

PPGEP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FCT
FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FELIPE PEREIRA PINTO

**Proposta de um sistema de gestão da efetividade
de cursos de engenharia**

APARECIDA DE GOIÂNIA
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

FELIPE PEREIRA PINTO

3. Título do trabalho

PROPOSTA DE UM SISTEMA DE GESTÃO DA EFETIVIDADE DE CURSOS DE ENGENHARIA

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Maico Roris Severino, Professor do Magistério Superior**, em 19/07/2023, às 06:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Pereira Pinto, Discente**, em 20/07/2023, às 20:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3900940** e o código CRC **F53B70BC**.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FELIPE PEREIRA PINTO

**Proposta de um sistema de gestão da efetividade
de cursos de engenharia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção

Linha de Pesquisa: Gerenciamento de Sistemas Produtivos

Orientador: Dr. Maico Roris Severino

Co-orientador: Dr. George Wagner Leão e Sousa

APARECIDA DE GOIÂNIA
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Pinto, Felipe Pereira

Proposta de um sistema de gestão da efetividade de cursos de
engenharia. [manuscrito] / Felipe Pereira Pinto. - 2023.

0 87 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Maico Roris Severino; co-orientador Dr.
George Wagner Leão e Sousa.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Campus
Aparecida de Goiânia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de
Produção, Aparecida de Goiânia, 2023.

Bibliografia. Apêndice.

1. Efetividade. 2. Sistema de Gestão. 3. Engenharia de Sistema. 4.
CDIO. I. Severino, Maico Roris, orient. II. Título.

CDU 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 21 da sessão de Defesa de Dissertação de **Felipe Pereira Pinto**, que confere o título de Mestre **Engenharia de Produção**, na área de concentração em **Gestão Estratégica e Operacional da Produção**.

Aos **vinte dias do mês de junho de dois mil e vinte e três**, a partir das **08h00min**, de forma virtual, através da plataforma **Google Meet**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE GESTÃO DA EFETIVIDADE DE CURSOS DE ENGENHARIA**”. Os trabalhos foram instalados pelo Co-orientador, Professor Doutor **George Wagner Leão e Sousa (UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Messias Borges Silva (PPGEP-UNESP)**, membro titular externo, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Professora Doutora **Nadya Regina Galo (PPGEP/UFG)**, membro titular interno, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Professor Doutor **Maico Roris Severino (PPGEP/UFG)**, orientador, cuja participação ocorreu através de videoconferência;. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **George Wagner Leão e Sousa**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **vinte dias do mês de junho de dois mil e vinte e três**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Maico Roris Severino, Professor do Magistério Superior**, em 20/06/2023, às 10:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nadya Regina Galo, Professora do Magistério Superior**, em 20/06/2023, às 10:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Messias Borges Silva, Usuário Externo**, em 20/06/2023, às 10:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **George Wagner Leão e Sousa, Usuário Externo**, em 20/06/2023, às 10:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3804431** e o código CRC **946547A6**.

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha profunda gratidão, primeiramente a Deus, por toda força e luz que recebi durante meu período de mestrado. Sem a Sua orientação e fortaleza, eu não teria conseguido chegar tão longe. Agradeço por me abençoar com uma família amorosa e solidária, que esteve ao meu lado durante toda essa jornada.

Um agradecimento especial a minha família querida, vocês foram meu porto seguro, meu apoio incondicional e minha fonte de motivação. Agradeço por me encorajarem a perseguir meus sonhos e por acreditarem em mim quando eu duvidava de mim mesmo. Seu amor e encorajamento foram fundamentais para que eu persistisse e alcançasse meus objetivos.

Aos meus orientadores, Maico Roris Severino e George Wagner Leão e Sousa, sou imensamente grato. Sua orientação, sabedoria e dedicação foram essenciais para o meu crescimento acadêmico. Obrigado por compartilharem seus conhecimentos e por me desafiarem a alcançar meu potencial máximo. Estou verdadeiramente honrado por ter tido a oportunidade de aprender com vocês. Agradeço também a toda equipe do Transformatec-UFG, em especial o Nelson Júnior, pela inestimável contribuição ao meu trabalho.

Quero expressar também a minha imensa gratidão a Nadya Regina Galo e o Messias Borges Silva pelo tempo e esforço dedicados à análise e avaliação do meu trabalho na fase de qualificação. Suas sugestões, críticas construtivas e insights foram extremamente valiosas, ajudando-me a aprimorar meu projeto e expandir minha compreensão sobre a área de estudo.

Por fim, agradeço imensamente a cada pessoa que cruzou meu caminho durante meu mestrado e desempenhou um papel importante em minha jornada. A todos os amigos, colegas e professores, agradeço por sua amizade, colaboração e por compartilharem suas experiências comigo.

Agradeço a todos de coração.

The initial problem is never the real problem.

Gregory S. Parnell

RESUMO

Neste texto é apresentada uma pesquisa relacionada à efetividade do ensino de engenharia. Ela foi conduzida no contexto da criação de um escritório de transformação para o Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Goiás (CGEP-UFG). O objetivo do estudo foi propor um sistema de gestão de efetividade (SGE) capaz de medir o grau em que um curso de engenharia cumpre o seu propósito, e assim apoiar o direcionamento das iniciativas de sua transformação. A fim de lidar com esse desafio de natureza sócio-técnica, o método adotado seguiu a lógica maior de uma pesquisa-ação, onde o esforço de investigação interfere no objeto investigado. A peculiar natureza do objeto de pesquisa levou a cuidados de contextualização da abordagem sistêmica para guiar a intervenção. Houve um esforço consciente de situar o ciclo de vida do objeto enquanto sistema engenhado, ou seja, enquanto sistema criado pelo ser humano, dotado de objetivo e passível de interpretação de efetividade. Assim, reconheceu-se a influência da própria abordagem de engenharia em trazer um curso de engenharia à existência, o qual, quando em operação, cria engenheiros que, por sua vez, contribuem para engenhar outros sistemas para benefício da sociedade. Seguindo esse racional, alguns princípios da Engenharia de Sistemas e *Design Science Research* (DSR) foram adotados a fim de buscar esse ordenamento hierárquico de considerações. O método levou a criação de um modelo de efetividade baseado nos princípios defendidos pela Iniciativa CDIO (*Conceiving-Designing-Implementing-Operating*), o qual foi configurado com base em fundamentos de *survey* e instrumentalizado como parte do SGE. Dessa maneira, estabeleceu-se um meio de converter percepções subjetivas de 12 atributos intangíveis em um referencial quantitativo normalizado. Adotou-se uma escala de 0 a 100 para cada atributo de efetividade que compõe o modelo, onde 0 representa vazio e 100 representa cheio. A implementação do SGE no CGEP-UFG propiciou uma ilustração do funcionamento do instrumento de mensuração, através do qual mediu-se o valor de 47 para o atual estado de efetividade do curso, calculado a partir de 37 avaliações individuais coletadas. Esses resultados devem ser expandidos em trabalhos futuros a fim de propiciar interpretações estatísticas com maior grau de confiança. Sua utilização no caso real aqui descrito evidencia a materialização de uma sofisticada retroalimentação: a efetividade atual informa decisões de transformação que afetam a efetividade no futuro – idealmente estabelecendo um poderoso ciclo virtuoso de evolução. Dada a sua estrutura genérica, o SGE pode ser integrado a qualquer curso de engenharia.

PALAVRAS-CHAVE: Efetividade, Sistema de Gestão, Engenharia de Sistema, CDIO.

ABSTRACT

This text presents research related to the effectiveness of engineering teaching. It was carried out in the context of the creation of a transformation office for the Graduate Course in Industrial Systems Engineering at the Federal University of Goiás (CGEP-UFG). The objective of the study was to propose an effectiveness management system (EMS) capable of measuring the degree to which an engineering course fulfills its purpose, and thus support the direction of its transformation initiatives. In order to deal with this socio-technical challenge, the method adopted followed the greater logic of action research, where the investigation effort interferes with the investigated object. The peculiar nature of the research object led to careful contextualization of the systemic approach to guide the intervention. There was a conscious effort to situate the object's life cycle as an engineered system, that is, as a system created by human beings, endowed with an objective and subject to interpretation of effectiveness. Thus, the influence of the engineering approach itself in bringing an engineering course into existence was recognized, which, when in operation, creates engineers who, in turn, contribute to engineering other systems for the benefit of society. Following this rationale, some principles of Systems Engineering and Design Science Research (DSR) were adopted in order to pursue this hierarchical ordering of considerations. The method led to the creation of an effectiveness model based on the principles advocated by the CDIO Initiative (Conceiving-Designing-Implementing-Operating), which was configured based on survey fundamentals and instrumented as part of the SGE. In this way, a means of converting subjective perceptions of 12 intangible attributes into a normalized quantitative framework was established. A scale of 0 to 100 was adopted for each effectiveness attribute that makes up the model, where 0 represents empty and 100 represents full. The implementation of the SGE at CGEP-UFG provided an illustration of the functioning of the measurement instrument, through which the value of 47 was measured for the current state of effectiveness of the course, calculated from 37 individual evaluations collected. These results should be expanded in future works in order to provide statistical interpretations with a greater degree of confidence. Its use in the real case described here evidences the materialization of a sophisticated feedback loop: the current effectiveness informs transformation decisions that affect the effectiveness in the future – ideally establishing a powerful virtuous cycle of evolution. Given its generic structure, the SGE can be integrated into any engineering course.

KEYWORDS: Effectiveness, Management System, Systems Engineering, CDIO.

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 9 |
| 1.1. Contextualização | 9 |
| 1.2. Articulação do Problema e Identificação da Necessidade..... | 12 |
| 1.3. Questionamentos da Pesquisa..... | 20 |
| 1.4. Pressupostos da Pesquisa..... | 20 |
| 1.5. Objetivo Geral | 20 |
| 1.6. Objetivos Específicos | 20 |
| 1.7. Justificativa..... | 21 |
| 2. Fundamentação Teórica | 24 |
| 2.1. Pensamento Sistêmico e as Propriedades Emergentes | 24 |
| 2.2. Arquitetura Estratégica e a Dinâmica de Sistemas..... | 26 |
| 2.3. Medida de Efetividade (MoE)..... | 31 |
| 2.4. Iniciativa CDIO | 33 |
| 2.5. Avaliação do Programa Alinhada com os <i>Standards</i> do CDIO | 38 |
| 3. Metodologia | 41 |
| 3.1. <i>Design Science</i> e a Pesquisa Científica | 41 |
| 3.2. Engenharia de Sistemas e <i>Design Science</i> | 43 |
| 3.3. Ciclo de vida da engenharia e o CDIO como método | 44 |
| 3.4. A abordagem dos três sistemas..... | 46 |
| 3.5. Método da Pesquisa | 46 |
| 4. Resultados | 50 |
| 4.1. Concepção do Problema | 50 |
| 4.1.1. Definição dos Três Sistemas para o Modelo de Efetividade..... | 50 |
| 4.1.2. Modelo Global de Efetividade..... | 51 |
| 4.2. <i>Design</i> do Sistema de Gestão e do Modelo de Efetividade do Sistema 3 | 54 |
| 4.3. Implementação do Sistema de Gestão de Efetividade (SGE) no CGEP-UFG | 59 |
| 4.3.1. Dados..... | 59 |
| 4.3.2. Interpretação e Análise dos Resultados | 60 |
| 4.3.3. Avaliação do Sistema de Gestão da Efetividade (SGE)..... | 66 |
| 5. Considerações Finais..... | 68 |
| 6. Referências Bibliográficas | 71 |
| 7. APÊNDICE - QUESTIONÁRIO..... | 75 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Ciclo de Vida do Sistema | 11 |
| Figura 2 - Espaço do Problema | 13 |
| Figura 3 - Avaliação da Efetividade na Fase do Design | 16 |
| Figura 4 - Busca de Objetivo..... | 17 |
| Figura 5 - Ilustração Genérica de Sistema de Gestão..... | 18 |
| Figura 6 - Processo Ágil de modelagem SD | 30 |
| Figura 7 - Aprendizagem em ciclo simples e duplo..... | 31 |
| Figura 8 - Etapas da DSR..... | 43 |
| Figura 9 - Conceber-projetar-implementar-operar como um modelo de ciclo de vida de um produto, processo, projeto ou sistema. | 45 |
| Figura 10 - Abordagem dos Três Sistemas..... | 46 |
| Figura 11 - Etapas da Pesquisa..... | 48 |
| Figura 12 - Diagrama dos Três Sistemas (As is)..... | 51 |
| Figura 13 - Efetividade Total | 52 |
| Figura 14 - Atributos de Efetividade da Enterprise..... | 53 |
| Figura 15 - Sistema de Gestão da Efetividade-SGE (To be)..... | 58 |
| Figura 16 - Distribuição dos Dados por Stakeholder | 61 |
| Figura 17 - Média das Medidas por Princípio do CDIO | 62 |
| Figura 18 - Dados agregados por Stakeholders e por Princípios do CDIO..... | 63 |
| Figura 19 - Média das Medidas dos Princípios para cada Stakeholder..... | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Modelo Genérico de Atributos de Efetividade..... | 15 |
| Tabela 2 - Coleta de Evidências e Dados Alinhada com os Standards do CDIO..... | 39 |
| Tabela 3 - Etapas da Pesquisa em Design Science..... | 42 |
| Tabela 4 - Modelo de Valor/Efetividade para o Sistema 3..... | 55 |
| Tabela 5 - Dados Coletados..... | 59 |
| Tabela 6 - Total de Respondentes..... | 60 |
| Tabela 7 - MoE do CGEP-UFG | 60 |
| Tabela 8 - Análise das Respostas por Princípio e Grupo de Partes Interessadas | 64 |

1. Introdução

1.1. Contextualização

O problema que motivou a elaboração desta pesquisa é a modernização do *Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Goiás (CGEP-UFG)*, isto é, a necessidade de sua evolução, maturação técnica e aumento de efetividade¹. Inovação e crescimento do *CGEP-UFG* são imperativos fundamentais diante do ambiente de alta volatilidade, incerteza, complexidade e ambiguidade (VUCA) no qual está inserido. Nesse contexto cabe, inclusive, buscar interpretar um ponto sensível salientado por Rouse (2006), em relação a sistemas sociotécnicos, de que o crescimento é uma obrigação - a única alternativa ao declínio. O alerta aqui é que a estase de um empreendimento não é um estado estável e que, portanto, deve-se perseguir crescimento em contraposição ao declínio.

Em termos gerais, buscar o melhoramento do desempenho do *CGEP-UFG* é uma preocupação genuína e relevante dentre aqueles mais próximos a sua estruturação e execução. Esse trabalho corrobora com esse sentimento e ressalta o entendimento de que esses esforços sejam embasados em uma perspectiva que auxilie a entender a relação entre estrutura e desempenho e que propicie clareza acerca dos pontos de maior alavancagem para os quais os recursos devem ser direcionados. Naturalmente, busca-se evitar a adoção de intervenções sem efeito ou que gerem efeitos indesejados. A ideia também envolve evitar *solução* temporária podendo criar mais problemas ao invés de dissolver permanentemente o problema. Assim, defende-se que para dissolver o problema da evolução e maturação técnica do *CGEP-UFG* é cabível tratá-lo em termos do pensamento sistêmico e, por conseguinte, reconhecer a dependência lógica e formal entre sua estrutura e seu comportamento sistêmico. Sob a perspectiva sistêmica, desempenho, valor e efetividade são propriedades emergentes determinadas pela arquitetura do sistema e as condições de contorno estabelecidas pelo ambiente operacional no qual está inserido.

A partir desses entendimentos foi criado em 2018 um *escritório de transformação*, denominado *Transformatec UFG*, cujo intuito é gerenciar o processo de transformação do *CGEP-UFG*. Esse trabalho de pesquisa está relacionado a desdobramentos de iniciativas originadas nesse escritório. Dessa maneira, para todos os efeitos é relevante estabelecer que o conceito de transformação é aqui entendido como uma modificação consciente e proposital na

¹ Efetividade: É a habilidade de um sistema atingir metas ou objetivos declarados. Ou seja, é a quantificação do grau em que um sistema é capaz de cumprir o seu propósito existencial (adaptado de Ackoff, 1971 e Blanchard & Fabrycky, 2014).

ordem de um sistema, promovida por seres humanos, com o objetivo de alterar o comportamento desse sistema para benefício de um ou mais grupos de *stakeholders*.

Para alguns públicos, a expressão transformação organizacional é adotada de maneira coloquial, em linguagem de mercado, com o intuito de estabelecer o escopo de transformação em nível de empreendimento, em contraste a um escopo limitado apenas a produtos ou processos específicos. Entretanto é importante notar que o termo ‘organização’ não é equivalente ao termo ‘empreendimento’. O termo empreendimento, ou *enterprise* em inglês, propicia um referencial mais rigoroso e apropriado para os fins dessa pesquisa. O conceito de empreendimento envolve todos os elementos cabíveis ao tratamento de problemas e soluções de maneira completa, e não se limita à dimensão organizacional para a interpretação do todo. A noção de empreendimento está alinhada ao conceito de sistema em seu sentido amplo e atual, sendo assim aplicável a todos os tipos de sistemas de negócio, sistemas governamentais ou não governamentais, de qualquer tipo, tamanho e nível de complexidade (ENGEFLUX, 2015).

No presente contexto, um empreendimento, ou sistema total, consiste numa combinação proposital (por exemplo, uma rede) de recursos interdependentes (por exemplo, pessoas, processos, organizações, tecnologias de apoio e financiamento) que interagem entre si para coordenar funções, compartilhar informações, alocar financiamento, criar fluxos de trabalho, tomar decisões em seu(s) ambiente(s) para atingir as metas operacionais e de negócios por meio de uma rede complexa de interações distribuídas no espaço e no tempo (REBOVICH; WHITE, 2011).

O *processo de transformação* fundamentado nos princípios da engenharia de sistemas² é governado por um ciclo de vida bem definido, cujas fases são classificadas pelo lado da *aquisição ou transformação*, relativo as atividades do produtor (quem produz a transformação) e da *utilização*, relativo lado do consumidor (quem utiliza o sistema transformado). Segundo Blanchard e Fabrycky (2014), o sistema geral [empreendimento] é composto de quatro ciclos de vida simultâneos progredindo em paralelo, conforme ilustrado na Figura 1. Esta conceituação é a base para a engenharia simultânea³. A fase da aquisição, também identificada

² A engenharia de sistemas é uma abordagem interdisciplinar e meios para permitir a realização de sistemas de sucesso. Ele se concentra em definir as necessidades do cliente e a funcionalidade necessária no início do ciclo de desenvolvimento, documentar os requisitos e, em seguida, prosseguir com a síntese do projeto e a validação do sistema, considerando o problema completo: operações, custo e cronograma, desempenho, treinamento e suporte, teste, fabricação e descarte. A engenharia de sistemas integra todas as disciplinas e grupos especializados em um esforço de equipe, formando um processo de desenvolvimento estruturado que vai do conceito à produção e à operação. A engenharia de sistemas considera as necessidades comerciais e técnicas de todos os clientes com o objetivo de fornecer um produto de qualidade que atenda às necessidades do usuário (INCOSE, 2004).

³ A engenharia simultânea é definida como uma abordagem sistemática para a criação de um projeto de sistema

como fase de transformação, é constituída pelos estágios de concepção ou definição do problema, *redesign* e desenvolvimento da solução e a implementação da solução. Enquanto a fase de utilização é constituída pelos estágios de uso do sistema que foi trazido à existência, considerando ainda o seu encerramento e descarte.

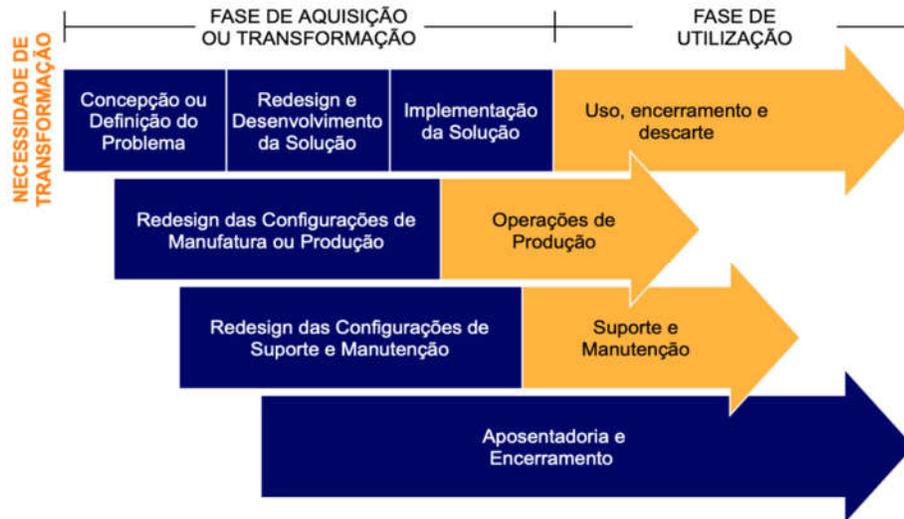


Figura 1- Ciclo de Vida do Sistema
Fonte: Adaptado de Blanchard e Fabrycky, 2014.

Fundamentada na compreensão do problema, a identificação da necessidade por uma capacidade⁴ nova ou modificada é o ponto de partida e o foco inicial do processo. O reconhecimento dessa necessidade ativa o estágio de concepção, cujo propósito é compreender e detalhar essa necessidade. Durante o desdobramento da concepção, além do sistema central, ou produto, que em si materializa a solução para o problema em questão, deve-se considerar também a produção ou manufatura desse produto. Isso dá origem a um ciclo de vida paralelo para a avaliação sistêmica das capacidades de produção e/ou manufatura necessárias para trazer esse produto à existência.

Outro ciclo de vida de considerável importância embora frequentemente negligenciado, é relativo ao processo de avaliação das atividades de suporte, incluindo a manutenção, suporte logístico e habilidades técnicas necessárias para fazer a manutenção do produto durante o uso, para dar suporte à capacidade de produção e/ou manufatura durante seu ciclo operacional e para manter a viabilidade do empreendimento como um todo. Segundo Blanchard e Fabrycky

que considera simultaneamente todas as fases do ciclo de vida, tanto do sistema produto quanto do sistema de produção e demais sistemas de suporte, desde a concepção até o descarte, incluindo a consideração de produção, distribuição, manutenção, eliminação e assim por diante (BLANCHARD; FABRYCKY, 2014)

⁴ Capacidade: Habilidade de executar um conjunto de atividades (funções), por meio de combinações de recursos (formas), a fim de alcançar um efeito desejado sob padrões e condições especificados de comportamento (desempenho). (adaptado de DoD 2009).

(2014), o planejamento dos requisitos de logística, manutenção, suporte técnico e regeneração deve começar durante a fase de concepção do sistema produto de maneira coordenada. À medida que cada um dos ciclos de vida é considerado, os recursos do projeto devem ser integrados para facilitar a eliminação, a regeneração ou o encerramento, tendo um impacto mínimo nos sistemas inter-relacionados.

1.2. Articulação do Problema e Identificação da Necessidade

O presente estudo tem como motivação contribuir com o projeto de modernização do CGEP-UFG atuando diretamente no estágio de concepção. Sabe-se que nesse estágio definir claramente o problema costuma ser a parte mais difícil do processo. O número de partidas falsas e o comprometimento de custo resultante podem ser significativos, a menos que uma boa base seja estabelecida desde o início (BLANCHARD; FABRYCKY, 2014). Muito mais importância em geral tem sido dada para a solução de um problema do que para o seu processo de formulação e diagnóstico. No entanto, a definição do problema geralmente é a parte mais importante do processo de engenharia pois estabelece o referencial lógico para todos os esforços subsequentes do processo de engenharia. Erros cometidos nessa fase podem provocar um alto custo para organização, ou até mesmo inviabilizar a solução.

Por esse motivo, para estabelecer uma boa base é fundamental compreender com clareza qual é a problemática operacional em questão, quais principais *relações de causalidade* são inerentes ao espaço do problema e como ocorre a dinâmica de *criação de valor* para as partes interessadas do sistema. Sem esse conhecimento não é possível compreender com clareza o desempenho e a dinâmica de valor do sistema, tampouco acessar os seus *pontos de alavancagem* que, por sua vez, são essenciais para o seu processo de transformação. Os pontos de alavancagem são aspectos em um sistema complexo (uma corporação, uma economia, um corpo vivo, uma cidade, um ecossistema) onde uma pequena mudança pode produzir grandes mudanças no todo em consideração (MEADOWS, 1999).

Como contexto ilustrativo para essa discussão, cabe trazer o importante alerta feito por uma das mais respeitadas organizações de engenharia do planeta. Em um estudo realizado pelo *Consórcio de Pesquisa em Engenharia de Sistemas* da NASA, criado para investigar as bases matemáticas da engenharia de sistemas, foi identificada uma necessidade de melhoria na forma como os valores das partes interessadas são articulados nos processos da engenharia de sistema. Os valores das partes interessadas do sistema geralmente não estão bem conectados, ou estão apenas vagamente conectados, à implementação do sistema. As expectativas das partes

interessadas costumam ser influenciadas pelo que está disponível, e não pelos novos recursos que podem ser desenvolvidos para atender a seus objetivos. Isso torna as novas ideias difíceis de corresponder às expectativas com base na experiência das partes interessadas. Esses fatores levam a sistemas deslegantes que não atendem totalmente às expectativas dos interessados. O projeto e a integração do sistema, mal definidos (no nível do sistema), levam a mais ênfase nos aspectos do subsistema do que no equilíbrio do sistema como um todo (NASA, 2020).

Essa deselegância a que o estudo da NASA se refere, pode, na prática, significar uma má compreensão do problema. Direcionar os esforços para resolver o problema errado é um dos piores erros possíveis no processo de engenharia pois isso, por definição, condena o programa de engenharia como um todo. Sendo assim, adequada atenção, métodos e procedimentos são cabíveis a fim de atingir alinhamento na articulação do problema.

Durante a fase de exploração do problema (como pode ser observado na Figura 2) pode existir uma grande incerteza sobre o que está de fato acontecendo, não se saber bem qual é exatamente a natureza do problema e porquê um determinado comportamento problemático acontece. Podem existir grandes desafios em compreender não apenas quais partes interessadas são importantes, mas também qual e como o valor pode ser entregue a elas. Necessidades por capacidades novas ou modificadas podem ser identificadas e traduzidas em requisitos ou objetivos sem que seja considerada a causalidade envolvida e sem que seja compreendido com clareza a dinâmica de valor inerente ao espaço do problema.

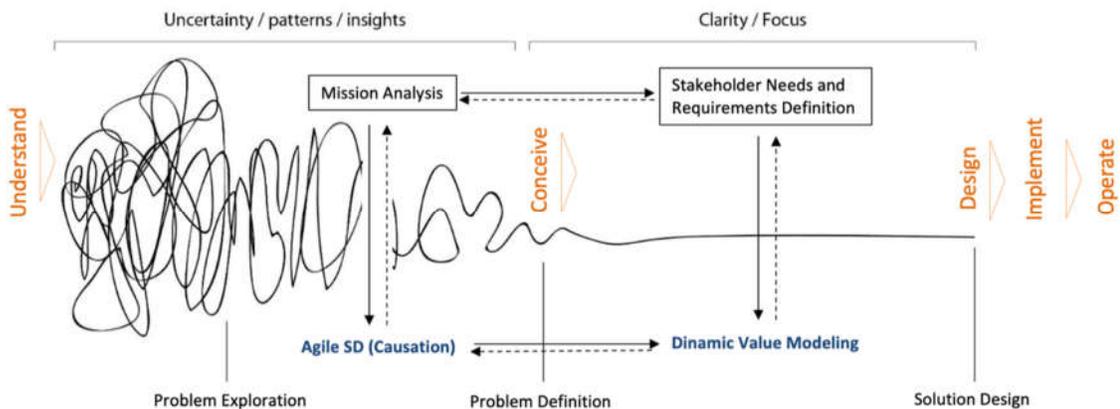


Figura 2 - Espaço do Problema
Fonte: Adaptado de Newman, 2009.

Muitos empreendimentos encontram dificuldade em definir com clareza o espaço do problema pois não possuem um referencial de claro de objetivo para contextualizar o desempenho do sistema atual e medir o seu grau de efetividade ao longo do tempo. O referencial

bem estruturado de objetivo esclarece o significado de valor do sistema fornece uma base matemática para validação⁵ do sistema, diferenciando claramente o processo de validação do sistema do seu processo de verificação⁶. O valor do sistema para as partes interessadas é a base para a validação do sistema. Ao capturar as preferências das partes interessadas em um modelo de efetividade e, em seguida, comparar com as capacidades do sistema, a habilidade do sistema de obter valor para as partes interessadas pode ser medida (WATSON, 2020).

Modelo de efetividade é representação matemática que busca oficializar um referencial de valor, integrando um ou mais objetivos para refletir o grau de efetividade do sistema. Ou seja, resume em termos quantitativos, e possivelmente sintetizado em um único número global, o “quão bom” o sistema tem sido ou estima-se que ele poderá ser. O modelo de efetividade torna-se assim um instrumento de gestão. Reúne o conjunto de atributos de efetividade que definem o que efetividade significa oficialmente para os gestores.

Para que esse raciocínio fique completo do ponto de vista da abordagem sistêmica de engenharia, é importante diferenciar atributo de efetividade e requisito. Um requisito⁷ expressa uma obrigatoriedade a ser atendida pelo sistema, sendo algo que se atende ou não. Enquanto um atributo de efetividade expressa um objetivo a ser perseguido além do requisito, sendo algo que se atinge em algum grau dentro de um intervalo de referência.

Cada atributo de efetividade pode ser definido através de um intervalo numérico. Em um extremo estabelecendo a pior quantificação aceitável (PQA) do atributo, e em outro extremo a melhor quantificação desejável (MQD). Veja a ilustração na tabela 1 a seguir. É cabível considerar que um requisito estabelece o PQA e que o intervalo entre o PQA e o MQD é a faixa em que se espera que o sistema opere. O sistema é considerado viável em qualquer valor entre PQA e MQD. Se o comportamento observado for melhor que o MQD daí pode se dizer que o valor está saturado. Por outro lado, se o comportamento observado for pior que o PQA daí o sistema é considerado inviável.

Como um exemplo ilustrativo, pensemos em uma rodovia federal. Conforme requisito definido pela norma DNIT 031/2006-ES, o Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI) da

⁵ Validação: O conjunto de atividades que garantem e ganham confiança de que um sistema é capaz de realizar seu uso, metas e objetivos pretendidos (ou seja, atender aos requisitos das partes interessadas) no ambiente operacional pretendido. O sistema certo foi construído (ISO/IEEE 2015, 1, Seção 6.4.8).

⁶ Verificação: A verificação é um conjunto de atividades que compara um sistema ou elemento do sistema com as características exigidas. Isso inclui, mas não está limitado, a requisitos especificados, descrição do projeto e o próprio sistema. O sistema foi construído corretamente (ISO/IEC/IEEE 2015, 1, Seção 6.4.6).

⁷ Requisito: Declaração que identifica uma característica ou restrição operacional, funcional ou de projeto de um produto ou processo, que é inequívoca, testável ou mensurável e necessária para a aceitabilidade do produto ou processo (ISO/IEC, 2007).

camada de rolamento de um pavimento asfáltico deverá apresentar valor menor ou igual a 2,7 m/km. Nesse caso, portanto, o valor 2,7 m/km do atributo IRI seria a PQA do modelo. Complementarmente, o MQA seria negociado para um projeto específico levando em conta a capacidade técnica e o orçamento disponíveis, geralmente sendo estabelecido em algo próximo a 0,9 m/km.

Tabela 1 - Modelo Genérico de Atributos de Efetividade

| Atributos (MoE) | PQA | MQD |
|------------------------|------------|------------|
| Atributo 1 | PQA1 | MQD1 |
| Atributo 2 | PQA2 | MQD2 |
| ... | ... | ... |
| Atributo n | PQAn | MQDn |

Fonte: Autor.

Para um dado sistema, pode ser cabível a definição de mais de um atributo de efetividade a fim de capturar adequadamente a completude do problema conforme expectativas das partes interessadas envolvidas. Assim, o sistema é considerado viável quando atende simultaneamente todos os atributos de efetividade. Ainda, para fins de cálculo, a posição dentro de cada uma dessas faixas pode ser normalizada através de uma curva de utilidade e uma média ponderada global de efetividade pode ser calculada permitindo assim obter um único número representativo da efetividade global do sistema.

No estágio de *design*, a noção de modelo de efetividade suporta a escolha entre arquiteturas candidatas. Isto é, através do modelo de efetividade é possível avaliar e escolher qual arquitetura, dentre as opções disponíveis, apresenta a melhor estimativa de efetividade. É uma tentativa de escolher o *design* que melhor atenderá as preferências e expectativas das partes interessadas. Conforme pode ser visto na figura 3, avaliação da efetividade e decisão de escolha é algo possível após uma definição arquitetônica mínima do sistema em termos de forma (física) e da função (lógica). Um design otimizado seria aquele que apresentasse a melhor efetividade considerando todas as combinações matemáticas possíveis.

processos e procedimentos para atingir seus objetivos. Em outras palavras, um sistema de gestão é uma estrutura projetada para conduzir uma organização em direção aos seus objetivos declarados.

Trazer esse entendimento para um ponto de vista mais rigoroso em termos de sistema de gestão como componente da própria arquitetura sistêmica requer reconhecer fundamentos de controle. Nesse sentido, é particularmente importante a identificação de loops negativos de retroalimentação. O feedback negativo é um mecanismo de autorregulação que atua para corrigir desvios e manter a estabilidade do sistema. Conforme Sterman (2001), loops negativos buscam balanceamento, equilíbrio e estase. Os loops de feedback negativo agem para alinhar o estado do sistema com uma meta ou estado desejado. Eles neutralizam quaisquer perturbações que movam o estado do sistema para longe do objetivo. Se houver uma discrepância entre o estado desejado e o real, uma ação corretiva é iniciada para alinhar o estado do sistema com o objetivo. A Figura 4 traz uma ilustração da estrutura causal genérica de loops negativos de retroalimentação. Esse tipo de loop por definição estabelece busca de objetivo. Ou seja, o estado atual do sistema é comparado com o objetivo e isso estabelece uma discrepância. Essa discrepância leva a uma ação corretiva visando trazer o estado do sistema para mais próximo do objetivo. Essa ação afeta o estado futuro do sistema, que por sua vez afeta uma futura interpretação de discrepância e conseqüentemente novas ações corretivas. Assim, loops negativos de retroalimentação são a estrutura causal que definem os sistemas de gestão.

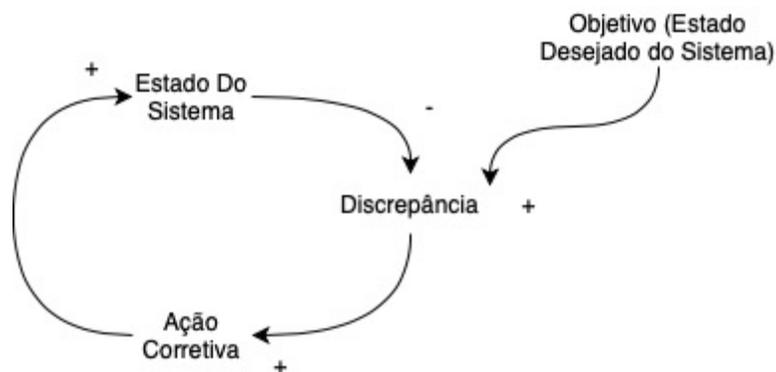


Figura 4 - Busca de Objetivo
Fonte: Adaptado de Sterman, 2001.

Medição do estado do sistema, coleta de dados, representação e interpretação de informações, tomada de decisão e ação de regulação de fluxo são atividades essenciais no gerenciamento de qualquer sistema, em qualquer nível da hierarquia sistêmica, seja isso conduzido de maneira automática ou não em ambientes organizacionais envolvendo gestores humanos, na medida que em as informações retratadas são convertidas em informações

percebidas, os tomadores de decisão podem definir e executar ações em seus respectivos domínios de gerenciamento. Assim, exercem uma função regulatória sobre os sistemas que gerenciam. Na Figura 5 há uma ilustração genérica da relação entre o sistema de gestão e o sistema gerenciado. Notem, também por definição, que ambos são subsistemas do sistema total em questão. Essa é a descrição genérica de elementos mínimos de uma capacidade em termos de sua habilidade de se autorregular em direção aos objetivos desejados. O intuito é conduzir, ao longo do tempo, o desempenho do sistema gerenciado para as condições desejadas (Adaptado de SOUSA *et al*, 2005).

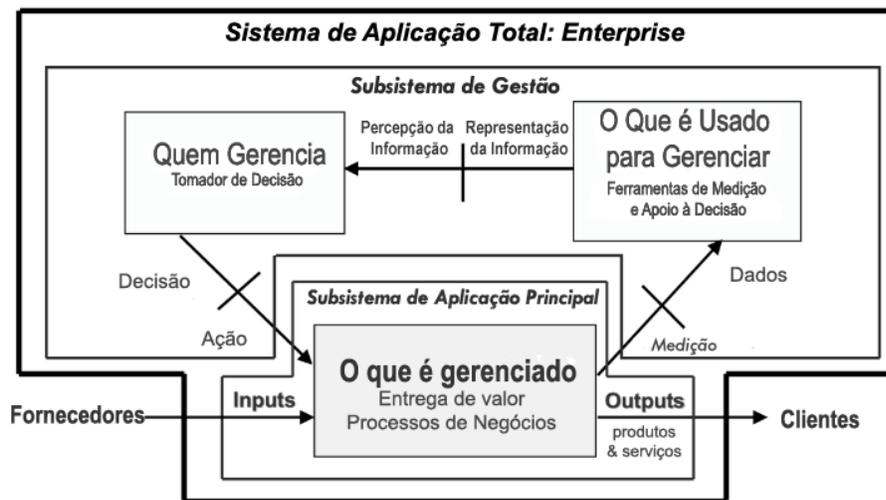


Figura 5 - Ilustração Genérica de Sistema de Gestão
Fonte: Sousa *et al* (2005)

Do ponto de vista de dinâmica, ou seja, de comportamento ao longo do tempo, um sistema de gestão pode ser entendido como um conjunto de componentes interconectados e interdependentes que trabalham em conjunto para alcançar os objetivos e metas. Esses componentes podem incluir políticas para amparar decisões, processos, pessoas, recursos e sistemas de informação. Um sistema de gestão busca manter a estabilidade e a efetividade da organização, contribuindo para que as atividades sejam executadas de forma coordenada e alinhada com os objetivos estabelecidos. Ele envolve o planejamento, a implementação, a monitorização e a melhoria contínua das atividades e processos-chave da organização.

Dentro desse contexto, um modelo de efetividade pode servir como ferramenta para o sistema de gestão definir seus objetivos e medir o quão bem a organização tem alcançado seus objetivos e pode contribuir para determinar o grau da discrepância entre o seu estado desejado e o seu estado atual. O sistema de gestão fornece os mecanismos necessários para a aprendizagem organizacional, promovendo uma cultura de melhoria contínua, adaptabilidade e inovação. Portanto, rigorosamente falando, um sistema de gestão é um mecanismo de regulação

de efetividade. Assim, ao utilizar um sistema de gestão da efetividade, a organização pode se desenvolver, aumentar o seu valor perante as partes interessadas, aumentar a sua eficiência, melhorar a sua qualidade e alcançar melhores resultados ao longo do tempo.

Esses fundamentos aqui descritos foram considerados e contextualizados na problemática de modernização do *Curso de Graduação em Engenharia de Produção da UFG (CGEP-UFG)* e debatidos de maneira ampla no ambiente do *Transformatec UFG* como parte da investigação que estabeleceu a estratégia para a presente pesquisa. Em particular, buscou-se identificar referencial, compatível como esses fundamentos de ciclo de vida sistêmico, que pudesse oferecer diretrizes de excelência pertinentes a educação em engenharia. Dessa maneira, a investigação preliminar identificou os esforços da Iniciativa CDIO e os resultados gerados ao longo cerca de duas décadas de trabalhos já realizados.

A Iniciativa CDIO estabelece um referencial para a transformação dos cursos de engenharia a fim de melhor balancear teoria e prática na formação dos engenheiros. Ela tem sido desenvolvida com a contribuição de acadêmicos, indústria, engenheiros e estudantes e de maneira a ser um modelo que pode ser adaptado e adotado por qualquer escola de engenharia universitária. Mais de uma centena de cursos no mundo já participam da iniciativa. Conferências internacionais são realizadas regularmente e documentos de referência descrevendo o racional e estabelecendo padrões de excelência são mantidos atualizados.

O CDIO é um modelo de arquitetura aberta, está disponível para todos os programas universitários de engenharia para se adaptar às suas necessidades específicas e está sendo adotado por um número crescente de instituições de ensino de engenharia em todo o mundo (MIT, 2022). Argumenta-se nessa pesquisa que além de estabelecer diretrizes gerais de excelência, alguns componentes do CDIO podem ser interpretados como referenciais de efetividade para empreendimentos de educação em engenharia de maneira compatível com os fundamentos apresentados nessa introdução. Mais especificamente, a atenção aqui é voltada para os 12 CDIO *standards* (ou princípios) que formalizam diretrizes para a transformação de um programa educacional de engenharia. Eles criam *benchmarks* e metas com aplicação mundial e fornecem uma estrutura para melhoria contínua do sistema. Os 12 CDIO *standards* abordam a filosofia do programa (Standards 1), desenvolvimento de currículo (Standards 2, 3 e 4), experiências de projeto-implementação e espaços de trabalho (Standards 5 e 6), novos métodos de ensino e aprendizagem (Standards 7 e 8), desenvolvimento do corpo docente (Standards 9 e 10) e avaliações (Standards 11 e 12) (CRAWLEY, E.F. *et al*, 2014).

Neste contexto, o presente trabalho tem por proposta desenvolver um sistema de gestão para cursos de engenharia, com a capacidade de medir a sua efetividade ao longo do tempo e retroalimentar a sua capacidade evolutiva, a luz dos *Standards* ou princípios do CDIO.

1.3. Questionamentos da Pesquisa

A indagação principal que circunscreve a investigação é a seguinte:

i. *Quais são os aspectos a serem avaliados e medidos para mensurar a efetividade de um curso de graduação em engenharia?*

1.4. Pressupostos da Pesquisa

Para responder essa pergunta nesta pesquisa é avaliado e perquirido o seguinte conjunto de *conjecturas*:

- i. Um modelo de efetividade é um referencial para compreender a missão e avaliar a sua efetividade total de um sistema;
- ii. A curva de efetividade de um sistema só pode ser conhecida e analisada com precisão através de um modelo de efetividade [declarado].

Tais *conjecturas* serão investigadas tendo como pressuposto as seguintes *premissas* (Watson, 2020):

- i. Se existe uma solução para um contexto específico, existe pelo menos uma solução ideal de Engenharia de Sistemas para esse contexto específico;
- ii. As principais preferências e expectativas dos stakeholders (necessidade operacional) podem ser representadas matematicamente.

1.5. Objetivo Geral

Propor um sistema de gestão de efetividade (SGE) para cursos de engenharia, com o intuito de estabelecer uma referência quantitativa para mensuração de desempenho, assim como direcionar melhoria e evolução ao longo do tempo.

1.6. Objetivos Específicos

- Integrar a articulação de efetividade e os princípios do CDIO na criação de um modelo de efetividade pertinente à educação em engenharia;

- Desenvolver o sistema de gestão da efetividade (SGE) para cursos de engenharia incorporando o modelo de efetividade criado;
- Aplicar o sistema de gestão da efetividade (SGE) no ambiente do CGEP-UFG e avaliar sua aptidão para uso.

1.7. Justificativa

Do ponto de vista sistêmico, problema é entendido como um *comportamento* problemático que *emerge* durante a operação do sistema. É uma propriedade emergente que afeta negativamente o comportamento do sistema, criando obstáculos ao desempenho de suas funções e, conseqüentemente, diminuindo a sua capacidade de entregar valor as partes interessadas. Por esse motivo, é fundamental definir quais são os atributos de efetividade do sistema, pois sem um conceito claro sobre as métricas de desempenho do sistema, não é possível compreender em qual medida um determinado problema tem afetado o seu comportamento e muito menos dizer como eliminar os obstáculos que degradam a sua capacidade de gerar valor.

O modelo de efetividade define os critérios de desempenho e os indicadores-chave que devem ser monitorados ao longo do tempo. Esses indicadores permitem que a equipe de projeto avalie regularmente o desempenho do sistema em relação aos objetivos estabelecidos. Durante a avaliação do desempenho do sistema, o modelo de efetividade pode revelar lacunas ou problemas que estão impedindo o sistema de atingir os resultados desejados. Ao identificar essas lacunas, a equipe de projeto pode tomar medidas para corrigi-las e melhorar a efetividade do sistema.

O modelo de efetividade também pode incorporar o feedback das partes interessadas, como usuários, clientes, equipe interna, entre outros. Ao coletar e analisar esse feedback, é possível obter insights valiosos sobre como o sistema está atendendo às necessidades e expectativas dos usuários. Esse feedback direto das partes interessadas pode informar os esforços de melhoria contínua, permitindo que o sistema se adapte às demandas em constante evolução. À medida que o sistema evolui, o modelo de efetividade pode ajudar a identificar oportunidades de inovação e a adição de novas funcionalidades que podem melhorar ainda mais sua efetividade. Isso pode ser feito com base na análise de tendências do setor, feedback das partes interessadas ou na identificação de novas necessidades e requisitos. Ao adicionar essas melhorias e inovações ao sistema, ele pode continuar a evoluir e permanecer relevante ao longo do tempo.

O caso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção da UFG (CGEP-UFG)

A busca pela excelência no ensino superior é um objetivo fundamental para qualquer instituição acadêmica, especialmente quando se trata de cursos de engenharia. Diante do cenário em constante evolução tecnológica, das exigências das novas Diretrizes Curriculares Nacionais para Cursos de Graduação de Engenharia, instituídas pela Resolução nº 2 de 24 de abril de 2019 da Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação (CES/CNE) do Ministério da Educação (BRASIL, 2019), e das demandas cada vez mais complexas do mercado de trabalho, torna-se necessário adotar um modelo de efetividade que permita uma avaliação abrangente e sistemática dos cursos de engenharia em geral, e, de forma particular, do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Goiás (UFG) que serve de referência para os aspectos práticos dessa pesquisa.

A implementação de um sistema de gestão de efetividade para cursos de engenharia é crucial, pois fornece uma estrutura sólida para a coleta, análise e interpretação de dados e informações relevantes. Esse modelo, tal como proposto aqui, permite uma avaliação abrangente de todos os aspectos que impactam a qualidade do ensino, incluindo o currículo, as metodologias de ensino e avaliação, a formação dos professores, as instalações e recursos disponíveis, bem como o desempenho dos estudantes.

Ao adotar um sistema holístico de gestão de efetividade, as instituições de ensino superior são capazes de monitorar de forma sistemática o desempenho dos cursos de engenharia. Isso inclui a avaliação do progresso dos estudantes em relação às competências e habilidades esperadas ao longo do curso, identificando possíveis lacunas de conhecimento e promovendo ações de melhoria contínua. Além disso, o sistema de gestão de efetividade permite avaliar o impacto das atividades de pesquisa e extensão desenvolvidas pelos docentes e estudantes, contribuindo para o avanço científico e tecnológico.

No caso específico do curso de Engenharia de Produção da UFG, a implementação de um modelo de efetividade é particularmente relevante. A Engenharia de Produção é uma área multidisciplinar que requer uma formação sólida em engenharia, gestão e economia, visando otimizar os processos produtivos, melhorar a qualidade e a eficiência das operações e maximizar os resultados organizacionais. Portanto, um sistema de gestão de efetividade permite à UFG avaliar de maneira abrangente o desempenho dos estudantes em disciplinas técnicas e de gestão, garantindo uma formação completa e alinhada às demandas do mercado de trabalho.

Um sistema de gestão de efetividade fornece uma estrutura sistemática para avaliar e monitorar o desempenho do curso, identificando pontos fortes e áreas de melhoria. Ele permite que a instituição colete dados relevantes sobre o ensino, aprendizagem, pesquisa e extensão, além de outros aspectos relacionados ao curso, como currículo, metodologias de ensino, infraestrutura e formação dos professores. Através da análise desses dados, é possível identificar lacunas no currículo e fazer ajustes para garantir que ele esteja atualizado e alinhado com as demandas do mercado de trabalho e com os avanços tecnológicos. O modelo de efetividade também permite avaliar a eficácia das metodologias de ensino adotadas, identificando aquelas que promovem um melhor aprendizado e engajamento dos estudantes.

Além disso, o sistema de gestão de efetividade promove a avaliação contínua do desempenho dos estudantes em relação às competências e habilidades esperadas para a formação em Engenharia de Produção. Isso possibilita o desenvolvimento de ações específicas para apoiar os estudantes que apresentam dificuldades e promover um ambiente de aprendizagem mais efetivo. O monitoramento constante dos indicadores de desempenho através do modelo de efetividade também auxilia na identificação de tendências e no acompanhamento das mudanças ao longo do tempo. Com base nessas informações, é possível implementar ações de melhoria contínua, como revisão do currículo, atualização de laboratórios e recursos tecnológicos, capacitação de docentes e estímulo à pesquisa e inovação.

Além disso, o modelo de efetividade possibilita a análise do impacto das atividades de pesquisa e extensão desenvolvidas pelos docentes e estudantes. Essas atividades contribuem para a evolução do curso, uma vez que promovem o desenvolvimento de soluções inovadoras, a transferência de conhecimento para a sociedade e a interação com o setor produtivo. Através do modelo de efetividade, é possível identificar áreas de pesquisa promissoras e alinhar as atividades de pesquisa e extensão com as necessidades e demandas do mercado.

Dessa forma, o modelo de efetividade desempenha um papel crucial na melhoria contínua e evolução do curso de Engenharia de Produção da UFG, fornecendo informações objetivas e embasadas em dados para orientar as ações de aprimoramento. Ao implementar um modelo de efetividade, a instituição estabelece uma cultura de busca pela excelência, permitindo que o curso se adapte às demandas do mercado e se mantenha atualizado em um cenário em constante mudança.

2. Fundamentação Teórica

No presente capítulo será apresentado o conceito de pensamento sistêmico e como ele pode auxiliar a compreender as propriedades emergentes de um sistema. Para isso foi percorrido na primeira parte como a forma, função e propriedade emergente se organizam dentro de um sistema e como influenciam o seu desempenho ao longo do tempo. Na segunda parte, foi apresentado o conceito de medida de efetividade e sua relação com a engenharia de sistemas. Na terceira parte foi apresentado o conceito de modelo de valor e, por fim, na última parte é apresentado a filosofia da iniciativa do CDIO.

2.1. Pensamento Sistêmico e as Propriedades Emergentes

Segundo Ackoff (1978), existem quatro maneiras de tratar um problema - *absolvição, resolução, solução e dissolução* - a maior delas é a dissolução. A absolvição do problema é aquela abordagem que simplesmente aceita o problema e espera que ele se resolva por si mesmo. A resolução do problema, já seria uma abordagem razoável onde se empresta uma solução do passado, de uma situação similar. A solução do problema, é o método convencional de tratamento dos problemas ensinado nas academias, é uma abordagem baseada em pesquisa onde se busca uma solução ótima para o problema. A dissolução do problema, por sua vez, é uma metodologia baseada no *pensamento sistêmico*, um problema só pode ser dissolvido através do *redesign*, isto é, redesenhando a organização ou o ambiente de onde *emerge* o problema, para que ele seja eliminado e não possa reaparecer.

O pensamento sistêmico emerge como uma modalidade de raciocínio baseada no conceito de *sistema* que, por sua vez, com o advento da ciência contemporânea conquistou um lugar de destaque no imaginário da comunidade científica, passando a desempenhar um papel central para a interpretação e compreensão dos fenômenos da natureza e da sociedade. O princípio subjacente ao conceito de sistema é o reconhecimento de que o todo é maior do que a soma das partes, isto é, existem propriedades no sistema que *emergem* da interação entre os seus componentes, propriedades estas que passam a existir e apresentam um caráter de novidade em relação às propriedades dos componentes considerados isoladamente ou quando organizados de forma diferente em um outro tipo de sistema.

O reconhecimento desse princípio é essencial para compreender como os problemas *emergem* dentro de um empreendimento e porque eles não podem ser considerados isoladamente ou reduzidos a componentes particulares. Os problemas não acontecem isoladamente dentro de um empreendimento, eles não são resultados da *ação* de algum

componente tomado separadamente, os problemas são propriedades que emergem da *interação* dos componentes do sistema entre si e com seu ambiente operacional.

Os problemas são essencialmente propriedades emergentes *indesejadas* pois afetam negativamente o comportamento do sistema, criando obstáculos ao *desempenho* de suas funções e diminuindo a sua capacidade de gerar *valor*. O valor é um benefício alcançado em razão de um determinado custo. Os benefícios, semelhantes aos problemas, também são propriedades que emergem da interação dos componentes do sistema, no entanto, ao contrário dos problemas, os benefícios, em última análise, são *desejáveis* e representam a razão de ser do sistema, eles justificam a sua existência. Um sistema de engenharia é criado com o único objetivo de gerar benefícios aos seus stakeholders e *shareholders* para atender ou satisfazer uma ou mais necessidade. Quanto maior o benefício em relação ao custo, maior será o *valor* e a *utilidade* do sistema criado, quanto menos propriedades indesejadas emergirem durante a sua fase de utilização, menor será o custo e maior o valor do sistema ao longo de seu ciclo de vida. O sistema possui simultaneamente as características de *forma* e *função*. A forma tem a ver com a existência. A forma *é o que o sistema é*, a manifestação concreta e muitas vezes visível do sistema. A forma é o que eventualmente é operado para entregar função e valor. A forma não é função, mas a forma é necessária para entregar a função. Função *é o que um sistema faz*. Função é sobre atividade, em contraste com forma, que é sobre existência. Função é a atividade, operação ou transformação que causa ou contribui para o desempenho. A função emerge da interação funcional entre entidades. Função é a ação para a qual uma coisa existe ou é empregada (CRAWLEY *at al.*, 2016).

O modo como a forma e a função estão organizadas no sistema é conhecido como *arquitetura sistêmica*, cujo benefício é fornecido pela função habilitada pela forma que, por sua vez, define quais são os custos do sistema. A importância da arquitetura é expressa por Crawley *at al* (2016) pelo que ele denomina de *Princípio de Valor e Arquitetura*, onde desenvolver boas arquiteturas (função desejada para forma mínima) é quase sinônimo de entrega de valor (benefício a custo mínimo). Quando existe uma degradação do valor do sistema ao longo do tempo, a causa do problema infalivelmente está na sua arquitetura sistêmica.

Simultaneamente à *forma* e *função*, pode-se dizer ainda que o sistema possui uma terceira característica, um aspecto que *emerge* do domínio funcional, mas que ali não se esgota, pelo contrário, o transcende, pois não é uma atividade ou ação, mas sim algo que passa a existir, uma existência semelhante a da forma, contudo uma existência que emerge da operação do sistema. As propriedades emergentes não são função, apesar de terem sido produzidos por ela,

e também não são elementos de forma, pois só passam a existir quando o sistema entra em funcionamento. As propriedades emergentes são a mágica do sistema, a razão pela qual o sistema é criado.

Uma lâmpada, por exemplo, é um produto de engenharia que pode ser compreendida a partir da perspectiva sistêmica considerando seus aspectos de *forma, função e propriedades emergentes*. A sua parte concreta e material são os seus componentes de forma, ou seja, o bulbo de vidro preenchido por gases de argônio e nitrogênio que envolve um dispositivo em filamento de cobre e tungstênio. A sua função é converter corrente elétrica em energia luminosa através do efeito Joule para iluminar o ambiente. A iluminação, derivada da energia luminosa (5%), e o calor, derivado da energia térmica (95%), são as propriedades emergentes do sistema lâmpada.

Tendo em vista que a lâmpada foi projetada com o objetivo de fornecer iluminação, a energia luminosa produzida é a propriedade emergente desejada/positiva do sistema, enquanto a energia térmica, por produzir calor e não contribuir com a iluminação, é considerada uma propriedade indesejada/negativa. O calor é indesejado na medida que prejudica o valor sistêmico da lâmpada, uma vez que o benefício gerado pela função converter energia elétrica em energia luminosa é muito pequeno em relação ao desperdício gerado pela energia térmica, resultando assim em uma baixa eficiência energética e um alto consumo de energia.

2.2. Arquitetura Estratégica e a Dinâmica de Sistemas

A maneira como as propriedades emergentes se comportam no sistema está intimamente entrelaçada com o conceito de *complexidade e previsibilidade*. “Complexidade” é essencialmente diferente de “complicado”. Em sistemas complicados, como um automóvel, as interações entre as muitas peças são governadas por relações fixas. Isso permite uma previsão razoavelmente confiável de problemas técnicos, de tempo e custos. Em sistemas complexos, como o sistema de transporte aéreo, as interações entre as partes exibem auto-organização, onde as interações locais dão origem a padrões novos, não locais e emergentes (INCOSE, 2015).

Quanto mais complexo é um sistema, tanto mais difícil é de prever o comportamento de suas propriedades que emergem ao longo do tempo. Muitos acreditam que a principal tarefa da abordagem de sistemas é evitar o surgimento de propriedades emergentes indesejadas, a fim de minimizar o risco de resultados inesperados e potencialmente indesejáveis. Esta revisão das propriedades emergentes é frequentemente associada especificamente com a identificação e prevenção de falhas do sistema (HITCHINS, 2007). No entanto, a boa engenharia de sistemas

não está focada apenas em evitar a falha do sistema. Também envolve a maximização da oportunidade, compreendendo e explorando as propriedades emergentes dos sistemas de engenharia para criar as características sistêmicas necessárias a partir de interações sinérgicas entre os componentes, não apenas dos próprios componentes (SILLITTO, 2010).

Segundo Crawley *at al* (2016), existem três maneiras de prever o comportamento das propriedades emergentes em um sistema. A primeira delas é através da *experiência do passado*, isto é, uma previsão baseada em precedentes, onde se encontra soluções idênticas ou muito semelhantes na experiência, implementando-as com pequenas alterações. A segunda, através de *experimentos diretos*, junta-se entidades com suas relações propostas para avaliar o que pode emergir em experimentos controlados. Isso pode variar desde ajustes simples até uma prototipagem altamente estruturada. Em engenharia de sistemas, o desenvolvimento em espiral é uma forma de experimento em que parte do sistema é primeiro construído para verificar o comportamento das propriedades emergentes antes que o resto do sistema seja construído (em espirais posteriores). E a terceira maneira, é através de *experimentos indiretos*, isto é, modelagem e simulação. Se a função das entidades e a interação funcional podem ser modeladas, então é possível prever e avaliar as propriedades emergentes em um modelo.

Em sistemas sócio-técnicos, empreendimentos e sistemas de sistemas (SoS), a previsão baseada em experiências passadas não é suficiente e os experimentos diretos são proibitivamente caros ou antiéticos e, na maioria das vezes, é simplesmente impossível conduzir experimentos controlados uma vez que tais sistemas apresentam uma *complexidade dinâmica*, isto é, o seu comportamento é contraintuitivo, estão em desequilíbrio, adaptam e evoluem ao longo do tempo. A maioria das pessoas pensa na complexidade em termos do número de componentes de um sistema ou do número de combinações que devem ser consideradas ao tomar uma decisão. O problema de programar de forma otimizada os vôos e as tripulações de uma companhia aérea é altamente complexo, mas a complexidade está em encontrar a melhor solução dentro de um número astronômico de possibilidades (STERMAN, 2000).

Essa forma de complexidade combinatória ou detalhada é muito diferente da complexidade dinâmica que, em contraste, surge das interações entre os agentes ao longo do tempo, podendo até surgir de um sistema muito simples e com baixa complexidade combinatória. Conforme Sterman (2000), a complexidade dinâmica surge em alguns sistemas por eles serem (1) dinâmicos, (2) fortemente acoplados, (3) governados por retroalimentação, (4) não-lineares, (5) dependentes da história, (6) auto-organizados, (7) adaptativos, (8) contraintuitivos, (9) resistentes a políticas e (10) caracterizados por trade-offs.

A modelagem e a simulação é a melhor maneira para avaliar, compreender e prever o comportamento das propriedades emergentes em sistemas que possuem complexidade dinâmica. Do ponto de vista descontínuo, o comportamento emergente do sistema pode ser avaliado a partir de sua arquitetura formal e funcional, podendo ser representado por modelos implementados pela linguagem OPM e SysML. Do ponto de vista contínuo, o comportamento das propriedades emergentes surge da estrutura dinâmica do sistema que, por sua vez, consiste em loops de feedback, estoques e fluxos, e não linearidades criadas pela interação da estrutura física e institucional do sistema com os processos de tomada de decisão dos agentes que atuam nele. Os modos básicos de comportamento em sistemas dinâmicos são identificados junto com as estruturas de feedback que os geram. Esses modos incluem crescimento, criado por feedback positivo; busca de metas, criada por feedback negativo; e oscilações (incluindo oscilações amortecidas, ciclos de limite e caos), criadas por feedback negativo com atrasos de tempo. Modos mais complexos, como crescimento em forma de S, *overshoot* e colapso, surgem da interação não-linear dessas estruturas básicas (STERMAN, 2000).

Conforme a *Teoria Geral Unificada* (GUT) de Kim Warren (2020), o desempenho de um sistema pode ser matematicamente definido a partir de *três princípios* derivados da ciência da dinâmica de sistemas que aplica a teoria de controle da engenharia à sistemas socioeconômicos. O *primeiro princípio* reconhece que o desempenho (P), em um dado tempo (t), é função da quantidade de estoque (R1...Rn), decisões de gerenciamento (M) e fatores exógenos (E), naquele tempo (eq.1). O *segundo princípio* é derivado do comportamento matemático de um estoque ao longo do tempo, isto é, a quantidade atual de um estoque Ri, no tempo t, é o resultado da variação da sua quantidade no tempo t-1, mais ou menos quaisquer ganhos ou perdas que ocorreram entre t-1 e t (eq. 2). O *último princípio*, por sua vez, sustenta que a mudança na quantidade de Ri, no tempo t-1 para o tempo t, depende da quantidade de recursos R1 para Rn no tempo t-1, das decisões de gerenciamento, M, e dos fatores exógenos, E, naquele momento (eq. 3).

$$P(t) = f[R_1(t), \dots, R_n(t), M(t), E(t)] \quad (1)$$

$$R_i(t) = R_i(t-1) + /-\Delta R_i(t-1 \dots t) \quad (2)$$

$$\Delta R_i(t-1 \dots t) = f[R_1(t-1), \dots, R_n(t-1), M(t-1), E(t-1)] \quad (3)$$

Considerando os três princípios juntos, implementando as Eqs. 1, 2 e 3, cria-se o que pode ser denominado uma "arquitetura estratégica" do sistema operacional de uma organização,

exibindo todos os componentes, relacionamentos e resultados significativos, em qualquer nível de detalhe necessário para a confiabilidade nas descobertas (Warren, 2020). Essa arquitetura é uma perspectiva contínua e dinâmica do comportamento das propriedades emergentes em termos de estoques, fluxos, decisões de gerenciamento, fatores externos e suas relações de causalidade. Ela revela a *estrutura causal* que governa o desempenho de um sistema, dando acesso aos seus pontos de alavancagem e fornecendo uma perspectiva global para informar a gestão/regulação contínua da estratégia em qualquer período (o que fazer, quando, quanto e qual impacto no desempenho), bem como em decisões pontuais, servindo para formar a base de uma *arquitetura de valor* e um *painel de controle* do empreendimento em nível sistêmico.

A progressão lógica desses princípios, segundo Warren (2020), pode dar base a um *processo ágil* de modelagem da dinâmica de sistemas, conforme pode ser observado na Figura 6. Na primeira iteração, em questão de horas, cada etapa do processo é realizada diretamente com as partes interessadas do problema. Um diagrama é construído a partir do(s) fator(es) de preocupação em que cada item e cada relação causal entre esses itens é apoiado por gráficos de tempo quantificados, mesmo se os valores tiverem que ser estimados. As iterações subsequentes podem acontecer com indivíduos ou pequenos grupos com conhecimento específico das partes do modelo sob escrutínio. Cada etapa também é apoiada por um modelo de trabalho, para verificar se a análise causal emergente é válida e realista. O método deve ser visto como uma adaptação radical, ao invés de uma substituição, de outros processos de construção de modelos em grupo (Group Model-Building – GMB).

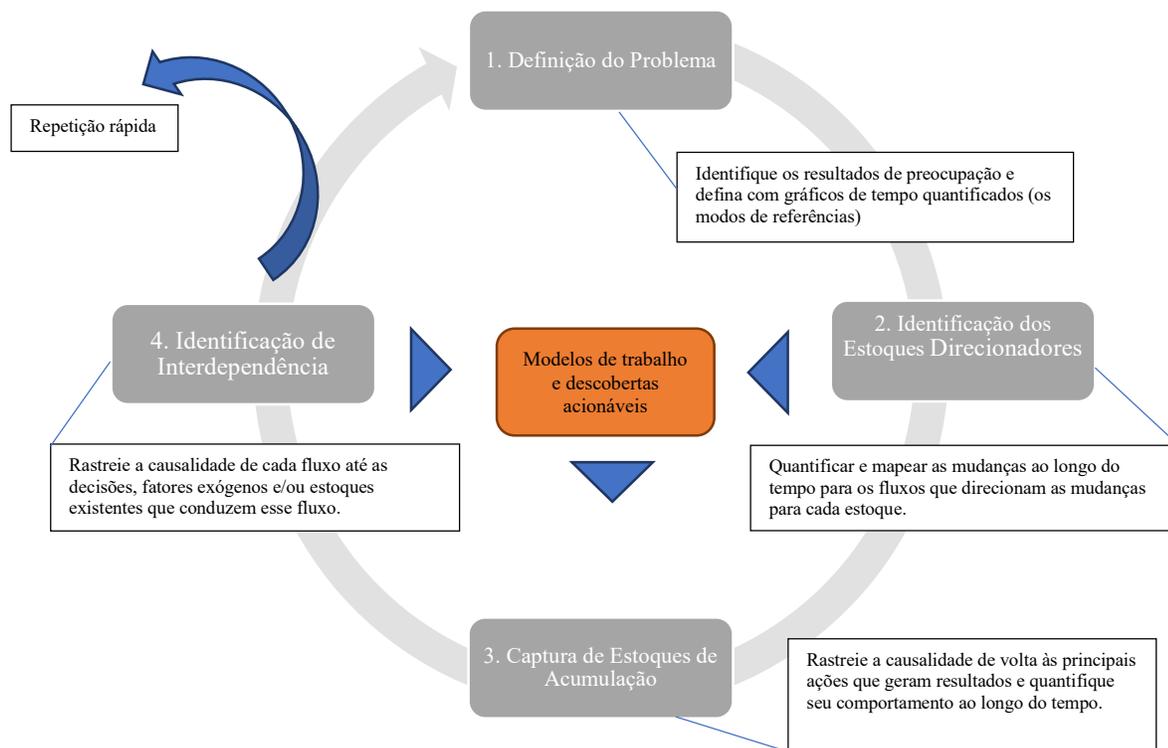


Figura 6 - Processo Ágil de modelagem SD
Fonte: Adaptado de Warren, 2018.

A modelagem, como parte do processo de aprendizagem, é iterativa, um processo contínuo de formulação de hipóteses, teste e revisão de modelos formais e mentais. Os experimentos conduzidos no mundo virtual informam o projeto e a execução de experimentos no mundo real; a experiência no mundo real leva a mudanças e melhorias no mundo virtual e nos modelos mentais dos participantes (STERMAN, 2000). Tal processo de modelagem cria uma capacidade evolutiva/transformacional no empreendimento baseada em feedbacks de aprendizagem de ciclo simples e duplo, como pode ser observado na Figura 7.

Os modelos de simulação são informados por nossos modelos mentais e por informações obtidas do mundo real. Estratégias, estruturas e regras de decisão usadas no mundo real podem ser representadas e testadas no mundo virtual do modelo. Os experimentos e testes conduzidos no modelo retroalimentam para alterar nossos modelos mentais e levam ao projeto/desenho de novas estratégias, novas estruturas e novas regras de decisão. Essas novas políticas são então implementadas no mundo real e o feedback sobre seus efeitos leva a novos insights e melhorias adicionais em nossos modelos formais e mentais. Modelar não é uma atividade única que produz A Resposta, mas um processo contínuo de ciclo contínuo entre o mundo virtual do modelo e o mundo real da ação (STERMAN, 2000).

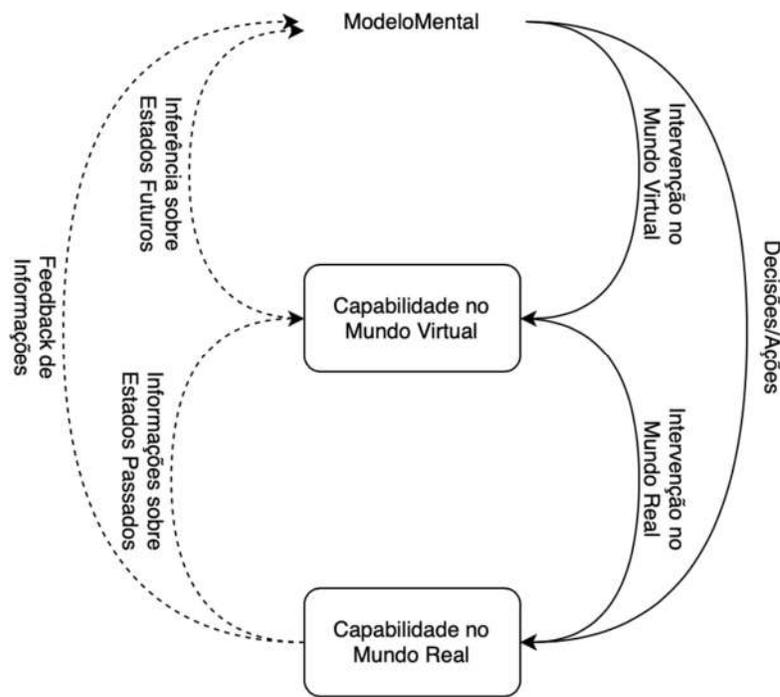


Figura 7 - Aprendizagem em ciclo simples e duplo.

Fonte: Adaptado de Notas de Aula, 2020.

A arquitetura estratégica serve como fundamento para essa capacidade evolutiva [baseada na dinâmica de sistemas] e funciona como um *modelo dinâmico do valor sistêmico* do empreendimento, podendo servir como um referencial quantitativo para medir a curva da efetividade do sistema ao longo do tempo.

2.3. Medida de Efetividade (MoE)

Uma medida de efetividade é um indicador quantitativo usado para avaliar o desempenho e a capacidade de um sistema em cumprir um objetivo em um determinado ambiente operacional. Essa medida é usada para avaliar a efetividade de um sistema em termos de sua capacidade de desempenhar suas funções de maneira satisfatória e alcançar os resultados desejados. As medidas “operacionais” de sucesso que estão intimamente relacionadas com a realização da missão ou objetivo operacional global que está sendo avaliado, no ambiente operacional pretendido sob um conjunto especificado de condições; ou seja, quão bem a solução atinge o propósito pretendido (ROEDLER; JONES, 2006).

Os critérios que definem as medidas de efetividade (MOE) são derivados das preferências e necessidades dos stakeholders e funcionam como os principais indicadores para se determinar se o sistema está atingindo a sua missão ou propósito. Embora sejam

independentes de qualquer solução específica, os MOEs são os critérios gerais de sucesso operacional a serem usados pelos stakeholders para garantir a integração entre a necessidade operacional que deu origem ao sistema e o fluxo de valor que emerge durante a sua operação. Os MOEs focam na capacidade do sistema para alcançar o sucesso da missão dentro do ambiente operacional total. MOEs representam os critérios de avaliação e aceitação mais importantes do adquirente, com base nos quais a qualidade de uma solução é avaliada (ROEDLER; MARTIN, 2005).

Na engenharia de sistemas, a medida de efetividade é uma ferramenta crucial para avaliar o desempenho de sistemas complexos, tais como sistemas de transporte, sistemas de defesa, sistemas de energia, sistemas de comunicação, entre outros. Ela permite avaliar o quão bem um sistema está cumprindo seus objetivos e metas, identificar áreas de melhoria, otimizar o projeto e operação do sistema e auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao desenvolvimento e gestão do sistema.

Uma medida de efetividade pode ser definida com base em requisitos técnicos, operacionais, econômicos, sociais ou ambientais, dependendo do contexto do sistema em questão. Por exemplo, em um sistema de transporte público, uma medida de efetividade pode ser o número de passageiros transportados por hora, a pontualidade dos horários, a satisfação dos usuários ou o consumo de combustível. Já em um sistema de defesa, uma medida de efetividade pode ser a capacidade de detecção, a precisão dos sistemas de armas, a capacidade de sobrevivência em ambientes hostis ou a capacidade de resposta a ameaças.

A importância das medidas de efetividade na engenharia de sistemas reside na sua capacidade de fornecer informações objetivas e quantitativas sobre o desempenho e a capacidade de um sistema. Elas permitem que os engenheiros e profissionais envolvidos no projeto, desenvolvimento e operação de sistemas avaliem o desempenho do sistema em relação aos objetivos e requisitos estabelecidos, identifiquem áreas de melhoria, otimizem o projeto e operação do sistema e tomem decisões informadas para garantir a efetividade do sistema. Além disso, as medidas de efetividade também podem ser usadas como base para a comunicação com os stakeholders, tais como clientes, usuários, financiadores e reguladores, fornecendo informações claras e objetivas sobre o desempenho do sistema e sua capacidade de cumprir os objetivos estabelecidos. Isso é fundamental para a gestão eficiente e eficaz de sistemas complexos, contribuindo para a melhoria contínua e a tomada de decisões embasadas em dados concretos.

Em resumo, as medidas de efetividade são ferramentas essenciais na engenharia de sistemas, permitindo avaliar o desempenho e a capacidade de um sistema em cumprir seus objetivos e metas em um determinado ambiente operacional. Elas são fundamentais para o projeto, desenvolvimento, operação e gestão eficiente de sistemas complexos, garantindo que os sistemas projetados e implementados sejam efetivos em atender às necessidades e expectativas dos usuários e stakeholders envolvidos.

2.4. Iniciativa CDIO

No final da década de 1990, o Departamento de Aeronáutica e Astronáutica do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT Aero-Astro) envolveu-se em um processo rigoroso para determinar os conhecimentos, habilidades e atitudes que os engenheiros formados deveriam possuir. Eles pesquisaram líderes da indústria e do governo, ex-alunos e educadores, e examinaram as listas de necessidades da indústria e dos credenciadores. Os resultados mostram que o sucesso da engenharia no mundo real requer mais do que conhecimento dos fundamentos da engenharia; requer habilidades que vão desde a experiência com projetos práticos de *design* e construção, até habilidades em comunicação e trabalho em equipe (MIT, 2022).

Por meio desse esforço empreendido pelo MIT Aero-Astro foi identificado uma necessidade crítica subjacente ao processo de aprendizagem de engenharia, qual seja, educar os estudantes para serem capazes de Conceber-Projetar-Implementar-Operar (CDIO) produtos, processos e sistemas de engenharia complexos e de valor agregado em um ambiente moderno e baseado em equipe. Por consequência, para atender essa necessidade crítica, o MIT em parceria com três Universidades Suécas (Chalmers University of Technology (Chalmers) em Göteborg, o Royal Institute of Technology (KTH) em Stockholm e a Linköping University (LiU) em Linköping), empreenderam um rigoroso processo de engenharia para desenvolver a abordagem do CDIO. A abordagem é construída tendo por base três premissas, que refletem seus objetivos, visão e fundamento pedagógico (CRAWLEY *et al.*, 2014):

- Que a necessidade subjacente seja melhor atendida definindo metas que enfatizam os fundamentos e, ao mesmo tempo, tornando o processo de *concepção-projeto-implementação-operação* de produtos, processos e sistemas o *contexto* da educação em engenharia.
- Que os resultados de aprendizagem para os alunos devem ser estabelecidos por meio do envolvimento das partes interessadas, e atendidos por meio da construção de uma sequência de experiências de aprendizagem integradas, algumas das quais são

experiências reais, ou seja, expõem os alunos às situações que os engenheiros encontram em sua profissão.

- Que a construção adequada dessas atividades integradas de aprendizagem fará com que as atividades tenham duplo impacto, facilitando o aprendizado do aluno de habilidades críticas pessoais e interpessoais e habilidades de construção de produtos, processos e sistemas, ao mesmo tempo em que aprimoram o aprendizado dos fundamentos.

A Iniciativa CDIO lançou seu primeiro *syllabus* em 2001 (CDIO Syllabus 1.0), posteriormente seguido pelos princípios CDIO (*Standards* CDIO 1.0), uma iniciativa que envolveu 10 renomadas escolas de engenharia em 2004. Ao longo desse período, a Iniciativa cresceu rapidamente em tamanho e começou a realizar conferências CDIO anuais, a primeira das quais foi realizada em 2005. Até 2021, a iniciativa CDIO realizou 17 conferências internacionais CDIO em 12 países diferentes (O'CONNOR *et al*, 2023). No final do ano de 2022, aconteceu a 18th Conferência Internacional do CDIO onde foram apresentados mais de 150 trabalhos de grande relevância para a comunidade, abrangendo as seguintes categorias de publicação: (1) Avanços no CDIO; (2) Implementações do CDIO e (3) Pesquisas em Educação de Engenharia.

O'Connor *et al* (2023) realizou uma revisão sistemática de todas as publicações da biblioteca de conhecimento no site oficial da iniciativa CDIO, entre o período de 2010 e 2020, e achou mais de 800 artigos publicados de grande relevância para o desenvolvimento do CDIO. O rápido crescimento de publicações evidencia a grande relevância do tema para a educação e pesquisa em engenharia. Várias universidades já perceberam o quanto a filosofia do CDIO é eficaz para a formação de novos engenheiros para o mercado do século XXI e começaram a implementar o CDIO em seus programas de educação em engenharia.

Na universidade de Aston (UK), por exemplo, conforme apresentado no trabalho desenvolvido por Soupez e Awotwe (2023), a filosofia do CDIO está sendo implementada no curso de engenharia marítima com resultados promissores. De acordo com Soupez e Awotwe (2023), a implementação e operação de soluções práticas e físicas para um problema de engenharia, como é feito na iniciativa CDIO, pode fornecer benefícios educacionais significativos para os alunos do curso de arquitetura naval. A abordagem CDIO pode ser uma pedagogia relevante para o desenvolvimento de engenheiros marítimos, pois enfatiza a aprendizagem prática e a resolução de problemas do mundo real, o que pode preparar melhor os alunos para a transição para a indústria. Além disso, a abordagem CDIO pode ajudar a

desenvolver habilidades interpessoais, como trabalho em equipe e comunicação, que são altamente valorizadas no setor marítimo.

Outro exemplo é dentro do contexto de educação em engenharia dentro das universidades da Índia. No estudo de Lenin *et al* (2023), demonstrou o quanto a iniciativa do CDIO pode ser benéfica para a educação de qualidade em engenharia. Lenin *et al* (2023), discute a necessidade de implementação do CDIO na educação de engenharia na Índia e apresenta estratégias de implementação em níveis macro e micro. O texto também discute os requisitos para implementação do CDIO em instituições, corpo docente e discente, além de identificar os obstáculos na implementação e táticas para superá-los.

Um outro estudo realizado por Tanveer e Usman (2023), no Departamento de Engenharia de Software do Instituto de Tecnologia de Blekinge, na Suécia, utilizou uma abordagem de mapeamento sistemático e entrevistas com acadêmicos experientes em engenharia de software para identificar como o CDIO tem sido utilizado no contexto da educação em engenharia de software. Os resultados indicaram que o CDIO tem sido aplicado em cursos de programação, design de software, gerenciamento de projetos de software e engenharia de software em geral. Além disso, o CDIO tem sido usado para melhorar habilidades como aprendizado autônomo, trabalho em equipe e prática de engenharia.

Na Universidade de Tecnologia de Taiyuan, Song (2023) investigou a aplicação da iniciativa educacional CDIO na reforma do ensino de testes de software em modo híbrido online-offline em universidades e chegou a conclusão de que o CDIO pode melhorar as habilidades de teste e as habilidades de aprendizagem independente dos alunos. Segundo Song (2023) o *design* da estrutura curricular e a promoção do ensino e aprendizagem baseados no conceito educacional CDIO, enfatiza a integração da teoria e prática, e o cultivo de habilidades de engenharia e qualidades profissionais. Essa abordagem ajuda os alunos a desenvolver uma compreensão abrangente do teste de software e a melhorar suas habilidades práticas.

A característica essencial da abordagem CDIO é que ela cria experiências de aprendizado de duplo impacto que promovem o aprendizado profundo de fundamentos técnicos e conjuntos de habilidades práticas. Aplica abordagens pedagógicas modernas, métodos de ensino inovadores e novos ambientes de aprendizagem para proporcionar experiências concretas de aprendizagem. Essas experiências concretas de aprendizado criam uma estrutura cognitiva para aprender as abstrações associadas aos fundamentos técnicos e oferecem oportunidades para aplicação ativa que facilita a compreensão e a retenção. Assim, eles fornecem o caminho para um conhecimento de trabalho mais profundo dos fundamentos. Essas

experiências concretas também proporcionam aprendizado em habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de construção de produtos, processos e sistemas (CRAWLEY *et al.*, 2014).

A abordagem CDIO tem três objetivos gerais: educar estudantes para serem capazes de (1) dominar em profundidade o conhecimento prático dos fundamentos técnicos, (2) Liderar na criação e operação de novos produtos, processos e sistemas e (3) compreender a importância e o impacto estratégico do desenvolvimento da pesquisa e tecnologia na sociedade. Os objetivos nº 1 e nº 2 representam uma tensão no ensino de engenharia, ou seja, por um lado é necessário enfatizar o conhecimento dos fundamentos técnicos e, por outro lado, é imprescindível enfatizar as habilidades e competências. Para resolver essa tensão, foi desenvolvido uma visão sistemática para o ensino de engenharia que abrange todo o programa educacional. A abordagem CDIO prevê uma educação que enfatiza os fundamentos, estabelecidos no contexto de conceber-projetar-implementar-operar produtos, processos e sistemas. As características importantes da visão são que (CRAWLEY *et al.*, 2014):

- A educação é baseada em objetivos de programa claramente articuladas e resultados de aprendizagem do aluno, definidos por meio do envolvimento das partes interessadas;
- Um currículo organizado em torno de cursos disciplinares de apoio mútuo com atividades entrelaçadas que desenvolvem habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de construção de produtos, processos e sistemas;
- Experiências de implementação de design definidas tanto na sala de aula quanto em espaços de trabalho de aprendizado modernos como base para o aprendizado experimental baseado em engenharia;
- Aprendizagem ativa e experiencial, além de experiências de implementação de design, que podem ser incorporadas em cursos presenciais;
- Um processo abrangente de análise e avaliação.

A elaboração adequada dessas experiências de aprendizado integradas fará com que elas tenham duplo impacto, ensinando simultaneamente habilidades e apoiando o aprendizado mais profundo dos fundamentos. Com isso foi construído uma abordagem integrada para identificar as necessidades de aprendizagem dos alunos em um programa e assim foi construído uma sequência de experiências de aprendizagem para atender a essas necessidades. Esses dois elementos são capturados em uma estrutura de prática efetiva, composta pelo CDIO *Syllabus* e pelos CDIO *Standards* (CRAWLEY *et al.*, 2014).

Os resultados de aprendizagem específicos estão codificados no CDIO *Syllabus*. Esta taxonomia de resultados de aprendizagem é uma declaração racional, consistente e detalhada do possível conjunto de habilidades para um engenheiro. O *Syllabus* foi derivado de avaliações de necessidades e documentos de origem e testado por revisão por pares. As expectativas de proficiência para os alunos de graduação são definidas com a contribuição das partes interessadas. Esses resultados de aprendizagem formam então a base para a comunicação de metas e resultados tanto para alunos quanto para instrutores, para benchmarking e design de programas e para avaliação da aprendizagem dos alunos. CDIO *Syllabus* classifica os resultados da aprendizagem em quatro categorias de alto nível (CRAWLEY *et al.*, 2014):

1. Conhecimento disciplinar e raciocínio;
2. Habilidades e atributos pessoais e profissionais;
3. Habilidades interpessoais: trabalho em equipe e comunicação;
4. Conceber, projetar, implementar e operar sistemas na empresa, contexto social e ambiental - o processo de inovação.

O CDIO *Syllabus* nada mais é do que uma referência ou um modelo para o desenvolvimento de resultados de aprendizagem. Cada programa deve desenvolver seus próprios resultados de aprendizagem, talvez modificando o conteúdo do programa e, certamente, definindo resultados de aprendizagem específicos para os alunos, validados pelas partes interessadas do programa. A educação em engenharia tem quatro grupos principais de partes interessadas: *estudantes, indústria, corpo docente universitário e sociedade*. Os resultados de aprendizagem dos alunos em um programa devem ser definidos de forma que reflitam os pontos de vista desses quatro grupos principais de interessados (CRAWLEY *et al.*, 2014).

Um Standard do CDIO descreve uma característica essencial de um programa de engenharia que adotou o modelo CDIO de reforma do ensino de engenharia. Os 12 Standards foram desenvolvidos em resposta a pedidos de parceiros industriais, líderes de programas e ex-alunos para atributos de graduados nos programas CDIO. Ou seja, eles queriam saber como reconheceriam os programas CDIO e seus graduados. Como resultado, esses *Standards* do CDIO definem as características distintivas de um programa CDIO, servem como diretrizes para a reforma do programa educacional, criam *benchmarks* e metas que possam ser aplicadas em todo o mundo e, por último, fornecem uma estrutura para autoavaliação e melhoria contínua (CRAWLEY, 2005).

Os CDIO *Standards* são uma tentativa de capturar em uma estrutura as *práticas efetivas* do ensino de engenharia bem-sucedido. Eles codificam os princípios orientadores na concepção e desenvolvimento de um programa. Eles são o esboço da resposta a uma segunda pergunta central: “Como podemos fazer melhor para garantir que os alunos aprendam essas habilidades?” Os *Standards* servem como diretrizes para a reforma e avaliação de programas educacionais, criam referências e metas com aplicação mundial e fornecem uma estrutura para melhoria contínua (CRAWLEY *et al.*, 2014).

Os 12 CDIO *Standards* endereçam:

- O princípio fundamental de um contexto de ciclo de vida da educação (*Standard 1*);
- Desenvolvimento curricular (*Standard 2, 3 e 4*);
- Experiências e espaços de trabalho de implementação de design (*Standard 5 e 6*);
- Métodos de ensino e aprendizagem (*Standard 7 e 8*);
- Desenvolvimento do corpo docente (*Standard 9 e 10*);
- Avaliação dos resultados de aprendizagem e do programa (*Standard 11 e 12*).

2.5. Avaliação do Programa Alinhada com os *Standards* do CDIO

Conforme Crawley (2005), a avaliação de programas baseada em *Standards* tem algumas características em comuns com outros tipos de avaliação, por exemplo, avaliação baseada em resultados, avaliação baseada em processos, avaliação baseada em impacto. A avaliação baseada em *resultados* concentra-se nos resultados finais do programa para as pessoas a quem se destina. Alguns resultados são intencionais, enquanto outros são imprevistos. A avaliação do *processo* é a avaliação sistemática do que está acontecendo dentro do programa. O exame do processo ajuda a explicar os resultados do programa e aponta para características do programa que tiveram maior ou menor sucesso. Por último, uma avaliação baseada em impacto, examina o que acontece aos participantes como resultado do programa. Às vezes, o impacto é interpretado como resultados de longo prazo. Ocasionalmente, impacto significa efeitos do programa na comunidade em geral.

Uma avaliação de programa baseada em *Standards* do CDIO enfoca os resultados, particularmente os resultados de aprendizagem do aluno e a satisfação do aluno, e o processo, particularmente ensino, aprendizado e avaliação em um ambiente de projeto-implementação. Os programas são comparados a um conjunto explícito de expectativas, ou seja, os 12 *Standards* do CDIO. Embora os *Standards* não abordem especificamente o impacto de longo prazo, a avaliação dos programas CDIO geralmente inclui questões relacionadas aos planos futuros dos

alunos, contribuições de ex-alunos para seus campos de engenharia e influências de um programa em indústrias locais, nacionais e internacionais (CRAWLEY, 2005).

De acordo com Crawley (2005), os *Standards* do CDIO complementam os *Standards* nacionais de credenciamento que estabelecem níveis básicos de desempenho exigidos para certificação ou credenciamento. Um programa que atenda aos *Standards* do CDIO necessariamente atenderá aos critérios da maioria dos órgãos de credenciamento. A abordagem de avaliação do programa do CDIO expande o ABET *EC2000*, por exemplo, particularmente nas áreas de ensino, aprendizagem e a consequente necessidade de desenvolvimento do corpo docente.

Ao avaliar os programas CDIO, é usado vários métodos de coleta para coletar dados de alunos, professores, documentos existentes e outras fontes institucionais, semelhante a matrix de planejamento apresentado na tabela 2 a seguir. A maioria dos métodos listados na Tabela 3 são métodos tradicionais de coleta de dados, familiares aos responsáveis pela avaliação de programas educacionais. Dois deles, no entanto, podem exigir esclarecimentos: avaliação incorporada ao curso e memorandos reflexivos do instrutor. Usamos avaliação incorporada ao curso para coletar dados para questões de avaliação relacionadas aos Standards 4, 7, 8 e 11. Na verdade, o Standard 11 se concentra nos métodos de avaliação de aprendizado que os instrutores usam para determinar se os alunos atingiram os objetivos de aprendizado pretendidos. Esses métodos incluem exames orais e escritos, avaliações de desempenho de apresentações orais e trabalhos de laboratório, avaliações através de colegas e autoavaliação, diários profissionais e portfólios de projetos.

Tabela 2 - Coleta de Evidências e Dados Alinhada com os Standards do CDIO

| CDIO Standard | Evidência | Método de Coleta de Dados |
|-------------------------------|---|--|
| 1. Contexto | Declaração de missão documentada Corpo docente e aluno que podem articular a missão | Revisão de documentos existentes Entrevistas com grupos focais |
| 2. Resultados de Aprendizagem | Listas de resultados de aprendizado do programa. Validação de conteúdo e níveis de proficiência com as principais partes interessadas | Revisão de documentos Auto-estudos institucionais Pesquisas com os principais grupos de partes interessadas |
| 3. Currículo Integrado | Plano documentado de integração de habilidades CDIO Inclusão de habilidades CDIO em cursos | Mapeamento do currículo Memorandos reflexivos do instrutor Entrevistas com os instrutores |

| | | |
|---|--|--|
| 4. Introdução a Engenharia | Aquisição do aluno de habilidades essenciais de CDIO Alto interesse dos alunos em engenharia Seleção do curso de engenharia | Avaliação integrada no curso Avaliação do curso Entrevistas de grupos focais Sair de pesquisas |
| 5. Experiências de Projeto-Implementação | Dois ou mais cursos de projeto-implantação no currículo Oportunidades extracurriculares | revisão do currículo Avaliação do curso Sair de pesquisas |
| 6. Espaços de Trabalho para Aprendizagem de Engenharia | Espaços adequados e ferramentas de engenharia Altos níveis de satisfação dos alunos | Estudos de uso do espaço Pesquisas na Saídas dos Espaços Memorandos reflexivos do instrutor |
| 7. Experiências Integradas de Aprendizagem | Evidência de habilidades do CDIO e habilidades disciplinares em experiências de aprendizagem Envolvimento das principais partes interessadas | Memorandos reflexivos do instrutor. Avaliação de aprendizado incorporada ao curso Pesquisas de partes interessadas |
| 8. Aprendizagem Ativa | Implementação bem-sucedida de métodos de aprendizagem ativos Altos níveis de desempenho e satisfação dos alunos Altos níveis de interesse do corpo docente em métodos de aprendizagem ativos | Avaliação de aprendizagem incorporada ao curso Memorandos reflexivos do instrutor Avaliações do curso Entrevistas com grupos focais Pesquisas de saída |
| 9. Aprimoramento das Competências do Corpo Docente | Compromisso de recursos para o desenvolvimento do corpo docente Maioria do corpo docente com competência em CDIO | Revisão anual do corpo docente Estudos de alocação de recursos Memorandos reflexivos do instrutor |
| 10. Aprimoramento das Competências de Ensino do Corpo Docente | Compromisso de recursos para o desenvolvimento do corpo docente Maioria do corpo docente com competência em métodos de ensino e avaliação | Revisão anual do corpo docente Estudos de alocação de recursos Memorandos reflexivos do instrutor |
| 11. Avaliação da Aprendizagem | Métodos de avaliação combinados com os resultados de aprendizagem Implementação bem-sucedida de métodos de avaliação | Conteúdos programáticos do curso Avaliação de aprendizado incorporada ao curso Memorandos reflexivos do instrutor |
| 12. Avaliação do Programa | Processo de melhoria contínua documentado Evidência de mudanças baseadas em dados | Revisão de documento Entrevistas com tomadores de decisão |

Fonte: Adaptado de Crawley, 2005.

3. Metodologia

Neste capítulo, será apresentado a metodologia científica adotada nesta dissertação de mestrado, baseada no conceito de Design Science e Engenharia de Sistemas. A abordagem de Design Science, bem como da Engenharia de Sistemas, é uma estrutura metodológica amplamente reconhecida para a pesquisa e desenvolvimento de artefatos ou sistemas em ciência da computação e na área da tecnologia. Nesta seção, será descrito os princípios e etapas gerais do Design Science e da Engenharia de Sistemas, destacando sua aplicação específica ao contexto deste estudo.

3.1. *Design Science* e a Pesquisa Científica

A *design science* é a base epistemológica para o estudo do que é artificial. *Design science research (DSR)* é um método que estabelece e operacionaliza a pesquisa quando o objetivo desejado é um artefato ou uma recomendação. Além disso, a pesquisa baseada na DSR pode ser realizada em um ambiente acadêmico, bem como, em um contexto organizacional (Dresch, A. *at al*, 2015). Em outras palavras, DSR é uma abordagem que visa criar e avaliar artefatos criados pelo homem, como modelos, métodos, algoritmos e sistemas, com o objetivo de resolver problemas práticos e promover o avanço do conhecimento. Essa abordagem combina elementos da ciência tradicional, que busca entender e explicar o mundo, com a engenharia, que se concentra na criação de soluções aplicáveis. A DSR proporciona uma estrutura sistemática para investigar problemas complexos e tem por finalidade propor soluções inovadoras.

Uma característica fundamental da pesquisa em *design science* como método é que ela é orientada para a solução de problemas específicos para obter uma solução satisfatória para a situação, mesmo que a solução não seja ótima. No entanto, as soluções geradas pela pesquisa em *design science* devem ser passíveis de generalização para uma classe específica de problemas. Essa generalização para uma classe de problemas pode permitir que outros pesquisadores e profissionais em várias situações usem o conhecimento gerado organizacional (Dresch, A. *at al*, 2015).

Para melhor fundamentar o processo da DSR, Hevner et al. (2004), conforme tabela 3 a seguir, especificou 7 diretrizes fundamentais para guiar a metodologia. Ou seja, a pesquisa em *design science* requer a criação de um artefato inovador e intencional (Diretriz 1) para um domínio de um problema específico (Diretriz 2). Como o artefato é proposital, ele deve gerar utilidade para o problema especificado. Portanto, uma avaliação completa do artefato é crucial

(Diretriz 3). A novidade é igualmente crucial, pois o artefato deve ser inovador, resolvendo um problema até então não resolvido ou resolvendo um problema conhecido de maneira mais eficaz ou eficiente (Diretriz 4).

Tabela 3 - Etapas da Pesquisa em Design Science

| Diretriz | Descrição |
|---|--|
| 1 - Design como um artefato | A pesquisa em ciência do design deve produzir um artefato viável na forma de uma construção, um modelo, um método ou uma instanciação. |
| 2 - Relevância do Problema | O objetivo da pesquisa em ciência do design é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para problemas de negócios importantes e relevantes. |
| 3 - Avaliação do design | A utilidade, qualidade e eficácia de um artefato de design devem ser rigorosamente demonstradas por meio de métodos de avaliação bem executados. |
| 4 - Contribuição da Pesquisa | A pesquisa de ciência do design eficaz deve fornecer contribuições claras e verificáveis nas áreas do artefato de design, fundações de design e/ou metodologias de design. |
| 5 - Rigor da Pesquisa | A pesquisa em ciência do design depende da aplicação de métodos rigorosos tanto na construção quanto na avaliação do artefato de design. |
| 6 - Design como um processo de pesquisa | A busca por um artefato eficaz requer a utilização dos meios disponíveis para alcançar os fins desejados enquanto satisfaz as leis no ambiente do problema. |
| 7 - Comunicação da Pesquisa | A pesquisa em ciência do design deve ser apresentada de forma eficaz tanto para o público orientado para a tecnologia quanto para o público voltado para a gestão. |

Fonte - Hevner et al., 2004.

Desta forma, a DSR é diferenciada da prática do design. O próprio artefato deve ser rigorosamente definido, formalmente representado, coerente e internamente consistente (Diretriz 5). O processo pelo qual ele é criado, e muitas vezes o próprio artefato, incorpora ou permite um processo de busca pelo qual um espaço de problema é construído e um mecanismo proposto ou implementado para encontrar uma solução efetiva (Diretriz 6). Finalmente, os resultados da DSR devem ser comunicados de forma eficaz (Diretriz 7) (Hevner et al., 2004).

A metodologia do Design Science compreende várias etapas distintas, que são adaptadas conforme necessário para cada projeto específico. De acordo com Peffers *et al.* (2007), a primeira atividade do método, conforme figura 8, é a identificação do problema e a definição dos pontos que motivam a pesquisa. A segunda etapa do método diz respeito à definição dos resultados esperados para o problema. A terceira atividade de pesquisa é referida como design e desenvolvimento. A quarta etapa refere-se à demonstração, ou seja, uso do artefato para resolver o problema. A quinta atividade de pesquisa refere-se à avaliação. E, por fim, a última etapa é a da comunicação, onde o pesquisador divulga os resultados da pesquisa e sua relevância para a comunidade científica e acadêmica.



Figura 8 - Etapas da DSR
Fonte: Adaptado Peffers et al., 2007.

3.2. Engenharia de Sistemas e *Design Science*

A *Design Science* e a Engenharia de Sistemas têm várias semelhanças em termos de abordagem e objetivos, ambas as disciplinas têm como finalidade resolver problemas complexos e promover avanços tecnológicos por meio da criação e avaliação de artefatos ou sistemas. Tanto a Design Science quanto a Engenharia de Sistemas adotam uma abordagem holística e sistêmica para a resolução de problemas. Elas reconhecem que os problemas são multifacetados e exigem uma compreensão profunda do contexto e dos elementos envolvidos. Ambas buscam identificar as interações e as relações entre os componentes do sistema para desenvolver soluções integradas. Outra semelhança importante é que tanto a *Design Science* quanto a Engenharia de Sistemas estão focadas na aplicação prática das soluções desenvolvidas. Elas procuram criar artefatos que sejam úteis, viáveis e aplicáveis ao resolver problemas reais. A abordagem de ambas as disciplinas é orientada para a ação e busca fornecer soluções tangíveis e mensuráveis.

As semelhanças encontradas em ambas as abordagens são devido ao fato de as duas metodologias terem como objeto a ciência do artificial, isto é, ambas as disciplinas têm como objetivo estudar sistemas ou artefatos criados pelo homem. Por esse motivo, o conceito de ciclo de vida é essencial para ambas as abordagens, uma vez que, conforme o INCOSE (2015) todo sistema (ou artefato) feito pelo homem tem um ciclo de vida, mesmo que não seja formalmente

definido. Segundo Blanchard e Fabrycky (2014), a responsabilidade pela engenharia do ciclo de vida, amplamente negligenciada no passado, deve se tornar o foco central da engenharia.

Nesse sentido, o presente trabalho reconhece a grande importância de definir com clareza o ciclo de vida do processo de resolução de um problema, e toma por base os princípios da engenharia de sistemas. Embora haja semelhanças entre a *Design Science* e a Engenharia de Sistemas, é importante ressaltar a Engenharia de Sistemas é uma metodologia desenvolvida especificamente para governar os processos de engenharia. A engenharia de sistemas é um processo interdisciplinar funcionalmente orientado e baseado em tecnologia para criar sistemas e produtos (entidades feitas pelo homem), bem como para melhorar os sistemas existentes (BLANCHARD; FABRYCKY, 2015).

De acordo com o INCOSE (2015), a engenharia de sistemas é uma abordagem interdisciplinar e meios para permitir a realização de sistemas de sucesso. Ele se concentra na definição das necessidades do cliente e na funcionalidade exigida no início do ciclo de desenvolvimento, documentando os requisitos e, em seguida, procedendo à síntese do projeto e à validação do sistema, considerando o problema completo: operações, custo e cronograma, desempenho, treinamento e suporte, teste, fabricação e descarte. A engenharia de sistemas integra todas as disciplinas e grupos de especialidades em um esforço de equipe formando um processo de desenvolvimento estruturado que procede da concepção e produção para operação. A engenharia de sistemas considera as necessidades comerciais e técnicas de todos os clientes com o objetivo de fornecer um produto de qualidade que atenda às necessidades do usuário.

3.3. Ciclo de vida da engenharia e o CDIO como método

Um sistema “progride” através de um conjunto comum de estágios do ciclo de vida onde é concebido, desenvolvido, produzido, utilizado, suportado e desativado. O modelo de ciclo de vida é a estrutura que ajuda a garantir que o sistema atenda à sua funcionalidade necessária ao longo de sua vida (INCOSE, 2015). Segundo CRAWLEY *et al* (2014), a tarefa central da engenharia é conceber-projetar-implementar-operar produtos, processos e sistemas que não existiam anteriormente e que servem direta ou indiretamente a sociedade ou segmentos da sociedade. Os termos produtos, processos e sistemas são usados para designar as soluções que os engenheiros criam. Produtos são quaisquer bens ou objetos tangíveis que podem ser transferidos; os processos são ações ou transformações dirigidas a um fim; e os sistemas são combinações de objetos e processos com algum resultado desejado.

Independentemente do setor, o papel central da engenharia é o *design* e o desenvolvimento dessas soluções, conforme apresentado na figura 9. O *design* se concentra na criação de planos, desenhos e algoritmos que descrevem qual produto, processo ou sistema será implementado. O estágio de *implementação* refere-se à transformação do projeto na solução entregue, incluindo fabricação de hardware, codificação de software, teste e validação. Desejavelmente, os engenheiros também estão envolvidos na definição da solução, que envolve a compreensão das necessidades do cliente ou da sociedade, identificando novas tecnologias que podem ser incorporadas e criando os requisitos de alto nível e a estratégia para a solução. Designamos isso como concepção, que é a identificação do problema ou oportunidade a ser empreendida. Concepção é central para a engenharia e é diferente do design; conceber é decidir o que será projetado (CRAWLEY *et al.*, 2014).

No outro extremo do espectro, quase todas as soluções devem ser operadas para agregar valor. Bens de consumo, como carros e eletrodomésticos, são operados pelo cliente. Sistemas mais complexos são geralmente operados por profissionais, incluindo engenheiros que também têm um papel na manutenção, reparo, atualização, evolução, reciclagem e retirada dos sistemas. Mesmo para soluções que não envolvam engenheiros em operações, os engenheiros de projeto e implementação devem ser sensíveis às questões de operações. Na abordagem CDIO, chamamos toda essa fase de pós-implementação de *operacional*. A extensão desde a concepção até o *design*, implementação e operação é o ciclo de vida do produto, processo ou sistema (CRAWLEY *et al.*, 2014).

| Conceive | | Design | | Implement | | Operate | |
|---|--|---|---|--|--|---|--|
| Mission | Conceptual Design | Preliminary Design | Detailed Design | Element Creation | Systems' Integration & Test | Lifecycle Support | Evolution |
| <ul style="list-style-type: none"> • Business Strategy • Technology Strategy • Customer Needs • Goals • Competitors • Program Plan • Business Plan | <ul style="list-style-type: none"> • Requirements • Function • Concepts • Technology • Architecture • Platform Plan • Market Positioning • Regulation • Supplier Plan • Commitment | <ul style="list-style-type: none"> • Requirements Allocation • Model Development • System Analysis • System Decomposition • Interface Specifications | <ul style="list-style-type: none"> • Element Design • Requirements Verification • Failure & Contingency Analysis • Validated Design | <ul style="list-style-type: none"> • Hardware Manufacturing • Software Coding • Sourcing • Element Testing • Element Refinement | <ul style="list-style-type: none"> • System Integration • System Test • Refinement • Certification • Implementation Ramp-up • Delivery | <ul style="list-style-type: none"> • Sales & Distribution • Operations • Logistics • Customer Support • Maintenance & Repair • Recycling • Upgrading | <ul style="list-style-type: none"> • System Improvement • Product Family Expansion • Retirement |

Figura 9 - Conceber-projetar-implementar-operar como um modelo de ciclo de vida de um produto, processo, projeto ou sistema.

Fonte: Adaptado de CRAWLEY *et al.*, 2014.

3.4. A abordagem dos três sistemas

Os principais aspectos da engenharia de sistemas são o enquadramento de problemas e a compreensão dos sistemas com os quais o sistema de interesse (SoI) (o sistema que está sendo “projetado”) interage. A engenharia de sistemas clássica presume que o SoI “melhora” o sistema no qual o SoI se encaixa, que é, em última análise, o sistema de capacidade do usuário final. Além disso, há um terceiro sistema que deve ser considerado, muitas vezes chamado de sistema de realização. Este sistema é, na realidade, uma série de sistemas, incluindo (entre outros sistemas) o sistema de negócios/empresa da organização que está produzindo o SoI (Baesley, 2020).

Beasley e Pickard (2020), fez uma simplificação transformando a abordagem dos 7 samurais de Martin (2004) em uma abordagem dos 3 sistemas. Em uma aplicação típica, o Sistema A é o produto ou sistema que a organização está criando, o Sistema B é o ambiente operacional para o qual ele é direcionado e o Sistema C é o(s) sistema(s) de Realização de Capacidades usados para criá-lo. Conforme a figura 10 a seguir, os três sistemas são:

- O Sistema de Interesse (A) é o sistema de solução que está sendo criado.
- O Ambiente Operacional (B) é para onde o Sistema de interesse irá, seja para atender a uma necessidade ou fornecer valor.
- O Sistema de Realização (C) é o sistema usado para criar e trazer à existência o Sistema de interesse (A).

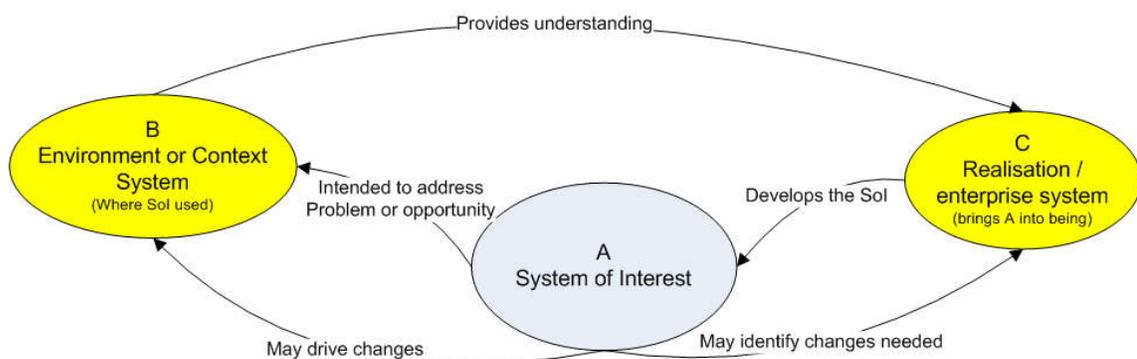


Figura 10 - Abordagem dos Três Sistemas
Fonte: Beasley e Pickard, (2020).

3.5. Método da Pesquisa

O processo de engenharia de sistemas e o método da pesquisa-ação estão relacionados como abordagens complementares para a transformação e melhoria contínua. Ambos visam

aprimorar a eficiência, a qualidade e a eficácia dos sistemas, sejam eles tecnológicos, organizacionais ou sociais. Por um lado, a engenharia de sistemas, como explicado anteriormente, é um processo estruturado que busca projetar, desenvolver e implementar sistemas complexos. A engenharia de sistemas enfatiza a abordagem sistemática e a visão holística, considerando as interações entre os componentes e o contexto em que o sistema está inserido. Por outro lado, o método da pesquisa-ação é uma abordagem participativa que envolve os próprios atores envolvidos no sistema em estudo, é um método de pesquisa científica orientado em função da resolução de problemas ou de objetivos de transformação.

Segundo Thiollent (2011), a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. Conforme Cauchick et al (2012), pesquisa-ação é uma estratégia de pesquisa na engenharia de produção que visa produzir conhecimento e resolver um problema prático. Esses dois objetivos podem ser definidos como:

1. **Objetivo Técnico:** contribuir para o melhor equacionamento possível do problema considerado como central para a pesquisa, com levantamento de soluções, e propostas de ações correspondentes às soluções para auxiliar o agente na sua atividade transformadora da situação.
2. **Objetivo Científico:** obter informações que seriam de difícil acesso por meio de outros procedimentos, de forma a aumentar a base de conhecimento de determinadas soluções.

A engenharia de sistemas fornece uma estrutura metodológica sólida para o desenvolvimento e implementação de soluções técnicas, enquanto a pesquisa-ação traz uma perspectiva participativa e uma maior compreensão das necessidades e desafios dos usuários finais. Essa combinação permite a adaptação contínua e a melhoria dos sistemas, levando em consideração tanto as questões técnicas quanto as questões humanas e organizacionais. Além disso, a pesquisa-ação pode informar o processo de engenharia de sistemas, fornecendo *insights* valiosos sobre as necessidades dos usuários e a eficácia das soluções propostas.

O processo de engenharia de sistemas, quando colocado em prática em um caso real, envolve necessariamente, a lógica maior de uma pesquisa-ação, uma vez que o esforço de investigação interfere no objeto investigado e os responsáveis por conduzir a transformação estão envolvidos de modo cooperativo e participativo. Dentro dessa perspectiva maior da lógica

da pesquisa-ação, os princípios da engenharia de sistemas e da DSR servem como arcabouço científico para ordenar os estágios de concepção, design, implementação e operação do sistema de gestão de efetividade proposto neste trabalho. A etapa I da pesquisa, conforme Figura 11, consistiu em realizar uma revisão bibliográfica sobre engenharia de sistemas, onde são analisados artigos, dissertações, livros, e estudos relacionados ao processo de transformação em sistemas complexos. Também foi feito um estudo cuidadoso sobre a iniciativa CDIO com o objetivo de capturar a sua filosofia e contribuir da melhor maneira possível para o delineamento dos princípios direcionadores da transformação do CGEP-UFG.

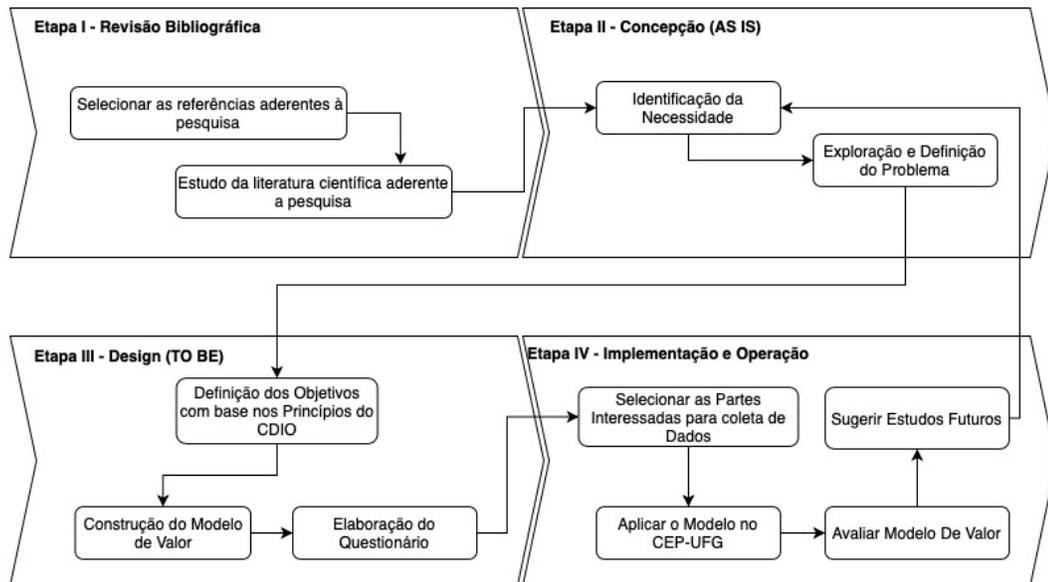


Figura 11 - Etapas da Pesquisa

Fonte: Autor.

Depois de feita a revisão de maneira detalhada foi realizado, na etapa II, um estudo aprofundado do problema que ocorreu de maneira simultânea ao processo técnico de análise de missão desenvolvido pelo *Transformatec* UFG, contribuindo para o aprofundamento e entendimento dos objetivos estratégicos e do conceito operacional (ConOps) do empreendimento. O objetivo da etapa de concepção é compreender o problema do ponto de vista sistêmico utilizando os processos da engenharia de sistemas. Primeiramente, foi realizado o estudo preliminar para identificar qual a necessidade subjacente e com isso ter uma maior clareza para realizar a exploração e definição do problema a partir de um estudo do estado atual (AS IS) do CGEP-UFG onde foi identificado a ausência de um mecanismo de gestão da transformação do curso, que envolve um referencial de efetividade usada para guiar o design e validar a operação.

Para compreender melhor o sistema, foi utilizado a abordagem dos 3 sistemas conforme definido por Baesley e Pickard (2020), onde o sistema total (enterprise) é particionado no sistema de interesse (S1), sistema contexto (S2), e no sistema de realização (S3). A partir dessa abordagem foi possível compreender o problema de maneira sistêmica e com isso desenvolver um diagrama que representa o sistema em seu estado atual (*as is*). A notação adotada para desenvolver os diagramas foi adaptado das notas de aula do curso *Architecture And Systems Engineering: Models And Methods To Manage Complex Systems* oferecido pelo MIT e ministrado por vários professores renomados, dentre eles, o Edward F. Crawley, Bruce G. Cameron, Dov Dori e Donna Rhodes.

Na etapa III da pesquisa, depois de compreendido o problema na sua fase de exploração, foi necessário defini-lo e com isso desenvolver um modelo de valor para o sistema tendo por base os processos da engenharia de sistema. Tendo como referência os princípios do CDIO, foi possível definir os objetivos, as funções que geram valor, os valores de medida de efetividade (MOE) e com isso criar o modelo de valor para o CGEP-UFG. Paralelamente, foi elaborado um questionário ilustrativo para realizar um teste piloto de coleta de dados na etapa de implementação.

O questionário teve por base as questões centrais derivadas das descrições dos princípios do CDIO apresentadas no capítulo 9 do livro "*Rethinking Engineering Education: A CDIO approach*". A partir das questões centrais e das descrições dos princípios, foi elaborado a estrutura das perguntas para coletar as percepções das partes interessadas sobre o desempenho do curso de engenharia de produção da UFG. Cabe ressaltar que a coleta de dados realizada por intermédio do questionário tem por objetivo ser um caso ilustrativo e não rigoroso das diversas possibilidades de levantamento de dados para fins de mensurar a efetividade baseada nos princípios do CDIO.

Por fim, na etapa IV, foi realizado a seleção dos principais grupos das partes interessadas para coleta de dados através do questionário criado na etapa 3 da pesquisa. Com isso em comum trabalho com o escritório de transformação, através do website do Transformatec-UFG, foi aplicado o questionário aos principais grupos de partes interessadas. Depois de aplicado o questionário foi realizado uma análise cautelosa sobre as respostas coletadas e através do modelo de valor chegou-se a uma medida para a efetividade baseada nos princípios do CDIO.

4. Resultados

O presente capítulo tem por objetivo apresentar os resultados relativos aos desenvolvimentos das etapas 2 a 4 da metodologia. Primeiro será apresentado a maneira como o problema foi *concebido* a partir da abordagem dos três sistemas. Depois é mostrado como se deu o *design* do do modelo de efetividade e do sistema de gestão de efetividade (SGE). E, por último, é apresentado os resultados da *implementação* do SGE no caso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção da UFG (CGEP-UFG).

4.1. Concepção do Problema

4.1.1. Definição dos Três Sistemas para o Modelo de Efetividade

No estágio de concepção, existem três sistemas que devem ser levados em consideração no processo de definição do problema. O sistema 1, denominado de sistema de interesse (SOI) que, segundo o Conselho Internacional de Engenharia de Sistemas (INCOSE, 2015), é “o sistema cujo ciclo de vida está sob consideração”. É o sistema que está sendo engenhado ou modificado, isto é, constitui a capacidade nova ou modificada desejada. O sistema 1 é a solução operacional para o problema que emerge no Sistema 2 que, por sua vez, é o sistema contexto que engloba o espaço do problema, ambiente em que o sistema 1 opera. E, por último, o sistema 3, denominado de sistema de realização, constitui a governança que contém a capacidade de concepção, projeto e implementação que, do ponto de vista de Engenharia, é necessária para viabilizar a criação e operação do Sistema 1.

No presente trabalho, o sistema 1 é cada engenheiro formado pelo sistema de aprendizagem de engenharia do CGEP-UFG. O sistema 3 é o sistema de realização que concebe, arquiteta e produz os engenheiros. O sistema 2 é o ambiente de trabalho onde os engenheiros são preparados para operar. A abordagem dos três sistemas é de grande importância para definição do modelo de efetividade da *enterprise* pois permite uma perspectiva sistêmica mais profunda do fenômeno referente ao processo de formação de engenheiros. É importante reconhecer que todos os sistemas envolvidos no fenômeno contêm uma estrutura de valor subjacente, seja ela declarada ou não, uma vez que cada um dos sistemas tem a sua própria arquitetura e, por consequência, seu fluxo de valor determinado pela relação entre custo e benefício.

A combinação e integração das arquiteturas dos 3 sistemas forma uma meta-arquitetura, conforme figura 12 que, por sua vez, representa a arquitetura sistêmica da *enterprise* ou

empreendimento total. A arquitetura é composta pelo bloco 1, 2, 3, 5 e 6 do diagrama, onde cada bloco representa um subsistema do sistema 3, cuja principal missão é criar e apoiar engenheiros habilitados com a capacidade de transformar problemas em soluções. Os blocos 1 e 2 são os subsistemas responsáveis por conceber, projetar e implementar o sistema de aprendizagem de engenharia, o bloco 3 que, por sua vez, representa o sistema escola de engenharia, cuja função é transformar candidatos em engenheiros habilitados para o mercado de trabalho. Os blocos 5 e 6 são os subsistemas responsáveis pela manutenção e suporte e encerramento da atividade de engenheiro, tendo uma importância inestimável para a *enterprise*. Já o bloco 4, representa o subsistema engenheiro que, por sua vez, é o sistema 1, a razão de ser do sistema 3, cuja principal função é transformar problemas em soluções.

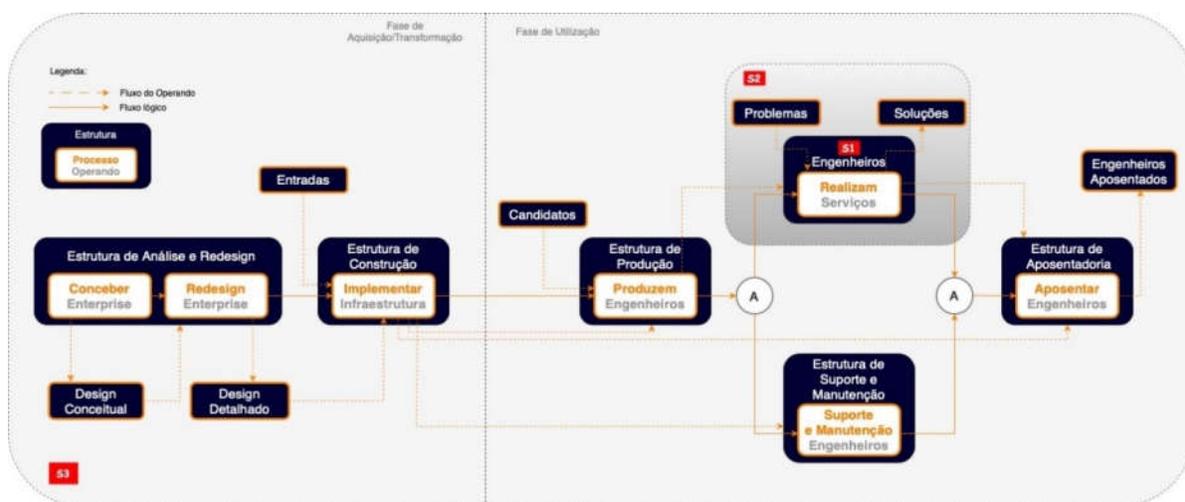


Figura 12 - Diagrama dos Três Sistemas (As is)
 Fonte: Autor

4.1.2. Modelo Global de Efetividade

A qualidade do sistema 1, produzido pelo sistema 3, depende diretamente da qualidade do sistema 3, isto é, quanto mais efetivo é o sistema 3, mais efetivo será o sistema 1, quanto melhor é o desempenho dos sistemas 1 e 3, tanto melhor será o desempenho da *enterprise* como um todo, em outras palavras, melhor será a efetividade do sistema que engloba os dois sistemas. Por esse motivo, para melhor avaliar a efetividade global da *enterprise*, faz-se necessário avaliar a efetividade do sistema 1 e 3, conforme o diagrama da Figura 13, onde a efetividade de cada sistema isoladamente determina a efetividade global do sistema. Quanto mais efetivo é um sistema de aprendizagem de engenharia, mais efetivo vai ser o engenheiro produzido por esse sistema, quanto maior for a efetividade do engenheiro no mercado de trabalho, maior será a efetividade global da *enterprise*.

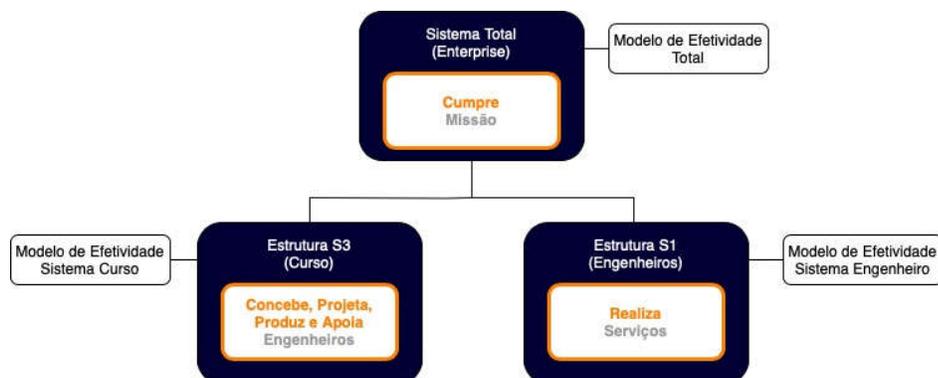


Figura 13 - Efetividade Total

Fonte: Autor

O Modelo de Efetividade Global do Sistema é uma abordagem ampla e integrada para avaliar o desempenho de sistemas complexos, é uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões, pois permite aos gestores avaliar o impacto das ações em curso e planejar as ações futuras. Isso é especialmente importante em sistemas complexos, onde a efetividade pode ser afetada por muitos fatores diferentes e interagir de forma complexa. Além disso, este modelo permite aos gestores identificar as áreas que precisam ser melhoradas e implementar soluções que possam maximizar a efetividade do sistema.

Conforme apresentado na metodologia, o conhecimento dos principais atributos que agregam valor ao sistema é adquirido a partir de um processo técnico de análise das necessidades e requisitos dos stakeholders. No presente trabalho, a partir das pesquisas desenvolvidas pelo Transformatec-UFG chegou-se ao entendimento que as experiências da comunidade internacional do CDIO consolidaram um excelente conjunto de conhecimentos sobre as necessidades e expectativas dos stakeholders envolvidos no processo de formação de novos engenheiros para o mercado de trabalho do século XXI.

A iniciativa do CDIO desenvolveu e adotou 12 princípios ou standards para ajudar os programas a atender à necessidade percebida de educar estudantes capazes de conceber, projetar, implementar e operar produtos, processos e sistemas complexos de engenharia de valor agregado em um ambiente moderno e baseado em equipe. Os princípios formam uma ponte entre os objetivos do programa e um conjunto tangível de insumos, processos e resultados educacionais (CDIO, 2015). Cada princípio da iniciativa do CDIO, representa um *atributo de efetividade* a ser conquistado pelo sistema 3 que tem por principal função transformar estudantes em engenheiros.

Além dos 12 princípios, a filosofia do CDIO definiu 3 objetivos que representam os principais atributos que os estudantes de engenharia devem adquirir durante a sua formação

para desempenhar durante a sua atuação profissional, quais sejam, (1) Domínio dos fundamentos técnicos, (2) Papel de liderança na criação e operação de sistemas e (3) Consciência do impacto estratégico da Pesquisa e Desenvolvimento para a sociedade. Devido a sua natureza, os 3 objetivos definidos pela iniciativa do CDIO, podem funcionar como excelentes atributos de efetividade para o sistema 1, isto é, para os engenheiros produzidos pelo sistema 3. No entanto, o presente trabalho foca no detalhamento do modelo de efetividade do sistema 3, baseado nos 12 princípios. A configuração do modelo de efetividade para medir o desempenho do sistema 1 é de grande importância para o modelo global da efetividade e por isso será abordada em investigações futuras. A seguir, pode ser visto na figura 14 uma representação do modelo de efetividade global da *enterprise*, tendo em vista os atributos de efetividade.

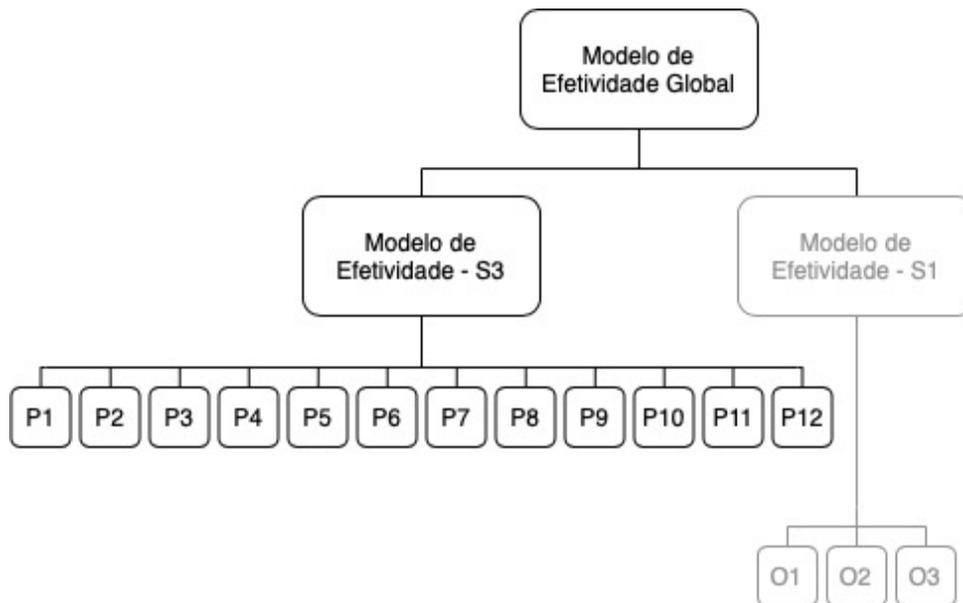


Figura 14 - Atributos de Efetividade da Enterprise
Fonte: Autor

A efetividade global da *enterprise* pode ser determinada pela média da efetividade de cada sistema, visto que ambos os sistemas apresentam um peso igual perante o empreendimento total. Nesse sentido pode-se dizer que a *Efetividade Total* (E_t) é igual a média da *Efetividade do Curso* (E_c) somada com a *Efetividade dos Engenheiros* (E_e), isto é,

$$E_t = \frac{(E_c + E_e)}{2}$$

Onde,

$$E_c = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12}}{12}$$

$$e$$
$$Ee = \frac{O_1 + O_2 + O_3}{3}$$

4.2. *Design* do Sistema de Gestão e do Modelo de Efetividade do Sistema 3

Os 12 atributos ou princípios do sistema 3 são os seguintes: (1) O contexto, (2) Resultados de aprendizagem, (3) Currículo Integrado, (4) Introdução a Engenharia, (5) Experiências de Projeto-Implementação, (6) Espaços de Trabalho de Engenharia, (7) Experiências de Aprendizagem Integradas, (8) Aprendizagem Ativa, (9) Aprimoramento da Competência Técnica do Corpo Docente, (10) Aprimoramento da Competência de Ensino do Corpo Docente, (11) Avaliação da Aprendizagem, (12) Avaliação do Programa. Cada um dos 12 princípios é considerado como sendo um atributo de efetividade para o modelo do sistema 3, e cada um deles, representam fatores *intangíveis* de difícil mensuração.

Conforme Warren (2012), se os recursos intangíveis relativos ao estado de espírito de grupos importantes forem úteis na avaliação e gestão do desempenho estratégico, será necessário encontrar medidas confiáveis para eles. Uma exploração completa dos métodos de pesquisa está além do escopo desta discussão, mas como o objetivo é entender o quanto as pessoas estão se sentindo sobre um assunto, escalas que de alguma forma indicam um intervalo de "vazio" a "cheio" geralmente serão apropriadas.

Com o objetivo de avaliar dinamicamente como operam os fatores que impulsionam as mudanças nos sentimentos, é útil adotar uma escala de zero a um, onde zero significa nenhum sentimento e 1,0 significa o sentimento mais forte possível. Esta abordagem é útil ao avaliar a dinâmica porque é auto equilibrada em ambas as extremidades da escala - se houver pouco sentimento no lugar, então há pouco que pode acontecer para reduzir ainda mais esse sentimento; se o sentimento estiver quase completo, então há pouco potencial para adicionar mais a essa emoção (Warren, K., 2012).

Tendo isso em vista, para avaliar a medida de cada princípio, em sintonia com a filosofia do CDIO, foi adotada uma escala para a mensuração dos princípios variando de 0 a 100. A partir da justificativa da importância de cada princípio pode-se chegar à definição do valor de medida para cada atributo de efetividade do modelo apresentado na tabela 4. Cada princípio contém um peso igual entre eles uma vez que são tratados como equivalentes no grau de importância para avaliar a efetividade do sistema 3.

Tabela 4 - Modelo de Valor/Efetividade para o Sistema 3

| Função | Objetivo | Valor de Medida | Definição do Valor de Medida | Tipo de Medida | Peso Global |
|---------------------------------------|-----------------|--|--|-----------------------|--------------------|
| Transformar Candidatos em Engenheiros | Maximizar | Princípio 1 - O contexto | Em que medida o ciclo de vida do produto, processo e sistema (CDIO) é considerado o contexto para educação em engenharia, tendo-o como estrutura cultural na qual o conhecimento técnico e outras habilidades são aprendidas? | Rating Scale 0-100 | 1 |
| | | Princípio 2 - Resultados de Aprendizagem | Em que medida os resultados de aprendizagem para o conhecimento de disciplinas, habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços são consistentes com os objetivos do programa e validados pelas partes interessadas do programa? | Rating Scale 0-100 | 1 |
| | | Princípio 3 - Currículo Integrado | Em que medida o currículo é projetado com disciplinas que se apoiam mutuamente, com um plano explícito para integrar habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços? | Rating Scale 0-100 | 1 |
| | | Princípio 4 - Introdução à engenharia | O quão efetivamente a disciplina introdutória de engenharia propicia a estrutura para a prática de engenharia em habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, e introduz habilidades pessoais e interpessoais essenciais? | Rating Scale 0-100 | 1 |
| | | Princípios 5 - Experiências de projeto-implementação | O currículo contém duas ou mais experiências de projeto-implementação, incluindo uma em nível básico e outra em nível avançado? | Rating Scale 0-100 | 1 |
| | | Princípios 6 - Espaços de trabalho de engenharia | Em que medida os alunos têm acesso à softwares de engenharia modernos e laboratórios que proporcionam oportunidades de desenvolver conhecimentos, habilidades e atitudes que apoiam habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços? | Rating Scale 0-100 | 1 |
| | | Princípios 7 - Experiências de aprendizagem integradas | Em que medida as experiências de aprendizagem integrada levam à aquisição de conhecimento das disciplinas, bem como habilidades pessoais e interpessoais e habilidade de criação de produtos, processos, sistemas e serviços? | Rating Scale 0-100 | 1 |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--------------------|---|
| | | Princípio 8 - Aprendizagem ativa | Em que medida os métodos de ensino e aprendizagem são baseados em abordagens que engajam os alunos diretamente nas atividades de pensamento e resolução de problemas? | Rating Scale 0-100 | 1 |
| | | Princípio 9 - Aprimoramento da competência de habilidades do corpo docente | Como as ações que aprimoram a competência do corpo docente em habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de desenvolvimento de produtos, processos, sistemas e serviços são apoiadas e encorajadas? | Rating Scale 0-100 | 1 |
| | | Princípios 10 - Aprimoramento da competência de ensino do corpo docente | Que ações têm sido tomadas para melhorar a competência do corpo docente em propiciar experiências de aprendizagem integrada, usando métodos de aprendizagem experiencial ativa, e de avaliação da aprendizagem do aluno? | Rating Scale 0-100 | 1 |
| | | Princípio 11 - Avaliação de aprendizagem | Como é integrada no programa a avaliação da aprendizagem do aluno em habilidades pessoais e interpessoais, em habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, e em conhecimento de disciplinas? | Rating Scale 0-100 | 1 |
| | | Princípio 12 - Avaliação do programa | Existe um processo sistemático para avaliar os programas em relação aos 12 princípios do CDIO? | Rating Scale 0-100 | 1 |

Fonte: Autor.

Semelhante à maioria dos modelos de avaliação, a determinação do progresso ou efetividade de um programa em direção ao cumprimento dos princípios do CDIO pode ser realizada por meio de autoavaliação. A abordagem CDIO propõe uma escala de classificação de seis níveis, ou rubrica, para indicar o progresso em direção ao planejamento, implementação e adoção de cada princípio (CDIO, 2011). Uma das principais vantagens da implementação de um processo de autoavaliação é o benefício de criar uma cultura de melhoria contínua, aprendizagem e auto-organização para o programa, contribuindo assim para a evolução do sistema 3 e, por conseguinte, do empreendimento como um todo.

De acordo com o CDIO (2011), as escalas de classificações conforme apresentada na Tabela 4, são projetadas para encorajar o planejamento e permitir vários estilos de implementação e adoção. É importante ressaltar que além das classificações numéricas, cada programa precisa descrever a evidência que é a base para a classificação de cada princípio. Esta evidência serve como base para decisões sobre a melhoria do programa e garantia de qualidade. Tem-se como foco, no presente trabalho, desenvolver um sistema de gestão da efetividade para

medir o quão alinhado o Sistema 3 está com os princípios do CDIO. Para medir esse alinhamento, foi levado em consideração a percepção dos principais grupos de partes interessadas associadas com o empreendimento como um todo. No presente trabalho, não foi incluído a definição das possíveis evidências para fundamentar a classificação de cada princípio, pois esse assunto será tratado pelo Transformatec-UFG em trabalhos futuros.

O método utilizado para coletar informações para alimentar o modelo de efetividade foi o *survey*, também conhecido como método de pesquisa de levantamento, uma técnica amplamente utilizada em pesquisas de ciências sociais e de mercado para coletar dados a partir de uma amostra representativa de uma determinada população. O levantamento de dados foi baseado em um questionário, isto é, um conjunto estruturado de perguntas direcionadas a uma população alvo. A população selecionada para participar e responder o questionário são partes interessadas que estão envolvidas diretamente com o sistema 3 e, necessariamente, conhecem o sistema por dentro.

O principal grupo é composto pelos docentes, e principalmente, os docentes que fazem parte do Conselho do curso de Engenharia de Produção na UFG, uma vez que são eles que mais conhecem os princípios e as diretrizes que fundamentam a organização do sistema 3. Outro grupo de grande importância são os discentes, uma vez que eles passaram ou estão passando por dentro do sistema e por isso possuem uma percepção única de quem está se transformando ou já se transformaram em engenheiros através do sistema 3. E, por último, temos o grupo dos técnicos que são colaboradores de grande importância para o funcionamento do sistema e sua percepção tem grande relevância para o processo de autoavaliação do programa para ser definido o grau de efetividade do programa tendo por base os 12 princípios do CDIO.

O questionário elaborado para coleta de informações está apresentado no APÊNDICE desse trabalho e foi integralmente baseado na filosofia do CDIO, ele tem por base a descrição e a razão de ser de cada um dos 12 princípios para explicar e elucidar os atributos de efetividade adotado pelo programa. Foi adicionado para cada princípio as perguntas chaves que tem por função indagar cada respondente sobre a maneira como este percebe a implementação de cada princípio dentro do programa e qual o grau de classificação que este entende que cada princípio manifesta no sistema 3.

O diagrama da Figura 15 apresenta o *design* do sistema de gestão da efetividade (SGE) como parte da arquitetura do empreendimento total. Para identificar o SGE, note que o próprio escritório de transformação é usado como elemento para fechar o *loop* que se forma desde a medição de efetividade, passando pela interpretação de dados e tomada de decisão por parte

desse escritório, e o direcionamento de ações que afetarão os processos de concepção, projeto e implementação. Em outras palavras, a partir do modelo de efetividade habilitado no sistema 3 e 1 é possível desenvolver um sistema de gestão para monitorar o desempenho da organização por meio dos atributos de efetividades adotados na fase de concepção do problema. Isso permite a realização de avaliações periódicas do desempenho sistematizando a interpretação do valor gerado pelo sistema e eventualmente dando base para tomadas de decisão para evolução do empreendimento.

Como pode ser visto nessa Figura 15, o Transformatec-UFG, o escritório de transformação do curso de engenharia de produção instalado na UFG, desempenha um papel fundamental na gestão da transformação do empreendimento. Ele conduz o processo de melhoria e transformação do curso tendo por base os outputs do modelo de efetividade do sistema 3 e 1. O escritório de transformação interpreta e analisa as informações coletadas pelos modelos de efetividade e assim desenvolve uma avaliação abrangente de todos os aspectos que impactam o desempenho estratégico e com isso habilita uma capacidade de melhoria contínua e aprendizagem no empreendimento.

Para implementar o questionário, o Transformatec-UFG utilizou-se de uma plataforma na Web, o site www.transformatec.org, para coletar as informações das partes interessadas selecionadas para avaliar a efetividade do sistema 3. A aferição foi realizada no início do ano letivo e pretende ser realizada semestralmente e sempre no início do semestre letivo, onde será disparado e-mails para as partes interessadas responderem o questionário e com isso será atualizado anualmente a medida de efetividade do sistema tendo por base os 12 princípios do CDIO.

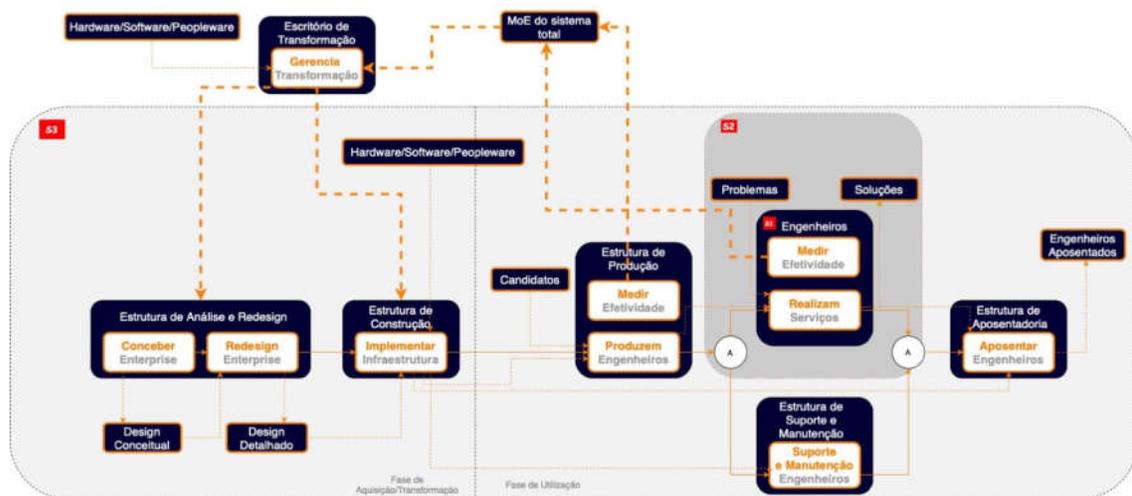


Figura 15 - Sistema de Gestão da Efetividade-SGE (To be)

Fonte: Autor.

4.3. Implementação do Sistema de Gestão de Efetividade (SGE) no CGEP-UFG

Foi realizado um trabalho conjunto com o escritório de transformação da UFG para aplicar o questionário por intermédio da plataforma WEB do Transformatec-UFG. O questionário foi aplicado no início do ano letivo da UFG, entre os dias 17 de abril e 5 de maio de 2023. O trabalho de aplicação e divulgação do questionário foi conduzido pelo Transformatec-UFG através de envio de e-mails e campanhas de divulgações em sala de aula.

4.3.1. Dados

Na tabela 5 a seguir, pode-se observar o resumo dos dados coletados no início do ano letivo de 2023, entre os dias 17/04 e 05/05, a partir do questionário desenvolvido com o objetivo de medir a efetividade do CGEP-UFG tendo por base os princípios do CDIO.

Tabela 5 - Dados Coletados

| Princípio | Grupo de Stakeholders | Média p/ Stakeholder | Média Por Princípio |
|-----------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | Alunos de graduação | 52 | 54 |
| 1 | Professores Produção | 47 | |
| 1 | Alunos formados | 70 | |
| 1 | Técnicos Produção e UFG | 47 | |
| 2 | Alunos de graduação | 54 | 43 |
| 2 | Professores Produção | 34 | |
| 2 | Alunos formados | 50 | |
| 2 | Técnicos Produção e UFG | 33 | |
| 3 | Alunos de graduação | 48 | 45 |
| 3 | Professores Produção | 39 | |
| 3 | Alunos formados | 50 | |
| 3 | Técnicos Produção e UFG | 43 | |
| 4 | Alunos de graduação | 59 | 48 |
| 4 | Professores Produção | 31 | |
| 4 | Alunos formados | 40 | |
| 4 | Técnicos Produção e UFG | 63 | |
| 5 | Alunos de graduação | 51 | 49 |
| 5 | Professores Produção | 33 | |
| 5 | Alunos formados | 50 | |
| 5 | Técnicos Produção e UFG | 60 | |
| 6 | Alunos de graduação | 52 | 45 |
| 6 | Professores Produção | 33 | |
| 6 | Alunos formados | 40 | |
| 6 | Técnicos Produção e UFG | 53 | |
| 7 | Alunos de graduação | 68 | 55 |
| 7 | Professores Produção | 42 | |
| 7 | Alunos formados | 50 | |
| 7 | Técnicos Produção e UFG | 60 | |
| 8 | Alunos de graduação | 49 | 48 |

| | | | |
|----|-------------------------|----|----|
| 8 | Professores Produção | 34 | |
| 8 | Alunos formados | 50 | |
| 8 | Técnicos Produção e UFG | 57 | |
| 9 | Alunos de graduação | 54 | 46 |
| 9 | Professores Produção | 22 | |
| 9 | Alunos formados | 50 | |
| 9 | Técnicos Produção e UFG | 60 | |
| 10 | Alunos de graduação | 59 | 44 |
| 10 | Professores Produção | 19 | |
| 10 | Alunos formados | 40 | |
| 10 | Técnicos Produção e UFG | 57 | |
| 11 | Alunos de graduação | 57 | 44 |
| 11 | Professores Produção | 31 | |
| 11 | Alunos formados | 30 | |
| 11 | Técnicos Produção e UFG | 57 | |
| 12 | Alunos de graduação | 52 | 40 |
| 12 | Professores Produção | 26 | |
| 12 | Alunos formados | 40 | |
| 12 | Técnicos Produção e UFG | 43 | |

Fonte: Autor.

4.3.2. Interpretação e Análise dos Resultados

Conforme pode ser observado na tabela 6, houve um total de 37 pessoas que responderam o questionário, dentre elas 20 alunos de graduação, 9 professores, 6 técnicos e 2 alunos formados.

Tabela 6 - Total de Respondentes

| Partes Interessadas | Número de Respondentes |
|----------------------|------------------------|
| Alunos de graduação | 20 |
| Professores Produção | 9 |
| Alunos formados | 2 |
| Técnicos | 6 |
| Total | 37 |

Fonte: Autor

A partir das respostas das partes interessadas pode-se medir a efetividade do CGEP-UFG com base nos princípios do CDIO. Conforme pode ser visto na tabela 7 a seguir, na percepção dos respondentes, o CGEP-UFG obteve uma medida de efetividade (MoE) de 47.

Tabela 7 - MoE do CGEP-UFG

| Partes Interessadas | Número de Respondentes | MoE |
|--|------------------------|-----------|
| Alunos de graduação | 20 | 55 |
| Professores Produção | 9 | 33 |
| Alunos formados | 2 | 47 |
| Técnicos | 6 | 53 |
| Medida de Efetividade do CGEP-UFG = | | 47 |

Fonte: Autor.

Na figura 16 a seguir, pode-se observar o comportamento característico dos dados para cada grupo das partes interessadas. O gráfico *boxplot*, também conhecido como diagrama de caixa, é uma ferramenta visual que representa a distribuição dos dados de um conjunto de observações. Ele é composto por um retângulo que engloba os valores do primeiro ao terceiro quartil, uma linha vertical dentro do retângulo que indica a mediana, e duas linhas que se estendem a partir do retângulo que, por sua vez, indicam a amplitude dos dados.

Como pode ser visto, a distribuição dos dados referente ao grupo dos professores e técnicos são bem semelhantes, apresentando amplitudes, medianas e médias com valores bem aproximados. Os dados relativos aos alunos de graduação, já apresentam um comportamento diferente, com média e mediana com valores superiores aos outros grupos das partes interessadas. Os alunos formados apresentam os valores numa posição intermediária, percebe-se uma ponderação entre os valores apresentados pelos alunos de graduação, de um lado, e os professores e técnicos, de outro lado.

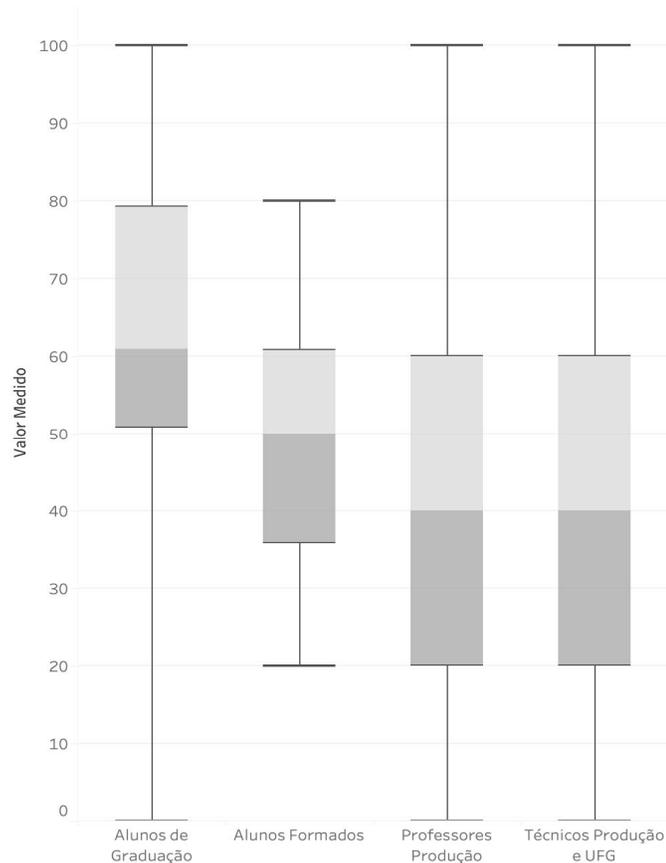


Figura 16 - Distribuição dos Dados por Stakeholder

Fonte: Autor.

Na figura 17 a seguir, pode-se observar as médias das medidas avaliadas para cada princípio do CDIO. Os valores encontrados para cada princípio não variam em relação ao outro de maneira expressiva, a maior variância está entre o princípio 7 e o 12, um com o valor medido de 59 e o outro de 43, respectivamente. Cabe ressaltar que todos os princípios foram avaliados com medidas ente 40 e 60, o que equivale a classificação 3 na filosofia do CDIO.

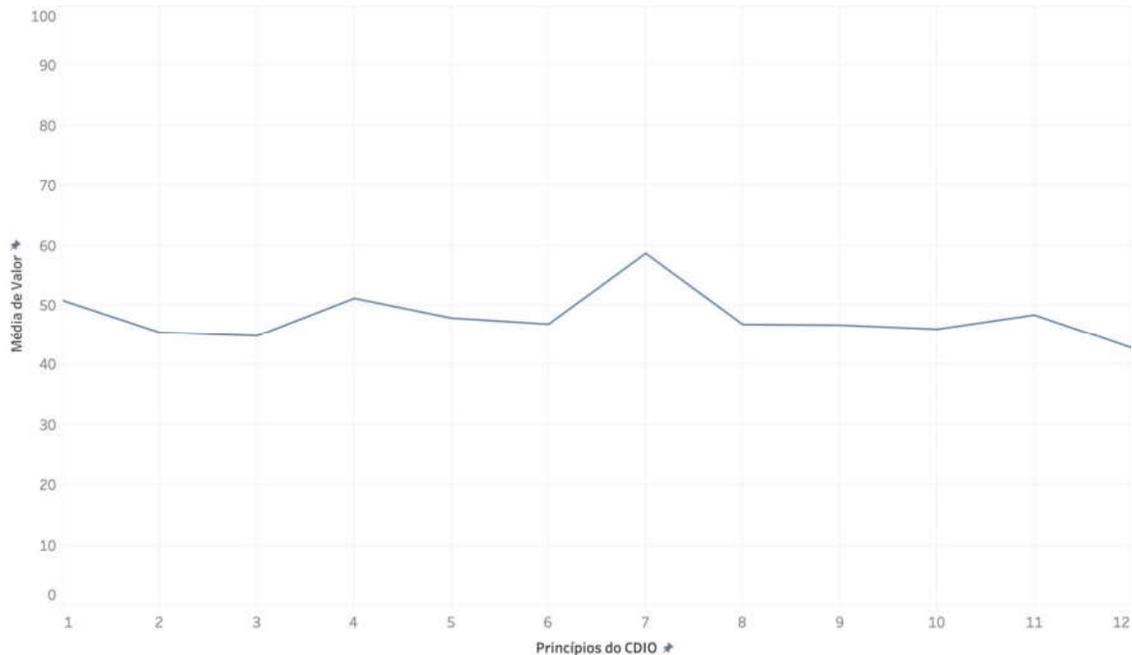


Figura 17 - Média das Medidas por Princípio do CDIO

Fonte: Autor.

Na figura 18, pode-se observar o comportamento dos dados, classificados por stakeholders, avaliados para cada princípio do CDIO. Pode-se observar uma variação considerável entre os valores medidos para cada princípio, alguns deles variando de 0 a 100, para um mesmo grupo de stakeholder. Nas figuras 19, pode-se observar o mesmo agrupamento de dados, porém considerando apenas as médias das medidas, classificadas por stakeholders, para cada princípio do CDIO.

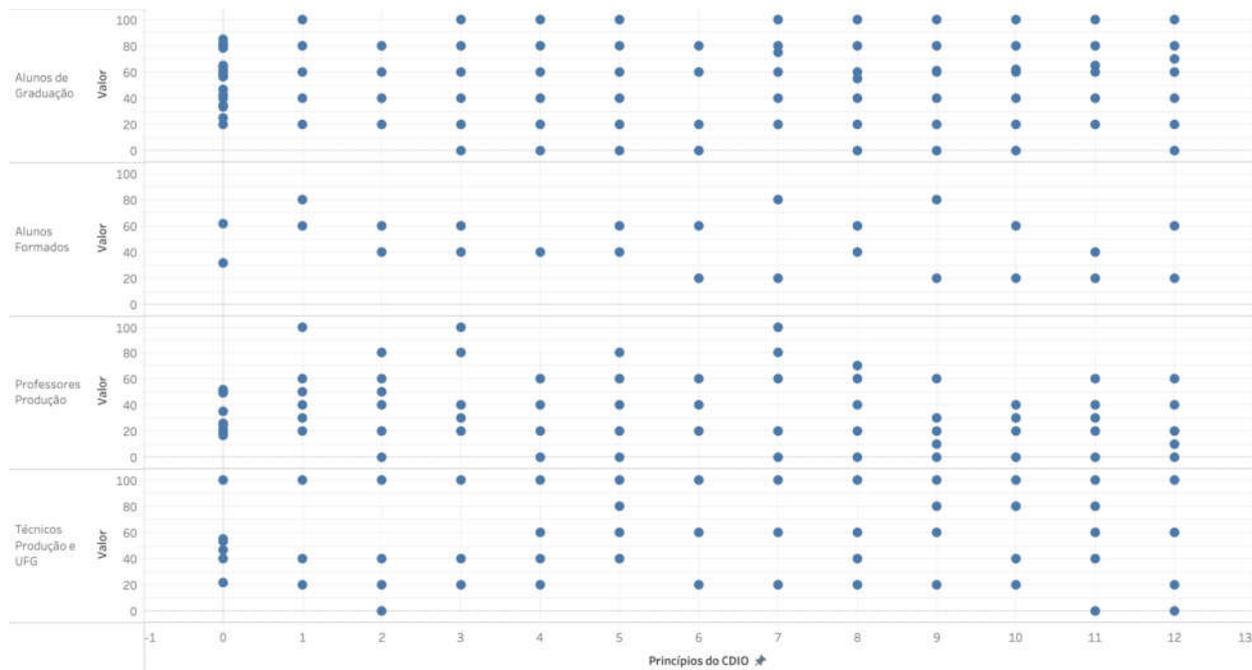


Figura 18 - Dados agregados por Stakeholders e por Princípios do CDIO
Fonte: Autor.

Como pode ser visto na figura 19, os valores das medidas referente aos grupos de stakeholders dos professores e técnicos são mais conservadores do que as medidas dos outros grupos. Outro ponto importante de se destacar é que existe uma variação maior nas medidas de cada princípio nos valores encontrados nas avaliações dos professores e técnicos, do que nos outros grupos de stakeholders.

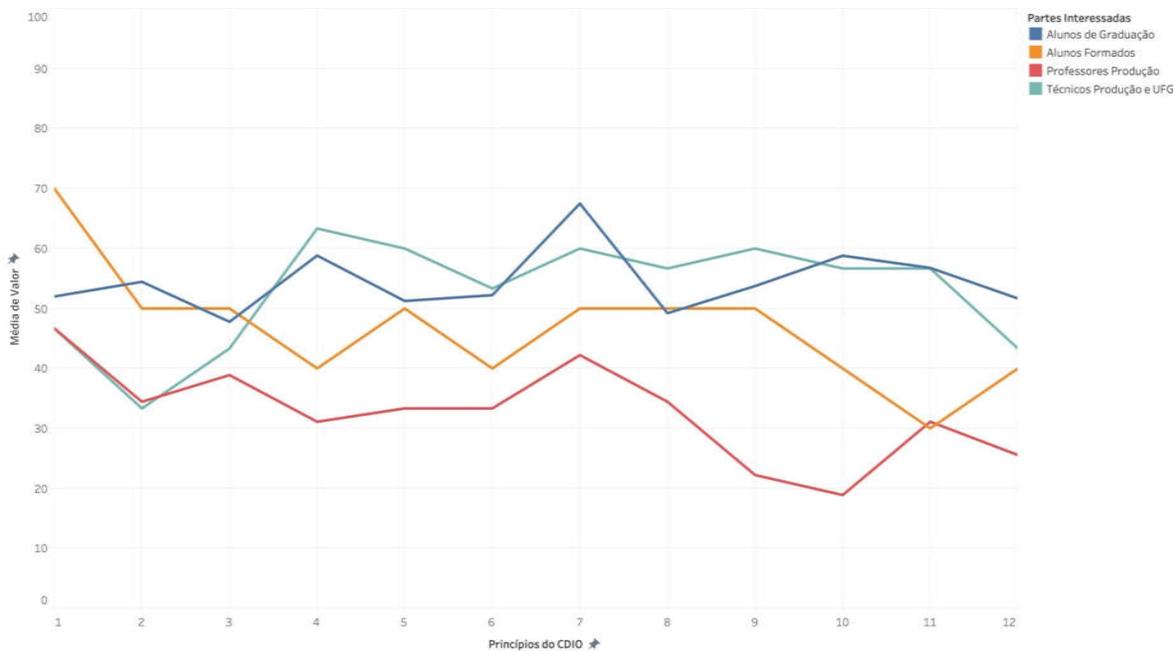


Figura 19 - Média das Medidas dos Princípios para cada Stakeholder
Fonte: Autor.

Tabela 8 - Análise das Respostas por Princípio e Grupo de Partes Interessadas

| Princípios | Partes Interessadas | Número de Respondentes | Medida do Grau de Efetividade | Mínimo | Máximo | Desvio Padrão | Princípios | Partes Interessadas | Número de Respondentes | Medida do Grau de Efetividade | Mínimo | Máximo | Desvio Padrão |
|------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|--------|--------|---------------|------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|--------|--------|---------------|
| P1 | Alunos de Graduação | 20 | 52 | 20 | 100 | 26 | P7 | Alunos de Graduação | 18 | 68 | 20 | 100 | 6 |
| | Alunos Formados | 2 | 70 | 60 | 80 | 14 | | Alunos Formados | 2 | 50 | 20 | 80 | 30 |
| | Professores | 9 | 47 | 20 | 100 | 23 | | Professores | 9 | 42 | - | 100 | 14 |
| | Técnicos da UFG | 6 | 47 | 20 | 100 | 27 | | Técnicos da UFG | 6 | 60 | 20 | 100 | 10 |
| P2 | Alunos de Graduação | 18 | 54 | 20 | 80 | 20 | P8 | Alunos de Graduação | 19 | 49 | - | 100 | 7 |
| | Alunos Formados | 2 | 50 | 40 | 60 | 14 | | Alunos Formados | 2 | 50 | 40 | 60 | 10 |
| | Professores | 9 | 34 | - | 80 | 25 | | Professores | 9 | 34 | - | 70 | 8 |
| | Técnicos da UFG | 6 | 33 | - | 10 | 35 | | Técnicos da UFG | 6 | 57 | 20 | 100 | 10 |
| P3 | Alunos de Graduação | 18 | 48 | - | 100 | 7 | P9 | Alunos de Graduação | 19 | 54 | - | 100 | 7 |
| | Alunos Formados | 2 | 50 | 40 | 60 | 10 | | Alunos Formados | 2 | 50 | 20 | 80 | 30 |
| | Professores | 9 | 39 | 20 | 100 | 10 | | Professores | 9 | 22 | - | 60 | 5 |
| | Técnicos da UFG | 6 | 43 | 20 | 100 | 12 | | Técnicos da UFG | 6 | 60 | 20 | 100 | 14 |
| P4 | Alunos de Graduação | 17 | 59 | - | 100 | 9 | P10 | Alunos de Graduação | 15 | 59 | - | 100 | 8 |
| | Alunos Formados | 2 | 40 | 40 | 40 | - | | Alunos Formados | 2 | 40 | 20 | 60 | 20 |
| | Professores | 9 | 31 | - | 60 | 7 | | Professores | 9 | 19 | - | 40 | 4 |
| | Técnicos da UFG | 6 | 63 | 20 | 100 | 13 | | Técnicos da UFG | 6 | 57 | 20 | 100 | 14 |
| P5 | Alunos de Graduação | 16 | 51 | - | 100 | 8 | P11 | Alunos de Graduação | 17 | 57 | 20 | 100 | 6 |
| | Alunos Formados | 2 | 50 | 40 | 60 | 10 | | Alunos Formados | 2 | 30 | 20 | 40 | 10 |
| | Professores | 9 | 33 | - | 80 | 9 | | Professores | 9 | 31 | - | 60 | 7 |
| | Técnicos da UFG | 6 | 60 | 40 | 100 | 10 | | Técnicos da UFG | 6 | 57 | 20 | 100 | 14 |
| P6 | Alunos de Graduação | 18 | 52 | - | 80 | 6 | P12 | Alunos de Graduação | 18 | 52 | - | 100 | 6 |
| | Alunos Formados | 2 | 40 | 20 | 60 | 20 | | Alunos Formados | 2 | 40 | 20 | 60 | 20 |
| | Professores | 9 | 33 | 20 | 60 | 6 | | Professores | 9 | 26 | - | 60 | 8 |
| | Técnicos da UFG | 6 | 53 | 20 | 100 | 12 | | Técnicos da UFG | 6 | 43 | 20 | 100 | 15 |

Fonte: Autor.

Conforme pode ser observado na Tabela 8, existe uma variabilidade significativa da medida de efetividade entre cada princípio e entre cada parte interessada. A análise descritiva dos resultados das avaliações do grau de efetividade ou maturidade por parte de quatro grupos de partes interessadas revela alguns pontos importantes.

- O total de respondentes variou de 32 a 37 em cada princípio, representando uma amostra significativa.
- Os valores mínimos e máximos indicam uma ampla variação no grau de maturidade em todos os princípios e grupos de partes interessadas.
- O desvio padrão, em geral, mostra uma certa dispersão dos dados, sugerindo diferentes percepções de efetividade dentro de cada grupo.
- Os alunos de graduação apresentaram os maiores desvios padrão, indicando divergências nas avaliações dentro desse grupo.
- Alunos formados e professores tiveram desvios padrão menores, possivelmente refletindo uma maior consistência em suas percepções de maturidade.
- Os técnicos da UFG mostraram desvios padrão variados em diferentes princípios, indicando que suas opiniões podem variar dependendo do contexto.

- No geral, o grau de maturidade parece ser mais elevado no princípio P7, enquanto os princípios P2 e P9 apresentam uma variação mais ampla nas avaliações.
- Alunos formados e técnicos da UFG têm, em geral, avaliações mais positivas em relação à maturidade, com valores mínimos e máximos mais próximos.
- Professores têm um padrão mais consistente em relação ao grau de maturidade, com desvios padrão geralmente mais baixos.

Esses resultados ressaltam a importância de uma análise mais aprofundada para entender as percepções e necessidades específicas de cada grupo de partes interessadas, a fim de promover melhorias consistentes em relação à efetividade ou maturidade.

Alavancagem

A partir da análise dos resultados da coleta de dados sobre o desempenho do Curso de Graduação em Engenharia de Produção da UFG (CGEP-UFG), pode-se considerar como um relevante ponto de alavancagem para o desempenho e avaliação da efetividade do curso com base nos princípios do CDIO pode ser a implementação de projetos reais e desafiadores ao longo do currículo. Ao proporcionar aos estudantes a oportunidade de trabalhar em projetos complexos que abordam problemas reais da área de Engenharia de Produção, eles podem desenvolver habilidades práticas e aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos em sala de aula. Além disso, a colaboração em equipes multidisciplinares e a interação com profissionais da indústria podem enriquecer a experiência dos estudantes e prepará-los para os desafios do mercado de trabalho.

Outro ponto importante é a integração entre as disciplinas do curso, de forma que os estudantes possam perceber a relação entre os diferentes aspectos da engenharia de produção e aplicar uma abordagem sistêmica na resolução de problemas. Isso pode ser alcançado por meio de projetos que exijam a aplicação de conhecimentos de múltiplas disciplinas, promovendo a interdisciplinaridade. É essencial que o curso proporcione um ambiente de aprendizagem que estimule a criatividade, o pensamento crítico e a inovação. Isso pode ser feito por meio de atividades práticas, como prototipagem e simulação, e incentivando os estudantes a buscar soluções criativas e eficientes para os problemas apresentados. Esses elementos podem contribuir para uma formação mais completa e preparar os estudantes para enfrentar os desafios da área de Engenharia de Produção.

4.3.3. Avaliação do Sistema de Gestão da Efetividade (SGE)

A implementação do SGE com a utilização do modelo de efetividade do curso de engenharia de produção da UFG permitiu a criação de um loop de feedback negativo de grande relevância para a evolução do empreendimento, devido as seguintes razões:

1. Melhoria contínua: O loop de feedback negativo permite que o sistema de gestão identifique áreas que não estão alcançando os resultados esperados e tome medidas corretivas. Ao analisar as informações coletadas pelo modelo de efetividade, é possível identificar lacunas de desempenho e implementar ações para melhorar o curso.

2. Tomada de decisões fundamentadas: O feedback gerado fornece informações valiosas para a tomada de decisões no Curso de Graduação em Engenharia de Produção da UFG (CGEP-UFG). Com base nas informações coletadas, os responsáveis pela gestão do curso podem fazer ajustes no currículo, métodos de ensino, recursos didáticos e outros aspectos relevantes, a fim de aprimorar a efetividade do curso.

3. Acompanhamento do progresso: O *loop* de feedback negativo permite o acompanhamento contínuo do progresso dos estudantes e do próprio curso. Ao analisar as informações do modelo de efetividade, é possível monitorar o desempenho empreendimento ao longo do tempo, identificar tendências e comparar os resultados com as metas estabelecidas. Isso possibilita uma visão mais clara do progresso e contribui para aprimorar a qualidade da formação oferecida.

4. Adaptabilidade e flexibilidade: O loop de feedback negativo também permite que o sistema de gestão seja adaptável e flexível às mudanças. Com base nas informações coletadas, é possível identificar tendências emergentes, atualizar as competências necessárias ou ajustar o currículo para refletir as demandas do mercado de trabalho em constante evolução.

As respostas obtidas por meio dos questionários serviram como base para determinar o grau de efetividade do desempenho do curso, considerando os 12 princípios do CDIO. Essa análise permitiu identificar pontos fortes e áreas que necessitam de aperfeiçoamento. Com base nesse resultado, o sistema de gestão da efetividade do curso pode ser alimentado, contribuindo para a evolução e melhoria contínua do programa. Em resumo, a avaliação da implementação do modelo de efetividade do curso de engenharia de produção da UFG por meio do questionário baseado nos princípios do CDIO proporcionou informações relevantes para a gestão e aprimoramento do curso. Aperfeiçoar o questionário e utilizar os resultados para alimentar o

sistema de gestão da efetividade são passos importantes para garantir uma evolução contínua e uma experiência de aprendizado cada vez mais efetiva aos estudantes.

É importante ressaltar que o questionário utilizado precisa passar por melhorias. Sugere-se a inclusão de perguntas mais leves e de fácil percepção, a fim de garantir uma coleta de dados mais precisa e compreensível para os respondentes. Associado a melhoria no questionário, é importante desenvolver uma campanha de engajamento sobre a importância da filosofia CDIO explicando o quão valioso é a avaliação do grau de alinhamento do programa com os princípios do CDIO e como isso pode se traduzir em benefícios ao longo do tempo para as partes interessadas. Dessa forma, será possível obter uma visão mais completa sobre a efetividade do curso e identificar áreas específicas que possam requerer atenção e aprimoramento.

5. Considerações Finais

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver um sistema de gestão da efetividade (SGE) para cursos de engenharia. A fim de organizar os esforços envolvidos, foi apresentada a importância da Engenharia de Sistemas como arcabouço conceitual. Adicionalmente, uma investigação preliminar sob o rigor da perspectiva sistêmica, e voltada para operações acadêmicas de ensino de engenharia, direcionou a adoção dos princípios da Iniciativa CDIO (*Conceiving-Designing-Implementing-Operating*) como referencial de excelência internacional. A partir daí foi desenvolvido um modelo de efetividade baseado nos princípios CDIO e integrado ao SGE proposto. O SGE proposto foi incorporado à estrutura do Curso de Graduação em Engenharia de Produção da UFG (CGEP-UFG), tornando possível obter uma medida da efetividade do curso conforme a definição proposta. Os dados coletados e as interpretações aqui oferecidas podem ser utilizados pelos gestores do CGEP-UFG para direcionar futuros esforços de transformação.

De maneira geral, o SGE implementado no CGEP-UFG permitiu estabelecer uma referência quantitativa para mensuração de desempenho, assim como mecanismo para direcionar a melhoria e a evolução do empreendimento ao longo do tempo. Esse mesmo SGE pode ser generalizado e aplicado em qualquer curso de engenharia visto que os programas ou empreendimentos possuem ciclos de vida e estruturas semelhantes. Para tanto, habilitar um escritório de transformação com o propósito de conduzir e gerenciar a evolução do empreendimento é recomendado. O escritório de transformação pode, na prática, atuar como e guardião e principal usuário do SGE, garantindo uma governança mínima necessária para promover um ambiente de aprendizagem contínua, auto-organização e evolução.

Todavia, embora o SGE possa propiciar uma abordagem valiosa, sua implementação prática pode enfrentar desafios. Diante das lições aprendidas, cabe alertar sobre as prováveis dificuldades que serão enfrentadas por uma organização interessada nesse tema. Garantir a coleta adequada de dados, a definição de critérios de avaliação consistentes e a padronização dos processos de avaliação podem exigir recursos e esforços consideráveis. A avaliação baseada nos princípios do CDIO pode envolver uma certa dose de subjetividade, especialmente quando se trata de avaliar fatores complexos e inovadores. É necessário um cuidado especial para garantir critérios claros e objetivos de avaliação, bem como definir quais evidências são necessárias para subsidiar as percepções dos respondentes para cada princípio do CDIO. Cabe ressaltar a necessidade de criar outras ferramentas de coletas de dados além de questionários, por exemplo, através de revisões de documentos, entrevistas com as partes interessadas, coletar

de reflexões do corpo docente, e estudos longitudinais, conforme apresentado na Tabela 2, no capítulo da fundamentação teórica.

Em estudos futuros é de fundamental importância desenvolver um modelo de efetividade para o sistema 1, a pessoa formada em engenharia. Ao tratarmos a pessoa formada em engenharia como um sistema produzido pelo programa (S3), podemos aplicar princípios de engenharia de sistemas para entender seu desempenho e efetividade ao longo do tempo. Desenvolver um modelo de efetividade para medir o desempenho do S1 é importante por diversos motivos. Primeiramente, um modelo de efetividade permitirá avaliar objetivamente o quão bem a pessoa formada em engenharia está aplicando os conhecimentos e habilidades adquiridos durante a sua formação. Isso é crucial para identificar pontos fortes e áreas que precisam de melhorias. Além disso, um modelo de efetividade pode auxiliar na identificação de lacunas de conhecimento ou competências que a pessoa formada em engenharia precise preencher ao longo do tempo. Com base nessas informações, podem ser desenvolvidos programas de desenvolvimento profissional contínuo, como treinamentos, cursos ou outras atividades, para garantir que a pessoa formada em engenharia se mantenha atualizada e aprimore seu desempenho, adquirindo uma cultura de aprendizagem ao longo da vida (*life long learning*).

O acompanhamento da efetividade da pessoa formada em engenharia ao longo do tempo também pode fornecer informações valiosas para aprimorar o currículo e os métodos de ensino utilizados nos programas de engenharia. Isso permite que as instituições de ensino e os responsáveis pelo currículo ajustem e atualizem seus programas para melhor atender às demandas e às necessidades do mercado de trabalho em constante evolução.

Associado ao desenvolvimento de um modelo de efetividade para o sistema 1, também é de fundamental importância aprimorar o modelo de efetividade do sistema 3, incluindo os 4 princípios opcionais do CDIO como objetivos a serem perseguidos pelo programa e incluídos na avaliação da efetividade. Os 4 princípios opcionais são: (13) desenvolvimento ambiental, (14) matemática baseada em simulação, (15) empreendedorismo na engenharia e (16) internacionalização e mobilidade. Com os 16 princípios, o modelo de efetividade será mais robusto para direcionar o crescimento e evolução do programa de maneira mais completa.

Por fim, o presente trabalho pretendeu contribuir para o caminho de desenvolvimento de um sistema de gestão da efetividade para cursos de engenharia com a finalidade de avançar o conhecimento e contribuir com o processo de modernização dos programas de engenharia. Com um sistema de gestão incorporado na estrutura dos cursos de engenharia é possível

habilitar uma capacidade evolutiva de aprendizagem contínua de grande importância para o avanço do ensino de engenharia no Brasil e no mundo.

6. Referências Bibliográficas

ACKOFF, R.L. **Towards a System of Systems Concepts**. US: Management Science, 1971.

ACKOFF, R.L. **The Art of Problem Solving: Accompanied by Ackoff's Fables**. US: John Wiley & Sons, 1978.

BEASLEY, R., & PICKARD, A., 2020, **The Capability to Engineer Systems is a System Itself, INCOSE**. International Symposium (virtual) (in proceedings, not presented).

BEASLEY, R., 2020, **Three Systems Approach, INCOSE International Symposium** (virtual) (in proceedings, not presented).

BLANCHARD, B. S. & FABRYCRY, W. **Systems Engineering and Analysis**. 5. Ed. England: Pearson Education Limited, 2014.

BRASIL. **Resolução no 2, de 26 de abril de 2019**. Institui diretrizes curriculares nacionais do curso de graduação em Engenharia. Diário Oficial da União: secado 1, Brasília, DF, 26 abril de 2019.

CAUCHICK, Miguel *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

CRAWLEY, E.; BRUCE, C.; SELVA, D. **System Architecture: Strategy and Product Development for Complex Systems**. England: Pearson Education Limited, 2016.

CRAWLEY, E. *et al.* **Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach**, 2. Ed. Switzerland: Springer International, 2014.

CRAWLEY, E.; BRODEUR, D. R. **Program Evaluation Aligned With the CDIO Standards**. American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, Proceedings, 2005.

DRESCH, A. *et al.* **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement**. Switzerland: Springer International, 2015.

ENGEFLUX. **Diretrizes para Descrição Sucinta de Casos de Transformação Organizacional** (v. 1). G. W. L. Sousa (Ed.). Aparecida de Goiânia-GO, Brasil: Engeflux Engenharia de Sistemas, Ltda. Documento não publicado, 2015.

HEVNER, A. R. *et al.* **Design Science in Information Systems Research**. MIS Quarterly, 2004.

LENIN, N. *et al.* **Application of Conceive, Design, Implement and Operate (CDIO) Strategy for the Development of Engineering Education in Indian Perspective**. Journal of Education, Vol. 203(1) 41–48, Trustees of Boston University, 2023.

INCOSE. **System Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Proceeds and Activities**. 4. Ed. San Diego, CA: International Council on System Engineering. Published by John Wiley & Sons, Inc. 2015.

MEADOWS, D. **Leverage Points: Places to Intervene in a System. Leverage Points: Places to Intervene in a System**. US: The Sustainability Institute, 1999.

MIT – Massachusetts Institute of Technology. **CDIO: Conceive – Design – Implement – Operate**. Disponível em: <https://web.mit.edu/edtech/casestudies/cdio.html#waitz>. Acessado em: 18/06/2022.

HITCHINS, D. **Systems Engineering: A 21st Century Systems Methodology**. New York, NY, USA: Wiley, 2007.

PARNELL *et al.* **Decision making in systems engineering and management**. US: John Wiley & Sons, 2011.

PEFFERS, K. *et al.* **A Design Science Research Methodology for Information Systems Research**. Journal of Management Information Systems, 2007.

PPI - Project Performance International. **Architectural design**. Disponível em: www.ppi-int.com/wp-content/uploads/2022/07/P1768-006285-11_AD5D-Brochure_RGB_220726-1.pdf. Acessado em: 19/05/2023.

REBOVICH, G.; WHITE, B. **Enterprise Systems Engineering: Advance in The Theory And Practice.** US; Taylor & Francis Group, 2011.

ROEDLER, G.J.; MARTIN, L. **Technical Measurement.** San Diego, CA: INCOSE Technical Report, 2005.

ROUSE, B. WILLIAM. **Enterprise Transformation: Understanding and Enabling Fundamental Change.** New Jersey, US: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

O'CONNOR, Sean; POWER, Jason; BLOM, Nicolaas. **A systematic review of CDIO knowledge library publications (2010 – 2020):** An Overview of trends and recommendations for future research. Australasian Journal of Engineering Education, 2023.

SILLITTO, H.G. **Design principles for ultra-large-scale systems.** Proceedings of the 20th Annual International Council on Systems Engineering (INCOSE) International Symposium, July 2010, Chicago, IL, USA, reprinted in “The Singapore Engineer,” April 2011.

SOUSA, George; SEVERINO, Maico. **Notas de Aula: Sistemas Produtivos.** Aparecida de Goiânia, 2020.

SOUPPEZ, J.B.R.G, AWOTWE, T.W. **The Conceive Design Implement Operate (CDIO) Initiative - An Engineering Pedagogy Applied to The Education of Maritime Engineers.** International Journal of Maritime Engineering, UK, 2023.

SONG, Xiaotao. **Application Research of CDIO Education Initiative in Reforming Online-Offline Hybrid Teaching of “Software Testing” Course.** IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), 2022.

STERMAN, J. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.** US: McGraw-Hill, 2000.

TANVEER, B.; USMAN, M. **An Empirical Study on the Use of CDIO in Software Engineering Education.** IEEE Transactions on Education, Vol. 65, No. 4, November 2022.

THIOLLENT. Michel. **Metodologia da pesquisa-ação.** São Paulo: Cortez. 2011.

WATSON, M.D. **Engineering Elegant Systems: The Practice of Systems Engineering.** Marshall Space Flight Center, Huntsville, Alabama, 2020.

WARREN, K. **Fast and Effective Living Business Models with Systems Dynamics: A Tutorial in Business Case.** IEEE, 2018.

WARREN, K. **Engineering of Strategy: A General, Unified Theory of Performance and Strategic Management.** In: Dangerfield B. (eds) System Dynamics. Encyclopedia of Complexity and Systems Science Series. Springer, New York, NY, 2020.

WARREN, K. **Strategy Management Dynamics.** UK: John Willey & Sons, 2012.

7. APÊNDICE - QUESTIONÁRIO

1. Contexto

Adoção do princípio de que o desenvolvimento e a implantação do ciclo de vida de produto, processo, sistema e serviço sustentáveis – Concebendo, Projetando, Implementando e Operando (sigla CDIO em inglês) – são o contexto para a educação em engenharia.

Justificativa: Os engenheiros iniciantes devem ser capazes de conceber, projetar, implementar e operar produtos, processos, sistemas e serviços complexos, com valor agregado e sustentáveis em ambientes modernos baseados em equipes. Eles devem ser capazes de participar de processos de engenharia, contribuir para o desenvolvimento de soluções de engenharia e fazê-lo enquanto trabalham com padrões profissionais em qualquer organização. Os engenheiros precisam entender as implicações da tecnologia nos fatores de sustentabilidade social, econômica e ambiental, a fim de desenvolver soluções técnicas adequadas em colaboração com outros atores. Esta é a essência da profissão de engenheiro.

Em que medida o ciclo de vida do produto, processo e sistema (CDIO) é considerado o contexto para educação em engenharia, tendo-o como estrutura cultural na qual o conhecimento técnico e outras habilidades são aprendidas?

| | |
|-----|--|
| 0 | Não há nenhum plano para adotar o princípio de que o CDIO é o contexto do ensino de engenharia para o programa. |
| 20 | Existe uma vontade de adotar um contexto CDIO para o programa de engenharia. |
| 40 | Existe um plano explícito de transição para um contexto CDIO para o programa de engenharia. |
| 60 | O CDIO é implementado em um ou mais anos do programa. |
| 80 | Há evidências documentadas de que o princípio CDIO é o contexto do programa de engenharia e está totalmente implementado. |
| 100 | Os grupos de avaliação reconhecem que o CDIO é o contexto do programa de engenharia e usam esse princípio como um guia para a melhoria contínua. |

2. Resultados de Aprendizagem

Resultados de aprendizagem específicos e detalhados para habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, bem como conhecimento

de disciplinas, consistente com os objetivos do programa, e validados pelas partes interessadas do programa.

Justificativa: Definir resultados de aprendizagem específicos ajuda a garantir que os alunos adquiram a base adequada para o seu futuro. Organizações profissionais de engenharia e representantes da indústria identificaram os principais atributos dos engenheiros iniciantes nas áreas técnicas e profissionais. Além disso, muitos órgãos de avaliação e acreditação esperam que os programas de engenharia identifiquem os resultados do programa em termos de conhecimento, habilidades e atitudes de seus graduados.

Em que medida os resultados de aprendizagem para o conhecimento de disciplinas, habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços são consistentes com os objetivos do programa e validados pelas partes interessadas do programa?

| | |
|-----|---|
| 0 | Não há resultados explícitos de aprendizagem do programa no nível de disciplinas nem resultados do programa que abranjam conhecimento, habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços. |
| 20 | A necessidade de criar ou modificar os resultados de aprendizagem no nível de disciplina e os resultados do programa são reconhecidos e esse processo foi iniciado. |
| 40 | Um plano para incorporar declarações explícitas de resultados de aprendizagem no nível de disciplina, bem como os resultados do programa, é aceito pelos líderes do programa, corpo docente de engenharia e outras partes interessadas. |
| 60 | Os resultados de aprendizagem das disciplinas e/ou programa são validados com as principais partes interessadas do programa, incluindo professores, alunos, ex-alunos e representantes da indústria, e os níveis de proficiência são definidos para cada resultado. |
| 80 | Os resultados de aprendizagem do programa estão alinhados com a visão e a missão da instituição, e os níveis de proficiência são definidos para cada resultado. |
| 100 | Grupos internos e externos analisam e revisam regularmente os resultados de aprendizagem do programa e/ou as metas do programa com base nas mudanças nas necessidades das partes interessadas. |

3. Currículo Integrado

Um currículo projetado com disciplinas de apoio mútuo, com um plano explícito para integrar habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços.

Justificativa: O ensino de habilidades pessoais, interpessoais e profissionais e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, incluindo conceitos e competências relacionados ao desenvolvimento sustentável, não deve ser considerado um acréscimo a um currículo já completo, mas uma parte integrante dele. Para alcançar os resultados de aprendizagem pretendidos em conhecimentos e habilidades disciplinares, o currículo e as experiências de aprendizagem devem fazer uso duplo/complementar do tempo disponível. O corpo docente desempenha um papel ativo na elaboração do currículo integrado, sugerindo vínculos disciplinares apropriados, bem como oportunidades para abordar habilidades específicas em suas respectivas áreas de ensino.

Em que medida o currículo é projetado com disciplinas que se apoiam mutuamente, com um plano explícito para integrar habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços?

| | |
|-----|--|
| 0 | Não há integração de habilidades ou disciplinas de apoio mútuo no programa. |
| 20 | A necessidade de analisar o currículo é reconhecida e o mapeamento inicial das habilidades e resultados de aprendizagem está em andamento. |
| 40 | O currículo que integra os resultados de aprendizagem de habilidades pessoais, interpessoais, habilidades de criação de produto, processo, sistema e serviços está aprovado e um processo foi iniciado para implementar o currículo. |
| 60 | O currículo integrado aprovado relativo a habilidades pessoais, interpessoais, e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços está em uso. |
| 80 | Há evidências de que os alunos alcançaram os resultados de aprendizagem pretendidos em relação às habilidades pessoais, interpessoais, e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços. |
| 100 | As partes interessadas internas e externas revisam regularmente o currículo integrado e fazem recomendações e ajustes conforme necessário. |

4. Introdução a Engenharia

Uma disciplina introdutória que fornece a estrutura para a prática de engenharia em criação de produtos, processos, sistemas e serviços e introduz habilidades pessoais e interpessoais essenciais e a lógica da sustentabilidade no contexto da engenharia.

Justificativa: Os cursos introdutórios visam estimular o interesse dos alunos e fortalecer sua motivação para o campo da engenharia, concentrando-se na aplicação de disciplinas básicas de engenharia relevantes. Os alunos geralmente selecionam programas de engenharia esperando aprender de maneira criativa e prática, e os cursos introdutórios podem capitalizar esse interesse. Além disso, os cursos introdutórios fornecem um início precoce para o desenvolvimento das habilidades essenciais que compõem um programa completo de estudos CDIO.

O quão efetivamente a disciplina introdutória de engenharia propicia a estrutura para a prática de engenharia em habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, e introduz habilidades pessoais e interpessoais essenciais?

| | |
|-----|---|
| 0 | Não existe uma disciplina introdutória de engenharia que forneça uma estrutura para a prática e introduza habilidades chave. |
| 20 | A necessidade de uma disciplina introdutória que propicie a estrutura para a prática de engenharia é reconhecida e um processo de planejamento foi iniciado. |
| 40 | Um plano para uma disciplina introdutória de engenharia introduzindo uma estrutura para a prática foi aprovado e um processo para implementar o plano foi iniciado. |
| 60 | Foi implementada uma disciplina introdutória que inclui experiências de aprendizado de engenharia e apresenta habilidades pessoais e interpessoais essenciais. |
| 80 | Há evidências documentadas de que os alunos alcançaram os resultados de aprendizagem pretendidos na disciplina introdutória de engenharia. |
| 100 | A disciplina introdutória é regularmente avaliada e revisada com base no feedback de alunos, instrutores e outras partes interessadas. |

5. Experiências de Projeto-Implementação

Um currículo que inclui duas ou mais experiências de projeto-implementação, incluindo uma em nível básico e outra em nível avançado.

Justificativa: As experiências de projeto-implementação são estruturadas e sequenciadas para promover o sucesso inicial na prática da engenharia. A iteração de experiências de projeto-implementação e níveis crescentes de complexidade de projeto reforçam a compreensão dos alunos sobre o processo de desenvolvimento de produtos, processos, sistemas e serviços. As experiências de projeto-implementação também fornecem uma base sólida sobre a qual pode-se construir uma compreensão conceitual mais profunda de habilidades de disciplinas técnicas, bem como a valorização dos aspectos éticos e de sustentabilidade. A ênfase na construção de produtos e na implementação de processos em contextos do mundo real oferece aos alunos oportunidades de fazer conexões entre o conteúdo técnico que estão aprendendo, seus interesses profissionais e de carreira e as necessidades sociais.

O currículo contém duas ou mais experiências de projeto-implementação, incluindo uma em nível básico e outra em nível avançado?

| | |
|-----|--|
| 0 | Não há experiências de projeto-implementação no programa de engenharia. |
| 20 | Uma análise de necessidades foi realizada para identificar oportunidades para incluir experiências de projeto-implementação no currículo. |
| 40 | Existe um plano para desenvolver experiências de projeto-implementação em nível básico e avançado. |
| 60 | Pelo menos duas experiências de projeto-implementação de complexidade crescente estão sendo implementadas. |
| 80 | Há evidências documentadas de que os alunos alcançaram os resultados de aprendizagem pretendidos nas experiências de projeto-implementação. |
| 100 | As experiências de projeto-implementação são avaliadas e revisadas regularmente, com base no feedback de alunos, instrutores e outras partes interessadas. |

6. Espaços de Trabalho para Aprendizagem de Engenharia

Um ambiente de aprendizado físico que inclui espaços de trabalho de engenharia e laboratórios que apoiam e incentivam o aprendizado prático de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, conhecimento das disciplinas e aprendizado social, combinado com um ambiente de aprendizado digital, que inclui ferramentas e espaços on-line que apoiem e melhorem a qualidade do ensino e a aprendizagem do aluno.

Justificativa: Os espaços de trabalho e outros ambientes de aprendizagem que suportam a aprendizagem prática são recursos fundamentais para aprender a conceber, projetar, implementar e operar produtos, processos, sistemas e serviços. Os alunos que têm acesso a ferramentas modernas de engenharia, software e laboratórios têm oportunidades de desenvolver o conhecimento, as habilidades e as atitudes que dão suporte às competências de criação de produtos, processos, sistemas e serviços. Essas competências são melhor desenvolvidas em espaços de trabalho centrados no aluno, amigáveis, acessíveis e interativos. A capacidade de aumentar as atividades de aprendizado por meio de ferramentas e recursos digitais fornece maior flexibilidade aos instrutores, designers de programas e para os alunos. Os repositórios de conteúdo digital dos cursos de pré-requisito permitem a reativação eficiente do conhecimento, facilitando a estruturação em todo o currículo. Os criadores de programas podem estruturar o aprendizado do aluno de uma maneira que proporcione maior flexibilidade de aprendizado, incluindo mobilidade do aluno e experiência de aprendizado personalizado.

Em que medida os alunos têm acesso à softwares de engenharia modernos e laboratórios que proporcionam oportunidades de desenvolver conhecimentos, habilidades e atitudes que apoiam habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços?

| | |
|----|--|
| 0 | Os espaços de trabalho de aprendizagem de engenharia são inadequados ou inapropriados para apoiar e encorajar aprendizagem digital e social, habilidades práticas e de conhecimento. |
| 20 | A necessidade de espaços de trabalho de aprendizagem de engenharia para dar suporte a atividades digitais, práticas, de conhecimento e habilidades é reconhecida e um processo para atender essa necessidade foi iniciado. |
| 40 | Os espaços de trabalho, sua funcionalidade e finalidade para o ensino estão sendo avaliados por grupos internos, incluindo as partes interessadas. |

| | |
|-----|---|
| 60 | Planos de desenvolvimento de locais de trabalho de aprendizagem de engenharia estão sendo implementados e alguns espaços novos ou remodelados estão em uso. |
| 80 | Os espaços de trabalho de aprendizagem de engenharia apoiam completamente todos os componentes aprendizagem digital e social, habilidades práticas e de conhecimento. |
| 100 | Os grupos de avaliação revisam regularmente o impacto e a efetividade dos espaços de trabalho na aprendizagem e fornecem recomendações para melhorá-los. |

7. Experiências Integradas de Aprendizagem

Experiências integradas de aprendizado que levam à aquisição de conhecimento das disciplinas, bem como habilidades pessoais e interpessoais, e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços.

Justificativa: O projeto do currículo e os resultados de aprendizagem, prescritos nos princípios 2 e 3, respectivamente, podem ser realizados apenas se houver abordagens pedagógicas correspondentes que façam duplo uso do tempo de aprendizagem do aluno. Além disso, é importante que os alunos reconheçam os professores de engenharia como modelos de engenheiros profissionais, instruindo-os em conhecimento das disciplinas técnicas, habilidades pessoais e interpessoais, e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, incluindo conceitos e competências relacionadas ao desenvolvimento sustentável. Com experiências de aprendizado integradas, o corpo docente pode ser mais eficaz em ajudar os alunos a aplicar o conhecimento das disciplinas técnicas à prática de engenharia e prepará-los melhor para atender às demandas da profissão de engenheiro.

Em que medida as experiências de aprendizagem integrada levam à aquisição de conhecimento das disciplinas, bem como habilidades pessoais e interpessoais e habilidade de criação de produtos, processos, sistemas e serviços?

| | |
|----|---|
| 0 | Não há evidências de aprendizagem integrada de disciplinas e habilidades. |
| 20 | Os planos das disciplinas foram comparados com respeito ao plano curricular integrado. |
| 40 | Planos de disciplinas com resultados de aprendizagem e atividades que integram habilidades pessoais e interpessoais com conhecimento das disciplinas foram aprovados. |

| | |
|-----|--|
| 60 | Experiências de aprendizagem integradas estão sendo implementadas em disciplinas ao longo do currículo de acordo com o plano curricular integrado. |
| 80 | Existe evidência do impacto da implementação de experiências de aprendizagem integradas de acordo com o plano curricular integrado. |
| 100 | As disciplinas são regularmente avaliadas e revisadas quanto à integração das experiências de aprendizagem e o impacto dessas experiências. |

8. Aprendizagem Ativa

Ensinando e aprendendo com base em métodos de aprendizagem ativa e experiencial.

Justificativa: Ao envolver os alunos no pensamento sobre conceitos, particularmente novas ideias, e exigir que eles deem uma resposta aberta, os alunos não apenas aprendem mais, mas também reconhecem por si mesmos o que e como aprenderam. Este processo visa aumentar a motivação dos alunos para alcançar os resultados de aprendizagem do programa e formar hábitos de aprendizagem ao longo da vida. Com métodos de aprendizado ativos, os instrutores podem ajudar os alunos a fazer conexões entre os principais conceitos e facilitar a aplicação desse conhecimento em novos ambientes.

Em que medida os métodos de ensino e aprendizagem são baseados em abordagens que engajam os alunos diretamente nas atividades de pensamento e resolução de problemas?

| | |
|-----|---|
| 0 | Não existe evidência de métodos de aprendizagem experiencial ativa. |
| 20 | Há uma consciência dos benefícios da aprendizagem ativa e encoraja-se a introduzi-la no currículo. |
| 40 | Existe um plano e um processo para incluir métodos de aprendizagem ativa em disciplinas no currículo. |
| 60 | Métodos de aprendizagem ativa estão sendo implementados no currículo. |
| 80 | Há evidências documentadas de que a aprendizagem ativa foi implementada adequadamente por todo o currículo. |
| 100 | Grupos internos e/ou externos revisam regularmente atividades de aprendizagem ativa sobre os resultados baseados em aprendizagem no currículo e fazem recomendações para melhoria contínua. |

9. Aprimoramento das Competências do Corpo Docente

Ações que melhoram a competência do corpo docente em habilidades pessoais e interpessoais, habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, bem como dos fundamentos das disciplinas.

Justificativa: Espera-se que o corpo docente de engenharia ensine um currículo de habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços integrados ao conhecimento disciplinar. Conforme descrito, por exemplo, nos princípios 3, 4, 5 e 7, eles como um grupo precisam ser competentes nessas habilidades. Os professores de engenharia tendem a ser especialistas em pesquisa e no fundamento de conhecimento de suas respectivas disciplinas, com experiência limitada na prática da engenharia em ambientes empresariais e industriais e seu papel no desenvolvimento sustentável. Um aspecto fundamental da especialização é o conhecimento pedagógico do conteúdo, que se refere à capacidade de apoiar efetivamente os alunos no aprendizado do assunto. O ritmo acelerado da inovação tecnológica também exige atualização contínua das habilidades de engenharia. O corpo docente coletivo precisa aprimorar seus conhecimentos e habilidades de engenharia para que possam fornecer exemplos relevantes aos alunos e também servir como modelos individuais de engenheiros do mundo contemporâneo.

Como as ações que aprimoram a competência do corpo docente em habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de desenvolvimento de produtos, processos, sistemas e serviços são apoiadas e encorajadas?

| | |
|----|--|
| 0 | Não há programas ou práticas para melhorar a competência do corpo docente em conhecimento das disciplinas e habilidades pessoais, interpessoais, habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços. |
| 20 | É reconhecida a necessidade de um plano de desenvolvimento de competências do corpo docente em conhecimento das disciplinas e habilidades pessoais, interpessoais, habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços. |
| 40 | Existe um plano sistemático para o aprimoramento do corpo docente em conhecimento das disciplinas e habilidades pessoais, interpessoais, habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços. |
| 60 | O corpo docente participa de atividades de desenvolvimento de competências e o recrutamento do corpo docente leva em consideração a necessidade de competência do |

| | |
|-----|--|
| | corpo docente, no que diz respeito ao conhecimento das disciplinas e habilidades pessoais, interpessoais, e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços. |
| 80 | Há evidências de que o corpo docente é competente em conhecimento das disciplinas e habilidades pessoais, interpessoais, e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços. |
| 100 | A competência do corpo docente em conhecimento das disciplinas e habilidades pessoais, interpessoais, e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços são regularmente avaliadas e aprimoradas quando apropriado. |

10. Aprimoramento das Competências de Ensino do Corpo Docente

Ações que melhoram a competência do corpo docente em propiciar experiências de aprendizagem integradas, no uso de métodos de aprendizagem ativos e experienciais e na avaliação da aprendizagem dos alunos.

Justificativa: Espera-se que os membros do corpo docente ensinem e avaliem de novas maneiras. Conforme descrito nos princípios do CDIO, eles precisam de oportunidades para desenvolver e melhorar essas competências. Muitas universidades têm programas e serviços de desenvolvimento do corpo docente, os quais podem estar ansiosos para colaborar nos programas CDIO. Além disso, se os programas CDIO quiserem enfatizar a importância do ensino, aprendizagem e avaliação, eles devem recrutar e promover o corpo docente com essas necessidades em mente e devem destinar recursos adequados para o desenvolvimento do corpo docente nessas áreas.

Que ações tem sido tomadas para melhorar a competência do corpo docente em propiciar experiências de aprendizagem integrada, usando métodos de aprendizagem experiencial ativa, e de avaliação da aprendizagem do aluno?

| | |
|----|---|
| 0 | Não há programas ou práticas para melhorar a competência de ensino do corpo docente. |
| 20 | A necessidade de garantir e aprimorar a competência de ensino do corpo docente é reconhecida e aceita dentro da equipe. |
| 40 | Um plano sistemático para garantir e aprimorar a competência de ensino do corpo docente é desenvolvido e orçado. |

| | |
|-----|--|
| 60 | Os docentes participam continuamente de atividades para desenvolver sua competência de ensino, e o recrutamento do corpo docente leva em consideração a necessidade de competência de ensino do corpo docente. |
| 80 | Há evidências de que o corpo docente possui a competência de ensino necessária para efetivamente criar, ministrar e melhorar as disciplinas do currículo. |
| 100 | A competência de ensino do corpo docente é regularmente avaliada e atualizada quando apropriado. |

11. Avaliação da Aprendizagem

Avaliação da aprendizagem do aluno em habilidades pessoais e interpessoais e habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, bem como em conhecimento de disciplinas técnicas.

Justificativa: Se valorizamos as habilidades pessoais e interpessoais e as habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, e as incorporamos ao currículo e às experiências de aprendizado, devemos ter processos de avaliação eficazes para medi-los. Diferentes categorias de resultados de aprendizagem requerem diferentes métodos de avaliação. Por exemplo, resultados de aprendizagem relacionados ao conhecimento de disciplinas técnicas podem ser avaliados com testes orais, online e escritos, enquanto aqueles relacionados a habilidades de projeto-implementação podem ser melhor medidos com observações registradas. O uso de uma variedade de métodos de avaliação acomoda uma gama mais ampla de aprendizado e aumenta a confiabilidade e a validade dos dados da avaliação. Como resultado, as determinações do alcance dos resultados de aprendizagem pretendidos pelos alunos podem ser feitas com maior confiança.

Como é integrada no programa a avaliação da aprendizagem do aluno em habilidades pessoais e interpessoais, em habilidades de criação de produtos, processos, sistemas e serviços, e em conhecimento de disciplinas?

| | |
|----|--|
| 0 | Os métodos de avaliação da aprendizagem são inadequados, inapropriados ou não alinhados. |
| 20 | É reconhecida a necessidade de aperfeiçoamento dos métodos de avaliação da aprendizagem. |

| | |
|-----|---|
| 40 | Existe um plano para alinhar os métodos de avaliação de aprendizagem com o currículo. |
| 60 | Os métodos de avaliação de aprendizagem estão alinhados com os objetivos de aprendizagem no currículo. |
| 80 | Há evidências de métodos alinhados de avaliação de aprendizagem. |
| 100 | Grupos internos e externos revisam regularmente o uso de métodos de avaliação de aprendizagem e fazem recomendações para melhoria contínua. |

12. Avaliação do Programa

Um sistema que avalia os programas em relação estes 12 princípios CDIO e quaisquer princípios opcionais adotados e fornece feedback aos alunos, professores e outras partes interessadas para fins de melhoria contínua.

Justificativa: Uma função fundamental da avaliação do programa é determinar a eficácia e a eficiência do programa em alcançar os objetivos pretendidos. As evidências coletadas durante o processo de avaliação do programa também servem como base para a melhoria contínua do programa. Por exemplo, se em uma entrevista de saída, a maioria dos alunos relatou que não foi capaz de atingir algum resultado de aprendizagem específico, um plano pode ser iniciado para identificar as causas principais e implementar mudanças. Além disso, muitos avaliadores externos e organismos de acreditação exigem uma avaliação regular e consistente do programa.

Existe um processo sistemático para avaliar os programas em relação aos 12 princípios do CDIO?

| | |
|----|--|
| 0 | A avaliação do programa é inexistente. |
| 20 | A necessidade de avaliação do programa é reconhecida e o benchmarking de métodos de avaliação está em processo. |
| 40 | Existe um plano de avaliação contínua do programa. |
| 60 | Métodos de avaliação do programa estão sendo implementados no programa para coletar dados da maioria das partes interessadas (como alunos, professores, líderes do programa, ex-alunos, representantes da vida profissional). |
| 80 | Há evidências documentadas de que métodos de avaliação do programa estão sendo utilizados pelas principais partes interessadas, incluindo alunos, professores, líderes do programa, ex-alunos e representantes da vida profissional. |

| | |
|-----|---|
| 100 | Há evidências documentadas de que melhoria sistemática e contínua é baseada nos resultados da avaliação contínua do programa. |
|-----|---|