetivos (h) flexibilidade e (m) racionalização.

Como exemplos, tem-se: juntas de dilatação, que absorvem contrações e expansões de diferentes materiais (h); placas bimetálicas que se expandem com o calor podem ser colocadas em caixilhos de estufas, para abrir e fechar automaticamente, conforme a temperatura (m).

PI-38: Uso de oxidantes fortes/atmosfera enriquecida

Confere às seguintes orientações: substitua ar comum por ar enriquecido por oxigênio; substitua ar enriquecido por oxigênio puro; exponha o ar ou oxigênio à radiação ionizante; use oxigênio ionizado. Assim, pode se relacionar aos objetivos (d) conforto térmico e (e) eficiência.

Como exemplos, tem-se: colocação de plantas em espaços de convivência; introdução de oxigênio em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) de hospitais (d); janelas com espaços entre os vidros duplos preenchidos com gás, aumentando consideravelmente o isolamento térmico em torno das janelas (d); introdução de oxigênio em estufa para aumentar a velocidade do crescimento arbóreo (e).

PI-39: Uso de atmosferas inertes

Confere às seguintes orientações: substitua o meio ambiente normal por um inerte; realize um processo no vácuo. Assim, pode se relacionar aos objetivos (c) conforto acústico e (g) equilíbrio.

Como exemplos, tem-se: painéis de absorção acústicos, que utilizam vácuo entre duas placas para evitar a propagação do som (c); para a execução de obras de grande profundidade, câmaras intermediárias estanques são utilizadas para equilíbrio da pressão (g).

PI-40: Uso de materiais compostos

Confere à seguinte orientação: substitua um material homogêneo por um composto (múltiplos). Assim, pode se relacionar aos objetivos (a) visibilidade e (e) eficiência.

Como exemplos, tem-se: inserções de outros materiais em superfícies “monótonas” (fachadas, pisos, lajes) para melhorar os valores estéticos (a); concreto armado, que combina a resistência à compressão do concreto com a resistência à tração da armadura (e); fibras de carbono em estrutura de concreto para reforço estrutural; vidro aramado (e); madeira recomposta (e); plástico reforçado com vidro (e).

A Tabela 5 apresenta um resumo dos 18 objetivos específicos de projetos do setor de AEC, relacionados aos PIs da TRIZ clássica.

Tabela 5 - Objetivos de Projetos de AEC x Princípios Inventivos
Fonte: Elaboração própria

OBJETIVOS DE PROJETO DE AEC	PRINCÍPIOS INVENTIVOS IDENTIFICADOS
Visibilidade	2, 3, 4, 5, 6, 13, 14, 16, 17, 19, 22, 24, 26, 32, 33, 35, 40
Conforto Olfativo	2, 24
Conforto Acústico	2, 18, 24, 28, 31, 39
Conforto Térmico	3, 11, 13, 14, 17, 23, 24, 29, 31, 32, 35, 36, 38
Eficiência	1, 3, 5, 6, 9, 13, 14, 17, 19, 23, 25, 28, 33, 35, 36, 38, 40
Ergonomia	4, 14
Equilíbrio	6, 8, 12, 24, 39
Flexibilidade	2, 15, 30, 35, 37
Independência	1
Movimento	15
Praticidade	5, 6, 7, 10, 13, 26, 29, 30
Produtividade	1, 3, 6, 10, 16, 18, 20, 21, 23, 25, 27, 29
Racionalização	1, 4, 5, 7, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 22, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 37
Segurança	1, 2, 3, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 18, 21, 23, 26, 31, 32, 35
Acessibilidade	1, 5, 12, 15, 32
Sustentabilidade	2, 5, 9, 20, 21, 34
Estanqueidade	1, 3, 4, 14, 30
Durabilidade	3, 9, 11, 12, 13, 14, 21, 35

5.1.3 Parâmetros de Engenharia (PEs) para Projetos de AEC

De maneira semelhante, faz-se necessária a realização de uma abstração dos PEs formulados por Altshuller para a TRIZ clássica (apresentados na Tabela 3 e descritos no Anexo B). Este tópico apresenta a interpretação dos 39 PEs em termos de projetos do setor de AEC, complementando o trabalho anterior de Kiatake (2004) que interpretou os PEs para projetos arquitetônicos.

PE-1. Peso do objeto em movimento: o "objeto em movimento" pode ser interpretado como a etapa do projeto executivo ou como a "construção em funcionamento", ou seja, uma construção em operação (lotação máxima). No primeiro caso refere-se a modificações que vão ocorrendo no decorrer da obra. Já no segundo, pode ser o peso de um estádio, considerado com a sua capacidade máxima de lotação e movimentação das pessoas sobre a arquibancada ou uma ponte em operação.

PE-2. Peso do objeto parado: pode-se considerar "objeto parado" como sendo a própria construção estática (um edifício, uma ponte, uma rodovia).

PE-3. Comprimento do objeto em movimento: é o comprimento de um determinado objeto ou elemento estrutural considerando a construção em funcionamento. Por exemplo, o comprimento de uma porta de correr é a medida do vão de abertura, mais o comprimento da porta, necessário para deixar o vão totalmente aberto.

PE-4. Comprimento do objeto parado: refere-se ao comprimento ou altura do edifício ou de um elemento construtivo ou extensão de uma ponte ou rodovia, por exemplo.

PE-5. Área do objeto em movimento: é a área necessária para a realização da função útil do projeto. No caso de obras, pode ser a área necessária de fôrmas ou pintura, enquanto que no caso de "construção em funcionamento" pode ser o espaço necessário para circulação de pessoas, veículos etc.

PE-6. Área do objeto parado: área da construção em si.

PE-7. Volume do objeto em movimento: pode ser "volumes de obra" como volumes de corte e aterro ou o volume da construção considerado juntamente com o seu meio ambiente de funcionamento (entorno).

PE-8. Volume do objeto parado: é a volumetria da construção em si.

PE-9. Velocidade: pode-se referir ao processo de projeto ou ao processo de execução.

PE-10. Força: forças internas e externas à estrutura, podendo-se considerar a força proveniente de cargas estruturais, ventos, marés, movimentações geológicas etc.

PE-11. Tensão ou Pressão: é a intensidade de forças que atuam sobre um objeto ou sistema, medida como a força de compressão ou tensão por unidade de área (idem ao original).

PE-12. Forma: é a aparência ou contorno externo de um objeto ou sistema. A forma pode ser mudada total, parcial, permanente ou temporariamente, devido às forças que atuam sobre o objeto ou sistema (idem ao original).

PE-13. Estabilidade da composição: diz respeito à interação entre os sistemas prediais ou entre os elementos estruturais, ou ainda, à flexibilidade da forma, do uso etc., da construção.

PE-14. Resistência: considera-se a resistência dos elementos de projeto em relação à força, velocidade e tensão.

PE-15. Duração da ação do objeto em movimento: refere-se à durabilidade, tanto da construção em si (considerando o seu uso contínuo), quanto do propósito do edifício ao longo do tempo.

PE-16. Duração da ação do objeto parado: refere-se à durabilidade da construção ou elemento construtivo.

PE-17. Temperatura: refere-se ao conforto térmico ou da consideração da variação da temperatura no cálculo estrutural (dilatação e contração das estruturas).

PE-18. Brilho: é a razão entre energia de luz e a área que está sendo iluminada no sistema. Brilho inclui a qualidade da luz, o grau de iluminação e outras características da luz (fatores de insolação e luminotécnica).

PE-19. Energia gasta pelo objeto em movimento: refere-se a todos os tipos de energia gastos na fase de execução (obra) ou pelo elemento construído durante seu uso ou operação.

PE-20. Energia gasta pelo objeto parado: refere-se a todos os tipos de energia gastos pela construção apenas para se sustentar, quando não está em uso.

PE-21. Potência: pode-se considerar a potência como um recurso associado ao espaço necessário para acomodar as funções. Quanto maior a “potencialidade”, maior capacidade de acomodação de funções em um mesmo espaço.

PE-22. Perda de energia: aos recursos desperdiçados, tanto naturais quanto artificiais (tecnológicos).

PE-23. Perda de substância: pode-se considerar: a) desgaste, contração ou retração de material; b) falta de segurança, que facilita furtos e perdas; c) diminuição de material ou substância devido ao aumento de consumo, com o passar do tempo.

PE-24. Perda de informação: refere-se à quantidade e qualidade dos dados para realização do projeto.

PE-25. Perda de tempo: pode estar associado ao tempo perdido em obras decorrente de mudanças no projeto ou ao tempo que o usuário gasta para obter a função útil. O tempo pode estar atrelado, dessa forma, à complexidade do sistema ou ao espaço percorrido.

PE-26. Quantidade de substância: é o número de elementos ou a quantidade de um elemento utilizada para criar um objeto ou sistema, podendo-se considerar a quantidade de material ou processo construtivo.

PE-27. Confiabilidade: é a habilidade de um objeto ou sistema de, adequadamente, realizar a sua função requerida, durante algum período de tempo, ou ciclos (idem ao original).

PE-28. Precisão de medição: é o grau em que uma medição é aproximada ao valor real da quantidade que está sendo medida (idem ao original).

PE-29. Precisão de fabricação: é o grau de correspondência entre os elementos de um objeto ou sistema às suas especificações de projeto (idem ao original).

PE-30. Fatores externos indesejados atuando no objeto: são influências externamente produzidas, que atuam sobre um objeto ou sistema, que reduzem eficiência e qualidade. Podem ser fatores externos da natureza ou produzidos pelo homem, que atuam sobre a construção ou elemento construtivo.

PE-31. Fatores indesejados causados pelo objeto: são influências internamente produzidas, que atuam sobre um objeto ou sistema, que reduzem eficiência e qualidade. Podem ser impactos (visuais, ambientais etc.) causados pela edificação, pólos geradores de tráfego, desalojamento de habitações para realização de uma grande obra etc.

PE-32. Manufaturabilidade: é a conveniência e facilidade de execução da construção.

PE-33. Conveniência de uso: é a conveniência e facilidade de operação ou utilização de um empreendimento.

PE-34. Manutenção: é a conveniência e facilidade pela qual uma construção é restaurada para condição de operação, após algum dano ou uso intenso.

PE-35. Adaptabilidade: é a habilidade de um empreendimento de se reformular ou reorganizar conforme a modificação das condições externas (meio ambiente, função etc.).

PE-36. Complexidade do objeto: é a quantidade e diversidade de elementos que formam o sistema construtivo, incluindo as relações entre os elementos. A

complexidade pode também descrever a dificuldade de gerenciar o empreendimento.

PE-37. Complexidade de controle: é a quantidade e diversidade de elementos usados para medir e monitorar a construção, assim como o custo de medição para um erro aceitável.

PE-38. Nível de automação: é a habilidade do sistema realizar operações, sem interação humana.

PE-39. Capacidade ou Produtividade: é a velocidade de produção, ou seja, a relação entre o número de vezes que uma operação é completada e a quantidade de tempo que se leva para realizá-la.

6 O Estudo de Caso: IPPMG

Esse capítulo apresenta um estudo de caso real no qual o instrumento proposto no capítulo anterior foi aplicado, visando validação do mesmo. O capítulo é iniciado pela apresentação detalhada da unidade de análise (o caso) e pela metodologia utilizada para a condução do mesmo. Em seguida, o problema é evidenciado e analisado em etapas, buscando-se o Resultado Final Ideal (RFI). Por fim, realizou-se uma discussão dos resultados obtidos nesse estudo.

6.1 Identificação e Condução do Caso

A unidade de análise escolhida para realização do estudo de caso foi o Instituto de Puericultura e Pediatria Martagão Gesteira (IPPMG), localizado na Ilha do Fundão (Figura 13). O Instituto de Pediatria da UFRJ foi inaugurado em 02 de outubro de 1953, sendo o primeiro prédio construído no campus da cidade universitária. O projeto arquitetônico do IPPMG é de Jorge Machado Moreira e de Roberto Burle Marx e foi premiado na II Bienal de Arquitetura do Estado de São Paulo, no mesmo ano de sua inauguração.

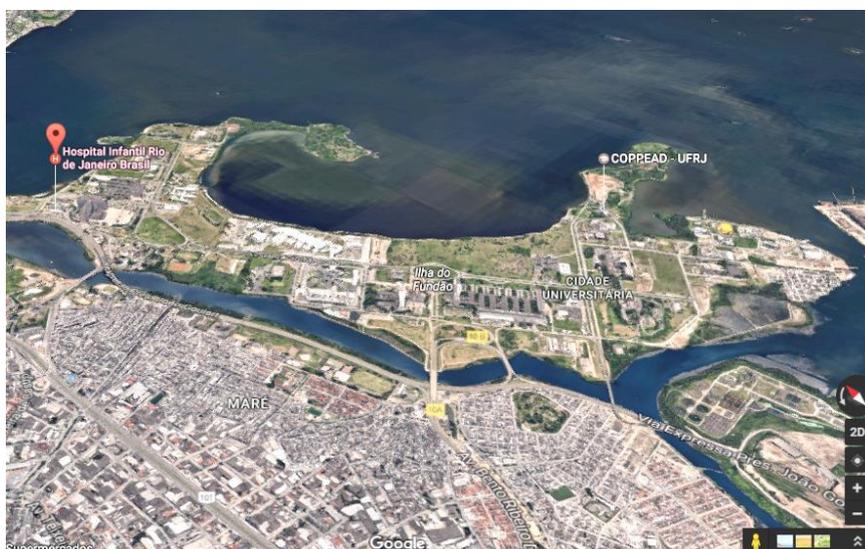


Figura 13 - Localização do IPPMG
Fonte: Google Maps

A construção, com mais de 60 anos de história, passou por alguns projetos de reforma que nunca saíram do papel. Com a entrada no novo Diretor Geral no IPPMG, a ideia de reformar algumas unidades para adequar o Hospital às exigên-

cias normativas atuais, bem como transformar o Instituto em referência para o Brasil, saiu do papel.

Atualmente, as unidades do IPPMG não atendem integralmente aos requisitos da legislação proposta pela ANVISA (Resoluções de Diretoria Colegiada – RDCs), não consegue atuar em sua capacidade máxima (perdem pacientes por falta de estrutura) e seus funcionários se sentem frustrados por não conseguirem ser vistos como referência dentro de um Hospital-Escola (falta de estrutura também impacta no ensino dos alunos).

Visando mudar esse cenário, um contrato foi fechado com a “Fluxo Consultoria”, empresa júnior de consultoria e engenharia da UFRJ, para realização de novos projetos para algumas unidades instaladas no segundo pavimento do Bloco C do IPPMG como: do Centro Cirúrgico, da Central de Material de Esterilização (CME), e da Enfermaria Cirúrgica. As reuniões para coleta das informações iniciais, primordiais ao programa de necessidades, tiveram início no dia 12 de dezembro de 2016.

Posteriormente, foi feito um aditivo no contrato para incluir as unidades da Farmácia e Unidades de Tratamento Intensivo (UTI), que também se encontram no segundo pavimento do Bloco C. Ficou previsto um segundo contrato que contemplará o projeto das novas enfermarias. Com o decorrer da elaboração desses projetos, o Diretor do IPPMG ficou motivado também em contratar os projetos do novo ambulatório para o segundo andar do Bloco D.

As plantas arquitetônicas originais e atualizadas da construção foram apresentadas nesta dissertação apenas para fins de ilustração (sem detalhes de projeto). Os anexos D e E apresentam as plantas baixas originais do 1º e 2º pavimentos da construção (em 03/06/1998). O anexo F apresenta a planta baixa atualizada do pavimento térreo e do 3º pavimento, com as reformas executadas na 1ª gestão, na 2ª gestão e também com os projetos de reformas previstas naquela época (em 31/01/2000).

Em entrevista para o Jornal “O Ipepê”¹² em dezembro de 2016, o Diretor Geral do hospital, Bruno Leite Moreira, deu seu depoimento sobre o planejamento de reformas dessas unidades do hospital: “Em 2017, estamos na expectativa pela conclusão do projeto do futuro complexo cirúrgico, composto por 3 salas cirúrgicas (1 de grande porte e 2 de médio porte), incluindo o novo Centro de Material e Esterilização, sonhos antigos de toda a comunidade do Instituto”.

¹² em <http://www.ippmg.ufrj.br> (acesso em 15/10/2017 às 14:26)

O projeto foi realizado por uma equipe de alunos da empresa júnior de engenharia da UFRJ, a Fluxo Consultoria, composta por 1 coordenador geral, 2 gerentes de projetos e 2 estagiários, sob orientação do Professor Roberto Machado Corrêa, que já possui experiência na área atuando como Diretor da Divisão de Engenharia do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (HUCFF). Adicionalmente, a autora desta dissertação atuou como observadora-participante, uma vez que acompanhou a execução do projeto e serviu como consultora da equipe.

O estudo de caso foi conduzido por meio de uma pesquisa exploratória, que visa proporcionar maior familiaridade com o problema (explicitá-lo). Esse tipo de pesquisa geralmente envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas experientes no problema pesquisado, assumindo a forma de pesquisa bibliográfica e estudo de caso (GIL, 2002).

Segundo Cauchick Miguel (2012), o estudo de caso é um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo por meio de análise aprofundada de um ou mais objetos de análise (casos), com uso de múltiplos instrumentos de coleta de dados e presença da interação entre o pesquisador e o objeto de pesquisa. Essa análise possibilita extenso e acurado conhecimento sobre o fenômeno, permitindo inclusive a geração de teoria.

A condução do estudo de caso deste trabalho seguiu a proposta de conteúdo e sequência sugerida por Cauchick Miguel (2012) e o novo instrumento para sistematização do processo decisório proposto nesta dissertação foi aplicado nas etapas iniciais do projeto de reforma (programa de necessidades e estudo preliminar).

O referencial conceitual teórico foi definido por meio de um mapeamento sistemático da literatura sobre o assunto. A partir da busca e organização da bibliografia foi possível identificar lacunas onde a pesquisa pôde ser justificada (em termos de relevância), além de delimitar as fronteiras do que estava sendo investigado, proporcionar suporte teórico para a pesquisa (fundamentos) e explicitar o grau de evolução (estado da arte) do tema estudado.

Dessa forma, realizou-se um estudo de caso único, dentro do setor de AEC, no período entre novembro de 2016 e julho de 2017, podendo-se classificar como um estudo de caso longitudinal, uma vez que as análises foram conduzidas de forma retrospectiva (ou seja, em momento distinto da investigação).

Como o projeto teve início concomitante com o levantamento bibliográfico, não foi desenvolvido um protocolo formal com procedimentos e regras gerais da pesquisa e sua condução. No entanto, os dados foram coletados da maneira mais acurada,

empregando-se múltiplas fontes de evidência, dentro dos limites e possibilidades apresentadas pelo caso.

Deu-se início ao caso quando o orientador dessa pesquisa contactou o orientador do projeto do IPPMG, que por sua vez apresentou a aluna de mestrado à equipe de projetos da Fluxo Consultoria bem como à equipe de funcionários do IPPMG. Assim, a autora deste trabalho realizou uma palestra para a equipe de projetos da empresa júnior com propósito de esclarecer o tema que estava sendo estudado e mostrar a relevância do estudo.

O registro dos dados foi realizado durante as reuniões por meio de anotações em papel e, algumas vezes, com gravador. Quando havia visita a um local específico, as anotações eram feitas em papel. A transcrição das anotações e os registros mais completos eram desenvolvidos logo após as reuniões e visitas, e repassados para a equipe de projetos da Fluxo Consultoria. A equipe de projeto por sua vez, compartilhava as plantas arquitetônicas das unidades do hospital após cada alteração realizada em função do que havia sido discutido nas reuniões.

Vale ressaltar que durante a condução de entrevistas tentou-se limitar os efeitos da própria pesquisadora, tendo esta sido tratada pelos funcionários (informantes) como parte da equipe do projeto. A coleta de dados foi concluída em maio de 2017.

A partir do conjunto de dados coletados, produziu-se uma espécie de narrativa geral do caso. Fez-se uma redução dos dados coletados durante as reuniões (*data reduction*), tendo sido selecionado apenas os conflitos de projeto julgados como “mais relevantes” para serem analisados neste trabalho. Em paralelo, as conclusões foram comparadas com a teoria na tentativa de saber se a teoria pode explicar o fenômeno estudado em diferentes contextos.

Todo conjunto de atividades das etapas anteriores foi sintetizado em um relatório de pesquisa gerador desse capítulo da dissertação. Conforme Cauchick Miguel (2012), um estudo de caso deve estar pautado na confiabilidade e validade, critérios para julgar a qualidade da pesquisa. Assim, considerou-se que os resultados estariam estritamente relacionados à teoria, tomando o cuidado de não ajustar a teoria aos resultados e evidências, mas o inverso, ou seja, os resultados e evidências é que foram ajustados à teoria existente.

6.2 Análise do Caso

A análise do caso foi realizada na seguinte sequência:

Item 6.2.1) Elaboração do Questionário de Situação Inventiva (QSI), ferramenta analítica da TRIZ, com objetivo de explicitar todas as informações necessárias à reformulação do problema e subdividi-lo em problemas menores (TERNINKO; ZUSMAN; ZLOTIN, 1998);

Item 6.2.2) Busca de Soluções a partir da exploração das seguintes opções:

- Item 6.2.2.1) Busca direta: possíveis soluções derivadas da definição completa do problema, dos recursos levantados, das restrições observadas ou dos objetivos identificados;
- Item 6.2.2.2) Processo de Formulação de Problemas (PFP): ferramenta analítica da TRIZ que consiste na construção de gráficos de causa e efeito para mostrar as relações entre os principais efeitos úteis e prejudiciais do sistema técnico, visando encontrar enunciados do problema que possam vislumbrar novas ideias (TERNINKO; ZUSMAN; ZLOTIN, 1998);
- Item 6.2.2.3) Método dos Princípios Inventivos (MPI): principal ferramenta *knowledge-based* da TRIZ para explorar as contradições do projeto e encontrar soluções, de maneira sistemática, a partir da Matriz de Contradições.

Item 6.2.3) Discussão sobre as possíveis soluções geradas durante a análise.

A Figura 14 ilustra as etapas propostas para a análise do estudo de caso em questão.

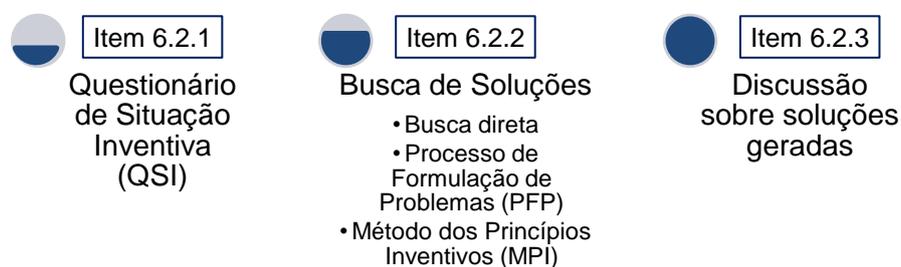


Figura 14 – Etapas do processo de análise do estudo de caso

Fonte: Elaboração própria

6.2.1 Questionário de Situação da Inovação (QSI)

Conforme amplamente discutido no Capítulo 2 desse trabalho, problemas enfrentados por engenheiros e arquitetos geralmente estão mal definidos ou mal estruturados. É por isso que profissionais habituados a resolver esses tipos de problemas costumam dizer que “um problema bem definido já está meio solucionado”.

Como explicado no Capítulo 4, o Questionário de Situação da Inovação (QSI), desenvolvido pela *Kishinev School of TRIZ*, em Moldova, serve para melhor estruturar o problema, uma vez que é por meio dele que são explicitadas o maior número possível de informações relevantes, a partir do qual é possível desenvolver a busca por soluções. A elaboração do QSI deste caso seguiu o roteiro proposto por Terninko, Zusman e Zlotin (1998).

Informações sobre o sistema

- Nome do sistema: 2º pavimento de um hospital público de crianças e adolescentes.
- Função útil (FU) primária: garantir a segurança e o bem estar dos pacientes e seus funcionários, bem como proporcionar atividades de ensino, pesquisa e extensão para os alunos da universidade.

- Estrutura do sistema: o sistema atual é composto pelo 2º pavimento do Bloco C do IPPMG que consiste em (Figura 15):

(1) unidade de tratamento intensivo (UTI): com 10 leitos, sendo 6 leitos pediátricos e 4 leitos neonatais cirúrgicos, além de 1 leito de isolamento; (2) enfermarias: 6 enfermarias pediátricas divididas por faixas de idade, com um total de 54 leitos disponíveis, sendo 46 leitos clínicos pediátricos e 8 leitos reservados à Cirurgia Pediátrica; (3) central de material e esterilização (CME): um espaço com aproximadamente 50 m²; (4) farmácia: um espaço de aproximadamente 120 m²; (5) “poeirão”: um local com uma obra inacabada com aproximadamente 450 m²; (6) ambulatórios: composto por 94 consultórios, sendo 5 de emergência, 1 do hospital dia, 25 da maternidade, e 63 de especialidades espalhados no 2º andar; (7) centro cirúrgico: uma sala cirúrgica com 50 m², além de uma enfermaria destinada exclusivamente aos pacientes cirúrgicos; (14) engenharia clínica.

Além disso, os principais acessos para o 2º pavimento do IPPMG são escadas (8), elevadores (9) e uma rampa (10). O fluxo de pessoas e matérias ocorre por meio de corredores comuns (11) e corredores internos (12) – com acesso restrito.

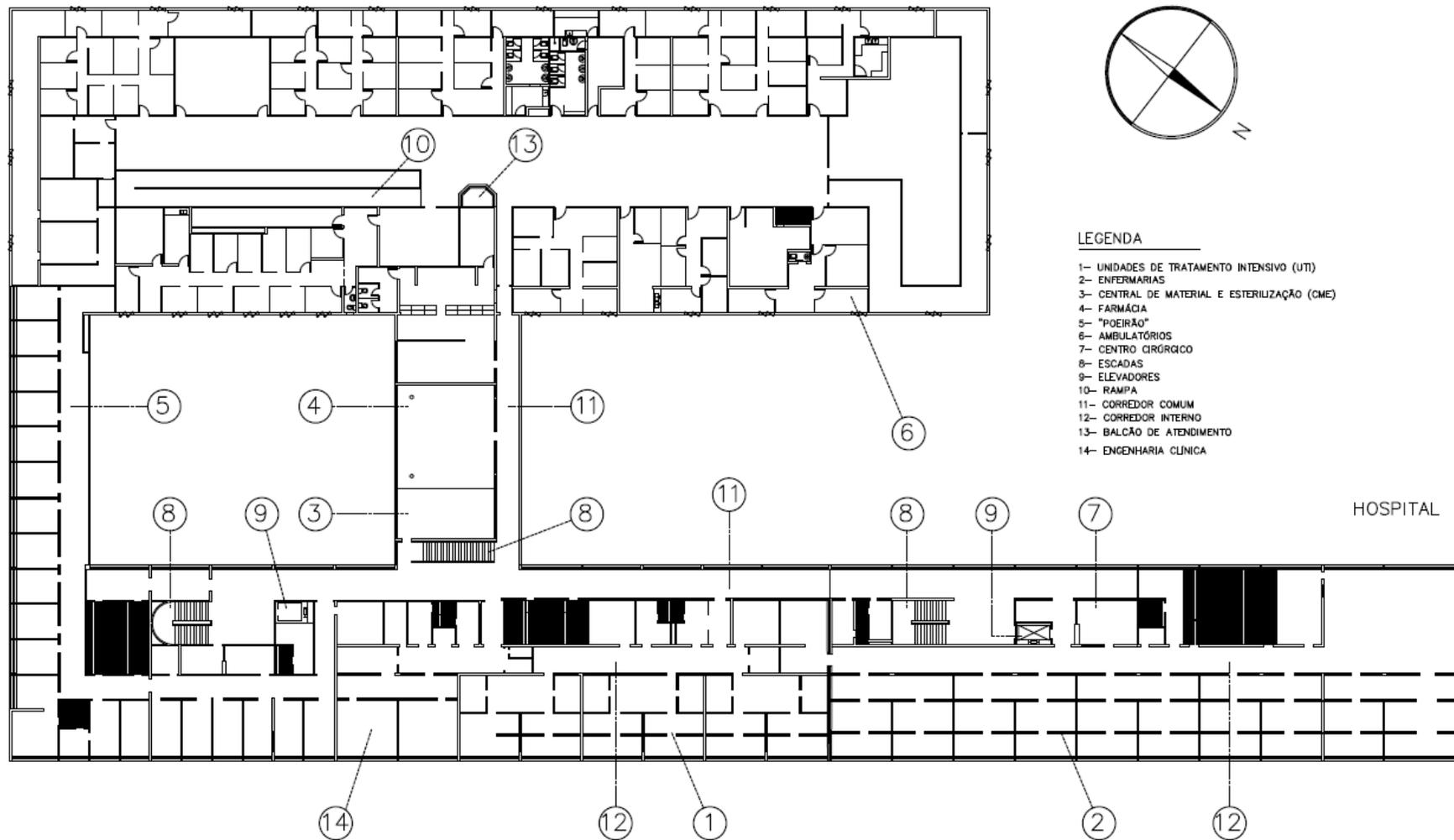


Figura 15 - Estrutura do sistema (Fonte: Elaboração própria)

- Funcionamento do sistema: Atualmente, um paciente que está na enfermaria (2) e tem seu quadro clínico agravado é conduzido para o UTI (1) através do corredor comum (11) do hospital. Se a situação do paciente piorar, e o caso for cirúrgico, o paciente é conduzido, também pelo corredor comum (11), para o centro cirúrgico (7). Em relação aos medicamentos, os mesmos são armazenados e fracionados na farmácia (4), sendo dispensados para o ambulatório (6) pelo balcão de atendimento (13) e para UTI (1) e enfermarias (2) pelo corredor externo (11). Em relação aos materiais utilizados, eles são recolhidos nos expurgos das unidades funcionais – UTI (1), enfermarias (2) e centro cirúrgico (7), levados ao CME (3) em um carrinho fechado, para serem esterilizados e redistribuídos às unidades funcionais. Além disso, os médicos, enfermeiros, residentes e plantonistas reclamam da área ínfima de “lazer” e descanso (como copa, quarto, banheiros para tomar banho etc.) e falta de áreas administrativas para organizar os processos.

O funcionamento do sistema desejado seria um projeto no qual o paciente fosse conduzido da enfermaria (2) para o UTI (1) e, em seguida, para o centro cirúrgico (7) por corredores internos (12), seguindo uma espécie de “linha de produção”, sem misturar os fluxos (entrada-saída, pacientes-visitantes). Sobre os medicamentos, o ideal seria que a farmácia (4) fosse maior, a dispensação dos medicamentos mais dinâmica e seu atendimento mais humanizado. Quanto aos materiais, o ideal seria ter uma CME (3) maior e mais centralizada. Seria providencial também que as áreas de lazer e descanso fossem maiores, melhorando as condições de trabalho dos funcionários, e que existisse uma parte administrativa para melhor operação e controle das áreas funcionais.

- Meio ambiente do sistema: o sistema é parte integrante e interage com o edifício construído nos anos 50, sendo um subsistema da Cidade Universitária da ilha do Fundão, relacionando-se com os estudantes locais. Pode ser considerado também um subsistema dos hospitais públicos do país e está localizado ao lado do HUCFF (Hospital Universitário Clementino Fraga Filho).

Recursos disponíveis:

- Recursos de substância: estrutura construída e fluxo de trabalho institucionalizado;
- Recursos funcionais: parte dos profissionais já trabalha no instituto há alguns anos e possui experiência/vivência nos espaços funcionais;
- Recursos de tempo: reforma ocorrerá enquanto as unidades operam;
- Recursos de espaço: espaço vazio (“poeirão”) e uso de *containers* para aproveitar o espaço externo.

Informações sobre a situação do problema:

- Defeitos a eliminar: a FU é implementada de forma ineficaz ou incompleta e o grau de complexidade do sistema é muito elevado. As unidades funcionais do IPPMG não atendem completamente aos requisitos da legislação proposta pela ANVISA (Resoluções de Diretoria Colegiada – RDCs), as mesmas não conseguem operar em sua capacidade máxima (perdem pacientes por falta de estrutura), seus funcionários se sentem frustrados por não conseguirem ser vistos como referência dentro de um Hospital-Escola (falta de estrutura impacta no ensino dos alunos) e as rotas de fuga não são adequadas. Além disso, o prédio é tombado (não podendo, em princípio, ter sua estrutura alterada), o projeto de reforma é um projeto complexo (hospital não pode parar de operar) e os funcionários reclamam das condições de trabalho por falta de áreas de convivência (quartos para descansar, salas de reunião adequadas, banheiros para tomarem banho, copas para lanche etc.).

- Mecanismos que causam defeitos: A demanda do hospital aumentou, mas sua estrutura continuou a mesma.

- História de desenvolvimento do problema: a construção já passou por alguns projetos de reformas que não foram concluídas (espaço chamado de “poeirão” é uma obra inacabada).

- Outros problemas a serem resolvidos:

- Poderia ser construído outro edifício ao lado da construção existente. Essa alternativa é inviável, pois o prédio é tombado.

- Os pacientes poderiam ser removidos temporariamente para outro hospital enquanto a obra de reforma é realizada, para que ocorra mais rápido e sem risco à saúde dos pacientes.

- Espaços do 1º e 3º pavimento utilizados para outras atividades do hospital poderiam ser utilizados para armazenamento de medicamentos das unidades funcionais, liberando área para inserção de mais leitos nas enfermarias e possibilidade de áreas maiores para a farmácia e CME.

- Alguns serviços poderiam ser terceirizados.

- As áreas de convivência dos funcionários (descanso e lazer) poderiam ser colocadas fora do hospital.

- Para que todos os funcionários fiquem atualizados em relação às exigências da ANVISA, poderiam ocorrer palestras e visitas periódicas de profissionais especializados.

- Poderiam ocorrer palestras do corpo de bombeiros para instrução sobre como agir em caso de incêndios e verificação das rotas de fuga.

- Humanização do caminho até a cirurgia para reduzir o estresse dos pacientes.

Modificando o sistema

- Possíveis mudanças no sistema: a maioria das mudanças é possível considerando o cuidado que deve ser tomado ao realizar uma obra dentro de um hospital em operação (esterilização do local, pacientes com baixa imunidade, falta de espaço).

- Limitações para mudar o sistema: espaço físico externo não pode ser alterado (devido ao tombamento do edifício, sua estrutura não pode ser modificada, ou seja, a área construída não poderá aumentar), mas a logística dos processos de trabalho e os fluxos de pessoas e materiais podem ser adequados.

Critérios para selecionar conceitos de solução:

- Características tecnológicas desejáveis: instituto deve se tornar referência em cirurgias pediátricas no Brasil, com 3 salas cirúrgicas, sendo uma delas apta a realizar cirurgia robótica.

- Características econômicas desejáveis: hospital deverá estar apto a receber energia provida por luz solar e o projeto deverá visar a redução de incidência de luz solar direta dentro das dependências para reduzir a temperatura dos ambientes, além de prever a instalação de um sistema de ar condicionado central.

- Tempo desejável: o tempo previsto para a reforma não deve ultrapassar o tempo da gestão atual.

- Grau de inovação desejado: o grau de inovação é baixo, desejando-se apenas a adequação das instalações às necessidades atuais (projeto variante e adaptativo).

- Outros critérios: hospital deverá atender às normas da ANVISA (RDCs) e do Corpo de Bombeiros (rotas de fuga e áreas de refúgio) e projeto deverá incorporar mais espaços de convivência para os funcionários.

História de tentativas de solução ao problema:

- Tentativas anteriores de resolver o problema: apesar de algumas áreas do 1º e do 3º pavimento do Bloco C do instituto terem sido reformadas em gestões anteriores (Anexo F), as reformas previstas para o 2º pavimento nunca aconteceram. O espaço vazio, denominado pelos funcionários do hospital como “poeirão”, não teve sua obra finalizada e foi abandonado. Ao longo do tempo, a farmácia precisou se expandir e foi ocupando área da CME, que se sentiu prejudicado. Pequenas obras de manutenção do espaço físico foram realizadas, mas não houve mudanças significativas no projeto.

- Outros sistemas com problemas semelhantes: muitos hospitais públicos brasileiros já precisaram passar por projetos de reforma e obtiveram sucesso, a citar: reforma e ampliação do Hospital Geral de Palmas (HGP) em 2016¹³, ampliação e modernização da Maternidade Balbina Mestrinho em 2013¹⁴, reforma e ampliação do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto (HCRP) em 2014¹⁵, obra de reforma do Hospital Municipal Alcides Carneiro (Petrópolis) em 2014¹⁶, novas instalações e melhorias no Hospital Regional João Penido (HRJP) em 2012¹⁷, entre outros. No entanto, devido às especificidades dos projetos do setor de AEC, cada projeto possui suas limitações e requisitos, sendo possível basear-se em projetos semelhantes, mas dificilmente adotar as mesmas soluções.

Resultado Final Ideal (RFI): considerando os objetivos, recursos e as restrições existentes, o RFI seria realizar as funções úteis (FUs) "garantir a segurança", "garantir o bem estar" e "proporcionar atividades de ensino, pesquisa e extensão", sem causar efeitos prejudiciais (FPs) durante a obra de reforma das unidades funcionais do hospital.

6.2.2 Busca de Soluções

A busca por soluções percorrerá três caminhos distintos visando encontrar a solução ideal. São eles: a busca direta de soluções, elaborada a partir do preenchimento do QSI; o processo de formulação de problemas (PFP), a partir da construção de um gráfico de fluxo relacionando as FUs com as FPs; e por fim, a aplicação do método dos princípios inventivos (MPI) com a nova matriz de contradições elaborada no capítulo anterior, a partir da interpretação da TRIZ para projetos do setor de AEC.

6.2.2.1 Busca Direta de Soluções

A estruturação do problema através do QSI poderia originar inúmeras ideias através da utilização de técnicas de geração de ideias (como *brainstorming*, por exemplo), envolvendo equipes de projeto. No entanto, como o objetivo do trabalho não contempla a busca pela totalidade de soluções para resolver o problema completamente, considerou-se suficiente elencar algumas ideias imediatas surgidas a partir do

¹³ Disponível em: <<http://to.gov.br>>. Acesso em: 20 de outubro de 2017 às 10:00.

¹⁴ Disponível em: <www.amazonas.am.gov.br>. Acesso em: 20 de outubro de 2017 às 10:03.

¹⁵ Disponível em: <www.fmrp.usp.br>. Acesso em: 20 de outubro de 2017 às 10:07.

¹⁶ Disponível em: <<http://.rj.gov.br>>. Acesso em: 20 de outubro de 2017 às 10:09.

¹⁷ Disponível em: <<http://www.fhemig.mg.gov.br>>. Acesso em: 20 de outubro de 2017 às 10:10.

item anterior. Em outras palavras, para cada FU definida no QSI, os 40 PIs originais da TRIZ foram percorridos, um a um, gerando soluções imediatas pela simples interpretação de seus significados.

Para a FU “garantir a segurança”:

- Projetar antessalas com diferença de pressão para garantir a esterilização: abstração do PI-1 (segmentação ou fragmentação);
- Rotas de fuga pela parte externa da construção: abstração do PI-2 (remoção ou extração);
- Câmeras de segurança espalhadas pelo hospital: abstração do PI-10 (ação prévia);
- Palestras e treinamentos do corpo de bombeiros para instrução sobre como agir em caso de incêndios e verificação das rotas de fuga: abstração do PI-11 (amortecimento prévio);
- Bordas de objetos e paredes arredondadas (previne acidentes e acúmulo de impurezas): abstração do PI-14 (recurvação);
- Palestras sobre vigilância sanitária e visitas periódicas de profissionais especializados: abstração do PI-20 (continuidade de ação útil).

Para a FU “garantir o bem estar”:

- Realizar a obra de reforma em etapas: abstração do PI-1 (segmentação ou fragmentação).
- Posicionar equipamentos barulhentos fora do hospital: abstração do PI-2 (remoção ou extração);
- Colocar áreas de convivência dos funcionários (descanso e lazer) fora do hospital: abstração do PI-2 (remoção ou extração);
- Utilização de gradientes de temperatura: abstração do PI-3 (qualidade localizada);
- Previsão de portas giratórias que mantém a temperatura na parte interna: abstração do PI-14 (recurvação);
- Aumentar os intervalos de trabalho dos profissionais para que os mesmos tenham mais disposição para trabalhar: abstração do PI-19 (ação periódica);
- Aproveitar a incidência de luz solar para gerar energia para o sistema de ar condicionado do hospital: abstração do PI-22 (transformação de prejuízo em lucro);
- Humanização do caminho até a cirurgia para reduzir o estresse dos pacientes: abstração do PI-24 (mediação);

Para a FU “proporcionar atividades de ensino, pesquisa e extensão”:

- Projeto de salas com funções múltiplas: abstração do PI-5 (fusão ou consolidação);

6.2.2.2 Processo de Formulação de Problemas (PFP)

Como segunda opção para busca de soluções, tem-se o PFP. Conforme explicado no Capítulo 4, esse método consiste na construção de simples gráficos de fluxo de causa e efeito que explicitam as ligações entre as principais funções prejudiciais (FPs) e funções úteis (FUs) do sistema. É importante ressaltar que, segundo Terninko, Zusman e Zlotin (1998), neste contexto, o termo "função" tem uma definição mais genérica, diferente daquela utilizada no QSI, podendo ser definido como "ação" ou "evento".

As principais FUs e FPs do sistema foram identificadas no QSI. São elas:

Principais FUs:

(garantir a segurança);

(garantir o bem estar);

(proporcionar atividades de ensino, pesquisa e extensão).

Principais FPs:

[unidades funcionais inadequadas às normas];

[rotas de fuga não são adequadas];

[não operam em sua capacidade máxima];

[não são vistos como referência];

[área limitada];

[faltam áreas de convivência para funcionários].

Dessas constatações derivam as seguintes relações:

(garantir a segurança) é requerida para (garantir o bem estar)

(garantir a segurança) é introduzida para eliminar [unidades funcionais inadequadas às normas]

(garantir a segurança) é introduzida para eliminar [rotas de fuga não são adequadas]

(garantir o bem estar) é requerida para (proporcionar atividades de ensino, pesquisa e extensão).

(garantir o bem estar) é introduzida para eliminar [faltam áreas de convivência para funcionários]

(proporcionar atividades de ensino, pesquisa e extensão) é introduzida para eliminar [não são vistos como referência]

[não operam em sua capacidade máxima] causa [pacientes deixam de ser atendidos]

[não são vistos como referência] causa [funcionários e alunos desmotivados]

[faltam áreas de convivência para funcionários] causa [funcionários e alunos desmotivados]

[área limitada] causa [não operam em sua capacidade máxima]

[área limitada] causa [faltam áreas de convivência para funcionários]

[tombamento do prédio] causa [área limitada]

O gráfico de fluxo está representado na Figura 16.

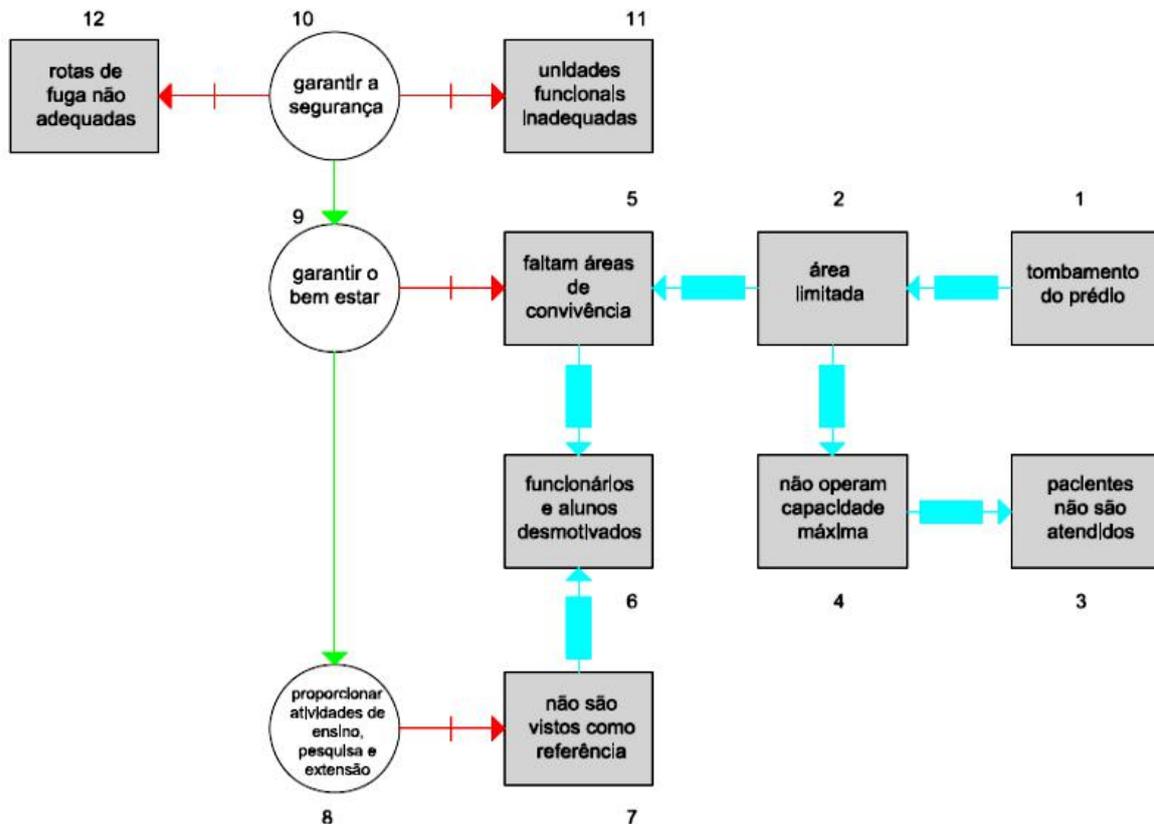


Figura 16 - Gráfico de fluxo para 2º pavimento do IPPMG

Fonte: Elaboração própria

Em seguida, é necessário desenvolver afirmações geradas a partir do gráfico de fluxo. O número de cada nó presente no gráfico de fluxo corresponde a uma frase problema listada abaixo:

- 1a. Encontre uma forma de eliminar, reduzir ou prevenir [tombamento do prédio].
- 1b. Encontre uma forma de se beneficiar do [tombamento do prédio].
- 2a. Encontre uma forma de eliminar, reduzir ou prevenir [área limitada] sob a condição de [tombamento do prédio].
- 2b. Encontre uma forma de se beneficiar da [área limitada].
- 3a. Encontre uma forma de eliminar, reduzir ou prevenir [pacientes deixam de ser atendidos] sob condição de [não operam em sua capacidade máxima].
- 3b. Encontre uma forma de se beneficiar do [pacientes deixam de ser atendidos].
- 4a. Encontre uma forma de eliminar, reduzir ou prevenir [não operam em sua capacidade máxima] sob condição de [área limitada].

- 4b. Encontre uma forma de se beneficiar de [não operam em sua capacidade máxima].
- 5a. Encontre uma forma de eliminar, reduzir ou prevenir [faltam áreas de convivência para funcionários] sob condição de [área limitada] sem requerer (garantir o bem estar).
- 5b. Encontre uma forma de se beneficiar de [faltam áreas de convivência para funcionários].
- 6a. Encontre uma forma de eliminar, reduzir ou prevenir [funcionários e alunos desmotivados] sob condição de [faltam áreas de convivência para funcionários] e [não são vistos como referência].
- 6b. Encontre uma forma de se beneficiar de [funcionários e alunos desmotivados].
- 7a. Encontre uma forma de eliminar, reduzir ou prevenir [não são vistos como referência] sem requerer (proporcionar atividades de ensino, pesquisa e extensão).
- 7b. Encontre uma forma de se beneficiar de [não são vistos como referência].
- 8a. Encontre uma forma alternativa que promova (proporcionar atividades de ensino, pesquisa e extensão) que elimine, reduza ou previna [não são vistos como referência] e não precise de (garantir o bem estar).
- 8b. Encontre uma forma de realçar (proporcionar atividades de ensino, pesquisa e extensão).
- 9a. Encontre uma forma alternativa que promova (garantir o bem estar) que elimine, reduza ou previna [faltam áreas de convivência para funcionários] e não precise de (garantir a segurança).
- 9b. Encontre uma forma de realçar (garantir o bem estar).
- 10a. Encontre uma forma alternativa que promova (garantir a segurança) que elimine, reduza ou previna [unidades funcionais inadequadas às normas] e [rotas de fuga não são adequadas].
- 10b. Encontre uma forma de realçar (garantir a segurança).
- 10c. Encontre uma forma de resolver a contradição: (garantir a segurança) deve promover (garantir o bem estar) eliminando [unidades funcionais inadequadas às normas] e [rotas de fuga não são adequadas].
- 11a. Encontre uma forma de se beneficiar de [unidades funcionais inadequadas às normas].
- 12a. Encontre uma forma de se beneficiar de [rotas de fuga não são adequadas].

Em teoria, seria a partir da análise de cada um dos enunciados gerados pela interpretação do gráfico de fluxo que novas soluções para as contradições do projeto poderiam ser extraídas. No entanto, a simples análise dos enunciados não conduziu a nenhuma solução prática. Portanto, a ferramenta de Processo de Formulação de Problemas (PFP) apenas explicitou as contradições existentes, não resultando em nenhuma solução prática para eliminação das mesmas.

Esse fato pode ter ocorrido em função da diferença existente entre projetos de produtos e projetos do setor de AEC, visto que, conforme explicado no item 2.1, essas duas vertentes possuem características intrínsecas às suas atividades de projetar que tornam seus processos decisórios distintos, não sendo possível aplicar exatamente as mesmas metodologias analíticas aos dois casos.

6.2.2.3 Método dos Princípios Inventivos (MPI)

Finalizando a busca de soluções, a última estratégia consiste na utilização do Método dos Princípios Inventivos (MPI). Esse método pode ser aplicado de duas formas: a primeira é por meio da busca direta de soluções, pelo uso imediato dos PIs (conforme item 6.2.2.1), no qual cada PI é analisado individualmente e empregado em consequência da estruturação do problema pelo QSI; a segunda forma é pela exploração da principal ferramenta da TRIZ, a Matriz de Contradições (MC), que envolve a identificação dos requisitos conflitantes de projeto modelados em termos de parâmetros de engenharia (PEs), possibilitando a identificação dos PIs com maior potencial e a aplicação do mesmos.

Esses requisitos conflitantes são as chamadas contradições técnicas que, conforme explicado no item 3.2.1 deste trabalho, ocorrem quando um parâmetro de projeto só é conseguido em detrimento de outro parâmetro (a melhoria do parâmetro “A” do sistema piora o parâmetro “B”), ou seja, uma ação é simultaneamente útil e prejudicial (SAVRANSKY, 2000).

Conforme explicado no item 3.2.1, deste trabalho, os parâmetros de engenharia (PEs) correspondem a grandezas genéricas, presentes em problemas técnicos de diferentes áreas. As contradições existentes no problema original devem ser traduzidas em termos de um primeiro parâmetro de engenharia, o qual se deseja melhorar e de um segundo, que é piorado em função da melhora do primeiro.

Dessa forma, com a simples construção do gráfico de fluxo realizada no item 6.2.2.2, foi possível explicitar algumas contradições (ou requisitos conflitantes) rele-

vantes do sistema. Essas contradições foram detectadas, modeladas em termos de PEs conflitantes e aplicadas à MC, onde Princípios Inventivos - descritos no Anexo A deste trabalho - (pela TRIZ clássica) e Objetivos de Projeto de AEC – descritos na página 59, item 5.1.2 deste trabalho - (pela TRIZ adaptada), são sugeridos para cada caso específico e utilizados em busca da solução conforme adequação ao problema.

Diversas contradições foram identificadas durante as reuniões de projeto, mas apenas aquelas consideradas mais relevantes foram analisadas sistematicamente utilizando o MPI, tanto pela TRIZ clássica como pela nova interpretação da teoria para o setor de AEC. Das contradições analisadas, três foram escolhidas para serem apresentadas detalhadamente nesta dissertação - por serem mais didáticas e por contribuírem mais profundamente às conclusões. As outras quatro contradições, por sua vez, foram mais relevantes para o projeto de reforma do que para a pesquisa e serão apresentadas de maneira resumida. A Tabela 6 mostra essas contradições e a forma de apresentação:

Tabela 6 - Contradições mais relevantes analisadas pelo MPI (Fonte: Elaboração própria)

1ª contradição	“As áreas das unidades funcionais devem aumentar para melhor atender o crescimento do hospital, bem como ao aumento do número de salas do centro cirúrgico, sem ultrapassar os limites impostos pela estrutura do prédio, que é tombado”.	apresentação detalhada
2ª contradição	“A execução da reforma deve ser realizada, com segurança, sem que o hospital pare de operar”.	apresentação resumida
3ª contradição	“O Centro de Material e Esterilização (CME) deve ser localizado de maneira central, porém os fluxos de material esterilizado e infectado não devem se cruzar”.	apresentação detalhada
4ª contradição	“As rotas de fuga e áreas de refúgio devem ser adequadas, aproveitando a arquitetura existente do prédio”.	apresentação resumida
5ª contradição (5.a)	“A farmácia deve ter sua área aumentada e seus espaços reorganizados para otimização do trabalho, evitando a contaminação dos medicamentos e materiais que são dispensados para as áreas funcionais”.	apresentação resumida
5ª contradição (5.b)	“A farmácia deve proporcionar um atendimento mais humanizado para os pacientes do ambulatório, sem aumentar o tempo de espera dos mesmos e garantir a segurança dos funcionários e medicamentos armazenados dentro da farmácia”.	apresentação detalhada
6ª contradição	“Áreas administrativas e espaços de convivência dos funcionários devem aumentar, sem reduzir o número de leitos (se possível, aumentar o número de leitos)”.	apresentação resumida

A seguir encontram-se as análises realizadas:

1ª contradição: As áreas das unidades funcionais devem aumentar para melhor atender o crescimento do hospital, bem como ao aumento do número de salas do cen-

tro cirúrgico, sem ultrapassar os limites impostos pela estrutura do prédio, que é tombado.

Apresentação da análise detalhada:

Parâmetro a melhorar: tamanho das unidades funcionais → área do objeto em movimento (PE-5: área necessária para a realização da Função Útil do projeto, ou seja, o espaço considerado com circulação de pessoas, veículos etc.).

Resultado indesejado: redução de espaço livre para áreas não funcionais → estabilidade da composição (PE-13: diz respeito à flexibilidade da forma, do uso etc. da edificação).

Os PIs identificados pela Matriz de Contradições da TRIZ clássica estão indicados na Figura 17. Dos PIs sugeridos, dois conduzem opções de solução: o PI-2 (remoção ou extração) conduz a exploração do uso de *containers* na parte externa do edifício como salas para as unidades não funcionais e o PI-13 (inversão) poderia sugerir não o aumento de área das unidades funcionais, mas uma reorganização do *layout* das mesmas para que seus espaços sejam otimizados e pareçam maiores.

Resultado indesejado		...	13	...	39
		estabilidade da composição			
Parâmetro a alterar		...			
5	área do objeto em movimento		11, 2, 13, 39		
...					
39					

Figura 17 - PIs para a 1ª contradição pela TRIZ clássica
Fonte: Elaboração própria

Os Objetivos de projetos de AEC identificados na MC da nova interpretação estão apresentados na Figura 18. Dos Objetivos sugeridos, outras soluções podem ser extraídas a partir de três deles (Figura 19): o objetivo (a) visibilidade conduz a solução de projeto de divisória de áreas com paredes de vidro para aparentarem mais amplas, o objetivo (k) praticidade direciona ao uso de janelas do tipo *pass through* para dispensar medicamentos, evitando a necessidade de portas e movimentação desnecessária de pessoas e o objetivo (m) racionalização pode sugerir a substituição do elevador

mecânico comum por um elevador hidráulico, dispensando espaço para casa de máquinas.

Resultado indesejado		...	13	...	39
		estabilidade da composição			
Parâmetro a alterar					
...					
5	área do objeto em movimento	a, b, c, h, n, p, d, r, k, m, g			
...					
39					

Figura 18 - Objetivos de projetos de AEC para a 1ª Contradição
 Fonte: Elaboração própria

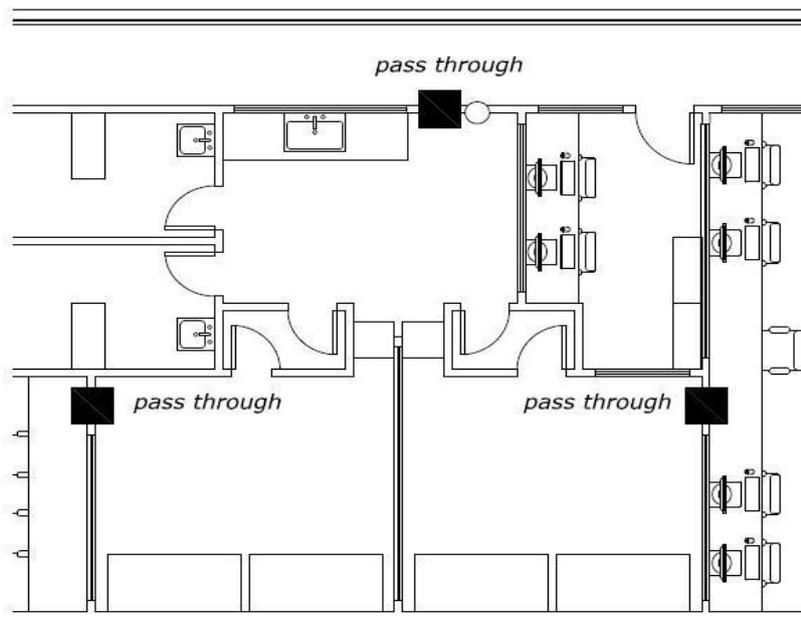


Figura 19 – Uso de janelas do tipo *pass through* (projeto de reforma da farmácia do IPPMG)
 Fonte: Fluxo Consultoria

2ª contradição: A execução da reforma deve ser realizada, com segurança, sem que o hospital pare de operar.

Apresentação da análise resumida:

Dos PIs sugeridos pela Matriz de Contradições da TRIZ clássica, alguns conduzem a determinadas soluções como: o PI-1 (segmentação ou fragmentação) pode sugerir o uso compartilhado temporário de algumas áreas durante a reforma, o PI-3 (qualidade localizada) conduz a utilização de paredes de vedação durante a reforma

(para que partículas contaminadas não passem para o hospital), o PI-10 (ação prévia) conduz à solução de estruturas e móveis pré-fabricados (sem necessidade de fabricação *in loco* que causaria mais sujeira), o PI-25 (autosserviço) pode levar à solução da obra se responsabilizar pelo descarte de material sujo do hospital, junto ao entulho da obra (auxiliando na operação do hospital), o PI-28 (substituição de meios mecânicos) pode sugerir o uso de *lasers* na identificação da estrutural atual (evita a quebra de paredes), o PI-29 (construção pneumática ou hidráulica) sugere o uso de diferentes pressões para manter a área limpa do um hospital esterilizada.

Dos Objetivos sugeridos na MC da nova interpretação para projetos de AEC, outras soluções podem ser extraídas a partir de alguns deles: o objetivo (e) eficiência conduz a solução de projeto reforma em etapas (remanejando as unidades e os pacientes conforme as unidades forem sendo entregues), o objetivo (l) produtividade sugere a construção com elementos pré-fabricados (facilita montagem/ desmontagem e agiliza a execução *in loco*), o objetivo (q) estanqueidade conduz ao projeto de paredes estanques provisória (impedindo que partículas da obra contaminem o hospital), o objetivo (c) conforto acústico induz à colocação de paredes com ruído branco (impedindo que o barulho da obra chegue aos locais com pacientes internados) e o objetivo (r) durabilidade conduz ao projeto de pisos de epóxi em áreas que exigem maior resistência.

3ª contradição: O Centro de Material e Esterilização (CME) deve ser localizado de maneira central, porém os fluxos de material esterilizado e infectado não devem se cruzar.

Apresentação da análise detalhada:

Parâmetro a alterar: centralização do CME → duração da ação do objeto em movimento (PE-15: refere-se à durabilidade, tanto da construção em si, considerando o seu uso contínuo, quanto do propósito da edificação com o passar do tempo).

Resultado indesejado: cruzamento de fluxos de materiais limpo e sujo → fatores externos indesejados atuando no objeto (PE-30: podem ser fatores da natureza ou produzidos pelo homem, que atuam sobre a edificação ou elemento construtivo).

Os PIs identificados pela Matriz de Contradições da TRIZ clássica estão indicados na Figura 20. Dos PIs identificados na matriz, o que conduz a uma solução é o PI-15 (dinamização) sugerindo que cada unidade funcional tenha sua própria central de esterilização (como pequenas CMEs móveis e com localização estratégica).

Resultado indesejado		...	30	...	39
		Parâmetro a alterar		fatores externos indesejados atuando no objeto	
...					
15	duração da ação do objeto em movimento		22, 15, 33, 28		
...					
39					

Figura 20 - Pls para a 3ª contradição pela TRIZ clássica
 Fonte: Elaboração própria

Os Objetivos de projetos de AEC identificados na MC da nova interpretação estão apresentados na Figura 21. Dos Objetivos sugeridos, outras soluções podem ser extraídas a partir de dois deles: o objetivo (m) racionalização conduz a solução de compartilhar o expurgo (depósito materiais sujos e infectados) entre duas unidades funcionais posicionando-o onde for mais adequado para o CME fazer a retirada desse material sem que cruze com o fluxo de materiais limpos (Figura 22) e o objetivo (o) acessibilidade direciona para o projeto de logística adequada de retirada dos materiais sujos (onde os mesmos serão depositados e transportados, qual caminho os materiais que serão esterilizados percorrerão dentro do CME etc.).

Resultado indesejado		...	30	...	39
		Parâmetro a alterar		fatores externos indesejados atuando no objeto	
...					
15	duração da ação do objeto em movimento		a, m, f, h, j, o, e, c		
...					
39					

Figura 21 - Objetivos de projetos de AEC para a 3ª Contradição
 Fonte: Elaboração própria

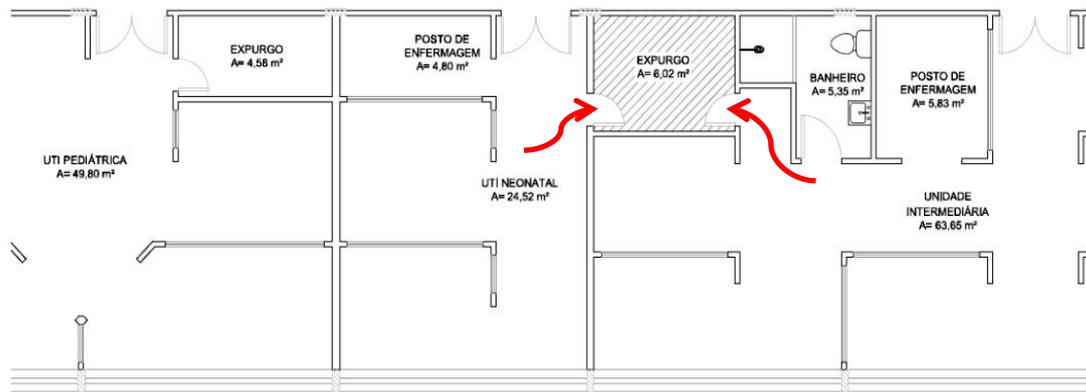


Figura 22 - Exurgo compartilhado entre a UTI neonatal e a Unidade Intermediária.

Fonte: Elaboração própria.

4ª contradição: As rotas de fuga e áreas de refúgio devem ser adequadas às exigências normativas, aproveitando a arquitetura existente do prédio.

Apresentação da análise resumida:

Dos PIs identificados Matriz de Contradições da TRIZ clássica, três deles conduzem a soluções, como: o PI-2 (remoção ou extração) pode sugerir que as áreas de refúgio e as rotas de fuga sejam colocadas na parte externa da construção, o PI-10 (ação prévia) conduz a solução de colocar extintores de incêndios e sinalização adequada nos lugares corretos e o PI-28 (substituição de meios mecânicos) pode sugerir a instalação de escorregas como escape do edifício.

Dos Objetivos sugeridos pela MC da nova interpretação para projetos de AEC, praticamente todas as soluções citadas acima e algumas outras podem ser extraídas a partir do objetivo (n) segurança. Esse objetivo por si só conduz ao pensamento de medidas de segurança eficazes no sentido de adequar o empreendimento às exigências normativas do Corpo de Bombeiros. Algumas estratégias seriam a previsão de escape de fogo ou elevador externo (não interfere na planta), o posicionamento adequado dos extintores de incêndio etc. Outros objetivos que poderiam ser usados são: (a) visibilidade que conduz à colocação de placas de sinalização nos locais adequado e uso de placas fotoluminescentes, os objetivos (b) conforto olfativo, (d) conforto térmico e (q) estanqueidade que conduzem ao projeto de portas corta fogo para evitar a propagação do mesmo (e conseqüentemente de temperaturas mais elevadas e fumaça).

5ª contradição: Farmácia

5.a) A farmácia deve ter sua área aumentada e seus espaços reorganizados para otimização do trabalho, evitando a contaminação dos medicamentos e materiais que são dispensados para as áreas funcionais.

Apresentação da análise resumida:

Dos PIs sugeridos pela Matriz de Contradições da TRIZ clássica, três conduzem diretamente a algumas opções de solução: PI-13 (inversão) poderia sugerir a inversão de algumas salas para modificar a logística de trabalho, o PI-39 (uso de atmosferas inertes) sugere a previsão de espaços para manipulação de substâncias com elevada sensibilidade ao ar utilizando técnicas de atmosfera inerte e sistemas de vácuo e o PI-17 (transição para uma nova dimensão) conduz à solução de localizar os móveis de maneira central para fazer a separação dos medicamentos no entorno dele.

Dos Objetivos sugeridos pela MC da nova interpretação, outras soluções podem ser extraídas a partir de três deles: o objetivo (a) visibilidade conduz a solução de projeto de divisória de áreas com paredes de vidro para aparentarem mais amplas (Figura 19), o objetivo (c) conforto acústico pode sugerir a previsão de equipamentos barulhentos do lado de fora da construção, o objetivo (k) praticidade direciona ao uso de janelas do tipo *pass through* para dispensar medicamentos, evitando a necessidade de portas e movimentação desnecessária de pessoas (Figura 19), o objetivo (m) racionalização conduz à economia de espaços prevendo vestiários como circulação (onde o funcionário pode se higienizar e trocar de roupa, garantindo a esterilização dos locais limpos), o objetivo (n) segurança conduz ao projeto de antecâmaras com diferença de pressão entre áreas sujas e limpas (evitando a contaminação dos ambientes), o objetivo (p) sustentabilidade conduz à previsão de um corredor próximo à parede externa possibilitando a colocação de um “janelão” de vidro (permitindo entrar luz no ambiente).

5.b) A farmácia deve proporcionar um atendimento mais humanizado para os pacientes do ambulatório, sem aumentar o tempo de espera dos mesmos e garantir a segurança dos funcionários e medicamentos armazenados dentro da farmácia.

Apresentação da análise detalhada:

Parâmetro a melhorar: atendimento ao ambulatório → adaptabilidade (PE-35: habilidade de um objeto ou sistema de se reformular ou reorganizar conforme as condições externas - como meio ambiente, função etc. - mudam);

Resultados indesejados: aumentar o tempo de espera (fila) → perda de tempo (PE-25: refere-se ao tempo que o usuário gasta para obter a Função Útil, podendo estar atrelado à complexidade do sistema ou ao espaço percorrido); falta de segurança → estabilidade da composição (PE-13: diz respeito à flexibilidade da forma, do uso etc. da edificação).

Os PIs identificados pela Matriz de Contradições da TRIZ clássica estão indicados na Figura 23. Dos PIs sugeridos, o único que conduz diretamente a uma opção de solução é o PI-14 (recurvação) que sugere a exploração de paredes curvas para esconder o estoque de medicamentos da farmácia (garantindo sua segurança). O conflito com o aumento da fila de espera continuaria sem solução.

Resultado indesejado		...	13	...	25	...	39
			estabilidade e da composição		perda de tempo		
Parâmetro a alterar							
...							
35	adaptabilidade		35, 30, 14		35, 28		
...							
39							

Figura 23 - PIs para a contradição 5.b) pela TRIZ clássica
 Fonte: Elaboração própria

Os Objetivos de projetos de AEC identificados na MC da nova interpretação estão apresentados na Figura 24. Dos Objetivos sugeridos, outras soluções podem ser extraídas a partir de alguns deles (Figura 25): o objetivo (a) visibilidade conduz a mesma solução do PI-14 (recurvação), de planejar uma parede curva que esconda o estoque de medicamentos dos pacientes, o objetivo (c) conforto acústico conduz à previsão de isolamento acústico nas divisórias do consultório de atendimento individual (garantindo a privacidade dos pacientes com doenças mais delicadas), o objetivo (e) eficiência induz a colocação de um sistema eletrônico que gere senhas para os pacientes de acordo com o tipo de atendimento (agilizando a organização da fila), e o objetivo (n) segurança pode sugerir por si só, diversas medidas de segurança como, por exemplo, armários trancados com chaves para a guarda de medicamentos, fechadura na porta de um consultório individual para atendimento mais humanizado, uso de vidro à prova de balas etc.

Nessa análise é importante ressaltar que o objetivo (o) acessibilidade proporcionaria soluções interessantes em relação a essa contradição de projeto. O objetivo poderia sugerir a criação de um consultório para atendimento individualizado de pacientes com doenças mais graves e delicadas, na qual é necessária uma orientação mais específica e cuja garantia da privacidade do indivíduo melhoraria seu bem estar. No entanto, a matriz de contradições adaptada não sugere o uso desse objetivo.

Resultado indesejado		...	13	...	25	...	39
		Parâmetro a alterar		estabilidade e da composição	perda de tempo		
...							
35	adaptabilidade	a, d, e, m, n, r, h, k, q		a, d, e, h, n, r, c			
...							
39							

Figura 24 - Objetivos de projetos de AEC para a contradição 5.b)
Fonte: Elaboração própria

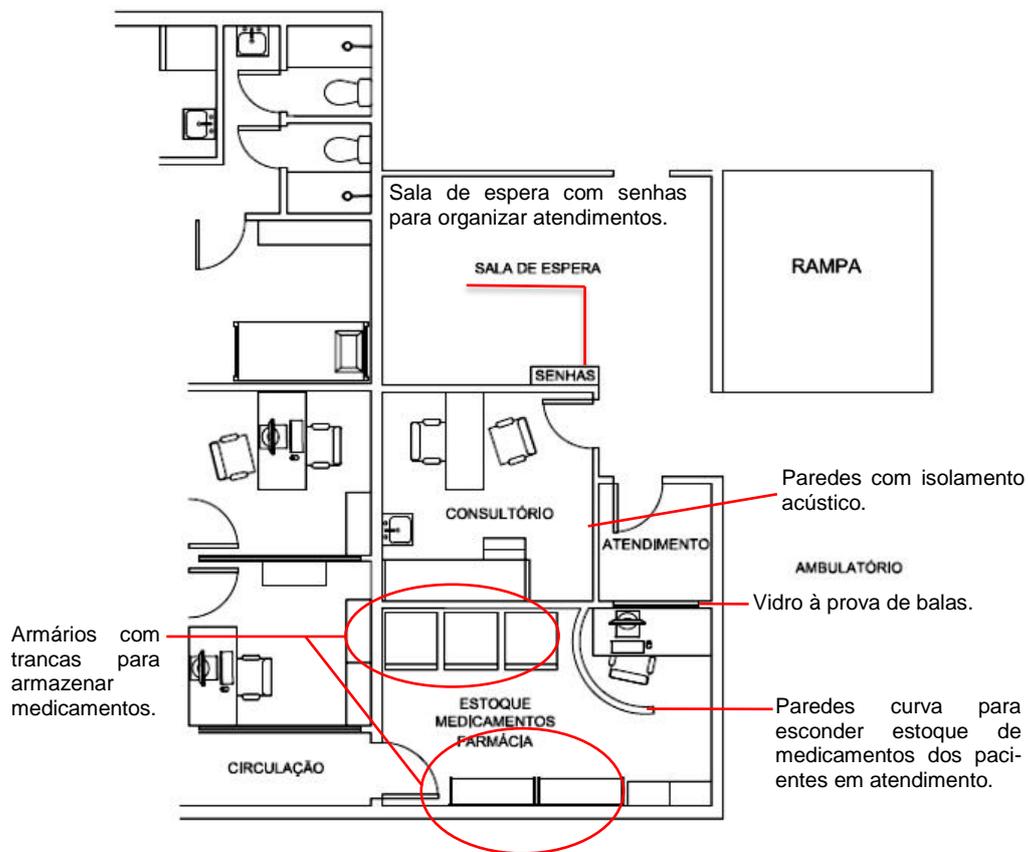


Figura 25 - Soluções dadas pelos Objetivos de AEC para melhorar o atendimento da farmácia.
Fonte: Elaboração própria.

6ª contradição: Áreas administrativas e espaços de convivência dos funcionários devem aumentar, sem reduzir o número de leitos (se possível, aumentar o número de leitos).

Apresentação da análise resumida:

Dos PIs sugeridos pela Matriz de Contradições da TRIZ clássica, dois conduzem a possíveis soluções: o PI-6 (universalização) pode sugerir o uso de salas compartilhadas com mais de uma função dependendo da demanda/horário e o PI-30 (uso de filmes finos e membranas flexíveis) pode sugerir uma divisão mais fina que otimize o espaço entre os leitos.

Dos Objetivos sugeridos na MC da nova interpretação para projetos de AEC, outras soluções podem ser extraídas a partir de alguns deles: o objetivo (h) flexibilidade conduz a solução de divisórias maleáveis entre os leitos (ganhando espaço de acordo com a necessidade) e o objetivo (m) racionalização conduz ao projeto de elementos que ocupem menos área no ambiente (como portas de correr, por exemplo) ou espaços compartilhados.

6.2.3 Resultados e Discussões

Este capítulo mostrou, por meio de um estudo de caso real, a aplicação da TRIZ em um projeto do setor de AEC. O estudo em questão consistia no projeto de reforma do hospital de crianças e adolescentes da UFRJ que, por sua vez, é um hospital público de referência nesta área que está incorporado ao contexto de ensino, pesquisa e extensão. Após a execução do estudo realizou-se uma avaliação das soluções geradas com o uso (ou não) da TRIZ, apresentadas a seguir.

6.2.3.1 Avaliação das ferramentas utilizadas

A busca por soluções percorreu três caminhos: primeiro realizou-se uma busca direta de soluções, derivada da definição completa do problema pelo Questionário de Situação da Inovação (QSI); em seguida, tentou-se gerar novas ideias de soluções pelo Processo de Formulação de Problemas (PFP), no qual um gráfico de causa e efeito com as relações entre os principais efeitos úteis e prejudiciais do sistema técnico foi construído e interpretado; por fim, foi utilizado o Método dos Princípios Inventivos (MPI), principal ferramenta da TRIZ para explorar as contradições de projeto e encontrar soluções, de maneira sistemática, a partir da Matriz de Contradições (MC).

As soluções encontradas ao utilizar cada uma dessas ferramentas estão resumidas no Apêndice B.

O simples preenchimento do QSI permitiu estruturar o problema de maneira perfeita, percorrendo todos os conflitos e contradições do projeto, explicitando os recursos existentes e fazendo aparecer qual seria o resultado final ideal (RFI) do projeto. A busca direta de soluções realizada pelo acesso aos 40 PIs em consequência do preenchimento detalhado do QSI resultou em 15 soluções práticas, entre elas: a realização da obra de reforma em etapas, o projeto de salas com diferença de pressão para garantir a esterilização de locais limpos, a colocação de rotas de fuga na parte externa da construção, o projeto de salas com múltiplas funções, o posicionamento de equipamentos barulhentos fora do prédio, a concepção de bordas de objetos e paredes arredondadas para prevenir acidentes e acúmulo de impurezas, a realização de palestras sobre vigilância sanitária e visitas periódicas de profissionais especializados, entre outras. É importante ressaltar que 11 das 15 soluções atingidas pelo QSI só apareceram nesta etapa, e podem ser consideradas como exclusivas desta ferramenta, isto é, se o QSI não tivesse sido utilizado estas soluções não teriam aparecido.

Já com o PFP não foi possível encontrar nenhuma solução prática. Essa ferramenta propõe que relações de causa e efeito sejam criadas entre as funções úteis e prejudiciais do problema. Essas relações geram enunciados que, quando analisados, permitiriam encontrar novas soluções de projeto. No entanto, enunciados como “Encontre uma forma de eliminar, reduzir ou prevenir [tombamento do prédio]” ou “Encontre uma forma de se beneficiar do [tombamento do prédio], [área limitada], [pacientes deixam de ser atendidos], [não operam em sua capacidade máxima], [faltam áreas de convivência para funcionários], [funcionários e alunos desmotivados], [não são vistos como referência], [unidades funcionais inadequadas às normas] e [rotas de fuga não são adequadas]” e outros apresentados no item 6.2.2.2, não conduziram à exploração de nenhuma solução prática. Conforme já foi mencionado no próprio item, a ineficiência da ferramenta para emergência de ideias neste caso pode ter ocorrido em função da diferença existente entre projetos de produtos e projetos do setor de AEC. No entanto, não se pode afirmar e concluir que a ferramenta não funciona para projetos do setor de AEC, uma vez que a mesma serviu para explicitar as contradições de projeto de forma sistemática e visto que foi testada em um único estudo de caso.

O MPI foi a ferramenta mais eficiente. Com 40 soluções, o MPI foi utilizado na investigação de sete contradições oriundas do projeto de reforma, analisadas uma a uma, aplicando-se a MC. Como as análises foram realizadas tanto a TRIZ clássica como com a TRIZ adaptada para o setor de AEC (instrumento proposto a partir da

nova interpretação), algumas soluções foram geradas somente por uma das duas interpretações. Das 40 soluções, 11 foram atingidas somente pela TRIZ clássica, ou seja, a partir da abstração dos PIs sugeridos na MC original criada por Altshuller. E, expressivamente, das 40 soluções proporcionadas pelo MPI, 21 delas só foram alcançadas quando se utilizou a nova interpretação da TRIZ para projetos do setor de AEC, ou seja, quando os objetivos criados a partir da nova interpretação foram utilizados para resolver as contradições. As outras 8 soluções foram atingidas de maneira comum por ambas as interpretações.

Todas as soluções estão apresentadas no Apêndice B, que mostra por qual ferramenta cada solução foi atingida e qual princípio/objetivo foi utilizado para chegar às mesmas. Para essas contradições de projeto, os PIs mais utilizados foram: PI-2 (remoção ou extração), PI-1 (segmentação ou fragmentação), PI-10 (ação prévia) e PI-14 (recurvação). E, para as mesmas contradições, os objetivos mais utilizados foram: (n) segurança, (m) racionalização e (a) visibilidade.

6.2.3.2 Discussão dos resultados

Conforme dito anteriormente, o estudo de caso foi conduzido de maneira retrospectiva e por esse motivo muitas das soluções exploradas com o uso das ferramentas de sistematização do processo de tomada de decisões coincidem com as soluções reais, dadas pela equipe de projetistas junto ao cliente. Além disso, diversos outros métodos poderiam ser somados ao processo de projeto, de forma a enriquecer a geração de ideias, bem como incluir critérios de avaliação das opções geradas. Porém, deve-se observar que este trabalho não tinha como objetivo apresentar novas ideias ao projeto de reforma do hospital, nem solucionar o problema por completo, mas analisar a aplicação da TRIZ, ressaltando os pontos negativos e positivos da teoria em projetos do setor de AEC.

Assim como constatado por Kiatake (2004), os pontos negativos percebidos no uso da metodologia dizem respeito à dificuldade de abordagem da arquitetura e construção como produto. Por vezes, foi necessário um nível de abstração muito alto dos conceitos da TRIZ para conseguir aplicá-los em projetos do setor de AEC, principalmente quanto ao uso das ferramentas analíticas, mais especificamente o PFP que não resultou em nenhuma solução prática.

Segundo Savransky (2000), existem algumas abordagens conhecidas para o desenvolvimento de metodologias de solução de problemas para engenheiros. Uma delas, baseada na análise de anedotas históricas ou entrevistas com pessoas bem

sucedidas na arte de resolver problemas, tem por objetivo criar um conjunto genérico de recomendações para resolução de problemas criativos, através da extração de técnicas utilizadas por pessoas unanimemente consideradas criativas. A desvantagem dessa abordagem se deve ao fato de que inventores, médicos, projetistas, engenheiros e outros profissionais criativos nem sempre são capazes de articular o seu próprio processo de criação.

Segundo o mesmo autor, outra abordagem de resolução de problemas estruturados envolve a tentativa de definir técnicas baseadas no funcionamento do cérebro humano, através do qual, cientistas cognitivos buscam construir sistemas voltados ao suporte de alguns campos específicos, normalmente pertencentes às áreas exatas. Nesse sentido, esses sistemas são muito úteis para resolver problemas de rotina, principalmente àqueles que requerem numerosos cálculos ou grandes quantidades de informação. Essa segunda abordagem, portanto, não é bem sucedida para solução de problemas inventivos.

As duas abordagens contam com fontes de conhecimento superficial e limitado, referente a problemas imediatos e sua solução associada. Já a TRIZ recorre a uma fonte de conhecimento prescritivo, com soluções “catalogadas”, em mais de uma situação, utilizando mecanismos de transferência e analogia.

Por outro lado, conforme Kiatake (2004), o campo da arquitetura mistura tecnologia com arte, que por sua vez não está necessariamente atrelada à inovação tecnológica. Assim, o conceito de inovação, na arquitetura, muitas vezes, relaciona-se a novas composições, desenhos e interpretações histórico-conceituais. Esse aspecto subjetivo da arquitetura é essencial e, neste sentido, permanece alheio ao método classificatório utilizado dentro da TRIZ, embora possa ser evidenciado na estruturação do problema, propiciando um entendimento mais objetivo.

Como pontos positivos, pode-se frisar que a metodologia não só encurta o processo de projeto como também confere maior domínio do mesmo aos seus integrantes. Sem dúvidas, a utilização da TRIZ em projetos do setor de AEC oferece um método alternativo ao tradicional “tentativa-e-erro” uma vez que suas ferramentas induzem a completa estruturação do problema, tornando possível sua releitura. Isto é, as contradições existentes no projeto são abstraídas a um problema genérico, no qual as soluções já são conhecidas, possibilitando, por analogia, atingir soluções únicas para o problema específico.

Nesse sentido, a utilização da metodologia rompe a inércia psicológica quando obriga o indivíduo a ter um amplo conhecimento de todas as partes do problema, es-

truturando-o da melhor maneira possível, para tornar exequível a aplicação dos PIs. Isso enriquece o repertório de projeto, tornando-o mais confiável e eficaz. Além disso, com o domínio total do processo de projeto, a transmissão do conhecimento gerado torna-se factível.

Outro aspecto positivo muito relevante dá-se ao fato da mudança no paradigma de como os arquitetos enxergam o problema na arquitetura. Geralmente, os projetos de arquitetura são vistos como únicos, pressupondo-se que só existe uma forma de resolver aquele problema específico, ou seja, que cada projeto geraria uma solução inédita enquanto, na realidade, muitas vezes o que ocorre é a “reinvenção da roda”. É claro que pode haver uma unicidade e exclusividade em relação aos aspectos artísticos da arquitetura, mas em termos práticos e funcionais várias invenções que já existem, inclusive em outros setores industriais, podem e devem contribuir para uma prática de projeto mais eficiente.

Em contrapartida, os profissionais da indústria de construção civil tendem ao tradicionalismo e, apesar das diversas iniciativas de incentivo à inovação, o setor ainda encontra grande resistência. Seja por segurança ou por já possuir o *know-how* de determinada técnica construtiva, a quebra de paradigma aqui está relacionada a ampliar o horizonte e enxergar como os padrões de evolução tecnológicos podem beneficiar suas práticas construtivas, gerando soluções inovadoras.

Por fim, o aspecto positivo mais relevante que pôde ser percebido com os resultados desse estudo de caso, e que motiva a continuidade do desenvolvimento da TRIZ para projetos do setor de AEC, é a possibilidade de atingir o objetivo final de maneira mais rápida e eficiente. De um lado, a teoria incentiva os projetista a realizar a classificação dos requisitos conflitantes e abstrair as possíveis soluções em termos de PIs, chegando muito próximo de uma solução ideal já que esse método visa à eliminação completa das contradições de projeto invés do estabelecimento de compromissos entre elas. Por outro lado, possibilita estruturação plena do problema por parte do cliente, que muitas vezes só consegue enxergar as contradições conforme o problema vai sendo resolvido e faz com que o processo de projeto se torne vagaroso e exaustivo.

Se por um lado a aplicação da TRIZ em projetos do setor de AEC necessita de um alto grau de abstração de seus conceitos - e por isso é fundamental sua adaptação – por outro lado a teoria confere uma metodologia que guia e direciona o processo de projeto num caminho que tende ao resultado final ideal.

7 Conclusões e Considerações Finais

Esta pesquisa teve como finalidade explorar a sistematização do processo de tomada de decisões em projetos do setor de AEC a partir de um instrumento baseado nos conceitos fundamentais da TRIZ. Para tanto, o embasamento teórico do trabalho iniciou-se, no Capítulo 2, pela apresentação das características e particularidades de projetos realizados no setor de AEC, assim como, características da natureza da atividade de projetar, englobando aspectos colaborativos e de suporte ao processo de projeto. No Capítulo 3, foram apresentados todos os conceitos e aspectos relevantes da TRIZ que possibilitassem o entendimento da teoria para sua aplicação.

O desenvolvimento do trabalho seguiu duas etapas: primeiro era de extrema importância adaptar a TRIZ clássica para a realidade dos projetos do setor de AEC (Capítulo 4), viabilizando sua utilização e fazendo emergir uma nova interpretação da teoria adaptada a esse contexto (Capítulo 5). Depois, a nova interpretação pôde ser aplicada em um estudo de caso real, testando a funcionalidade da mesma em projetos desse setor (Capítulo 6).

7.1 Conclusões

Muito se falou no Capítulo 2 sobre as novas tecnologias que surgiram nas áreas de AEC para apoiar o processo de tomada de decisões em projetos. A mais recente e robusta, que ainda não encontrou seus limites de aplicação, é a metodologia BIM que consegue ser utilizada em todas as fases do empreendimento e pode ser combinada a diversas ferramentas para apoiar a atividade de projeto. Compartilhando de alguns objetivos e benefícios semelhantes, o BIM e a TRIZ têm muito a agregar ao processo de projeto se forem utilizados como metodologias complementares. Ambos tendem à perfeita estruturação do problema e conferem agilidade na busca pelo resultado final ideal de projeto.

Outro ponto interessante notado foi em relação ao uso de desenhos e plantas como forma de linguagem. O fato do cliente em questão não ser da área de AEC criou um obstáculo na fase de definição dos requisitos iniciais de projeto durante o estudo preliminar, uma vez que, apesar de saberem quais eram suas necessidades, não existia uniformidade entre a visão das duas partes (projetistas-funcionários do hospital). Somente quando as primeiras soluções eram apresentadas, por meio de croquis e plantas, que o cliente passava a “enxergar” melhor o problema. O uso desses objetos

intermediários possibilita a convergência de ideias para a solução final. Da mesma forma, para alcançar as soluções obtidas pela TRIZ, foi necessário analisar, a partir das plantas, quais princípios e objetivos poderiam oferecer resultados melhores.

Além disso, com a realização do estudo de caso foi possível observar na prática como a TRIZ é capaz de contribuir para projetos do setor de AEC. Verificou-se que o uso direto dos PIs da TRIZ clássica culminou, mesmo que em menores proporções, a emergência de algumas ideias. No entanto, foi com o uso da teoria adaptada para a realidade do setor que um número significativo de soluções foi atingido. A metodologia utilizada permitiu, assim, uma delimitação do espaço de busca por soluções, possibilitando uma forma alternativa para projeto ao tradicional método de tentativa-e-erro. É importante ressaltar que essa adaptação foi realizada pela interpretação de uma pessoa (a autora deste trabalho). Certamente, se outro indivíduo fizesse a associação dos os PIs da TRIZ para os objetivos específicos do setor de AEC, o resultado não seria idêntico. Essa variação existe em função da experiência e do repertório de projetos que cada um possui.

Ademais, o alto grau de abstração necessário para transformar 40 princípios, obtidos a partir da análise de milhares de patentes estudadas intensamente por décadas, em 18 objetivos específicos do setor de AEC, conferiu grande complexidade a elaboração dessa dissertação. Além da enorme subjetividade imposta para encaixar os PIs de projeto de produtos dentro dos objetivos de projetos de AEC, em alguns casos houve dificuldade de modelar os requisitos conflitantes de projeto em termos de contradições técnicas. Nos casos de “contradições *soft*” (menos técnicas), como a contradição 5b do item 6.2.2.3, a TRIZ não se mostrou tão eficiente em termos de sistematização do processo de busca de soluções.

Outra conclusão interessante relaciona-se com o aspecto intuitivo da resolução de problemas inventivos. Como a análise do estudo de caso foi realizada após as últimas reuniões de projeto, a autora já tinha em mente qual percurso o projeto percorreu até chegar à solução final. Com isso, muitas das soluções oferecidas para eliminar as contradições a partir da TRIZ coincidiram com soluções sugeridas pelo próprio cliente, como por exemplo: localizar os móveis de maneira central para fazer a separação dos medicamentos no entorno dele (PI-17: transição para uma nova dimensão), uso de janelas do tipo *pass through* (objetivo (k) praticidade), entre outras. Assim, percebe-se que, tanto os PIs da TRIZ clássica, quanto os objetivos de AEC, podem ter sido utilizados de maneira inconsciente pelos funcionários do hospital, atingindo, de maneira intuitiva, as mesmas soluções. No entanto, é fundamental perceber que se a TRIZ fosse aplicada na fase inicial de projeto, junto aos funcionários, as ideias que resulta-

ram na solução final teriam emergido mais rapidamente, ganhando tempo e evitando retrabalho.

A conclusão anterior ficou evidente quando se analisou a situação específica da farmácia. Nesse caso, o programa de necessidades foi estabelecido em uma primeira reunião com a chefia da farmácia, gerando a primeira solução dada pela equipe de projetos (alunos de engenharia civil). Quando a solução inicial foi apresentada às funcionárias da farmácia, novas necessidades que não haviam sido evidenciadas na primeira ocasião foram percebidas. Após algumas reuniões para atender aos novos requisitos que foram surgindo com as mudanças no projeto, apresentou-se a planta para uma terceira integrante, funcionária da farmácia de outro hospital que tinha muita experiência na área e que já havia trabalhado no local e, como esperado, novos requisitos surgiram modificando o projeto mais uma vez. Essa situação deixa claro que as contradições do projeto não foram totalmente identificadas em um primeiro momento, gerando muitas mudanças no projeto e, conseqüentemente, demandando mais recursos que o esperado. Mais uma vez, é bem provável que se as ferramentas analíticas (QSI) e baseadas no conhecimento (MPI) da TRIZ tivessem sido utilizadas, por todas as partes no início do processo, esse caminho teria sido encurtado.

Dessa forma, o trabalho conseguiu responder às questões iniciais da pesquisa, que eram: até que ponto a utilização de modelos facilita a descoberta de relações entre os elementos do projeto, possibilitando a emergência de ideias; e como é possível delimitar o espaço de busca por soluções, de forma sistemática e eficaz.

7.2 Sugestões para trabalhos futuros

A TRIZ vem sendo experimentada em diversos campos do conhecimento. Em algumas áreas, como a de negócios, seu desenvolvimento já está bem avançado, mas em outras áreas como a de projetos de arquitetura e na construção civil, seu uso ainda é incipiente e precisa ser testado.

O fato de ter sido realizado um único estudo de caso para testar a aplicação da nova interpretação da TRIZ em projetos do setor de AEC era um aspecto limitante já esperado, que reduziu a abrangência da pesquisa e não permite a generalização dos resultados. Para tanto, é necessário realizar outros de estudos de caso, aplicados à experimentação das ferramentas da TRIZ na execução de problemas de projeto reais do setor de AEC. Este trabalho deu continuidade à iniciativa de Kiatake (2004), que, através da aplicação do MPI a um problema particular de projeto arquitetônico, apre-

sentou evidências sobre a importância da sistematização do conhecimento do arquiteto. Dessa forma, a primeira sugestão de trabalho é no sentido de realizar outros estudos de caso que testem a aplicação do MPI em projetos de AEC.

Além do MPI, seria interessante adaptar e testar outras ferramentas da TRIZ na área de AEC, como: método da separação, análise de substância-campo e tendências da evolução dos sistemas técnicos.

Uma das dificuldades encontradas nesse estudo de caso, que ocorre na maioria dos projetos de AEC, relaciona-se ao entendimento das necessidades do cliente na fase inicial do projeto. Por isso, assim como tem acontecido em projetos de produtos mecânicos, a associação de técnicas como o QFD também poderiam ser testadas naquele tipo de projeto.

Em uma possibilidade futura mais ousada, a TRIZ poderia ainda ser inserida nas ferramentas que utilizam o BIM, no sentido de automatizar a criação de cenários alternativos de projeto, a partir dos PIs, auxiliando na busca pela solução ideal. No entanto, a etapa de identificação das contradições existentes em um determinado projeto, por ser muito subjetiva e conceitual, ainda seria direcionada pelo pensamento humano.

Outra dificuldade identificada durante a adaptação da teoria clássica para a nova interpretação foi no que concerne a falta de um banco de conhecimentos de projetos do setor. Um trabalho interessante, porém extenso, seria criar um banco de conhecimentos e de suporte computacional para esse tipo de projeto.

Por fim, para viabilizar e motivar as sugestões anteriores, seria interessante a realização de um trabalho que estruturasse os conceitos da teoria para serem aplicados no ensino de projetos. Sire, Haefelé e Dubois (2015) abordaram o desenvolvimento de um novo método educacional que buscava ensinar a TRIZ, simultaneamente, para alunos e professores de uma universidade francesa. Bertocelli, Mayer e Lynass (2016) analisaram como especialistas da TRIZ conseguiram passar os conceitos fundamentais da teoria para funcionários da GE *Global Research Munich*, durante reuniões curtas e fora do domínio técnico específico da empresa buscando criativas. O ensino eficaz da TRIZ para alunos de engenharia civil e arquitetura, levando em consideração a adaptação da mesma para a realidade de projetos do setor de AEC, é fundamental para a confiabilidade e eficiência da aplicação da teoria em novos projetos.

Apêndice A – Matriz de Contradições para o Setor de AEC

Resultado indesejado		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Peso de um objeto em movimento	Peso de um objeto estático	Comprimento de um objeto em movimento	Comprimento de um objeto estático	Área de um objeto em movimento	Área de um objeto estático	Volume de um objeto em movimento	Volume de um objeto estático	Velocidade	Força
1	Peso de um objeto em movimento	+	-	f, h, j, o, g, d, k, l, m, p	-	d, k, l, m, a, e, m, d, p	-	d, k, l, m, b, h, n, p, a, e, c	-	a, b, c, h, n, p, g, f, j, o, d, e,	g, k, l, n, c, h, m
2	Peso de um objeto estático	-	+	-	k, l, n, e, i, m, o, q, d, a, h, r	-	a, d, e, h, n, r, k, m, q, b, c, p	-	a, e, k, m, o, p, d, h, n, r, q, b, c	-	g, k, l, n, a, e, m, d, h, r
3	Comprimento de um objeto em movimento	g, f, h, j, o, d, k, l, m, p	-	+	-	f, h, j, o, a, d, e, m, q	-	k, m, a, d, e, f, q, h, n, r	-	a, d, k, m, n, r, f, q, g	a, d, e, m, k, l, n, f, q
4	Comprimento de um objeto estático	-	a, d, e, h, n, r, c, k, l, m	-	+	-	a, d, e, m, k, l, n	-	a, d, e, h, n, r, g, b, c, p, m, q	-	c, e, k, l, n
5	Área de um objeto em movimento	a, b, c, h, n, p, e, m, d, k, l, f, q	-	a, d, e, m, n, q, r, f, h, j, o, c, l	-	+	-	k, a, d, e, m, n, r, f, q	-	d, k, l, m, h, q, a, f, p	a, e, m, k, q, d, h, n, r, b, c, p
6	Área de um objeto estático	-	h, k, m, a, b, c, n, p, d, e, q, r, l	-	a, k, m, n, e, p, r, c, g	-	+	-	-	-	e, i, l, m, n, o, q, c, l, a, d, h, r
7	Volume de um objeto em movimento	a, b, c, h, n, p, k, m, d, l, e	-	e, i, l, m, n, o, q, k, a, f, q, d, h, r	-	e, i, l, m, n, o, q, k, a, f, d	-	+	-	d, k, l, m, a, f, q, e, p	f, h, j, o, a, d, n, r, e, m
8	Volume de um objeto estático	-	a, d, e, h, n, r, k, l, m, q	a, e, m, d, n, q, r	a, d, e, h, r, g, b, c, p, m, n, q	-	-	-	+	-	a, b, h, n, p, c, l, m
9	Velocidade	a, b, c, h, n, p, e, d, k, m, r	-	a, d, k, m, n, r, e, q, g	-	d, k, l, m, h, q, p	-	k, m, d, l, p	-	+	a, d, k, m, n, r, c, e, f, h, j, o
10	Força	g, e, i, l, m, n, o, q, h, c	c, l, a, d, k, m, n, r, e, i, o, q	a, d, e, m, n, p, r	c, e, k, l, n	a, e, m, k, l, n, f, h, j, o	e, i, l, m, n, o, q, c, h	f, h, j, o, e, n, p, r, g, m	a, b, c, h, n, p, e, l, m	a, d, k, m, n, r, c, e, f, h, j, o, g	+
11	Tensão, Pressão	k, l, n, e, m, h, a	a, d, k, m, n, r, l, c	a, d, h, n, r, e, m, k, l	a, d, e, h, r, e, i, l, m, n, o, q	k, l, n, f, h, j, o, e, m, c	k, l, n, f, h, j, o, e, m, h	a, e, g, k, l, n, d, h, r	a, d, e, h, n, r, b, c, g	a, e, g, k, l, d, h, n, r, m	e, m, a, d, h, n, r, l, p, r
12	Forma	g, k, l, n, d, m, a, e	f, h, j, o, k, l, n, a, m, d, e, q, r	d, l, m, a, e, k, o, p, f, q	a, d, k, m, n, r, e, q, l	a, e, k, m, o, p, f, q, l, n	-	a, d, e, m, n, q, r, f, h, j, o	k, m, a, b, c, h, n, p, d, e, r	a, d, e, h, n, r, f, j, o, m, p, c, l	a, d, e, r, k, l, n, h, m
13	Estabilidade de um objeto	l, n, p, r, a, d, e, h, b, c, p, g	e, i, l, m, n, o, q, a, k, c, g	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k, r, f, h, j, c	h, m	a, b, c, h, p, d, r, k, m, n	c, g	c, e, k, l, n, a, m, c, g	m, p, c, e, a, d, h, n, r	a, e, f, h, j, o, c, l, n	k, l, n, a, d, e, h, r, p, m
14	Força	e, i, l, m, n, o, q, g, f, h, j, a	a, e, a, k, m, n, l, m, e, i, l, m, n, o, q	e, i, l, m, n, o, q, f, j, o, g, a, d, h, r	f, h, j, o, a, d, e, m, n, q, r, c, k	a, d, e, l, n, q, r, m, p, k	e, n, p, r, a, c	k, l, f, h, j, o, a, d, e, m, n, q, r	e, p, a, d, m, n, q, r, f, h, j, o	g, a, d, k, m, n, r, e, q	k, c, a, d, e, l, r, m, n, q
15	Duração de um objeto em movimento	a, e, m, k, o, p, c, d, n	-	a, b, c, h, n, p, e, m, e, r	-	a, d, e, l, n, q, r, m	-	k, l, n, a, b, c, h, p, e, m, q	-	a, d, e, l, n, q, r, h, n, k, m, o, p	a, e, m, b, c, h, n, p, l
16	Duração de um objeto estático	-	a, e, g, k, l, m, n	-	e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r	-	-	-	a, d, e, h, n, r, m, p	-	-

Resultado indesejado		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Peso de um objeto em movimento	Peso de um objeto estático	Comprimento de um objeto em movimento	Comprimento de um objeto estático	Área de um objeto em movimento	Área de um objeto estático	Volume de um objeto em movimento	Volume de um objeto estático	Velocidade	Força
17	Temperatura	e, m, a, g, k, l, d	a, m, d, e, h, n, r, o	f, h, j, o, a, m, e, n, p, r	f, h, j, o, a, e, m, n, p, r	a, d, e, l, n, q, r, h, c, g	a, d, e, h, n, r	m, p, c, g, a, e, c, l, n	a, d, e, h, n, r, g, k, l, f, m, q	a, b, c, h, n, p, e, m, k, q	a, d, e, h, n, k, l, q, r, p
18	Brilho	a, e, m, i, l, n, o, q, d	a, d, m, n, o, e, h, r, b, c, p	a, e, m, d, n, o, l		a, e, d, m, n, o, k		a, b, c, h, p, d, k, m, n, r, l		k, l, a, d, m, n, r, e	a, k, m, n, e, g, l
19	Energia gasta por um objeto em movimento	g, o, r, c, l, n, c, e, d, m	-	g, o, r, c, e	-	f, h, j, o, a, e, m, l	-	a, d, e, h, r, k, m, n, c, l	-	g, f, h, j, o, a, d, e, n, r, f	a, k, m, n, l, r, b, c, h, p
20	Energia gasta por um objeto estático	-	a, e, m, n, p, r, g, k, l	-		-		-		-	e, m, h
21	Potência	g, a, e, k, l, d, c, d, m, n	a, e, k, m, n, d, l	e, l, l, m, n, o, q, k, a, d, h, r		a, e, m, d	a, d, e, m, n, o, k, r	a, d, e, h, n, r, g, k, l	h, k, m, q, a, g, l, e	f, h, j, o, a, d, e, n, r, b, c, p	d, e, h, r, a, k, m, n, b, c, p
22	Desperdício de energia	f, h, j, o, a, e, g, k, l, m, c,	a, e, m, g, k, l, c, n, p, r	k, m, a, b, c, h, n, p, e, g, l, d, r	a, e, g, k, l, d, m	f, h, j, o, a, k, m, n, d, e, q	a, d, e, m, k, h, q, c, l, n	k, m, c, l, n, d, e	k, m	a, l, m, n, d, e, h, r	e, m, d
23	Desperdício de substância	a, d, e, h, n, r, g, k, l	a, d, e, h, n, r, g, k, l, m, o	a, d, e, m, n, q, r, d, l, k, c, g	k, l, n, c, e, a, b, d, g	a, d, e, h, n, r, b, c, p, k, l, m	k, l, n, c, c, d, m, g	e, i, l, m, n, o, q, d, k	a, d, e, l, n, q, r, g, c, m	l, a, d, k, m, n, r, c	a, d, e, m, n, q, r, f, h, j, o, c, l
24	Perda de informação	k, l, n, a, b, c, d, g, e, h, r	k, l, a, d, e, h, n, r, m, o, p	e, i, l, m, n, o, q, a, k	a, k, m, n	h, k, m, q, a, n	h, k, m, q, a, l, n		a, b, c, h, n, p, m	a, k, m, n, d, o	
25	Desperdício de tempo	k, l, n, m, p, h, a, d, e, r	k, l, p, a, m, n, e, o	f, h, j, o, a, b, c, n, p, d, k, l, m		h, k, q, a, b, c, n, p, e, m, n, r, o, p	a, k, m, n, f, q, e, o, p, l	k, l, n, a, d, e, h, r, m, f, q	a, b, c, h, n, p, e, k, m, o, l	a, d, e, h, r, l, m, n, o, c	k, l, n, h, m, a, e, o, p
26	Quantidade de substância	a, d, e, h, n, r, g, k, l, c, m	l, a, k, m, n, c, d, e, h, r	d, k, l, a, d, e, m, n, q, r, h, c		f, h, j, o, a, d, e, m, n, q, r, k, l	a, b, c, h, n, p, l, e, f, m, q	f, h, j, o, l, m, p, d, k		m, p, a, d, e, h, n, r, c, k, l	a, d, e, h, r, m, n, l, q
27	Confiabilidade	a, d, e, l, n, q, r, g, k,	a, d, e, l, n, q, r, k, g, c	f, h, j, o, e, p, r, a, d, m, n, q	f, h, j, o, d, k, l, m, c, e, d, n, r	a, d, e, k, l, m, n, q, r	a, d, m, n, o, e, h, r, f, q	a, d, e, l, q, r, k, m, n, q, b, c, g	a, b, c, h, n, p, d, e, r, g	l, n, p, r, a, d, e, h, c	g, c, e, k, l, n, a, d, q, r
28	Acuracidade de medição	a, d, m, n, o, e, h, r, k, c	c, e, a, d, h, n, r, l, m, k	c, e, a, k, m, n, o, p, l	a, d, m, n, o, c, e, l, q, r	a, k, m, n, c, e, d, o, l, q, r	a, k, m, n, c, e, d, o, l, q, r	a, d, o, k, m, n, r, e, g, l		c, e, a, d, k, m, n, r, o, b, g, p	a, d, m, n, o, b, c, h, p
29	Acuracidade de manufatura	c, e, a, d, m, n, o, k, r, l	c, e, a, d, h, n, r, l, m, p	k, l, n, c, e, d, m, h	a, b, c, h, n, p, d, m, o, k, l	c, e, a, d, k, l, m, n, o	a, b, c, h, p, d, k, l, m, n, e	a, d, m, n, o, e, l, b, c, h, p	e, l, m, a, d, h, n, r, k	k, l, c, e, a, d, m, n, o	c, e, a, m, p
30	Fatores prejudicial agindo no objeto	a, m, l, n, p, r, c, g	a, b, c, h, p, d, k, m, n, r, g	a, d, e, i, l, m, n, o, q, c, g, f	e, i, l, m, n, o, q, c	a, e, i, l, m, n, o, q, c	l, m, a, b, c, h, n, p, g, d, e, r	a, m, d, e, l, n, h, r	m, p, c, g, a, e, l	l, n, p, r, a, m, a, d, e, h, c	a, d, k, m, n, r, e, h, g, c, l
31	Efeitos prejudiciais secundários	a, e, m, a, f, h, j, o, c, g	a, d, e, h, n, r, m, i, l, o, q, c, g	f, h, j, o, a, l, m, n, d, e		a, d, e, m, b, c, h, n, p, l, n, g	a, m, e, i, l, m, n, o, q	a, d, e, m, b, c, h, n, p	h, k, m, q, c, l, n, a, d, e, r, f	a, d, e, h, n, r, c, l, q	a, d, e, h, r, c, l, l, m, n, o, q
32	Manufaturabilidade	c, e, d, k, l, m, f, h, j, o, a, n	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k, r	e, i, l, m, n, o, q, d, k, a, r	f, h, j, o, a, d, e, m, l	a, d, k, m, n, g, o, r, e, i, l, o, q	a, l, m, n, e	a, d, k, m, n, r, l, e, i, o, q	a, d, e, h, n, r	a, d, e, h, r, k, m, n, g, i, l, o, q	a, d, e, h, n, r, g, o

Resultado indesejado		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Peso de um objeto em movimento	Peso de um objeto estático	Comprimento de um objeto em movimento	Comprimento de um objeto estático	Área de um objeto em movimento	Área de um objeto estático	Volume de um objeto em movimento	Volume de um objeto estático	Velocidade	Força
33	Conveniência de uso	e, l, m, a, b, c, h, n, p, d, k, r, f, j, o	a, e, g, k, l, d, m, n, r, i, o, q	e, i, l, m, n, o, q, a, d, g, r, k		e, i, l, m, n, o, q, a, d, k, r	c, a, l, m, n, f, h, j, o, g	a, d, e, h, r, l, m, n, f, j, o, i, q	a, f, q, c, l, n, e, m, d	c, l, a, d, k, m, n, r	c, e, a, d, k, m, n, r, h
34	Mantenabilidade	a, b, c, h, n, p, l, m, d, e, r	a, b, c, h, n, p, l, m, d, e, r	e, i, l, m, n, o, q, c, k	a, d, e, l, n, q, r, c, m	f, h, j, o, a, d, k, m, n, r, o	a, l, m, n, e	e, l, m, a, b, c, h, n, p, d, r	e, i, l, m, n, o, q	m, p, e, n, r	e, i, l, m, n, o, q, d, r, k
35	Adaptabilidade	e, i, l, m, n, o, q, a, e, g, k, f, h, j	a, e, m, f, h, j, o, l, n, d, k	a, d, e, h, r, e, i, l, m, n, o, q, k, b, c, p	e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r	a, d, e, h, n, r, h, k, m, q, l	f, h, j, o, a, l, m, n	f, h, j, o, a, d, e, n, r, k, l, m		a, d, e, h, r, k, l, n, m, q	f, h, j, o, a, d, e, m, l, p
36	Complexidade do dispositivo	a, k, m, n, h, q, p, e	a, b, c, h, n, p, k, m, d, e, r, g	e, i, l, m, n, o, q, a, k, b, c, d, g	a, k, m, n	a, d, e, m, n, q, r, i, l, o, k	a, e, g, k, l, m	p, a, k, m, n, e, g, l	e, i, l, m, n, o, q, a	m, p, k, l, n, c, e	a, k, m, n, l
37	Complexidade do controle	a, k, m, n, l, c, e, d, r	a, e, g, k, l, d, m, n, r, c, i, o, q	a, l, m, n, d, e, k	a, k, m, n	a, b, h, p, d, k, m, n, r, c, l, e	a, b, c, h, n, p, g, k, m, q, l	d, k, e, i, l, m, n, o, a, f, q	a, b, c, h, p, l, n, k, m, d	a, d, e, l, q, r, f, q, m, n, h	h, k, m, q, c, e, a
38	Nível de automação	c, e, a, k, m, n, l, d, h, r	c, e, a, k, m, n, d, h, r, l	a, d, e, m, n, q, r, k, c	d, e, l, n	a, d, e, q, k, m, n, r		a, d, e, h, r, k, m, n, l		c, e, k, l, n	a, b, c, h, n, p, d, e, r
39	Produtividade	a, d, e, h, n, r, k, m, b, c, g	c, e, l, m, f, h, j, o, a, d, n, q, r	c, l, n, a, f, m, q, d, e	h, k, q, a, d, e, m, n, r	k, l, a, m, n, p, c, d	k, l, n, a, d, e, h, r, m	a, b, c, h, n, p, e, g, k, l, m	a, d, e, h, n, r, m, k, l, b, c, p		c, e, f, h, j, o, k, l, n, m

Resultado indesejado		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Tensão, Pressão	Forma	Estabilidade de um objeto	Força	Duração de um objeto em movimento	Duração de um objeto estático	Temperatura	Brilho	Energia gasta por um objeto em movimento	Energia gasta por um objeto estático
1	Peso de um objeto em movimento	k, l, n, e, m, h, a	k, l, a, d, e, m, n, q, r, h	a, d, e, h, n, r, c, g, i, l, m, o, q	c, e, l, m, n, a	a, e, k, m, o, p, c, d, n, h, r	-	a, e, g, k, l, d, m, f, q	a, e, i, l, m, n, o, q, d, o	a, d, e, h, n, g, o, r, m, p, c	-
2	Peso de um objeto estático	a, d, k, m, n, r, d, l, c	a, d, k, m, n, r, l, e, q	a, k, m, n, c, g, e, i, l, m, o, q	c, e, l, m, k, n, a, b, h, p	-	b, c, h, n, p, l, m, a, e, g, k	c, e, a, d, m, n, o	a, e, d, m, n, o, h, r	-	c, l, n, a, e, m, i, o, q
3	Comprimento de um objeto em movimento	e, i, l, m, n, o, q, g, a, d, h, r	e, i, l, m, n, o, q, g, k, d	e, i, l, m, n, o, q, g, f, h, j, p	g, a, d, e, h, n, r, k, l, m, p	a, e, m	-	k, l, n, f, h, j, o, a, e, m	a, d, m, n, o	g, a, d, e, h, n, r, b, c	-
4	Comprimento de um objeto estático	e, i, l, m, n, o, q, a, d, q, r, h	a, d, k, m, n, e, q, r, f, h, j, o	c, g, h, m, a, d, e, n, r	f, h, j, o, a, d, e, m, n, q, r, c, k	-	e, i, l, m, n, o, q, k, a, d, h, r	a, d, e, l, n, q, r, h, c	a, d, e, l, n, q, r, m	-	-
5	Área de um objeto em movimento	k, l, n, f, h, j, o, e, m, c	a, e, m, o, p, d, k, l, f, q	a, b, c, h, n, p, d, r, k, m, g	a, d, e, l, n, q, r, f, h, j, o, m	a, e, g, k, l, d, n, q, r	-	a, b, c, h, n, p, f, j, o, l, m	f, h, j, o, a, d, m, n, e, k, r	a, e, m, d, n, o	-
6	Área de um objeto estático	k, l, n, f, h, j, o, e, m, h		d, e, a, b, c, h, n, p	a, e	-	a, b, c, h, n, p, k, l, e, m, q	a, d, e, h, n, r, c, g		-	
7	Volume de um objeto em movimento	a, e, g, k, l, d, n, r, m, h	e, i, l, m, n, o, f, h, j, a, f, q, d, k	c, e, k, l, n, i, m, o, q, g	n, p, a, d, e, m, q, r, f, h, j, o, k	a, e, g, k, l, d, h, n, r, f, m, q	-	m, p, c, g, k, l, n	a, b, c, h, n, p, d, k, m, r, l	a, d, e, h, n, r	-
8	Volume de um objeto estático	a, b, c, d, g, e, h, n, r	k, m, a, b, c, h, n, p, d, e, r	m, p, c, e, a, d, h, n, r	e, p, r, a, d, m, n, q, f, h, j, o	-	a, d, e, h, n, r, m, p	a, d, e, h, n, r, g, k, l, f, m, q		-	
9	Velocidade	a, e, g, k, l, c, n, d	a, d, e, h, n, r, m, p, c, l, f, j, o	c, e, a, i, l, m, n, o, q	g, a, d, e, l, n, q, r, k, m, r	a, d, e, l, n, q, r, m, h, k, o, p	-	c, e, h, k, m, q, a, b, n, p	l, a, d, k, m, n, r, e	g, f, h, j, o, a, d, e, n, r	-
10	Força	c, l, n, p, d, r	k, l, n, m, p, a, d, e, h, r	a, d, e, h, n, r, k, l, p	a, d, e, h, n, r, k, l, m, q	a, e, m, b, c, h, n, p		a, d, e, h, r, k, l, n, p	-	a, e, m, d, k, l, n	e, i, l, m, n, o, q, a, h
11	Tensão, Pressão	+	a, d, e, h, n, r, m, q, f, j, o, k, l	a, d, e, h, n, r, b, c, p	e, n, p, c, l, a, d, q, r	a, e, m, d, l, n, q, r		a, d, e, h, n, r, c, g, m, b, p	-	a, d, e, m, n, q, r, b, c, g, k, l, h	
12	Forma	a, d, e, r, f, h, j, o, k, l, m, n, q	+	a, e, i, l, m, n, o, c, f, q	h, k, m, a, e, d, m, n, q, r, l	a, d, e, m, n, q, r, k, p, l		a, d, e, m, n, q, r, o	a, d, k, m, n, r, f, h, j, o	a, b, c, h, n, e, g, k, l, m, p, d, q, r	
13	Estabilidade de um objeto	a, b, c, h, n, p, d, e, r	a, e, i, l, m, n, o, q, c, f	+	a, d, e, m, n, p, r, f, h, j, o	m, n, r, k, l, n, a, d, e, h	c, g, a, d, e, l, n, q, r, m	a, d, e, h, r, m, n, o, i, l, q	a, d, m, n, o, e, l, q, r	a, d, k, m, n, r, e	l, m, a, f, q, d, k, c, n
14	Força	k, l, n, a, d, e, q, r, c	k, l, n, a, d, e, h, r, m, q	a, d, k, m, n, r, e, h	+	l, m, k, n, a, d, e, q, r		h, k, m, q, l, n, a, e	a, d, e, h, n, r, m	a, e, m, d, h, n, r, k, l	a, d, e, h, n, r
15	Duração de um objeto em movimento	a, e, m, d, l, n, q, r	a, d, e, m, n, q, r, k, c, l	a, d, k, m, n, r, e, l, q, h	l, m, a, d, e, n, q, r, k	+	-	a, e, m, d, h, n, r, c, g	a, d, e, h, n, r, m, b, c, p, f, q	c, e, a, g, k, l, d, h, n, r	
16	Duração de um objeto estático			c, g, a, d, e, h, n, r, l, q		-	+	c, l, n, a, e, m		-	

Resultado indesejado		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Tensão, Pressão	Forma	Estabilidade de um objeto	Força	Duração de um objeto em movimento	Duração de um objeto estático	Temperatura	Brilho	Energia gasta por um objeto em movimento	Energia gasta por um objeto estático
17	Temperatura	a, d, e, h, n, r, c, g, m, b, p	a, d, e, m, n, q, r, o	e, i, l, m, n, o, q, a, d, e, h, r	k, l, n, h, m, q, a, e	a, e, m, d, k, n, r, c, g	a, e, m, c, l, n	+	a, d, m, n, o, h, k, q, l, p, r	a, e, m, f, h, j, o, d, l, n, q, r	
18	Brilho		a, d, m, n, o, h, k, q	a, d, m, n, o, l, e, q, r	a, d, e, h, n, r, m	a, b, c, h, n, p, a, e, m, g, k, l		a, d, m, n, o, e, h, r	+	a, d, m, n, e, i, l, o, q	a, d, m, n, o, e, h, r, i, l, q, f, j
19	Energia gasta por um objeto em movimento	d, e, l, a, m, n, q, r	g, o, r, a, b, c, h, n, p, d, k, l, m	a, e, d, k, m, n, r, b, c, g	a, e, k, m, o, p, n, p, r, d, h	c, e, a, d, h, n, r, g, k, l		a, e, m, b, c, g, d, l, n, q, r	a, b, c, h, n, p, f, j, o, e, m	+	-
20	Energia gasta por um objeto estático			m, a, f, q, d, k, l, c, n	a, d, e, h, n, r				a, d, e, h, n, r, m, o, b, c, p	-	+
21	Potência	a, m, k, l, n, d, e, h, r	k, l, a, d, e, m, n, q, r, b, c, h, p	a, d, e, h, r, m, n, o, c, f, j	a, k, m, n, l, c, e	a, e, m, d, h, n, r, k, l	a, l, m, n	a, b, c, h, n, p, d, e, m, q, r, l	a, l, m, n, e, g, k	a, e, g, k, l, m, n, h	
22	Desperdício de energia			a, d, e, m, n, q, r, b, c, h, p, g, k, l	a, k, m, n			a, e, m, d, k	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k, r, f, h, j		
23	Desperdício de substância	a, d, e, l, n, q, r, m, h, k	d, k, l, m, a, e, h, n, r, q, o, p	a, b, c, h, p, d, e, m, n, r, k, q	a, d, e, h, n, r, c, m	c, e, l, m, a, d, q, r, n	l, a, m, n, c, d, e	l, n, p, r, e, m, g, c, d	e, i, l, m, n, o, q, a, g, k, d, r	a, d, e, h, n, r, c, l, b, g, k, m, o, p	c, e, l, m, g, o, r, d, n
24	Perda de informação					k, l, n	k, l, n		a, e, m		
25	Desperdício de tempo	h, m, e, a, f, q	a, f, q, k, l, n, p, d, e, m	a, d, e, h, n, r, l, q, m, k, o, p	d, k, l, m, a, e, n, q, r, c	l, m, p, k, n, c, e	c, e, l, m, p, k, n, a	a, d, e, h, n, r, k, l, m, p, c	e, i, l, m, n, o, q, a, k, d	a, e, h, n, r, d, c, l, m	e, i, l, m, n, o, q
26	Quantidade de substância	k, l, e, a, d, m, n, q, r	a, d, h, n, r, e, m, q	f, h, j, o, b, c, n, p, d, m, a, e	a, d, e, m, n, q, h, n, r, p, k, l	a, d, e, l, n, q, r, k, h	a, d, e, l, n, q, r, c, m, h	a, d, e, l, n, q, r, m, c, g		m, p, d, k, l, a, n, c	a, d, e, l, n, q, r, h, c, m
27	Confiabilidade	k, l, n, a, b, c, d, g, e, h, r, m	a, d, e, h, r, i, l, m, n, o, q		d, n, r, c, e	a, b, c, h, n, p, d, e, l, q, r, m	m, p, l, a, e, g, k	a, d, e, l, n, q, r, h, k	r, a, d, k, m, n, o	l, n, p, r, d, m, a, e	e, m, d, l, n
28	Acuracidade de medição	a, e, g, k, l, c, d, m, n, o	a, e, g, k, l, c, d, m, n, o	a, d, e, h, n, r, m, o, k	c, e, a, g, k, l, d, m, n, o	a, d, m, n, o, c, e, g, k, l	l, n, a, b, c, d, g, k, m	a, e, g, k, l, m, c, b, c, d	a, d, m, n, o, e, i, l, q, g, k	a, d, e, l, q, r, g, k, m, n, o	
29	Acuracidade de manufatura	a, d, e, l, n, q, r, h	a, d, m, n, o, h, k, q, e	h, k, m, q, c, l, n	a, d, e, l, n, q, r, m	a, d, e, n, q, r, l, m		a, e, m, k, n	a, d, e, l, n, q, r, m, o	a, d, m, n, o, b, c, h, p	
30	Fatores prejudicial agindo no objeto	a, m, b, c, h, n, p	a, m, e, i, l, n, o, d, q, r, d, h	a, d, e, h, n, r, b, c, g, k, m, q, l	c, l, n, a, d, e, r, h, m, i, o, q	a, m, f, h, j, o, e, c	e, i, l, m, n, o, q, a, d	a, m, e, d, h, n, r, b, c, p	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k, r	e, i, l, m, n, o, q, a, g, k, b, c, d	k, l, n, a, b, c, h, p, m
31	Efeitos prejudiciais secundários	a, b, c, h, n, p, e, l, m	a, d, e, h, r, i, l, m, n, o, q	a, d, e, h, n, r, l, m, c, g	f, h, j, o, a, d, e, n, r, m, b, c, h, p	f, h, j, o, a, m, e, c, d, n	l, n, p, r, a, m, c, g	a, m, d, e, h, n, r, c, p, b, g	a, e, m, d, n, o, b, g, c	a, d, e, h, n, r, b, c, p, g, k, l	a, e, m, c, l, n
32	Manufaturabilidade	a, d, e, h, r, i, l, m, n, o, q	e, i, l, m, n, o, q, c, a, d, k, r	d, a, k, r, e, i, l, m, n, o, q	e, i, l, m, n, o, q, a, d, q, r, k	l, m, e, i, n, o, q, a, f, q	a, d, e, h, n, r, l, m, n	l, m, a, k, n, c	m, e, a, b, c, d, g, i, l, n, o, q	e, i, l, m, n, o, q, c, a, k	e, i, l, m, n, o, a, f, q

Resultado indesejado		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Tensão, Pressão	Forma	Estabilidade de um objeto	Força	Duração de um objeto em movimento	Duração de um objeto estático	Temperatura	Brilho	Energia gasta por um objeto em movimento	Energia gasta por um objeto estático
33	Conveniência de uso	a, b, c, h, p, d, m, n, g, o, r	f, h, j, o, m, p, d, k, l, c, e	h, k, q, m, n, o, a, d, e, r	a, d, m, n, o, e, d, l, q, r, c	d, k, l, m, a, e, n, q, r, g	e, i, l, m, n, o, q, a	a, k, m, l, d, n, r	a, d, k, m, n, r, e, i, l, o, q, b, c, g	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k, r, b, c, g	
34	Mantenabilidade	a, d, k, m, n, r	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k, r, b, c, h, p, f	a, d, e, h, n, r, b, c, p	d, e, i, l, m, n, o, q, a, b, c, h, p, r	d, n, r, l, m, c, e, k	e, i, l, m, n, o, q	a, f, m, q, k, l, n	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k, r, f, h, j	e, i, l, m, n, o, q, f, h, j, o, a, c	
35	Adaptabilidade	a, d, e, h, r, l, m, n	f, h, j, o, h, e, i, l, m, n, o, q, g	a, d, e, m, n, r, h, k, q, h	a, d, m, n, o, e, h, r, l, q, g, k	a, d, k, m, n, r, e, i, l, o, q, h	a, b, c, h, n, p, l, m	l, m, a, b, c, h, n, p, d, e, q, r	e, i, l, m, n, o, q, a, g, k	a, d, e, h, n, r, k, l, m	
36	Complexidade do dispositivo	a, e, m, i, l, m, n, o, q, d, h, r	d, l, a, d, k, m, n, r, c, e, f, h, j, o	a, b, c, h, n, p, m, d, e	a, b, c, h, n, p, d, k, m, r, e	k, l, n, a, f, m, q, c, e, f, h, j, o		a, b, c, h, n, p, d, e, m, d, k, r	a, b, c, d, g, e, m, k, n, r	a, b, c, h, n, p, l, m, e, d, k	
37	Complexidade do controle	a, d, e, r, h, m, n, o	a, d, k, m, n, r, e, i, l, o, q, c, g	d, n, r, a, m, c, g, h, k, q	m, a, d, e, l, n, q, r, f, h, j, o, c	a, e, m, d, k, l, c, g	a, e, g, k, l, m, p, d, h, n, r	a, d, e, l, n, q, r, m, h	a, b, c, h, n, p, d, g, k, m	d, e, a, d, h, n, r	a, e, m, l, n, d, h, r
38	Nível de automação	a, d, k, m, n, r, e, h	f, h, j, o, a, d, m, n, o, e, i, l, o, q, k, r	c, e, i, l, m, n, o, q	e, l, a, d, k, m, n, r	a, e, g, k, l, n, p, r		a, k, m, n, b, c, h, p, e	g, a, d, m, n, o, e	a, d, m, n, o, k, r, b, c, h, p	
39	Produtividade	k, l, h, a, d, e, m, n, q, r	a, d, e, m, n, q, r, k, l, p	a, d, e, h, n, r, l, q, m, c, g	c, e, d, k, l, m, n	a, d, e, h, n, r, k, l, b, c, p	l, m, p, k, n, a, d, e	a, d, e, h, r, k, l, n, p, c	a, k, m, n, a, d, e, i, l, o, q	a, d, e, h, n, r, k, l, m	e, i, l, m, n, o, q

Resultado indesejado		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		Potência	Desperdício de energia	Desperdício de substância	Perda de informação	Desperdício de tempo	Quantidade de substância	Confiabilidade	Acuracidade de medição	Acuracidade de manufatura	Fatores prejudicial agindo no objeto
1	Peso de um objeto em movimento	g, o, r, e, m, c, l, d, n	a, e, g, k, l, b, c, h, n, p, m, e	a, e, k, m, o, p, d, h, n, r, l, q, c	k, l, n, a, b, c, g, d, e, h, r	k, l, n, a, d, e, h, r, m, p, c	a, d, e, l, q, r, k, m, n, c	e, i, l, m, n, o, a, d, q, r	c, e, l, m, a, d, e, h, n, r, k	c, e, a, d, h, n, r, k, m	a, m, l, n, p, r, c
2	Peso de um objeto estático	f, h, j, o, a, e, m, c, l, n	c, l, n, a, e, m, f, h, j, o	a, e, k, m, o, p, g, d, n, r, h, q	k, l, n, f, h, j, o, a, d, e, r	k, l, n, m, p, a, d, e, h, r	a, e, g, k, l, c, m, n	k, l, n, c, e, g, a, d, q, r	c, l, n, a, k, m, e	k, e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r	a, b, c, h, n, p, e, m
3	Comprimento de um objeto em movimento	e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r	k, m, a, b, c, h, n, p, d, e, r, g	a, f, m, q, d, k, l, e, n	e, i, l, m, n, o, q, a, b, c, d, g	f, h, j, o, a, b, c, n, p, d, k, l, m	d, k, l, m, a, d, e, h, n, r	k, l, n, a, d, e, m, q, r	c, e, a, d, m, n, o, f, q	k, l, n, c, e, g, h, m	e, i, l, m, n, o, q, f, h, j, a, d, b, c, g
4	Comprimento de um objeto estático	g, o, r	a, e, g, k, l, c	k, l, n, c, e, b, d, g, a, h, r	a, b, c, d, g, k, m, n	h, k, m, q, l, a, d, e, n, r		f, h, j, o, d, k, l, m, c, e	a, d, m, n, o, c, e, l, q, r	a, b, c, h, p, k, l, d, m, n, o	c, l, e, i, m, n, o, q
5	Área de um objeto em movimento	a, e, m, k, l, n, d, o, c	f, h, j, o, a, d, e, m, k, q, n	k, l, n, a, d, e, h, r, b, c, p, g	h, k, m, q, a, n	a, k, m, n, f, q	d, k, h, q, a, e, g, l, m, n, r	d, k, l, m, e, n, p, r	a, k, d, m, n, o, c, e, l, q, r	a, b, c, h, p, d, m, n, o	a, d, c, e, i, l, m, n, o, q
6	Área de um objeto estático	a, d, e, m, n, o	h, k, m, q, a, d, e	k, l, n, a, d, e, m, n, q, r, c, g	h, k, m, q, a, l, n	k, l, n, a, d, e, h, r, f, m, q, c	a, b, c, h, p, l, n, f, m, q, e	m, n, o, a, d, e, h, r, f, q	a, k, m, n, c, e, d, o, l, q, r	a, b, c, h, n, p, d, k, l, m, e	l, m, a, b, c, h, n, p, g, d, e, r
7	Volume de um objeto em movimento	a, d, e, h, n, r, g, k, l, m, c	k, m, f, h, j, o, a, d, n, r, l	k, l, n, e, m, p, c, g	a, b, c, h, n, p, m	a, b, c, h, n, e, g, k, l, m, p	d, k, l, m, h, q	a, d, r, e, i, l, m, n, o, q	e, l, m, a, k, n, c	e, l, m, e, a, b, c, h, n, p	a, m, l, n, p, r, d, e, h
8	Volume de um objeto estático	h, k, m, q, a, e, g, l		k, l, n, m, p, a, d, e, h, r, c, g		a, d, e, h, r, l, m, n, o, c	a, d, e, h, n, l, q, r	a, b, c, h, p, d, e, r, l, m, n		a, d, e, h, n, r, k, l, m	m, p, c, g, a, e, m, l
9	Velocidade	a, d, e, h, n, r, m, b, c, p	a, d, e, m, n, q, r, l, p, h	k, l, n, a, d, m, n, r, c, e	a, d, k, m, n, r		k, l, n, a, e, m, d	d, n, r, a, e, h, l, m, c	c, e, a, d, m, n, o, b, g, l, l, q	k, l, c, e, a, d, m, n, o	e, i, l, m, n, o, q, c, a, d, h, r
10	Força	c, l, n, a, e, m, d, h, r	a, d, e, m, n, q, r, f, h, j, o	g, a, d, e, h, n, r, k, m, o, p		k, l, n, h, m, e	a, d, e, m, n, q, r, k, l, c	a, d, e, h, r, l, q, k, m, n, p	k, l, n, a, d, e, h, r, b, c, g	c, e, d, k, l, m, h	e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r, c
11	Tensão, Pressão	a, d, e, h, n, r, k, l, m, q	a, b, c, h, n, p, m, e, l	k, l, n, a, d, e, q, r, m, h		h, m, e, a, f, q	k, l, n, a, d, e, m, q, r	k, l, a, d, m, n, r, e, h	a, e, g, k, l, c, m	a, d, e, h, n, r, l, q	a, m, b, c, h, n, p
12	Forma	a, b, c, h, n, p, f, m, q, e, g, k, l	a, d, e, m, n, q, r	a, d, e, h, n, r, d, k, l, m, q, o, p		a, d, e, m, n, q, r, k, l, p	e, m, a	k, l, n, a, e, m	c, e, a, d, m, n, o, i, l, q	h, k, m, q, a, d, n, o, e	a, m, e, i, l, n, o, q, b, c, h, p, d, r
13	Estabilidade de um objeto	a, d, m, n, o, e, h, r, l, c	a, d, e, m, n, q, r, b, c, h, p, g, k, l	b, c, h, p, a, d, e, m, n, q, r, k		a, d, e, h, n, r, l, m	f, h, j, o, a, d, m, n, e, r		a, d, k, m, n, r	c, l, n	a, d, e, h, n, r, b, c, g, k, m, q, l
14	Força	k, l, n, a, m, d, e, h, r, c	a, d, e, h, n, r	a, d, e, h, n, r, c, m		a, d, e, l, n, q, r, k, m, c	d, k, l, m, n	d, n, r, a, d, e, l, q	a, d, e, l, n, q, r, m	a, d, e, l, n, q, r, m	c, a, d, h, r, e, i, l, m, n, o, q
15	Duração de um objeto em movimento	a, d, e, h, r, k, l, n, m		c, e, l, m, a, d, n, q, r	k, l, n	l, m, p, k, n, c, e	a, d, e, l, n, q, r, k, h	d, n, r, a, b, c, h, p, k, m	a, d, e, l, n, q, r	a, d, e, l, n, q, r, m	a, m, f, h, j, o, e, c
16	Duração de um objeto estático	a, l, m, n		l, m, a, n, c, d, e	k, l, n	l, m, p, k, n, c, e, a	a, d, e, h, n, r, c, m, l, q	m, p, l, a, g, k, e	k, l, n, a, m, b, c, d, g		a, d, e, m, i, l, n, o, q

Resultado indesejado		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		Potência	Desperdício de energia	Desperdício de substância	Perda de informação	Desperdício de tempo	Quantidade de substância	Confiabilidade	Acuracidade de medição	Acuracidade de manufatura	Fatores prejudicial agindo no objeto
17	Temperatura	a, b, c, h, p, d, e, m, n, q, r, l	l, n, p, r, a, d, e, m, h	l, n, p, r, e, m, d, k, c		a, d, e, h, n, r, c, l, p	a, d, e, l, n, q, r, m, h, k, c, g	a, d, e, h, n, r, k, l, q, m	a, d, m, n, o, e, b, c, g	a, b, c, d, g	a, m, e, d, h, n, r, b, c, p
18	Brilho	a, d, m, n, o	a, d, k, m, n, r, l, e, i, o, q, g	a, d, k, m, n, r, e, l, l, o, q	e, i, l, m, n, o, q, a, g, k	e, i, l, m, n, o, q, a, k, d	e, i, l, m, n, o, q, a		d, n, r, f, h, j, a, m, o	a, d, e, l, q, r, m, n, o	f, h, j, o, a, e, m
19	Energia gasta por um objeto em movimento	a, e, g, k, l, m, c, n, h	g, r, a, m, f, h, j, o, b, c, d	a, d, e, h, n, r, b, g, c, l, k, m, o, p		a, d, e, h, n, r, d, e, c, l, n, a, e, m,	m, p, d, e, l, n, a, c	a, e, m, l, n, p, r, d	a, d, m, n, o, e, l, r, l, q		e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r, g, k
20	Energia gasta por um objeto estático			l, m, e, n, c, d			a, d, e, l, q, h, r, c, m, n	k, l, n, e, m, d			k, l, n, a, b, c, p, m, h
21	Potência	+	k, l, n, a, d, e, h, r	c, e, l, m, d, n	k, l, n, a, e, m	a, d, e, h, n, r, k, l, m, p, g	a, f, m, q, p, e	a, e, b, c, d, g, k, m, n	a, d, m, n, o, f, h, j, b, c, p	a, d, m, n, o, b, c, h, p	a, e, m, c, d, n, b, h, p
22	Desperdício de energia	a, d, e, l, n, q, r	+	a, d, e, h, n, r, l, m, b, c, p	k, l, n, a, e, m	k, l, m, c, n, a, d, o	k, m, c, l, n, e	a, d, e, h, n, r, k, l	a, d, m, n, o		l, n, p, r, m, d, e, h, a, b, c
23	Desperdício de substância	c, e, l, m, n, d	a, d, e, h, n, r, l, m, b, c, p	+		f, h, j, o, c, l, n, a, d, e, h, r, k	a, e, k, l, d, q, r, n, b, c, g	k, l, n, m, c, g, a, d, e, h, r	a, l, m, n, p, c, d, e	a, d, e, h, n, r, k, l, b, c, g, m	a, e, m, h, k, q
24	Perda de informação	k, l, n, a, e, m	a, e, m, k, l, n		+	a, b, c, d, g, k, m, n, e, o	a, b, c, d, g, c, e, h, n, r	k, l, n, c, e, d			a, m, k, l, n, e, i, o, q
25	Desperdício de tempo	a, d, e, h, n, r, k, l, m, p, g	k, l, n, a, e, m, o, p, c, d	a, d, e, h, n, r, k, l, c, g	a, b, c, d, g, k, m, n, e, o	+	a, d, e, h, r, c, l, m, n	k, l, n, h, m, a, f, q	a, b, c, d, g, p, e, m, n, o	a, b, c, d, g, k, m, n, e, l	c, l, n, m, p, a, d, e, h, r
26	Quantidade de substância	a, d, e, h, n, r	k, m, c, l, n, e	a, e, g, k, l, d, n, q, r, b, c	a, b, c, d, g, e, d, h, n, r	a, d, e, h, r, l, m, n, c	+	c, l, n, a, d, e, q, r	a, d, k, m, n, r, b, c, h, p, e	h, k, m, q, a, e	d, k, l, c, d, m, n, a, e, h, r
27	Confiabilidade	l, p, d, r, a, k, m, n, c	k, l, n, d, r, a, e, h	k, l, a, d, e, h, n, r, m, c, g	c, e, k, l, n	h, k, m, a, f, q, l, n	l, n, p, r, c, e, a, d, q	+	a, d, m, n, o, e, l, q, r	a, d, n, r, e, i, l, m, n, o, q	l, m, a, d, e, h, n, r, b, c, p
28	Acuracidade de medição	a, d, e, l, q, r, g, k, d, m, n, o	a, k, m, n, d, o, l	k, l, a, m, n, c, d, e		a, b, c, d, g, p, e, m, n, o	a, b, c, h, p, e, g, k, l, d, m, n, o	a, k, p, d, r, e, i, l, m, n, o, q	+		a, m, b, d, g, k, n, c, e
29	Acuracidade de manufatura	a, d, m, n, o, b, c, h, p	a, d, k, m, n, r, o, b, c, h, p	a, d, e, h, r, k, l, c, m, n, b, g		a, d, o, k, m, n, c, e, l	a, d, m, n, o, h, k, q	d, r, a, e, i, l, m, n, o, q		+	a, k, m, n, c, e, l
30	Fatores prejudicial agindo no objeto	a, e, d, m, n, b, c, h, p	l, n, p, r, a, m, d, e, h, b, c	a, e, m	a, m, b, c, h, n, p, k, l	c, l, n, m, p, a, d, e, h, r	a, d, h, n, r, e, k, l, m, c	l, m, a, b, c, d, g, h, n, p, e	c, e, a, d, l, k, m, n	c, e, a, k, m, n, l	+
31	Efeitos prejudiciais secundários	a, b, c, h, n, p, l, d, e, r	l, n, p, r, m, d, e, h, a, b, c	p, k, e, i, l, m, n, o, q	k, l, n, p, r, d, m	e, i, l, m, n, o, q, a	c, g, a, b, d, e, i, l, m, n, o, q, r	a, b, c, d, g, h, n, p, e	a, d, e, l, q, r, k, m, n	a, f, m, q, d, e, p, k, n	
32	Manufaturabilidade	l, m, e, i, n, q, g, o, r, a, b, c, d	a, e, m, d, h, n, r	f, h, j, o, a, e, m, p	a, d, m, n, o, b, c, g, l	a, d, e, h, n, r, c, m, p, f, q	h, r, d, a, b, c, g, e, i, l, m, n, o, q		a, d, h, e, i, l, m, n, q, g, o, r, c		a, b, c, d, g, h, n, p

Resultado indesejado		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		Potência	Desperdício de energia	Desperdício de substância	Perda de informação	Desperdício de tempo	Quantidade de substância	Confiabilidade	Acuracidade de medição	Acuracidade de manufatura	Fatores prejudicial agindo no objeto
33	Conveniência de uso	a, d, e, h, n, r, m, k, l, b, c, p	a, b, c, h, n, p, e, m, d, k, r	c, e, a, d, m, n, o, b, h, p, g	a, f, m, q, k, l, n	a, f, m, q, c, e, k, l, n, p	g, o, r, a, d, e, h, n	a, d, e, m, l, g	e, l, a, d, k, m, n, r, b, c, h, p	e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r	a, b, c, h, n, p, e, l, m, g
34	Mantenabilidade de	k, l, n, f, h, j, o, a, d, m, b, c, h, p	f, h, j, e, i, l, m, n, o, q, a, d	a, b, c, n, p, l, m, d, e, h, r		a, d, m, n, o, e, i, l, q, k	a, b, h, p, k, l, n, c, e, m	d, r, k, e, i, l, m, n, o, q, a	k, l, a, b, c, h, p, d, m, n, r	e, l, m, k, n	a, d, e, h, n, r, k, l, b, c, p, m
35	Adaptabilidade	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k	c, l, f, h, j, o, e, i, m, n, q	f, h, j, o, k, l, n, a, b, c, p, d, m, r		a, d, e, h, n, r, c	a, d, e, l, n, q, r, f, h, j, o	e, h, r, d, k, m, n, a, b, c, d, g	a, d, h, r, k, p, e, i, l, m, n, o, q		a, d, e, h, r, m, n, o, c
36	Complexidade do dispositivo	a, e, m, l, p, h, k, q	a, d, e, h, n, r, k, l, m, b, c, p	k, l, a, d, e, h, n, r, c, m		a, e, g, k, l, d, m	a, d, e, l, q, r, k, m, n	a, d, k, m, r, h, n, e, i, l, o, q	a, b, c, h, p, k, m, n, l	a, k, m, n, b, c, d, g, o	a, m, e, d, k, l
37	Complexidade do controle	c, e, i, l, m, n, o, q, a, k	a, d, e, h, n, r, f, h, j, o, l, q, m	e, i, m, n, o, q, l, n, k, a, b, c, d, g	a, d, e, h, n, r, l, m	c, l, e, a, d, m, n, o, p, r	a, d, e, l, n, q, r, m, k, c	l, m, a, e, c, g	a, b, c, d, g, k, e, m, n, o		a, m, e, d, k, l, c
38	Nível de automação	a, b, c, h, n, p, l, m, e	d, e, l, n, c	a, d, e, h, n, r, k, l, c, m, o, p	a, d, e, h, n, r	a, b, c, d, g, e, h, n, r, k, m, q	a, d, e, h, r, k, m, n	d, n, r, l, m, a, o	a, k, m, n, c, e, p, l	c, e, a, k, m, n, l, d	a, b, c, h, n, p, e
39	Produtividade	a, d, e, h, n, r, k, l, m, p	c, e, k, l, n, m, a, d, h, r	a, d, e, h, n, r, k, l, c	a, d, k, m, n, r, f, h, j, o, e, l		a, d, e, h, n, r	a, d, h, r, k, e, i, l, m, n, o, q	e, i, l, m, n, o, q, k, p, c	c, k, e, i, l, m, n, o, q, a, d	a, m, d, e, h, n, r, k, b, c, g

Resultado indesejado		31	32	33	34	35	36	37	38	39
		Efeitos prejudiciais secundários	Manuturabilidade de	Conveniência de uso	Mantenabilidade	Adeptabilidade	Complexidade do dispositivo	Complexidade do controle	Nível de automação	Produtividade
Parâmetro a alterar										
1	Peso de um objeto em movimento	a, m, d, e, h, n, r, c, g	c, e, i, l, m, n, o, q	a, d, e, h, n, r, l, q, a, b, c, p, g	a, b, c, h, n, p, d, r, l, m, e	d, k, l, m, a, e, o, p, f, h, j, g	a, k, m, n, e, h, q, p	c, e, l, k, a, d, m, n, o	a, k, m, n, d, e, h, r, c, l	a, d, e, h, n, r, l, q, b, c, g, m
2	Peso de um objeto estático	a, d, h, r, e, i, l, m, n, o, q, c, g	c, e, i, l, m, n, o, q, p, r	a, e, g, k, l, r, e, i, l, m, n, o, q, d	a, b, c, h, n, p, l, m, e, d, r	a, e, m, f, h, j, o, d, k, l	e, i, l, m, n, o, q, k, a, c, g	e, l, m, c, a, d, f, h, j, o	a, b, c, h, n, p, k, m, d, e, r	e, i, l, m, n, o, q, c, f, h, j, a, d, r
3	Comprimento de um objeto em movimento	a, d, e, m, f, h, j, o	e, i, l, m, n, o, q, d, k, a	f, h, j, o, d, k, l, m, a, e, h, n, r, q	e, i, l, m, n, o, q, k, c, e	a, d, e, r, f, h, j, e, i, l, m, n, o, q	e, i, l, m, n, o, q, k, a, b, c, d, g	a, d, h, r, e, i, l, m, n, o, q, k, b, c, g	a, d, e, b, c, g, k, m, n, l	a, d, e, m, n, q, r, f, c, k, l
4	Comprimento de um objeto estático		f, h, j, o, a, d, e, m, l	e, l, m, a, b, c, h, n, p	a, d, e, l, n, q, r	e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r	a, k, m, n, e, i, l, o, q	a, k, m, n		h, k, a, d, e, m, n, q, r
5	Área de um objeto em movimento	a, b, c, h, n, p, d, e, m, l, g	k, a, b, c, d, g, r, e, i, l, m, n, o, q	f, h, j, o, l, m, n, a, d, e, k, r	f, h, j, a, d, k, r, e, i, l, m, n, o, q	f, h, j, o, k, m, q	a, d, m, n, q, r, k, e, i, l, o	a, b, c, h, n, p, k, m, e, l	a, d, e, m, n, r, h, k, q, c, l	k, l, a, m, n, p, b, c, h
6	Área de um objeto estático	a, e, i, l, m, n, o, q	a, l, m, n, e	a, l, m, n, f, q	a, l, m, n	f, h, j, o, a, l, m, n	e, i, l, m, n, o, q, c	a, b, c, p, d, e, h, n, r, k, m, q, l	d, e, l, n	k, l, n, f, h, j, o, a, d, e, m
7	Volume de um objeto em movimento	a, d, e, i, l, m, n, o, q, b, c, h, p	d, k, a, e, i, l, m, n, o, q	f, h, j, o, a, d, k, m, n, r, g, q	k, l, n	f, h, j, o, d, k, l, m	a, k, m, n, e, i, l, o, q	d, k, l, m, a, n, f, q	m, p, a, d, e, h, n, r, l, b, c, g	k, l, n, a, e, g, m, p
8	Volume de um objeto estático	k, q, c, l, n, a, d, e, h, r, f, m	a, d, e, h, n, r		e, i, l, m, n, o, q		e, i, l, m, n, o, q, c, d	a, b, c, h, p, d, e, k, m, n		a, d, e, n, r, h, m, k, l, b, c, p
9	Velocidade	a, b, c, h, n, p, d, g, e, r, l	a, d, e, h, r, k, g, e, i, l, m, n, o, q	a, d, m, n, o, c, e, g, o, r, k	m, p, a, b, c, h, n, e, l	f, h, j, o, k, l, a, m, n	k, l, n, a, f, m, q, c, e, p	a, d, e, l, n, q, r, m, p	k, l, n, c	
10	Força	k, m, n, r, e, l, q, a, b, c, d, g	f, h, j, o, e, i, l, m, n, o, q, c	e, i, l, m, n, o, q, c, a, d, q, r	f, h, j, e, i, l, m, n, o, q, d, r	f, h, j, o, a, d, e, m, c, l, n, p	a, k, m, n, d, e, h, r, l, c	e, m, h, k, l, n, a	a, b, c, h, n, p, d, e, r	a, d, e, l, n, q, r, c, h, m
11	Tensão, Pressão	a, b, c, h, n, p, e, l, m	a, d, e, h, r, e, i, l, m, n, o, q	d, n, r	a, b, c, h, n, p	a, d, e, h, n, r	a, e, i, l, m, n, o, q, d, h, r	a, b, c, h, n, p, e, m	a, d, e, h, n, r, b, c, g	k, l, n, a, d, e, m, q, r, h
12	Forma	a, d, h, n, r, e, i, l, m, o, q	e, i, l, m, n, o, q, a, d, c	a, d, m, n, o, f, h, j, k	b, c, h, p, a, d, k, r, e, i, l, m, n, o, q	e, i, l, m, n, o, q, f, h, j, d, k	d, k, a, e, i, l, m, n, o, q, c	f, h, j, o, a, d, k, m, n, r, c, g	f, h, j, e, i, l, m, n, o, q, a, d	a, d, e, m, k, n, p, l
13	Estabilidade de um objeto	a, d, e, h, n, r, l, m, c, g	a, d, e, h, n, r, m	a, d, m, n, o, e, h, r, k, q	a, b, c, h, p, k, l, m, n, d, e, r	a, d, e, h, n, r, k, m, q, p, b, c	a, b, c, n, p, m, d, e, h, r, k	a, d, e, h, n, r, c, g, m, l	e, i, l, m, n, o, q, g, a, d, h, r	l, n, a, d, e, h, r, q
14	Força	a, d, e, h, n, r, m, f, j, o, b, c, p	k, r, e, l, q, a, d, m, n, o	d, m, n, o, e, l, a, b, c, h, p	l, m, n, a, d, e, q, r	f, h, j, o, a, d, e, l, n, q, r, m	a, b, c, h, n, p, d, k, m, r, e, l	l, m, a, d, e, n, q, r, f, h, j, o	f, h, j, o	k, h, r, l, a, d, e, m, n, q
15	Duração de um objeto em movimento	l, n, p, r, a, m, c, g	l, e, i, m, n, o, a, f, q	g, o, r, l, m	k, l, n, d, m	a, d, e, h, n, r, i, l, m, n, o, q, k	k, l, n, a, m, q, d, f, h, j, o	a, e, m, d, k, l, c, g, h, n, r	a, e, g, k, l, n	h, r, a, d, e, m, n, q
16	Duração de um objeto estático	a, m	k, l, n, a, d, e, h, r	e, i, l, m, n, o, q	e, i, l, m, n, o, q	a, b, c, h, n, p		e, l, m, a, g, k, p, d, h, n, r	e, i, l, m, n, o, q	p, k, a, l, m, n, d, e

Resultado indesejado		31	32	33	34	35	36	37	38	39
		Efeitos prejudiciais secundários	Manufaturabilidade	Conveniência de uso	Mantenabilidade	Adaptabilidade	Complexidade do dispositivo	Complexidade do controle	Nível de automação	Produtividade
17	Temperatura	a, m, b, c, d, g, e, h, n, r, p	a, k, m, n, l	a, k, m, n, l	a, f, m, q, k, l, n	a, b, c, h, n, p, l, m	a, b, c, h, n, p, l, m, d, e	a, d, e, q, l, h, r, c, m, n	a, k, m, n, b, c, h, p, e, l	f, h, j, o, c, e, a, d, n, r
18	Brilho	a, d, e, h, n, r, m, n, o, c, g	a, e, m, d, h, n, r, c, k	a, k, m, n, c, e	f, h, j, o, a, d, e, k, m, n, r, l	f, h, j, a, e, i, l, m, n, o, q	a, e, g, l, d, k, m, n, r, o	a, d, m, n, o, f, h, j	a, b, c, h, n, p, k, l, m	a, b, c, h, n, p, e, l, m
19	Energia gasta por um objeto em movimento	a, d, e, h, n, r, b, c, p, g, k, l	c, e, a, k, m, n, h, q	a, e, m, d, h, n, r	e, i, l, m, n, o, q, f, h, j, a, d, c	a, d, k, m, n, r, f, h, j, o, l, e	a, b, c, h, n, p, l, m, e, d, k	a, d, e, h, n, r	a, d, m, n, o, b, c, h, p	g, o, r, c, e, a, d, h, n
20	Energia gasta por um objeto estático	a, e, m, c, l, n	e, i, l, m, n, o, q, a, f, q					a, e, m, d, h, n, r, l		e, i, l, m, n, o, q, a, g, k
21	Potência	a, b, c, h, n, p, l, d, e, r	l, a, k, m, n, m, p	a, k, m, n, d, e, h, r, l	a, d, m, n, o, b, c, h, p, k, l	a, e, m, d, p	l, m, p, a, e, h, k, q	a, e, m, l, n, d, h, r	c, e, a, b, h, n, p, d, m	c, e, m, p, a, d, h, n, r
22	Desperdício de energia	l, n, p, m, a, d, e, h, r, b, c		a, d, h, r, e, i, l, m, n, o, q	a, b, c, h, n, p, e, m		k, m, d, e, l, n	a, d, e, h, r, q, f, j, o, l, n	a, b, c, h, n, p	a, d, e, h, n, r, c, l, m, k
23	Desperdício de substância	e, i, l, m, n, o, q, k, p, d	f, h, j, o, m, p, a, e	a, d, m, n, o, e, h, p, a, b, c, g	a, b, c, h, n, d, e, r, m, p, l	f, h, j, o, k, l, n, a, b, c, p	a, d, e, h, n, r, c, b, g, k, l	a, d, e, h, r, k, l, n, c, m	a, d, e, h, n, r, k, l, c	a, d, e, h, n, r, k, l, c
24	Perda de informação	k, l, n, p, r, a, m	a, d, m, n, o	l, m, a				a, d, e, h, n, r	a, d, e, h, n, r	a, d, k, m, n, r, e, l, f, h, j, o
25	Desperdício de tempo	a, d, e, h, n, r, m, l, c, g	m, p, a, d, e, h, n, r, c, f, q	a, f, m, q, c, e, k, l, n, p	a, d, e, i, l, m, n, o, q, k	a, d, e, h, n, r, c	a, e, g, k, l, d, m	c, l, e, a, d, m, n, o, k	a, b, c, d, g, e, h, n, r, k, m, q	
26	Quantidade de substância	a, d, e, l, n, q, r, h, c, g	d, k, l, m, e, i, n, o, q, a, h, r	a, d, e, h, n, r, k, l, m	a, b, c, h, p, k, l, e, d, m, n, o	f, h, j, o, a, d, e, l, n, q, r, k, m	a, d, e, l, n, q, r, k, m	a, d, e, l, n, q, r, m, k, c	a, d, e, h, n, r, g	a, d, m, n, r, k, l, e, q
27	Confiabilidade	a, d, e, h, n, r, k, m, b, c, p		a, d, e, m, l	e, i, l, m, n, o, q, d, r	a, d, k, m, n, r, e, h, b, c, g	a, d, k, r, h, e, i, l, m, n, o, q	l, m, c, e, a	d, n, r, a, k, m, l	e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r, k
28	Acuracidade de medição	a, d, e, l, n, q, r, k, c, g	a, e, g, k, l, d, h, n, r, m, c	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k, r, p	e, i, l, m, n, o, q, d, r, a, k	a, d, k, m, n, r, e, h, b, c, p	l, m, p, a, d, e, h, n, r, k	b, c, g, k, c, e, a, d, m, n, o	c, e, a, b, h, n, p, k, l, m	k, l, n, m, p, c, e, a, d, o
29	Acuracidade de manufatura	a, f, m, q, d, e, p, k, n		e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r	e, l, m, k, n		a, k, m, n, c, l, a, b, h, p		a, k, m, n, c, e, l, d	k, l, c, a, d, m, n, o, g
30	Fatores prejudicial agindo no objeto		a, b, c, d, g, d, e, h, n, r, p	a, b, c, h, n, p, e, l, m, c, g	a, d, e, h, n, r, k, l, b, c, p	a, d, e, h, n, r, m, c	a, m, e, d, k, l	a, m, e, d, k, l	a, e, m, p, d, l, n, q, r	a, m, d, e, h, n, r, b, c, g, k
31	Efeitos prejudiciais secundários	+					a, e, i, l, m, n, o, q, c, d	r, e, i, l, m, n, o, q, a, b, c, h, p	a, b, c, h, n, p	a, m, d, e, h, n, r, c, l, g
32	Manufaturabilidade		+	a, b, c, h, e, k, o, p, d, m, n, r, l	a, d, h, r, e, i, l, m, n, o, q, p	a, b, c, h, n, p, d, k, m, r, f, j, o	a, k, e, i, l, m, n, o, q	a, g, k, e, i, l, m, n, o, q, d, r, c	g, c, e, i, l, m, n, o, q	a, d, h, r, c, e, i, l, m, n, o, q, k

Resultado indesejado		31	32	33	34	35	36	37	38	39
		Efeitos prejudiciais secundários	Manufaturabilidade	Conveniência de uso	Mantenabilidade	Adaptabilidade	Complexidade do dispositivo	Complexidade do controle	Nível de automação	Produtividade
33	Conveniência de uso		a, b, c, h, n, p, e, k, m, o, p, g, r	+	g, r, e, i, l, m, n, o, q, a, k, d	f, h, j, p, a, e, i, l, m, n, o, q	k, n, g, o, r, a, d, e, m		e, i, l, m, n, o, q, a, d, g, r, p	f, h, j, o, e, i, l, m, n, o, q, c
34	Mantenabilidade		e, i, l, m, n, o, q, k, r, a, d, h	e, i, l, m, n, o, q, g, r, f, h, j, a, k	+	k, m, e, i, l, n, o, a, f, q	a, d, h, r, e, i, l, m, n, o, q, k		m, p, a, d, e, h, n, r, k	a, d, e, i, l, m, n, o, q, k
35	Adaptabilidade		c, d, e, i, l, m, n, o, q, a, k, r	f, h, j, a, e, i, l, m, n, o, q, p	e, i, l, m, n, o, q, a, k, f	+	f, h, j, o, d, k, l, m, c, e	e, i, l, m, n, o, q	l, m, p, a, d, e, h, n, r	a, d, e, n, r, c, h, m, g, k, l
36	Complexidade do dispositivo	a, e, m, i, l, n, o, q	k, a, d, r, e, i, l, m, n, o, q	l, e, p, r, k, m, n, a, b, c, d, g	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k, r	d, k, l, m, f, h, j, o, c, e, h	+	k, l, n, f, h, j, o, m, c, e	f, h, j, a, b, c, d, g, e, i, l, m, n, o, q	g, o, r, a, d, e, m, c
37	Complexidade do controle	a, b, c, h, n, p, l, r	a, e, k, m, o, p, d, n, r, c, l	a, b, c, h, n, p, a, e, k, m, o, p	g, o, r, a, k, m, n	e, i, l, m, n, o, q, f, h, j	f, h, j, o, k, l, n, c, e, m	+	m, p, l, n, r	a, d, e, h, n, r, c, l
38	Nível de automação	a, b, c, h, n, p	a, k, e, i, l, m, n, o, q, d, r	e, i, l, m, n, o, q, a, d, g, r, p	e, i, l, m, n, o, q, a, d, h, r, k	e, i, l, m, n, o, q, a, f, q, d, h, r	f, h, j, o, a, b, c, d, g, k, l, n	m, p, l, e	+	a, e, k, p, g, o, d, h, r, m, n
39	Produtividade	a, d, e, h, n, r, m, l, c, g	a, b, c, h, n, p, d, g, c, e, r	c, e, i, l, m, n, o, q, k	e, i, l, m, n, o, q, a, d, k	a, d, h, r, c, e, i, l, m, n, o, q	g, o, r, a, d, e, m, c, e, b	a, d, e, h, r, c, l, n, m, b, p	a, e, k, o, p, g, r, d, h, m, n	+

Apêndice B – Resultado das Soluções geradas no Estudo de Caso

SOLUÇÃO	QSI	PI	MPI	PI	OBJETIVO AEC
Câmeras de segurança espalhadas pelo hospital	x	PI-10			
Bordas de objetos e paredes arredondadas	x	PI-14			
Palestras sobre vigilância sanitária e visitas periódicas de profissionais especializados	x	PI-20			
Posicionar equipamentos barulhentos fora do hospital	x	PI-2			
Utilização de gradientes de temperatura	x	PI-3			
Previsão de portas giratórias que mantém a temperatura na parte interna	x	PI-14			
Aproveitar a incidência de luz solar para gerar energia para o sistema de ar condicionado do hospital	x	PI-22			
Humanização do caminho até a cirurgia para reduzir o estresse dos pacientes	x	PI-24			
Tamanho das áreas funcionais:					
Realizar a obra de reforma em etapas	x	PI-1	x		(e)
Uso de containers fora do edifício como salas de áreas não funcionais			x	PI-2	
Reorganizar os layouts das mesmas para que seus espaços sejam otimizados e pareçam maiores			x	PI-13	
Projeto de divisória de áreas com paredes de vidro para aparentarem mais amplas			x		(a)
Uso de janelas do tipo <i>pass through</i> para dispensar medicamentos			x		(k)
Substituição do elevador mecânico comum por um elevador hidráulico			x		(m)
Garantir segurança durante a reforma:					
Uso compartilhado temporário de algumas áreas durante a reforma			x	PI-1	
Paredes de vedação durante a reforma (para que partículas contaminadas não passem para o hospital)			x	PI-3	(q)
Estruturas e móveis pré-fabricados			x	PI-10	(l)
Obra se responsabilizar pelo descarte de material sujo do hospital, junto ao entulho da obra			x	PI-25	
Uso de lasers na identificação da estrutural atual			x	PI-28	
Projetar salas com diferença de pressão	x	PI-1	x	PI-29	
Colocação de paredes com ruído branco			x		(c)
Pisos de epóxi em áreas que exigem maior resistência			x		(r)
CME:					
Criar uma CME para cada unidade funcional			x	PI-15	
Compartilhar o expurgo (depósito materiais sujos e infectados) entre duas unidades funcionais posicionando-o onde for mais adequado			x		(m)
Projeto de logística adequada de retirada dos materiais sujos			x		(o)

Rotas de Fuga:					
Palestras e treinamentos do corpo de bombeiros e verificação das rotas de fuga	x	PI-11			
Rotas de fuga e área de refúgio na parte externa da construção	x	PI-2	x	PI-2	(n)
Colocar extintores de incêndios e sinalização adequada nos lugares corretos			x	PI-10	(n), (a)
Instalação de escorregas como escape do edifício			x	PI-28	(n)
Projeto de portas corta fogo para evitar a propagação do mesmo (e consequentemente de temperaturas mais elevadas e fumaça)			x		(b), (d), (q)
Farmácia:					
Inversão de algumas salas para modificar a logística de trabalho			x	PI-13	
Previsão de espaços para manipulação de substâncias com elevada sensibilidade ao ar utilizando técnicas de atmosfera inerte e sistemas de vácuo			x	PI-39	
Localizar os móveis de maneira central para fazer a separação dos medicamentos no entorno dele			x	PI-17	
Projeto de divisória de áreas com paredes de vidro			x		(a)
Equipamentos barulhentos do lado de fora da construção			x		(c)
Uso de janelas do tipo <i>pass through</i> para dispensar medicamentos			x		(k)
Economia de espaços prevendo vestiários como circulação			x		(m)
Projeto de antecâmaras com diferença de pressão entre áreas sujas e limpas			x		(n)
Previsão de um corredor próximo à parede externa possibilitando a colocação de um "janelão" de vidro			x		(p)
Exploração de paredes curvas para esconder o estoque de medicamentos da farmácia			x	PI-14	(a)
Previsão de isolamento acústico nas divisórias do consultório de atendimento individual			x		(c)
Colocação de um sistema eletrônico que gere senhas para os pacientes de acordo com o tipo de atendimento			x		(e)
Armários trancados com chaves para a guarda de medicamentos			x		(n)
Fechadura na porta de um consultório individual para atendimento mais humanizado			x		(n)
Uso de vidro à prova de balas			x		(n)
Espaços de Convivência:					
Uso de salas compartilhadas com mais de uma função dependendo da demanda/horário			x	PI-6	(m)
Divisão mais fina e flexível que otimize o espaço entre os leitos			x	PI-30	(h)
Uso de elementos que ocupem menos área no ambiente (como portas de correr, por exemplo)			x		(m)
Colocar áreas de convivência dos funcionários (descanso e lazer) fora do hospital	x	PI-2			
Aumentar os intervalos de trabalho dos profissionais para que os mesmos tenham mais disposição para trabalhar	x	PI-19			
Projeto de salas com funções múltiplas	x	PI-5	x	PI-1	
		QSI	MPI	PI	OBJETIVO AEC
Total de soluções alcançadas por cada método		15	40	19	29

Anexo A - 40 Princípios Inventivos¹⁸

Princípio Inventivos	Explicação	Exemplos
1 - Segmentação ou Fragmentação	a. Divida um objeto em partes independentes. b. Torne um objeto seccionável. c. Aumente o grau de segmentação de um objeto.	1. Projeto de mobiliário seccionável ou componentes modulares de computador. 2. Um navio de carga é dividido em seções idênticas. Se necessário, o navio pode ser mais longo ou mais curto. 3. Esteira transportadora.
2 - Remoção ou Extração	a. Extraia (remova ou separe) uma parte ou propriedade interferente de um objeto. b. Extraia a única parte ou propriedade necessária.	1. Colocar um compressor barulhento fora do edifício onde o ar comprimido é usado. 2. Usar fibra óptica para evitar o aquecimento da fonte de luz no local onde a luz é necessária.
3 - Qualidade Localizada	a. Produza a transição de uma estrutura homogênea de um objeto ou meio ambiente externo (ação externa) para uma estrutura heterogênea. b. Faça diferentes partes do objeto realizarem diferentes funções e úteis. c. Coloque cada parte do objeto sob condições mais favoráveis à sua operação.	1. "Marmita" de almoço com compartimentos especiais para alimentos líquidos e sólidos ou quentes e frios. 2. LÁPIS com borracha
4 - Assimetria	a. Substitua a forma simétrica de um objeto por uma forma assimétrica. b. Se o objeto já é assimétrico, aumente o grau de assimetria.	1. O lado externo do pneu de um carro tem maior resistência, a fim de melhorar a resistência para absorver o impacto da calçada. 2. Os recipientes misturadores assimétricos ou as palhetas assimétricas em recipientes simétricos melhoram a mistura (caminhões de cimento, misturadores de bolo, liquidificadores).
5 - Fusão ou Consolidação	a. Combine no espaço objetos idênticos ou semelhantes, montar peças idênticas ou similares para executar operações paralelas. b. Faça operações contíguas ou paralelas/simultâneas (ao mesmo tempo).	1. Computadores pessoais em uma rede. 2. Milhões de transistores em um único chip de microprocessador. 3. Vincular as ripas em persianas venezianas ou verticais.
6 - Universalização	Faça o objeto realizar múltiplas funções, eliminando a necessidade de outras peças.	1. O sofá do dia se converte em uma cama à noite. 2. O PC em uma biblioteca funciona como referência, ajuda instrucional, fonte de notícias, etc.
7 - Aninhamento	a. Coloque um objeto dentro do outro, que por sua vez é colocado dentro de um terceiro objeto. b. Um objeto passa através da cavidade de outro objeto.	1. Antena telescópica. 2. Cadeiras empilháveis (uma sobre a outra para armazenagem). 3. Lentes de zoom. 4. Matrioshkas (bonequinhas russas).
8 - Contrapeso	a. Compense o peso de um objeto, juntando a outro objeto que tem uma força de levantamento. b. Compense o peso de um objeto, produzindo forças aerodinâmicas ou hidrodinâmicas.	1. Barcos têm hidrofólios. 2. Carros de corrida têm asas traseiras para aumentar a pressão para baixo.
9 - Compensação prévia	a. Se é necessário realizar alguma ação com efeitos úteis e nocivos, considere a contra-ação para os efeitos nocivos antecipadamente. b. Se um objeto estará sob tensão, produza a anti-tensão antecipadamente.	1. Pilar ou laje de concreto armado. 2. Fita adesiva para proteger a parte de um objeto que não está sendo pintada.
10 - Ação prévia	a. Realize a ação requerida antecipadamente (total ou parcialmente). b. Arranje os objetos, de modo que eles possam agir sem perda de tempo, enquanto esperam pela ação (e na posição mais conveniente).	1. Selos autoadesivos. 2. É difícil de aplicar corretor líquido, de forma uniforme. Ao invés disso, ele é fornecido em fita, de forma que a quantidade apropriada possa ser aplicada mais facilmente.

¹⁸ Altshuller (1969) apud Terninko, Zusman, Slotin (1998).

Princípio Inventivos	Explicação	Exemplos
11 - Amortecimento prévio	Compense a confiabilidade relativamente baixa de um objeto por contramedidas tomadas antecipadamente (medidas de emergência antecipadas).	1. Paraquedas de backup. 2. Para prevenir furtos, o proprietário de uma loja prende uma etiqueta especial, que contém uma placa magnetizada. Para que o consumidor retire a mercadoria da loja, a placa é desmagnetizada pelo caixa.
12 - Equipotencialidade	Mude a condição de trabalho, de forma que um objeto não necessite ser levantado ou abaixado.	1. Óleo de motor de automóvel trocado através de um fosso (de forma que o equipamento caro de elevação não seja necessário). 2. Fechaduras em um canal entre dois corpos de água (como o Canal do Panamá).
13 - Inversão	a. Ao invés de uma ação ditada pelas especificações do problema, implemente uma ação oposta. b. Torne o objeto uma peça móvel, ou torne uma peça móvel imóvel e o meio ambiente externo móvel. c. Vire o objeto de cabeça para baixo.	1. Para soltar as peças presas, esfrie a parte interna em vez de aquecer a parte externa. 2. Abrasivos limpam peças vibrando as peças, ao invés do abrasivo.
14 - Recurvação	a. Substitua partes lineares ou superfícies planas por curvas, e formas cúbicas por formas esféricas. b. Use rolos, bolas e espirais. c. Substitua um movimento linear por um movimento rotatório; utilize força centrífuga.	1. Uma via circular em aeroportos com comprimento "ilimitado". 2. Engrenagem espiral (Nautilus) produz resistência contínua para halterofilismo. 3. Um mouse de computador utiliza uma esfera para bidimensionais em coordenadas vetoriais. transferir movimentos.
15 - Dinamização	a. Faça as características de um objeto, ambiente externo ou processo ajustar-se ao desempenho ótimo, a cada estágio de operação. b. Divida um objeto em elementos, capazes de mudar a posição relativa entre eles. c. Se um objeto é imóvel, torne-o móvel ou intercambiável.	1. Volante ajustável do carro (ou assento, apoio traseiro, posição do espelho). 2. Tesoura em vez de faca. 3. O endoscópio flexível para exame médico.
16 - Ação parcial ou excessiva	Se for difícil obter 100% de um efeito desejado usando determinado método de solução, alcance algo "mais ou menos", para simplificar bastante o problema.	1. Um cilindro é pintado imergindo-o em tinta, mas é coberto por mais pintura que o desejado. A pintura em excesso é removida rotacionando rapidamente o cilindro. 2. Software: vários algoritmos de codificação de imagem, como JPEG, GIF, etc.
17 - Transição para nova dimensão	a. Remova problemas de mover um objeto em linha, permitindo movimentos bidimensionais (ao longo de um plano). Analogamente, problemas de mover um objeto em um plano são removidos se o objeto for alterado para permitir movimento tridimensional. b. Use uma montagem multinível de objetos, ao invés de um único nível. c. Incline o objeto ou vire-o "sobre o seu lado". d. Projete imagens sobre áreas vizinhas ou sobre o lado reverso do objeto.	1. Uma estufa tem um refletor côncavo sobre a parte norte da casa para melhorar a iluminação durante o dia, refletindo luz solar daquela parte da casa. 2. Caminhão basculante.
18 - Vibração mecânica	a. Oscile ou vibre um objeto. b. Se existe oscilação, aumente a sua frequência, até mesmo como a ultrassônica. c. Use a frequência de ressonância de um objeto. d. Ao invés de vibradores mecânicos, use piezo vibradores. e. Use vibrações ultrassônicas combinadas com um campo eletromagnético.	1. Para remover um gesso do corpo sem dano de pele, uma serra de mão convencional é substituída por uma faca vibratória. 2. Destrua pedras de cálculo ou cálculos renais por ressonância ultrassônica. 3. Distribuir o pó com vibração.
19 - Ação periódica	a. Substitua uma ação contínua por uma periódica (impulso). b. Se uma ação já é periódica, mude a sua frequência. c. Use pausas entre os impulsos para produzir ação adicional.	1. Substitua uma sirene contínua por um som que muda de amplitude e frequência. 2. Flashes de luz de advertência são mais notáveis que a iluminação contínua.
20 - Continuidade de ação útil	a. Realize uma ação sem quebra - todas as partes de um objeto devem estar constantemente operando à total capacidade. b. Remova um movimento inútil e intermediário.	1. O volante (ou sistema hidráulico) armazena energia quando um veículo para, assim que o motor pode manter-se funcionar na potência a melhor. 2. Máquina de crescimento de cristal com mecanismo de fornecimento de matéria-prima permanente.

Princípio Inventivos	Explicação	Exemplos
21- Aceleração	Realize operações destrutíveis, nocivas ou perigosas a uma velocidade muito alta.	1. Um cortador para tubos plásticos de paredes finas previne a deformação do tubo durante o corte, cortando-o a uma velocidade muito alta. 2. Use a broca de um dentista de alta velocidade para evitar o aquecimento do tecido.
22 - Transformação de prejuízo em lucro	a. Utilize um efeito prejudicial (particularmente nocivo para o meio ambiente ou seu redor), para obter um efeito positivo. b. Remova um fator indesejado, combinando-o com outro fator indesejado. c. Aumente o fator prejudicial até o ponto em que deixe de ser nocivo.	1. Use calor residual para gerar energia elétrica. 2. Areia ou cascalhos congelam quando transportados através de climas frios. Super congelamento (utilizando nitrogênio líquido) enfraquece o gelo, que permite derramamento. 3. Quando se usa corrente de alta frequência para aquecer metal, somente a camada externa é aquecida. Este efeito negativo é posteriormente utilizado para tratamento de calor de superfície.
23 - Retroalimentação	a. Introduza retroalimentação para melhorar um processo ou ação. b. Se já existe retroalimentação, mude sua magnitude, frequência ou inverta-a.	1. A pressão de água de um poço é mantida através de um sensor de pressão de saída, que o liga a uma bomba se a pressão estiver baixa. 2. Controle automático de volume em circuitos de áudio. 3. Alterar a sensibilidade de um termostato.
24 - Mediação	a. Use um objeto ou processo intermediário para transferir ou realizar uma ação. b. Conecte temporariamente um objeto a outro que seja fácil de remover.	1. Para reduzir perda de energia quando se aplica corrente a um metal líquido, use eletrodos resfriados e metais líquidos intermediários com uma temperatura de fusão mais baixa. 2. Suporte de pote para transportar pratos quentes para a mesa.
25 - Autosserviço	a. Faça um objeto servir-se realizando funções úteis auxiliares. b. o objeto deve servir-se e realizar operações suplementares de reparação. c. Use material e energia perdida.	1. Programas de software empregam alguma forma de auto verificação para verificar a sua integridade. 2. Use resíduos animais como fertilizante. 3. Um coletor de concreto em forma de cone na areia do fundo do rio selará-se em caso de terremoto.
26 - Cópia	a. Use uma cópia simples e barata, ao invés de um objeto que é complexo, caro, frágil ou inconveniente. b. Substitua um objeto ou sistema de objetos por uma cópia ou imagem óptica. Uma escala pode ser usada para reduzir ou aumentar a imagem. c. Se cópias óticas visíveis já são usadas, substitua-as por cópias infravermelhas ou ultravioletas.	1. Determinar a altura de objetos altos através da medida das suas sombras. 2. Use o som de um cão latindo, sem o cão, como um alarme de assaltante. 3. Etapa de modelagem no projeto. 4. Faça imagens em infravermelho para detectar fontes de calor, como doenças em culturas ou intrusos em um sistema de segurança
27 - Uso e descarte	Substitua um objeto caro por um conjunto de objetos baratos, comprometendo outras propriedades (por exemplo, a longevidade).	1. Fraldas descartáveis. 2. Use suprimentos descartáveis para evitar o custo de limpeza e armazenamento de objetos duráveis.
28 - Substituição de meios mecânicos	a. Substitua um sistema mecânico por um sistema óptico, acústico, olfativo ou de gosto. b. Use um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para interação com o objeto. c. Substitua campos (campos estáticos para móveis, de campos não estruturados para estruturados). d. Use um campo em conjunto com partículas ativas (ferromagnéticas).	1. Composto com mau cheiro em gás natural para alertar os usuários para vazamento, em vez de um sensor mecânico ou elétrico. 2. Para aumentar a ligação entre o revestimento de metal e um material termoplástico, o processo é realizado dentro de um campo eletromagnético que aplica força ao metal. 3. Campos randômicos mudam para campos estruturais.
29 - Construção pneumática ou hidráulica	a. Substitua partes sólidas de um objeto por gás ou líquido. Essas partes podem usar ar ou água para inflar ou usar ar ou amortecimentos hidrostáticos. b. Use pressão negativa ou atmosférica.	1. Para aumentar a vazão de uma chaminé industrial, um tubo espiral com bocais é instalado. Quando o ar assopra através dos bocais, cria uma parede de ar que reduz o arrasto. 2. Uso de diferentes pressões para manter uma área limpa de um hospital esterilizada.
30 - Uso de filmes finos e membranas flexíveis	a. Substitua a construção habitual por membranas e filmes flexíveis. b. Isole um objeto do meio ambiente externo com um filme ou membrana finos.	1. Para impedir a perda de água de evaporação das folhas das plantas, um spray de polietileno é aplicado. O polietileno endurece e o crescimento da planta melhora, porque o filme de polietileno passa oxigênio melhor que o vapor de água. 2. Para o transporte de produtos frágeis, são utilizados envelopes de bolhas de ar ou materiais semelhantes a espuma.

Princípio Inventivos	Explicação	Exemplos
31 - Uso de materiais porosos	a. Tome um objeto poroso ou use elementos porosos adicionais (inserts, revestimentos, etc.) b. Se um objeto já é poroso, preencha os poros antecipadamente com alguma substância ou função útil.	1. Para evitar refrigeração do bombeamento para uma máquina, algumas partes da máquina são preenchidas com material poroso (pó férreo poroso), encharcados em líquido refrigerante, que evapora quando a máquina está funcionando, produzindo, a curto prazo, refrigeração uniforme. 2. Faça furos em uma estrutura para reduzir o peso.
32 - Mudança de cor	a. Mude a cor de um objeto ou do seu entorno. b. Mude a translucidez de um objeto ou do seu entorno. c. Use aditivos coloridos para observar objetos ou processos difíceis de ver. d. Se tais aditivos já são usados, empregue traços luminescentes ou elementos radioativos.	1. Uma bandagem transparente facilita a inspeção de uma ferida, sem ter que ser removida. 2. Em usinas siderúrgicas, uma cortina de água é usada para proteger os trabalhadores do superaquecimento. Porém, essa cortina protege somente dos raios infravermelhos; o brilho de luz do aço fundido pode facilmente atravessar a cortina. Uma cor é adicionada à água para criar um efeito de filtro, permanecendo transparente.
33 - Homogeneização	Faça os objetos interagirem com um objeto primário do mesmo material, ou de um material propriedades iguais.	A superfície de um alimentador para grãos abrasivos é constituída do mesmo material que passa pelo alimentador, permitindo a restauração contínua da superfície, sem desgastá-la.
34 - Descarte e regeneração	a. Depois que um elemento de um objeto completou a sua função ou tornou-se inútil, rejeite ou modifique-o (por exemplo descarte, dissolva ou evapore). b. Restaure qualquer parte já usada (mas que ainda pode ser consumida) de um objeto.	1. Coberturas de balas são ejetadas depois que a arma atira. 2. Propulsores de foguetes separam-se depois de realizarem a sua função. 3. Plásticos biodegradáveis. 4. Polvilhar água em embalagens à base de amido de milho (reduz seu volume em mais de 1000x)
35 - Mudança de parâmetros e propriedades	Mude o estado agregado de um objeto (gás, líquido, sólido), a concentração de densidade ou consistência, o grau de flexibilidade, a temperatura ou características técnicas.	1. Transporte oxigênio, nitrogênio ou gás de petróleo como um líquido, em vez de um gás, para reduzir o volume. 2. Aumentar a temperatura dos alimentos para cozinhá-lo (mudança de sabor, aroma, textura, propriedades químicas, etc.).
36 - Mudança de fase	Implemente um efeito desenvolvido durante transição de fase de uma substância. Por exemplo, durante a mudança de volume ou durante a liberação ou absorção de calor.	1. Para controlar a expansão de canos sanfonados, eles são cheios de água e esfriados para uma temperatura fria. 2. Cristalização. 3. Supercondutividade.
37 - Expansão térmica	a. Use expansão ou contração de um material por calor. b. Se a expansão térmica já estiver sendo usada, use vários materiais com diferentes coeficientes de expansão de calor.	1. Encaixe uma junta apertada, esfriando a parte interna para contrair, aquecendo a parte externa para expandir, aproximando a junta para voltar ao equilíbrio. 2. Para controlar a abertura de janelas na cobertura, em uma estufa, placas bimetálicas são conectadas às janelas. Com a mudança de temperatura, as placas se deformam e fazem a janela abrir ou fechar.
38 - Uso de oxidantes fortes/atmosfera enriquecida	a. Substitua ar comum por ar enriquecido por oxigênio. b. Substitua ar enriquecido por oxigênio puro. c. Exponha o ar ou oxigênio à radiação ionizante. d. Use oxigênio ionizado.	1. Para obter mais calor de uma tocha, é adicionado oxigênio à tocha, ao invés de ar atmosférico. 2. Tratar feridas em um ambiente de oxigênio de alta pressão para matar as bactérias anaeróbias e ajudar a cicatrização.
39 - Uso de atmosferas inertes	a. Substitua o meio ambiente normal por um inerte. b. Realize um processo no vácuo.	Para prevenir que o algodão pegue fogo em um depósito, ele é tratado com gás inerte durante o transporte para a área de armazenagem.
40 - Uso de materiais compostos	Substitua um material homogêneo por um composto (múltiplos).	1. Asas de aviões militares são feitos de compostos de plásticos e fibras de carbono para que tenham alta resistência e pouco peso. 2. Os substratos compostos (cobre-cerâmica-cobre) para semicondutores de potência têm alta condutividade térmica e alto isolamento elétrico.

Anexo B – Parâmetros de Engenharia¹⁹

A utilização da Matriz de Contradições (anexo C) para projetos de arquitetura exige a abstração de alguns Parâmetros de Engenharia formulados por Altshuller. A seguir, são apresentados os 39 parâmetros propostos por Altshuller e descritos por Terninko, Zusman, Slotin (1998, p. 161-163).

	Parâmetro de Engenharia	Explicação
1-	Peso do objeto em movimento	é a força mensurável, resultante da gravidade, que um corpo móvel exerce sobre a superfície, evitando sua queda. Um objeto móvel é aquele que muda de posição por si só ou como o resultado de alguma força externa.
2-	Peso do objeto parado	é a força mensurável, resultante da gravidade, que um objeto estacionário exerce sobre a superfície na qual ele está repousado. Um objeto estacionário é aquele que não pode mudar a sua posição por si só ou pelo resultado de alguma força externa.
3-	Comprimento do objeto em movimento	é a medida linear do comprimento, altura ou espessura de um objeto, na direção do movimento observado deste objeto. O movimento pode ser causado por forças externas ou internas.
4-	Comprimento do objeto parado	é a medida linear do comprimento, altura ou espessura de um objeto, na direção em que nenhum movimento deste objeto é observado.
5-	Área do objeto em movimento	é a medida quadrada de qualquer plano ou porção de plano de um objeto que, sob a ação de forças internas ou externas, pode mudar sua posição no espaço.
6-	Área do objeto parado	é a medida quadrada de qualquer plano ou porção de plano de um objeto que, sob a ação de forças internas ou externas, não pode mudar a sua posição no espaço.
7-	Volume do objeto em movimento	é a medida cúbica de um objeto que pode mudar a sua posição no espaço sob a ação de forças internas ou externas.
8-	Volume do objeto parado	é a medida cúbica de um objeto que não pode mudar a sua posição no espaço sob a ação de forças internas ou externas.
9-	Velocidade	é a taxa em que uma ação ou processo é concluído em um determinado tempo.
10-	Força	é a capacidade de causar mudança física em um objeto ou sistema. A mudança pode ser total ou parcial, permanente ou temporária.
11-	Tensão ou Pressão	é a intensidade de forças que atuam sobre um objeto ou sistema, medidas como a força de compressão ou tensão por unidade de área.
12-	Forma	é a aparência ou contorno externo de um objeto ou sistema. A forma pode ser mudada total ou parcialmente, e, permanente ou temporariamente, devido às forças que atuam sobre o objeto ou sistema.

¹⁹ Adaptado de Altshuller (1969) apud Terninko, Zusman, Slotin (1998, p. 161-163).

13-	Estabilidade da composição	é a resistência total de um objeto ou sistema à mudança causada pelas interações dos seus objetos ou sistemas associados.
14-	Resistência	é a habilidade de um objeto ou sistema, sob condições e limites definidos, absorver os efeitos de força, velocidade, tensão, etc, sem quebrar.
15-	Duração da ação do objeto em movimento	é o período de tempo em que um objeto que muda de posição no espaço é capaz de cumprir a sua função com sucesso.
16-	Duração da ação do objeto parado	é o período de tempo em que um objeto que não muda de posição no espaço é capaz de cumprir a sua função com sucesso.
17-	Temperatura	é a perda ou acréscimo de calor a um objeto ou sistema durante as funções requeridas, que podem causar mudanças potencialmente indesejáveis ao objeto, sistema ou produto.
18-	Brilho	é a proporção de energia luminosa para a área que está sendo iluminada pelo sistema ou no sistema. Brilho inclui a qualidade da luz, o grau de iluminação e outras características da luz.
19-	Energia gasta pelo objeto em movimento	é a energia requerida por um objeto ou sistema que mudam de posição no espaço por seus próprios meios ou por forças externas.
20-	Energia gasta pelo objeto parado	é a energia requerida por um objeto ou sistema que não mudam de posição no espaço por seus próprios meios ou por forças externas.
21-	Potência	é a razão entre o trabalho (função) e o tempo requerido para realizar este trabalho. É utilizada para medir as mudanças requeridas, mas potencialmente indesejáveis, evidentes em um objeto ou sistema, sob determinadas condições.
22-	Perda de energia	é o aumento na inabilidade de um objeto ou sistema de exercer força, especialmente quando nenhuma atividade ou produto são produzidos.
23-	Perda de substância	é a redução ou eliminação de material de um objeto ou sistema, especialmente quando nenhuma atividade ou produto são produzidos.
24-	Perda de informação	é a redução ou eliminação de dados ou "input" de um sistema.
25-	Perda de tempo	é o aumento na quantidade de tempo necessário para concluir uma determinada ação.
26-	Quantidade de substância	é o número de elementos ou a quantidade de um elemento utilizada para criar um objeto ou sistema.
27-	Confiabilidade	é a habilidade de um objeto ou sistema realizar sua função requerida adequadamente, durante algum período de tempo ou ciclos.
28-	Precisão de medição	é o grau em que uma medição se aproxima do valor real da quantidade que está sendo medida.
29-	Precisão de fabricação	é o grau de correspondência entre os elementos de um objeto ou sistema às suas especificações de projeto.

30 -	Fatores externos indesejados atuando no objeto	são influências produzidas externamente, atuando sobre um objeto ou sistema, que reduzem eficiência ou qualidade.
31 -	Fatores indesejados causados pelo objeto	são influências produzidas internamente, que atuam sobre um objeto ou sistema, que reduzem eficiência e qualidade.
32 -	Manufaturabilidade	é a conveniência e facilidade pela qual um objeto ou sistema é produzido.
33 -	Conveniência de uso	é a conveniência e facilidade na qual um objeto ou sistema é operado (ou utilizado).
34 -	Manutenção	é a conveniência e facilidade pela qual um objeto é restaurado para condição de operação, após algum dano ou uso intenso.
35 -	Adaptabilidade	é a habilidade de um objeto ou sistema de se reformular ou reorganizar conforme as condições externas (meio ambiente, função, etc.) mudam.
36 -	Complexidade do objeto	é a quantidade e diversidade de elementos que formam o objeto ou sistema, incluindo as relações entre os elementos. Também pode descrever a dificuldade de dominar o uso do objeto ou sistema.
37 -	Complexidade de controle	é a quantidade e diversidade de elementos utilizados para avaliar ou monitorar um objeto ou sistema, bem como avaliar os custos de um erro aceitável.
38 -	Nível de automação	é a habilidade de um objeto ou sistema realizar operações, sem interação humana.
39 -	Capacidade ou produtividade	é a velocidade de produção, ou seja, a relação entre o número de vezes que uma operação é concluída e a quantidade de tempo que se leva para realizá-la.

Anexo C – Matriz de Contradições²⁰

Resultado Indesejado		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		Peso do objeto em movimento	Peso do objeto parado	Comprimento do objeto em movimento	Comprimento do objeto parado	Área do objeto em movimento	Área do objeto parado	Volume do objeto em movimento	Volume do objeto parado	Velocidade	Força	Tensão ou Pressão	Forma	Estabilidade da composição
1	Peso do objeto em movimento			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39
2	Peso do objeto parado				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
3	Comprimento do objeto em movimento	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34
4	Comprimento do objeto parado		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14		28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35
5	Área do objeto em movimento	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39
6	Área do objeto parado		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39						1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37		2, 38
7	Volume do objeto em movimento	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17				29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39
8	Volume do objeto parado		35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14						2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40
9	Velocidade	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
10	Força	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
11	Tensão ou Pressão	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 25	10, 15, 35, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21		35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40
12	Forma	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10		14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14		33, 1, 18, 4
13	Estabilidade da composição	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	
14	Resistência	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35
15	Duração da ação do objeto em movimento	19, 5, 34, 31		2, 19, 9		3, 17, 19		10, 2, 19, 30		3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35
16	Duração da ação do objeto parado		6, 27, 19, 16		1, 10, 35				35, 34, 38					39, 3, 35, 23
17	Temperatura	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32
18	Brilho	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
19	Energia gasta pelo objeto em movimento	12, 18, 28, 31		12, 28		15, 19, 25		35, 13, 18		8, 15, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24
20	Energia gasta pelo objeto parado		19, 9, 6, 27								36, 37			27, 4, 29, 18
21	Potência	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
22	Perda de energia	15, 16, 19, 28	19, 6, 18, 9	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
23	Perda de substância	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40
24	Perda de informação	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16		2, 22	26, 32				
25	Perda de tempo	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18		10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5
26	Quantidade de substância	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18		15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29		35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40

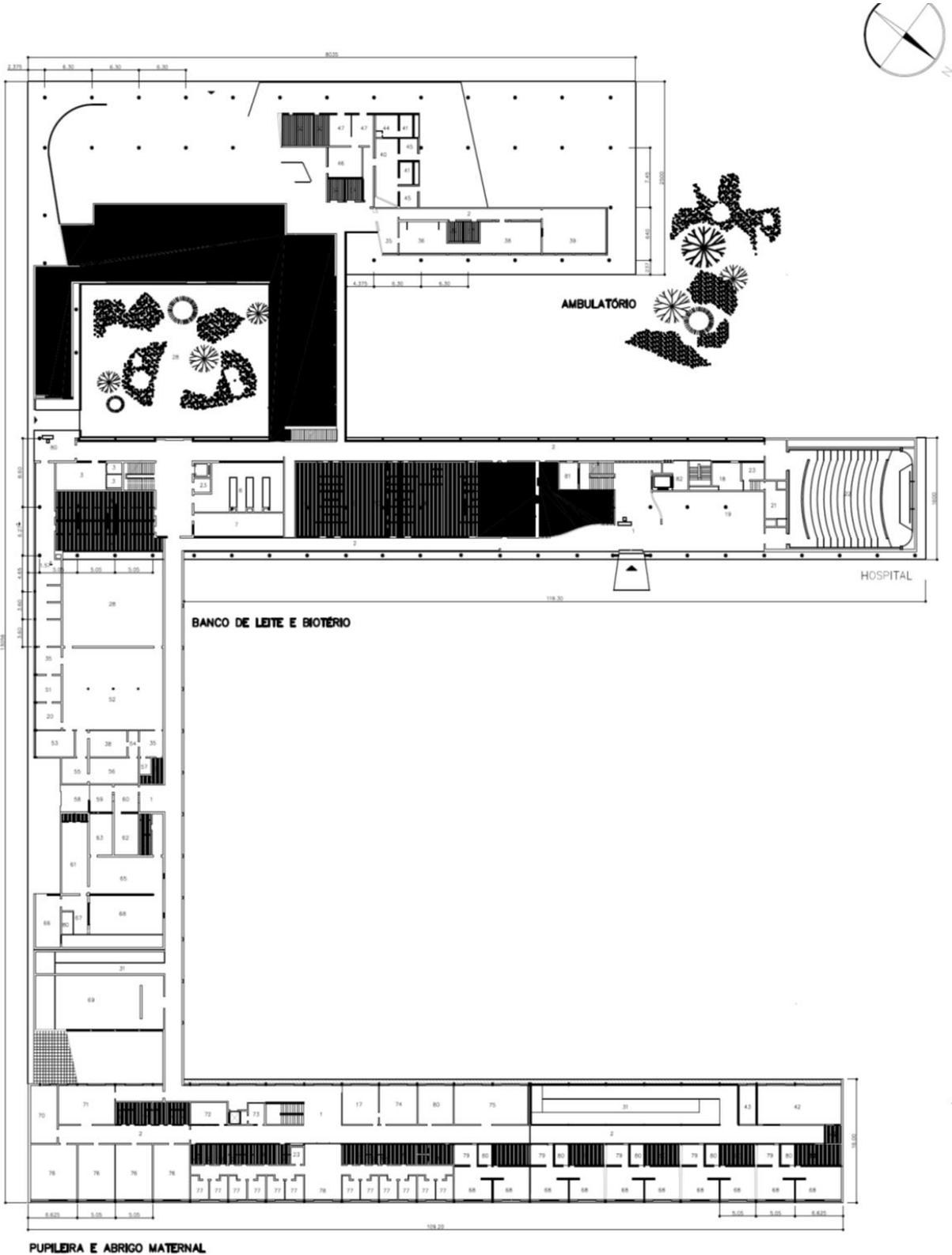
²⁰ Altshuller (1969) apud Terninko, Zusman, Slotin (1998).

Resultado Indesejado		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
		Resistência	Duração da ação do objeto em movimento	Duração da ação do objeto parado	Temperatura	Brilho	Energia gasta pelo objeto em movimento	Energia gasta pelo objeto parado	Potência	Perda de energia	Perda de substância	Perda de informação	Perda de tempo	Quantidade de substância
1	Peso do objeto em movimento	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35		6, 20, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31		12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31
2	Peso do objeto parado	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, 13, 30	10, 15, 35	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26
3	Comprimento do objeto em movimento	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
4	Comprimento do objeto parado	15, 14, 28, 26		1, 40, 35	3, 35, 38, 18	3, 25			12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26	30, 29, 14	
5	Área do objeto em movimento	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
6	Área do objeto parado	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
7	Volume do objeto em movimento	9, 14, 15, 7	6, 35, 4		34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35		35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7
8	Volume do objeto parado	9, 14, 17, 15		35, 34, 38	35, 6, 4				30, 6		10, 39, 35, 34		35, 16, 32, 18	35, 3
9	Velocidade	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		18, 19, 29, 38
10	Força	35, 10, 14, 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
11	Tensão ou Pressão	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
12	Forma	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25		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
13	Estabilidade da composição	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 15	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40		35, 27	15, 32, 35
14	Resistência		27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40		29, 3, 28, 10	29, 10, 27
15	Duração da ação do objeto em movimento	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
16	Duração da ação do objeto parado				19, 18, 36, 40				16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31
17	Temperatura	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
18	Brilho	35, 19	2, 19, 6		32, 35, 19		32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	19, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19
19	Energia gasta pelo objeto em movimento	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18		19, 24, 3, 14	2, 15, 19			6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18
20	Energia gasta pelo objeto parado	35				19, 2, 35, 32					28, 27, 18, 31			3, 35, 31
21	Potência	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
22	Perda de energia	26			19, 38, 7	1, 13, 32, 15			3, 38		35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 25
23	Perda de substância	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31			15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24
24	Perda de informação		10	10		19			10, 19	19, 10			24, 26, 28, 32	24, 28, 35
25	Perda de tempo	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32		35, 38, 18, 16
26	Quantidade de substância	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39		34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	35, 38, 18, 16	

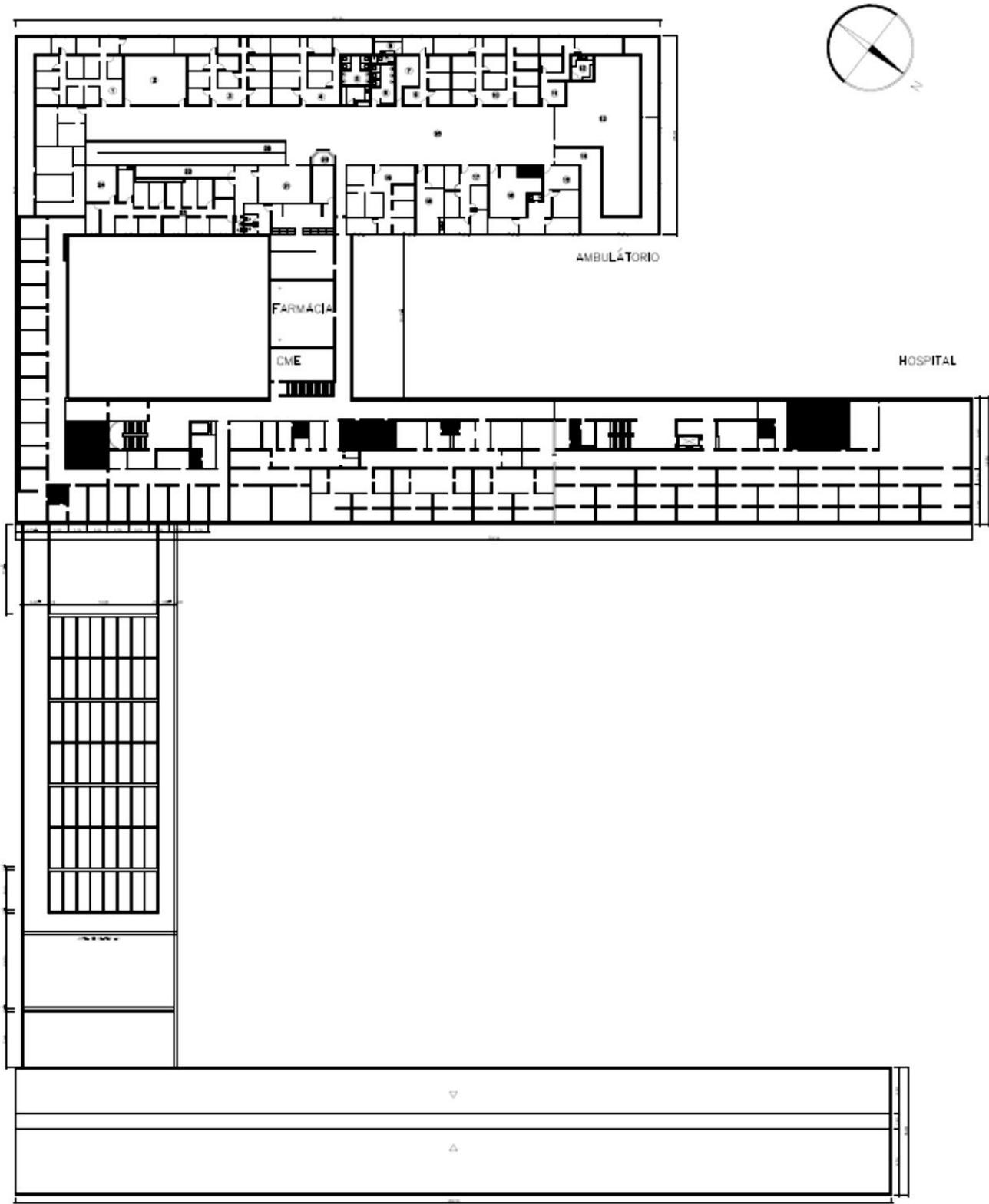
Resultado Indesejado		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
		Confiabilidade	Precisão de medição	Precisão de fabricação	Fatores ext. indesejados atuando no objeto	Fatores indesejados causados pelo objeto	Manufaturabilidade	Conveniência de uso	Manutenção	Adaptabilidade	Complexidade do objeto	Complexidade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

Resultado Indesejado		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		Peso do objeto em movimento	Peso do objeto parado	Comprimento do objeto em movimento	Comprimento do objeto parado	Área do objeto em movimento	Área do objeto parado	Volume do objeto em movimento	Volume do objeto parado	Velocidade	Força	Tensão ou Pressão	Forma	Estabilidade da composição
27	Confiabilidade	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	
28	Precisão de medição	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6		28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13
29	Precisão de fabricação	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 28, 2	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18
30	Fatores ext. indesejados atuando no objeto	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18
31	Fatores indesejados causados pelo objeto	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22		17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39
32	Manufaturabilidade	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1
33	Conveniência de uso	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12		1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30
34	Manutenção	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35
35	Adaptabilidade	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29		35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14
36	Complexidade do objeto	26, 30, 34, 36	2, 36, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 25, 6	1, 16	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19
37	Complexidade de controle	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 15, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	36, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30
38	Nível de automação	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13		35, 13, 16		28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1
39	Capacidade ou produtividade	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2		28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39

Anexo D – Planta baixa original do 1º pavimento do edifício do IPPMG



Anexo E – Planta baixa original do 2º pavimento do edifício do IPPMG



Anexo F – Plantas baixa atualizadas do térreo e do 3º pavimento do edifício do IPPMG

