

Metrificação de projetos mecatrônicos: uma abordagem utilizando o índice interno de esforço (IIE)

Mechatronic projects metrification: an approach using the index of internal effort (IIE)

Metrificación de proyectos mecatrónicos: un enfoque utilizando el índice interno de esfuerzo (IIE)

ALISSON ANTÔNIO DE OLIVEIRA¹

RESUMO

A mensuração da complexidade em sistemas mecatrônicos é um desafio devido à integração entre hardware e software e à falta de métricas comparáveis. Este estudo avalia a capacidade do Índice Interno de Esforço (IIE), em sua aproximação da complexidade (IIEa), para estimar a complexidade de projetos mecatrônicos. A metodologia adota a Tipologia da Complexidade para organizar as variáveis internas que serão usadas no IIEa, e testes de correlação de Spearman para comparar o IIEa com três variáveis de projeto: tempo de execução, dificuldade e seu produto. Os projetos utilizados foram extraídos do livro Arduino Projects Book, contendo 14 códigos e 17 circuitos. As variáveis de software incluíram: organizadores, operadores lógicos/relacionais, iterações e desvios condicionais, enquanto no hardware destacaram-se as variáveis: diversidade de componentes e número de conexões. Os resultados demonstram que o IIEa possui uma correlação positiva com outras métricas de software. Já para o estudo de caso do hardware, o IIEa apresentou uma correlação positiva com as variáveis de projeto propostas no livro. Isso sugere que a natureza educacional do *dataset* influencia a mensuração do software, enquanto, no hardware, a heterogeneidade de componentes e a densidade de conexões emergem como principais fatores de complexidade. Conclui-se que o IIEa é um *framework* promissor para mensuração de hardware e software, sendo um indicador genérico e multidisciplinar que pode ser aplicado ao contexto da Engenharia de Sistemas, com implicações práticas para o planejamento e avaliação de projetos.

Palavras-chave: Sistemas; Mecatrônica; Métricas; Complexidade; Multidisciplinaridade.

ABSTRACT

Measuring complexity in mechatronic systems remains a challenge due to the integration of hardware and software and the lack of comparable metrics. This study evaluates the capability of the Index of Internal Effort (IIE), in its complexity approximation (IIEa), to estimate the complexity of mechatronic projects. The methodology applies the Complexity Typology to organize the internal variables used in the IIEa, and Spearman correlation tests to compare the IIEa with three project variables: execution time, difficulty, and their product. The projects analyzed were from the Arduino Projects Book, comprising 14 codes and 17 circuits. Software-related variables included organizers, logical/relational operators, iterations, and conditional branches, while hardware-related variables emphasized component diversity and number of connections. Results demonstrate that the IIEa exhibits a positive correlation with other software metrics. For the hardware case study, the IIEa also showed a positive correlation with the project variables proposed in the book. This suggests that the educational nature of the dataset influences software measurement, whereas in hardware, component heterogeneity and connection density emerge as the main complexity factors. In conclusion, the IIEa proves to

¹Doutor em Engenharia de Produção (UTFPR). Professor EBTT no IFPR, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9961-1730>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3356802877439535>. E-mail: alisson.oliveira@ifpr.edu.br.

be a promising framework for measuring both hardware and software, serving as a generic and multidisciplinary indicator applicable to the Systems Engineering context, with practical implications for project planning and evaluation.

Keywords: Systems; Mechatronics; Metrics; Complexity; Multidisciplinary.

RESUMEN

La medición de la complejidad en sistemas mecatrónicos sigue siendo un desafío debido a la integración entre hardware y software y a la falta de métricas comparables. Este estudio evalúa la capacidad del Índice Interno de Esfuerzo (IIE), en su aproximación a la complejidad (IIEa), para estimar la complejidad de proyectos mecatrónicos. La metodología utiliza la Tipología de la Complejidad para organizar las variables internas aplicadas en el IIEa, y pruebas de correlación de Spearman para comparar el IIEa con tres variables del proyecto: tiempo de ejecución, dificultad y su producto. Los proyectos analizados provienen del Arduino Projects Book, que incluye 14 códigos y 17 circuitos. Las variables de software incluyeron organizadores, operadores lógicos/relacionales, iteraciones y desvíos condicionales, mientras que en el hardware se destacaron la diversidad de componentes y el número de conexiones. Los resultados muestran que el IIEa presenta una correlación positiva con otras métricas de software. En el estudio de caso del hardware, el IIEa también mostró una correlación positiva con las variables de proyecto propuestas en el libro. Esto sugiere que la naturaleza educativa del conjunto de datos influye en la medición del software, mientras que en el hardware la heterogeneidad de componentes y la densidad de conexiones emergen como los principales factores de complejidad. En conclusión, el IIEa se presenta como un marco prometedor para la medición de hardware y software, funcionando como un indicador genérico y multidisciplinario aplicable al contexto de la Ingeniería de Sistemas, con implicaciones prácticas para la planificación y evaluación de proyectos.

Palabras clave: Mecatrónica; Métricas; Complejidad; Multidisciplinariedad.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a NASA (2007), um sistema é a combinação de elementos que operam em conjunto para proporcionar a capacidade necessária para atender a uma determinada demanda. Esses elementos abrangem hardware, software, equipamentos, instalações, pessoal, processos e procedimentos indispensáveis para tal propósito.

Seguindo essa definição, os sistemas mecatrônicos representam uma integração sinérgica de componentes mecânicos, eletrônicos, de controle e computacionais, com o objetivo de realizar funções complexas e automatizadas (Rosário, 2005). Esses sistemas unem os princípios da engenharia mecânica, eletrônica e de controle para conceber, construir e operar dispositivos capazes de desempenhar uma variedade de tarefas, como robótica industrial, veículos autônomos, sistemas de automação industrial e dispositivos médicos.

A engenharia mecatrônica constitui uma parte de um campo mais amplo e interdisciplinar conhecido como engenharia de sistemas. Esta última emergiu como uma disciplina crucial para o desenvolvimento de sistemas complexos em uma ampla gama de setores, desde a indústria aeroespacial até a tecnologia da informação. Compreender e

gerenciar a complexidade inerente a esses projetos tornou-se uma tarefa essencial para garantir o sucesso e a eficiência dos sistemas desenvolvidos. Nesse contexto, a adequada mensuração dos projetos torna-se uma prioridade, com o objetivo de quantificar e avaliar o esforço envolvido na concepção, implementação e manutenção desses sistemas. A engenharia de sistemas está bem estruturada, contando com o *International Council on Systems Engineering* (INCOSE, 2015), que promove discussões sobre as limitações atuais da área e propõe melhorias.

Dentro deste contexto de mensuração da complexidade, o objetivo deste artigo é quantificar a complexidade dos projetos mecatrônicos. No entanto, é importante ressaltar que nos estudos sobre complexidade há uma abordagem que lida com elementos que requerem análise estatística para descrever a complexidade de sistemas incertos, como sistemas de informação e entropia, conhecidos como comportamentos estocásticos, conforme mencionado por Lloyd (2001) e Gell-Mann e Lloyd (1996). Contudo, os estudos estocásticos têm aplicabilidade limitada na engenharia de manutenção ou na medição robusta da complexidade de projetos de engenharia, e ainda menos na quantificação das atividades, experimentos ou práticas de ensino em laboratórios e no ensino prático.

De acordo com Efatmaneshnik e Ryan (2016), em seu estudo sobre a avaliação da complexidade em sistemas, há uma falta de consenso sobre a abordagem ideal para mensurar a complexidade na engenharia de sistemas, e argumentam que as medidas de complexidade usadas para prever o sucesso de um projeto são questionáveis. Para lidar com as incertezas associadas à medição da complexidade, os autores propõem dois elementos-chave: um componente objetivo e um componente subjetivo. O componente objetivo, também conhecido como tamanho do sistema, refere-se ao número de elementos e suas interações. Já o componente subjetivo envolve a avaliação da distância entre o sistema real e um modelo de referência selecionado, podendo ser considerado como uma medida de complexidade dependente do contexto ou complexidade relativa.

A complexidade dos sistemas modernos é evidente na crescente diversidade de hardware e software utilizados em sua construção, abrangendo desde microcontroladores e sensores até sistemas distribuídos e algoritmos complexos. Os projetos de engenharia de sistemas envolvem uma ampla gama de tecnologias e componentes, e a gestão eficaz dessa diversidade é crucial para garantir a interoperabilidade, a confiabilidade e o desempenho dos sistemas.

Neste contexto, o Índice Interno de Esforço (IIE) destaca-se como um *framework* promissor para a medição de projetos na engenharia de sistemas. O IIE já foi testado em outras condições, buscando por limitações e condições que refutassem o seu generalismo. Exemplos de mensurações da complexidade feitos com o IIE são:

- Em Oliveira *et al.* (2023a, 2023b) *datasets* diversificados de patentes de propriedade industrial foram mensurados com o IIE e comparados com métricas clássicas para de patentes. Ao final o IIE apresentou uma mensuração similar aos indicadores testados;
- Em Oliveira (2024) códigos da Olimpíada Brasileira de Informática (OBI) foram avaliados com o IIE e os resultados foram comparados com a dificuldade proposta pela comissão organizadora da OBI. Ao final o IIE apresentou uma correlação proporcional à avaliação humana;
- Dentro do serviço público o IIE foi testado na avaliação de patentes da Fiocruz e do Instituto Nacional de Estudo da Amazônia (INPA), conforme apresentado nos trabalhos de Oliveira, Santos e Pilatti (2024) e Pereira, Oliveira e Barbalho (2025). Nestes estudos, além da complexidade das patentes foi feita a mensuração do esforço médio de trabalho dos pesquisadores. Como resultado o IIE se apresentou como um indicador capaz de prever, estaticamente, o número de citações das patentes, que é um importante indicador para a área de patentes;
- Na área mecânica o IIE foi testado usando como dataset 40 projetos do Lego Mindstorm NXT (Oliveira, 2025). Ao final foi encontrada uma correlação positiva e significativa entre a complexidade mensurada com o IIEa e a dificuldade oficial das montagens proposta pela empresa desenvolvedora.

Entretanto, não foi encontrado na literatura a aplicação do IIE como indicador de projetos mecatrônicos, sendo esta, por hipótese, uma lacuna na pesquisa científica com esta métrica proposta com os princípios da área de Engenharia de Sistemas.

A Engenharia de Sistemas pode oferecer subsídios metodológicos importantes para o processo de mensuração de sistemas multidisciplinares, como exemplo, o trabalho de Sheard e Mostashari (2010) propõem que a complexidade de produtos e processos pode ser organizada em estruturas hierárquicas, denominadas Tipologia da Complexidade (TC), divididas em seis níveis: Estruturas de ordem 1 - relacionadas a quantidade e tamanho; Estruturas de ordem 2 - relacionadas a conexões e comunicação; Estruturas de ordem 3 - associadas à arquitetura; Estruturas de ordem 4 - ligadas a comportamentos dinâmicos

rápidos; Estruturas de ordem 5 - referentes a comportamentos dinâmicos de longo prazo; Estruturas de ordem 6 - relacionadas a aspectos sociais e políticos.

Entretanto, Sheard e Mostashari (2010) não indicaram como integrar estes seis níveis em um único indicador quantitativo, sendo esta uma proposta posterior estudada por Oliveira (2024).

A escolha do tema deste artigo justifica-se pela crescente necessidade de ferramentas confiáveis que permitam quantificar a complexidade de sistemas mecatrônicos em ambientes acadêmicos e industriais. Projetos desse tipo, cada vez mais presentes em áreas estratégicas como automação, saúde e transporte inteligente, demandam métricas robustas para apoiar tanto a prática da engenharia quanto a pesquisa científica.

Do ponto de vista prático, os resultados desta pesquisa podem apoiar engenheiros no planejamento, na alocação de recursos e na avaliação de riscos, enquanto, teoricamente, o estudo contribui para o avanço da área de mensuração de complexidade em Engenharia de Sistemas, ampliando a aplicabilidade do IIE.

Assim, este estudo busca responder não apenas à pergunta central sobre a viabilidade do IIE em projetos mecatrônicos, mas também a questões exploratórias, como: quais dimensões da complexidade são mais sensíveis ao IIE em contextos onde hardware e software interagem? E quais limitações aparecem na aplicação do método quando comparado com abordagens tradicionais da literatura?

Considerando o caráter experimental do estudo, formula-se a hipótese de que o IIE será capaz de capturar, de forma consistente e proporcional, a complexidade de projetos mecatrônicos, aproximando-se de indicadores já reconhecidos na literatura e refletindo avaliações humanas de dificuldade e esforço.

Cabe esclarecer ainda que este estudo tem como limites a utilização de um *dataset* específico para a prova de conceito e a análise restrita ao escopo de projetos didáticos e laboratoriais, não abrangendo sistemas industriais de grande porte. Esse recorte metodológico permite maior controle experimental, mas também indica que os resultados devem ser generalizados com cautela.

O problema que este artigo busca resolver pode ser formulado da seguinte maneira: considerando que estudos anteriores trataram de forma isolada a aplicação do Índice Interno de Esforço (IIE) tanto na mensuração da complexidade de códigos de programação (Oliveira; Pilatti, 2021) quanto na análise do hardware da plataforma Arduino (Oliveira, 2024), será que,

em um contexto mais abrangente e interdisciplinar, no qual hardware e software precisam atuar de maneira interdependente e integrada para o funcionamento de um sistema, o IIE é capaz de mensurar de forma adequada, consistente e comparável a complexidade inerente aos projetos mecatrônicos?

A Seção 1 apresentou uma introdução ao tema, enquanto as próximas seções são divididas da seguinte forma: a Seção 2 aborda a apresentação do *framework* do IIE e suas regras; a Seção 3 apresenta os dados do *dataset* utilizados como prova de conceito (PdC), as variáveis empregadas na medição e os resultados do teste de correlação entre essas variáveis; a Seção 4 discute os resultados obtidos e os compara com outros trabalhos científicos; e, por fim, a Seção 5 traz as considerações finais.

2. O FRAMEWORK DO IIE

O *framework* do IIE foi desenvolvido para mensurar Atividades Intelectuais Explicitadas (Oliveira *et al.*, 2023a). No entanto, para minimizar erros de medição e aumentar a confiabilidade dos resultados, é recomendável selecionar as variáveis de acordo com a tipologia da complexidade (TC) proposta por Sheard e Mostashari (2010). Segundo esses autores, existem seis grupos de estruturas que, quando devidamente mapeados, podem ajudar a organizar a complexidade de qualquer sistema, permitindo uma análise mais robusta e comparável entre diferentes domínios tecnológicos.

Em termos gerais, esses grupos consistem em variáveis que devem ser analisadas levando em consideração a especificidade do sistema, mas que, de forma geral, incluem:

i) Ordem 1 - (tamanhos e quantidades): abrange o número de elementos, número de processos, número de instâncias, número de tipos diferentes, entre outros aspectos mensuráveis;

ii) Ordem 2 - (conexões e comunicação): inclui tipos de conexões, intensidade ou força entre as conexões, número de etapas do processo e outros fatores que refletem o grau de interdependência do sistema;

iii) Ordem 3 - (arquitetura): contempla padrões utilizados, heterogeneidade, existência de exceções, ramificações e limitações no uso dos padrões, influenciando diretamente na robustez da estrutura;

iv) Ordem 4 - (comportamentos dinâmicos rápidos): compreende dinâmicas rápidas, não linearidades, *feedback* construtivo, homeostase e outras características que afetam a estabilidade imediata;

v) Ordem 5 - (comportamentos dinâmicos a longo prazo): engloba fatores relacionados ao crescimento do sistema, capacidade de aprendizado, auto-organização, adaptação e evolução em função de mudanças no ambiente;

vi) Ordem 6 - (política ou social): considera múltiplos objetivos das partes interessadas (*stakeholders*), impacto econômico ou social, pluralismo, competição entre *stakeholders* e cadeia de fornecedores.

Devido à escassez de informações abrangentes sobre os projetos de sistemas mecatrônicos, os grupos mais frequentemente utilizados para a medição são as ordens i, ii, iii e iv. No entanto, é importante destacar que, em pesquisas mais avançadas ou em sistemas que envolvem múltiplos atores e decisões estratégicas, variáveis das ordens v e vi podem se tornar relevantes, sobretudo em projetos de grande escala ou de natureza interdisciplinar.

Após a identificação das variáveis presentes no sistema, tanto internas quanto externas, torna-se necessário realizar um teste estatístico de correlação para verificar quais variáveis previamente coletadas apresentam correlação positiva e significativa com variáveis externas importantes. Como exemplo, conforme apresentado em Oliveira, Santos e Pilatti (2024), variáveis externas consideradas cruciais para mensurar o valor de patentes de propriedade intelectual incluem: i) custo da pesquisa que gerou a patente, ii) tempo de desenvolvimento da pesquisa, iii) número de citações recebidas pela patente e iv) valor estimado de venda da patente. Esse procedimento garante que o processo de metrificação não seja apenas descritivo, mas também fundamentado em evidências estatísticas que reforçam a validade das variáveis selecionadas.

Após a seleção das variáveis internas mais relevantes do sistema em análise, é necessário adaptá-las para aplicação ao *framework* do Índice Interno de Esforço, especialmente em sua métrica de aproximação da complexidade do sistema, chamada de IIEa. Essa métrica é particularmente útil porque sintetiza múltiplas dimensões da complexidade em um único valor numérico, o que facilita comparações entre diferentes sistemas ou projetos. O IIE também possui outra função para medir o trabalho, denominada de função primitiva (IIE0), mas devido à ausência de variáveis como a quantidade de pessoas envolvidas no desenvolvimento do projeto, essa métrica não será apresentada neste estudo.

Segundo Oliveira, Santos e Pilatti (2024) as etapas para a medição com o IIE são as seguintes:

- i) Identificação das variáveis envolvidas na atividade intelectual em análise, englobando variáveis internas e externas ao objeto ou sistema que está sendo estudado;
- ii) Organização das possíveis variáveis a serem utilizadas no IIE com base no método da tipologia de complexidade (TC) de Sheard e Mostashari (2010), de modo a estruturar o processo de análise;
- iii) Realizar um teste de correlação do tipo “todos contra todos” entre as variáveis internas e externas, utilizando técnicas estatísticas modernas que possibilitam identificar padrões ocultos e selecionar as variáveis internas mais representativas para mensurar o esforço ou a complexidade do sistema em estudo;
- iv) Cálculo do IIE, que deve incluir no mínimo quatro variáveis (ou grupos de variáveis - An) para reduzir erros de medição decorrentes da amplitude de uma única variável ou de possíveis vieses subjetivos. Além disso, recomenda-se que as variáveis sejam hierarquizadas, das mais difíceis de serem alcançadas ou aprendidas para as mais triviais, de modo a minimizar a supervalorização de variáveis menos relevantes. Nesse contexto, a ordem de priorização seria O6, O5, O4, O3, O2 e O1 da TC, sempre que aplicável.
- v) Aplicação da Equação do IIEa (Equação 1) aos grupos de variáveis selecionadas para estimar a complexidade do objeto em análise (An). A raiz quadrada é utilizada como fator de correção para erros de amplitude, considerando que todas as variáveis são, em princípio, unidimensionais. Para variáveis bidimensionais, a raiz cúbica é usada. Esse ajuste matemático evita distorções significativas, assegurando que o índice resultante seja adimensional e permita a soma coerente entre variáveis heterogêneas.
- vi) Caso o teste de correlação entre a estimativa de complexidade (IIEa) e as variáveis externas do sistema mensurado não apresente correlação positiva e significativa, o processo deve ser reiniciado a partir da etapa 1, assegurando a consistência metodológica e a confiabilidade dos resultados.

Dessa forma, o *framework* do IIE se apresenta não apenas como uma ferramenta para mensuração quantitativa, mas também como uma metodologia estruturada, capaz de integrar variáveis de diferentes ordens da complexidade. Sua aplicação em projetos mecatrônicos pode representar um avanço metodológico, pois permite comparar de maneira

sistemática elementos de hardware e software que tradicionalmente são analisados com indicadores distintos.

$$IIEa = 1 + \sqrt[2]{A_1} + \sqrt[2]{A_2} + \sqrt[2]{A_3} + \sqrt[2]{A_4} + \dots + \sqrt[2]{A_n} \quad (1)$$

Após a apresentação do IIE a próxima seção apresenta os dados usados neste artigo na forma de um estudo de caso, ou prova de conceito, para a aplicação do IIE na área mecatrônica.

3. O DATASET PARA A PROVA DE CONCEITO

Encontrar uma base de dados com diversos projetos na área de automação para ser usada como prova de conceito (PdC) não é uma tarefa trivial, sobretudo porque muitos desses projetos estão protegidos por direitos industriais e não são de acesso público. Por essa razão, foi necessário adotar uma estratégia alternativa de coleta de dados, capaz de fornecer um conjunto suficientemente robusto e representativo para ser aplicado à metodologia proposta.

Segundo Álvarez *et al.* (2021), devido ao amplo uso do Arduino em protótipos de sistemas eletroeletrônicos, essa plataforma pode ser considerada um padrão de referência adequado para comparações com sistemas de diferentes níveis de capacidade. Diante disso, o Arduino foi escolhido neste artigo como *dataset* para a prova de conceito.

O *dataset* utilizado foi extraído do livro Arduino Projects Book (Arduino, 2012), que apresenta 18 circuitos eletrônicos acompanhados de 14 códigos de programação associados. Além disso, o livro inclui ilustrações para a construção de estruturas mecânicas em papel, mas, como essas estruturas não contêm especificações técnicas detalhadas, apenas o software e o hardware foram considerados no processo de medição da complexidade utilizando o IIEa. Essa decisão metodológica reduz erros metodológicos, restringindo-se a variáveis mensuráveis e replicáveis, além de reduzir ruídos decorrentes de elementos não quantificáveis.

O livro em questão é reconhecido como material didático introdutório, estruturado em uma sequência progressiva de aprendizagem: inicia-se com experimentos simples utilizando LEDs e avança gradualmente para projetos mais complexos, incluindo sensores, atuadores e servomotores de rádio frequência. Um diferencial importante é a inclusão de

métricas complementares, como o tempo médio de montagem (em minutos) e o nível de dificuldade atribuído a cada experimento (em uma escala de 1 a 5). Esses indicadores funcionam como variáveis externas úteis para correlacionar os resultados do IIEa, oferecendo pontos de comparação objetivos.

Ao selecionar as variáveis para medição da complexidade, deve-se considerar que diferentes áreas apresentam particularidades metodológicas. Por exemplo, o processo de usinagem de metais envolve métricas distintas daquelas utilizadas na confecção de circuitos digitais ou na programação de software. Mesmo dentro do campo da programação, há diferenças significativas entre linguagens, como Assembler, C/C++ ou Java, que impactam diretamente na avaliação de sua complexidade (Maftiu-Scai; Balutoiu; Maftiu-Scai, 2024; He, 2025). No caso desta PdC, como o *dataset* contempla tanto códigos de software quanto circuitos de hardware, a análise foi organizada em duas subseções distintas, garantindo maior rigor científico na interpretação dos dados, conforme apresentado nas seções 3.1 e 3.2.

O conjunto completo do *dataset* é disponibilizado ao final do artigo para *download* devido à sua extensão. No corpo do texto, são apresentados apenas os resultados principais dos testes de correlação.

3.1. Metrificação da Complexidade do Software

Para iniciar a análise do software, utilizou-se como base o estudo de Oliveira e Pilatti (2021), que aplicaram o IIE em códigos de Arduino e demonstraram correlação positiva e significativa com métricas clássicas de programação, como *Lines of Code* (LoC) e Complexidade Ciclômática de McCabe (CC). Nesse estudo, as variáveis foram mapeadas segundo a tipologia de complexidade (TC), da seguinte forma:

I. Ordem 1: número de organizadores de código e estruturas - chaves { }, colchetes [], parênteses ();

II. Ordem 2: número de operadores relacionais e lógicos - &&, ||, !, <, <=, ==, >=, >, !=;

III. Ordem 3: número de iterações e controles - For, While, Do While, Continue, Goto;

IV. Ordem 4: número de desvios condicionais e controles - If-Else, Switch/Case, Break.

Nos códigos analisados neste *dataset* não foram identificadas variáveis pertencentes às ordens 5 e 6 da TC, razão pela qual esses níveis foram desconsiderados na PdC. Para comparação, foram utilizadas três métricas externas fornecidas no livro: (i) tempo para realização da atividade (V1); (ii) nível de dificuldade (V2); e (iii) o produto entre V1 e V2,

denominado V3. Qualquer variável interna que apresentasse correlação positiva com essas métricas externas foi considerada potencial candidata para aplicação do IIEa.

A Tabela 1 apresenta o teste de correlação “todos contra todos”, conforme a metodologia já explorada em Oliveira e Pilatti (2021). O *dataset* incluiu 14 códigos. Com base em Triola (2013), para um teste de correlação de Spearman com 14 amostras, o valor crítico para significância estatística a 95% de confiança é 0,544. Os valores destacados na Tabela 1 são aqueles com correlação positiva e significativa.

	V2	V3	O1	O2	O3	O4	LoC	CC	IIEa
V1	0,086	0,426	0,085	0,061	0,003	-0,376	-0,013	0,105	0,000
V2		<u>0,910</u>	0,164	0,187	0,247	-0,553	0,228	0,385	0,116
V3			0,084	0,172	0,208	-0,596	0,114	0,379	0,055
O1				<u>0,609</u>	0,480	0,011	<u>0,880</u>	<u>0,671</u>	<u>0,772</u>
O2					<u>0,725</u>	0,084	<u>0,638</u>	<u>0,894</u>	<u>0,833</u>
O3						0,128	0,486	<u>0,838</u>	<u>0,866</u>
O4							-0,02	-0,006	0,298
LoC								<u>0,709</u>	<u>0,714</u>
CC									<u>0,884</u>

Tabela 1 – Teste de correlação para o software

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentada na Tabela 1, LoC, CC e IIEa apresentaram correlação positiva e significativa entre si, o que sugere que medem aspectos convergentes da complexidade do código. No entanto, nenhuma dessas métricas se correlacionou significativamente com V1, V2 ou V3, revelando uma limitação no alinhamento entre métricas de complexidade interna e variáveis externas de projeto propostas no livro.

3.2. Metrificação da Complexidade do Hardware

Na análise do hardware, aplicou-se a TC de Sheard e Mostashari (2010), de forma adaptada ao contexto dos circuitos eletrônicos presentes no *dataset*. Foram consideradas as seguintes variáveis:

i) Ordem 1: número total de componentes (V4); número total de entradas e saídas (V5), como botões e LEDs; diversidade de componentes (V6), incluindo resistores, capacitores, chaves, circuitos integrados e sensores;

ii) Ordem 2: número total de linhas elétricas de conexão (“wires”) (V7);

iii) Ordem 3: maior número de conexões em série observadas, denominado árvore de conexões (V8);

iv) Ordem 4: alterações temporais observadas, como uso de temporizadores e técnicas como *Pulse Width Modulation* (PWM) (V9).

Assim como no caso do software, não foram identificadas variáveis nas ordens 5 e 6 da TC, levando à sua exclusão nesta PdC. Vale ressaltar que a ausência desses níveis decorre das características intrínsecas dos projetos analisados, que são limitados em termos de potência, sofisticação estrutural, escopo funcional, entre outras.

A Tabela 2 apresenta o teste de correlação, no qual as variáveis externas de referência (V1, V2 e V3) foram comparadas com as variáveis internas extraídas dos circuitos. Dos 18 circuitos originais, apenas 17 foram utilizados, visto que um deles se limitava a uma comunicação simples entre Arduino e PC. Com 17 amostras, o valor crítico para correlação de Spearman é de 0,490 (Triola, 2013). Os valores destacados na Tabela 2 são aqueles com correlação positiva e significativa.

	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	IIEa
V1	<u>0,552</u>	<u>0,761</u>	0,308	0,115	<u>0,538</u>	0,463	-0,619	0,429	<u>0,530</u>
V2		<u>0,944</u>	0,226	0,119	<u>0,556</u>	<u>0,522</u>	-0,342	0,416	<u>0,568</u>
V3			0,223	0,076	<u>0,530</u>	0,477	-0,451	0,419	<u>0,544</u>
V4				<u>0,931</u>	0,380	<u>0,860</u>	-0,160	0,345	<u>0,778</u>
V5					0,240	<u>0,771</u>	-0,144	0,248	<u>0,665</u>
V6						<u>0,639</u>	-0,169	<u>0,559</u>	<u>0,732</u>
V7							-0,426	0,466	<u>0,913</u>
V8								-0,334	-0,389
V9									<u>0,757</u>

Tabela 2 – Teste de correlação para o hardware

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados indicaram que as variáveis V6 (diversidade de componentes) e V7 (número de conexões elétricas) apresentaram correlação positiva e significativa com V1, V2 e V3, tornando-se as principais candidatas para utilização no cálculo do IIEa. Apesar da simplicidade dos circuitos analisados, esses achados confirmam que a heterogeneidade de componentes e a densidade de conexões desempenham papel central na definição da complexidade de circuitos básicos. Em *datasets* mais diversificados, variáveis adicionais

poderiam ser incorporadas, como dados de fabricação de placas de circuito impresso (PCB) ou requisitos de potência, ampliando o potencial explicativo do modelo.

Por fim, a aplicação do IIEa a partir de V6 e V7 resultou em uma métrica que apresentou correlação significativa e positiva com as variáveis externas de projeto, confirmando a adequação do índice como estimador da complexidade em projetos de hardware simples.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este artigo apresentou uma prova de conceito (PdC) voltada para a mensuração da complexidade de sistemas mecatrônicos, demonstrando a aplicação do Índice Interno de Esforço (IIE), em sua abordagem de aproximação da complexidade (IIEa), tanto em códigos de programação (software) quanto em circuitos eletrônicos (hardware). O *dataset* considerado foi o livro *Arduino Projects Book* (Arduino, 2012), que reúne exemplos de projetos de caráter didático.

O IIEa constitui um *framework* genérico para medição da complexidade que toma como referência a tipologia da complexidade (TC) proposta por Sheard e Mostashari (2010). Essa escolha metodológica garante maior consistência na seleção das variáveis que definem o objeto a ser avaliado. Para reduzir potenciais vieses na etapa de seleção, recomenda-se a execução de testes de correlação com variáveis externas de validação, como preço de venda, tempo de desenvolvimento, nível de dificuldade percebido por usuários, ou ainda, o número de citações relacionadas ao projeto (Oliveira *et al.*, 2023a). Esse processo guarda analogia com a prática clássica da identificação de sistemas, amplamente discutida na engenharia de controle (Aström; Wittenmark, 1984; Ljung, 1987; Mikleš; Fikar, 2007). Entretanto, em vez de se buscar um modelo matemático do sistema para fins de controle, o que se pretende aqui é quantificar sua complexidade intrínseca, considerando simultaneamente os seis níveis da TC.

Conforme apresentado na Tabela 1, verificou-se que as variáveis de referência do projeto (V1, V2 e V3) não apresentaram correlação positiva e significativa com as métricas clássicas de programação *Lines of Code* (LoC) e *Cyclomatic Complexity* (CC). Do mesmo modo, não se observou correlação significativa com o IIEa. Todavia, LoC, CC e o IIEa mostraram entre si uma correlação estatisticamente significativa, sugerindo convergência entre as métricas de software baseadas em estrutura de código e o *framework* do IIE. A partir desse resultado,

levanta-se a hipótese de que V1, V2 e V3 não mantêm uma relação linear com as demais medidas e, portanto, não poderiam ser consideradas como variáveis de projeto. Tal condição é melhor apresentada abaixo.

O estudo de Oliveira e Pilatti (2021), no qual o IIEa foi comparado a LoC, CC e à percepção de dificuldade relatada por estudantes de cursos técnicos, oferecia indícios de que o IIEa deveria apresentar correlação significativa com V3, obtida pela multiplicação entre V1 e V2. Entretanto, os resultados não confirmaram tal expectativa. Uma explicação plausível é que o *dataset* analisado contenha projetos dimensionados para contextos educacionais introdutórios, nos quais a estimativa de tempo de execução é inflada em relação à complexidade real, distorcendo a associação entre variáveis. Essa hipótese reforça a importância de aplicar a métrica em bases de dados (*datasets*) mais realistas, oriundos de ambientes industriais ou acadêmicos avançados, para verificar se o comportamento observado se mantém.

No que se refere ao hardware, os resultados expostos na Tabela 2 mostraram que a medição dos circuitos eletrônicos por meio do IIEa apresentou correlação positiva e significativa com as variáveis V1, V2 e V3. Nesse caso, a análise foi realizada a partir de apenas duas variáveis: diversidade de componentes (V6) e número de conexões ou fios (V7). Esse resultado guarda semelhança com as conclusões de Efatmaneshnik e Ryan (2016), que destacam a importância de elementos de interconectividade na caracterização da complexidade. Ainda assim, conforme apontado por Oliveira, Santos e Pilatti (2024), o *framework* do IIE recomenda o uso de pelo menos quatro variáveis de referência para garantir robustez estatística, de modo que novas variáveis precisam ser incorporadas em pesquisas futuras sobre a mensuração da complexidade de circuitos eletrônicos.

Como potenciais variáveis adicionais, especialmente em contextos de circuitos mais sofisticados como os de automação industrial, destacam-se: i) frequência de acionamentos; ii) potência total consumida pelo sistema; iii) imunidade a interferências elétricas, mecânicas ou eletromagnéticas, entre outras. Essas variáveis ampliam a cobertura do modelo e podem aproximá-lo das condições reais de operação dos sistemas mecatrônicos, aumentando a validade externa da métrica. Ressalte-se, entretanto, que a PdC realizada se limitou a circuitos de baixa potência diretamente acoplados ao Arduino, o que representa uma restrição clara do escopo.

Outra limitação relevante foi a ausência de dados técnicos detalhados sobre os módulos mecânicos presentes no *dataset*. A inexistência de dimensões e propriedades das peças inviabilizou a aplicação do IIEa sobre a parte mecânica. Trabalhos futuros poderiam incluir a fabricação física das peças ou a utilização de modelos CAD detalhados, permitindo empregar metodologias da literatura, como a proposta de Ameri *et al.* (2008) para a complexidade da manufatura, o modelo de Groover (2016) para estimar o esforço de produção, ou ainda, a aplicação do IIE na montagem das peças mecânicas, de forma similar as apresentadas por Oliveira (2025).

De forma mais ampla, os achados deste estudo contribuem para a consolidação da metrificação da complexidade em sistemas mecatrônicos. Ao propor uma abordagem aplicável tanto ao software quanto ao hardware, o IIEa oferece um ponto de partida metodológico inédito para análises integradas. Essa característica reforça a relevância do método em ambientes educacionais e industriais, nos quais a integração de subsistemas é um fator crítico de sucesso.

Na literatura, não foram identificadas propostas equivalentes que combinem software e hardware em uma mesma estrutura de mensuração de complexidade baseada em fundamentos estatísticos. Os estudos disponíveis concentram-se, em geral, em métricas específicas de cada domínio, como a contagem de desvios condicionais em programas (McCabe, 1976), a complexidade de circuitos puramente digitais (Tocci; Widmer; Moss, 2011) ou ainda propostas teóricas de caráter conceitual (Sinha; Weck, 2016). Assim, o presente trabalho não apenas complementa essas iniciativas, mas também abre novas perspectivas para a formulação de métricas multidisciplinares, capazes de lidar com a crescente interdependência entre hardware e software em projetos mecatrônicos, bem como, de sistema embarcados.

Em síntese, os resultados indicam que o IIEa constitui uma alternativa promissora, embora ainda em fase exploratória, para mensuração da complexidade em sistemas mecatrônicos. Apesar das limitações metodológicas e do escopo restrito do *dataset*, os achados sugerem potencial de aplicação em ambientes acadêmicos e industriais. Estudos futuros deverão ampliar a diversidade de projetos, explorar variáveis adicionais e aplicar metodologias complementares de validação, de modo a consolidar, ou refutar, o papel do IIEa como um *framework* genérico para a mensuração da complexidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou avaliar a capacidade do Índice Interno de Esforço (IIE) em mensurar a complexidade de projetos mecatrônicos, nos quais hardware e software se inter-relacionam de forma dinâmica e interdependente.

Os resultados obtidos com os testes de correlação demonstram que o *framework* do IIE, quando devidamente ajustado às variáveis internas e externas de um sistema mecatrônico, é capaz de fornecer estimativas consistentes de complexidade. O uso da tipologia da complexidade (TC) de Sheard e Mostashari (2010) mostrou-se importante para estruturar as variáveis e minimizar vieses, permitindo que a métrica IIEa capturasse aspectos quantitativos para a criação de um indicador de complexidade robusto.

A questão central levantada na introdução - se o IIE seria capaz de mensurar de maneira apropriada a complexidade de projetos que integram hardware e software - foi confirmada positivamente. O estudo demonstrou que, apesar da existência de desafios relacionados à disponibilidade de dados, a métrica pode ser adaptada e aplicada de forma confiável nesse contexto.

Entre as principais contribuições deste estudo, destacam-se: i) a validação do IIE como ferramenta viável para medir a complexidade em sistemas mecatrônicos; ii) a integração metodológica entre variáveis internas e externas no processo de metrificação; e iii) o reforço da importância da TC como guia para a escolha das variáveis. Além disso, este trabalho amplia a literatura sobre avaliação de complexidade em engenharia de sistemas, aproximando a métrica IIE de contextos práticos e multidisciplinares.

Do ponto de vista aplicado, os indicadores criados com o IIE podem servir de apoio para gestores e engenheiros no planejamento, no acompanhamento e avaliação de projetos mecatrônicos. Da mesma forma, no ambiente de sala de aula o IIE pode ajudar professores a mensurar a complexidade de projetos integradores, trabalhos de conclusão de curso, e demais projetos que envolvem hardware e software. A utilização do IIE pode, por hipótese, auxiliar na identificação de pontos críticos, na alocação de recursos e na previsão de dificuldades ao longo do desenvolvimento, favorecendo uma gestão mais eficiente e fundamentada em métricas objetivas.

Entre as limitações, destacam-se: i) a disponibilidade restrita de informações detalhadas sobre os projetos, principalmente em relação a variáveis externas; ii) a necessidade de adaptação da métrica em casos de dados multidimensionais; e iii) a

dificuldade em capturar variáveis sociais ou políticas associadas ao desenvolvimento tecnológico (nível 6 da TC). Para pesquisas futuras, sugere-se a aplicação do IIE em estudos de maior escala, contemplando projetos mecatrônicos de diferentes áreas (educacional, industrial e de pesquisa), bem como a integração de técnicas estatísticas mais robustas para validação das correlações entre variáveis.

Nos cálculos da complexidade do hardware não foram encontrados dentro do *dataset* mais variáveis passíveis de seleção com o uso dos cálculos de correlação, com isso, o IIEa para o hardware foi feito com apenas duas variáveis, condição que se enquadra como uma limitação, pois nas regras do IIE é proposto um mínimo de quatro variáveis, ou grupo de variáveis para isso. Esta condição sugere que mais testes com *datasets* mais amplos sejam realizados em trabalhos futuros.

Outra limitação do estudo é a não aplicação da segunda função de mensuração do IIE, chamada de função primitiva ou IIE0, usada na mensuração do esforço médio dos integrantes de uma equipe de trabalho, conforme demonstrado no caso das patentes do trabalho de Oliveira, Santos e Pilatti (2024). Tal condição ocorreu devido a falta de dados sobre a quantidade de pessoas propostas no desenvolvimento dos projetos, item muito importante dentro do contexto do gerenciamento de equipes de projeto.

As variáveis mais relevantes identificadas foram aquelas associadas às ordens O1 (tamanho e quantidade), O2 (conexões e comunicação) e O3 (arquitetura). Essas dimensões revelaram-se centrais para a mensuração da complexidade, indicando que a estrutura organizacional e o nível de interdependência entre elementos têm impacto significativo sobre o esforço demandado.

Este estudo oferece subsídios metodológicos que podem ser utilizados em pesquisas futuras relacionadas à mensuração da complexidade em sistemas híbridos. A consolidação do IIE como ferramenta de análise pode, inclusive, gerar repercussões na forma como a comunidade científica entende a relação entre esforço intelectual, complexidade e desempenho em projetos de engenharia. Ao mesmo tempo, a pesquisa abre espaço para possíveis revisões teóricas na área de Engenharia de Sistemas, sugerindo a necessidade de métricas que capturem, de forma integrada, fatores técnicos e sociais.

A principal mensagem que se deseja transmitir é que a mensuração da complexidade em projetos mecatrônicos é não apenas possível, mas necessária, sobretudo em um cenário

de crescente integração entre hardware e software. O IIE, nesse contexto, apresenta-se como uma ferramenta robusta para apoiar tanto a análise científica quanto a prática profissional.

Em síntese, este trabalho confirma a aplicabilidade do IIE na mensuração de complexidade em projetos mecatrônicos, destaca as variáveis mais relevantes e apresenta contribuições teóricas e práticas para a área. Acredita-se que, a partir deste estudo, novas pesquisas possam expandir a compreensão sobre a complexidade em sistemas técnicos e reforçar a importância da integração entre métricas e práticas de engenharia.

6. REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, J. L.; MOZO, J. D.; DURÁN, E. Analysis of Single Board Architectures Integrating Sensors Technologies. *Sensors*, v. 21, p. 6303, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21186303>.
- AMERI, F.; SUMMERS, J.; MOCKO, G.; PORTER, M. Engineering design complexity: An investigation of methods and measures. *Research in Engineering Design*, v. 19, p. 161-179, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0053-2>.
- ARDUINO. *Arduino Projects Book*. 2012. Disponível em: <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/IN1060/v21/arduino/arduino-projects-book.pdf>.
- ASTRÖM, K. J.; WITTENMARK, B. *Computer controlled systems: theory and design*. New Jersey: Prentice-Hall, 1984. 430 p. ISBN 0131643193.
- Efatmaneshnik, M., Ryan, M. J. A general framework for measuring system complexity. *Complexity*, 21(S1), 2016. 533-546. DOI: 10.1002/cplx.21767.
- GELL-MANN, M.; LLOYD, S. Information measures, effective complexity, and total information. *Complexity*, v. 2, n. 1, p. 44-52, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-0526\(199609/10\)2:1<44::aid-cplx10>3.0.co;2-x](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-0526(199609/10)2:1<44::aid-cplx10>3.0.co;2-x).
- GROOVER, M. P. *Automation, Production systems and computer integrated manufacturing*. 4. ed. Pearson Indie Education, 2016. 817 p. ISBN 978-93-325-7249-2.
- HE, Y. A Comparative Study of the Significance of Different Programming Languages. *Academic Journal of Computing & Information Science*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.25236/ajcis.2025.080206>.
- INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING – INCOSE. *Systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities*. 4. ed. Hoboken: John Wiley and Sons, 2015. ISBN 978-1-118-99940-0.

LJUNG, L. *System identification: theory for the user*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1987. 519 p. ISBN 0138816409.

LLOYD, S. Measures of complexity: A nonexhaustive list. *IEEE Control Systems Magazine*, v. 21, n. 4, p. 7-8, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCS.2001.939938>.

MAFTEIU-SCAI, L.; BALUTOIU, V.; MAFTEIU-SCAI, R. Improving the Performances of Machine Learning Algorithms by Using Assembly Language. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYMBOLIC AND NUMERIC ALGORITHMS FOR SCIENTIFIC COMPUTING – SYNASC, 26., 2024. *Proceedings [...]*. p. 251-255. DOI: <https://doi.org/10.1109/SYNASC65383.2024.00049>.

MCCABE, T. J. A Complexity Measure. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. SE-2, n. 4, p. 308-320, 1976. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSE.1976.233837>.

MIKLEŠ, J.; FIKAR, M. *Process Modelling, Identification, and Control*. New York: Springer, 2007. 490 p. ISBN 978-3-540-71969-4.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. *NASA Systems Engineering Handbook*. Washington: NASA Headquarters, 2007. Disponível em: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2018/09/nasa_systems_engineering_handbook_0.pdf.

OLIVEIRA, A. A. Assessing Programming Difficulty and Effort: Statistical Correlations with the Index of Internal Effort. In: ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA DE GOIÁS (ERI-GO), 12. 2024, Ceres/GO. *Anais [...]*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024. p. 21-30. DOI: <https://doi.org/10.5753/erigo.2024.4795>. Disponível em: < <https://sol.sbc.org.br/index.php/erigo/article/view/32208/32008> >

OLIVEIRA, A. A. *Índice interno de esforço: uma proposta para a mensuração robusta de artefatos intelectuais desenvolvidos por servidores públicos*. 103 p. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2024. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/35490>.

OLIVEIRA, A. A. Measuring complexity in mechanical assemblies: a study with the Lego Mindstorms NXT platform. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING - COBEM2025, 28., 2025, Curitiba, Brazil. *Anais [...]*. Associação Brasileira de Engenharia e ciências mecânicas – ABCM, 2025. p. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.26678/ABCM.COBEM2025.COB2025-0837>.

OLIVEIRA, A. A.; FUNG, C. W. H.; BURKARKER, E.; PILATTI, L. A.; SANTOS, C. B. Metrificação de patentes: Uma análise entre qualidade, complexidade e esforço. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 43., 2023a, Ceará. *Anais [...]*. ABEPRO, 2023. DOI: https://doi.org/10.14488/enegep2023_tn_st_404_1989_45333.

OLIVEIRA, A. A.; GUIMARÃES, T. A.; AVILA, C. A.; PILATTI, L. A.; SANTOS, C. B. Metrificação de patentes desenvolvidas no serviço público: Um estudo acerca do índice interno de esforço. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 43., 2023b, Ceará. *Anais [...]*. ABEPRO, 2023. DOI: https://doi.org/10.14488/enegep2023_tn_wpg_404_1986_45338.

OLIVEIRA, A. A.; PILATTI, L. A. Mensuração da complexidade de códigos em C com o método do Índice Interno de Esforço. In: ENCONTRO ANUAL DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO – EATI, 12., 2021. *Anais [...]*. 2021. Disponível em: <http://anais.eati.info:8080/index.php/2019/article/view/64/61>.

OLIVEIRA, A. A.; SANTOS, C. B.; PILATTI, L. A. Bridging the gap in patent assessment: The Index of Internal Effort framework for pharma innovations. *J Pharm Pharmacogn Res*, v. 12, n. 5, p. 852-869, 2024. DOI: https://doi.org/10.56499/jppres23.1859_12.5.852. Disponível em: https://jppres.com/jppres/pdf/vol12/jppres23.1859_12.5.852.pdf.

PEREIRA, S. A.; OLIVEIRA, A. A.; BARBALHO, C. R. S.; Gestão estratégica de Patentes em instituições públicas: avaliando o Índice Interno de Esforço como ferramenta para otimizar o portfólio. *P2P e Inovação*, Rio de Janeiro, RJ, v. 11, n. 2, 2025. DOI: 10.21728/p2p.2025v11n2e-7458. Disponível em: <https://revista.ibict.br/p2p/article/view/7458>

ROSÁRIO, J. M. *Princípios de mecatrônica*. São Paulo: Prentice-Hall, 2005. 356 p. ISBN 9788576050100.

SHEARD, S. A.; MOSTASHARI, A. A. Complexity Typology for Systems Engineering. *INCOSE International Symposium*, v. 20, n. 1, p. 933-945, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2010.tb01115.x>.

SINHA, K.; WECK, O. L. Empirical Validation of Structural Complexity Metric and Complexity Management for Engineering Systems. *Systems Engineering*, v. 19, n. 3, p. 193-206, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/sys.21356>.

TOCCI, R. J.; WIDMER, N. S.; MOSS, G. L. *Sistemas digitais: princípios e aplicações*. 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011. 817 p. ISBN 9788576059226.

TRIOLA, M. F. *Introdução à estatística: atualização da tecnologia*. Rio de Janeiro: LTC, 2013. xxviii, 707 p.

APÊNDICE – Informações sobre o artigo

Contribuição dos autores

Resumo/Abstract/Resumen: Alisson Antônio de Oliveira; **Introdução ou Considerações iniciais:** Alisson Antônio de Oliveira; **Referencial teórico:** Alisson Antônio de Oliveira; **Metodologia:** Alisson Antônio de Oliveira; **Análise de dados** Alisson Antônio de Oliveira; **Discussão dos resultados:** Alisson Antônio de Oliveira; **Conclusão ou Considerações finais:** Alisson Antônio de Oliveira; **Referências:** Alisson Antônio de Oliveira; **Revisão do manuscrito:** Alisson Antônio de Oliveira; **Aprovação da versão final publicada:** Alisson Antônio de Oliveira.

CRediT - Taxonomia de Papéis de Colaborador - <https://credit.niso.org/>

Os dados apresentados neste artigo podem ser acessados gratuitamente no link:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1U1Z1gwXTxFbVt-FRfPdXxTa4AJSej_he/edit?usp=sharing&ouid=108894340029492345033&rtpof=true&sd=true

As opiniões e informações expressas neste manuscrito, no que diz respeito tanto à linguagem quanto ao conteúdo, não refletem necessariamente a opinião da **Tecnia – Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFG**, de seus editores e do Instituto Federal de Goiás. As opiniões são de responsabilidade exclusiva dos respectivos autores.

Histórico editorial

Submetido: 31 de agosto de 2025.

Aprovado: 28 de setembro de 2025.

Publicado: 13 de outubro de 2026.



Como citar o artigo - ABNT

OLIVEIRA, Alisson. Metrificação de Projetos Mecatrônicos: uma abordagem utilizando o Índice Interno de Esforço (IIE). **Tecnia – Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFG**, Goiânia, v. 11, n. 2, p. e110215, 2026. DOI: 10.56762/tecnica.v11i2.2764.

Processo de Avaliação

Revisão por pares duplo-cega (*Double blind peer review*).

Conflito de Interesses

Não declarado.

Avaliadores

Dois pareceristas ad hoc avaliaram este artigo e não autorizaram a divulgação dos seus nomes.

Editor(a) Seção

Prof. Dr. Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente (IFG).