

## DESIGN NA EDUCAÇÃO PARA INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM PESQUISA SOBRE O EFEITO TRIP EM CIÊNCIA DOS MATERIAIS

*DESIGN THINKING FOR SCIENTIFIC INITIATION IN RESEARCH ON THE TRIP EFFECT IN MATERIALS SCIENCE*

*DESIGN THINKING PARA LA INICIACIÓN CIENTÍFICA EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL EFECTO TRIP EN CIENCIA DE MATERIALES*

**Luiz Guilherme Facine Silva**  
ORCID 0009-0001-0924-3354

Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI  
Itabira-MG, Brasil  
[d2020020695@unifei.edu.br](mailto:d2020020695@unifei.edu.br)

**Guilherme Oliveira Siqueira**  
ORCID 0000-0002-7481-191X

Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI  
Itabira-MG, Brasil  
[guilhermeolisi@unifei.edu.br](mailto:guilhermeolisi@unifei.edu.br)

**Ricardo Luiz Perez Teixeira**  
ORCID 0000-0003-2641-4036

Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI  
Itabira-MG, Brasil  
[ricardo.luiz@unifei.edu.br](mailto:ricardo.luiz@unifei.edu.br)

**José Carlos de Lacerda**  
ORCID 0000-0001-7753-1713

Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI  
Itabira-MG, Brasil  
[jlacerda@unifei.edu.br](mailto:jlacerda@unifei.edu.br)

**Resumo.** Este projeto utilizou o Design Thinking para desenvolver um protótipo avançado de porta-amostras para análise por difração de raios X, com o objetivo de aprimorar a identificação de estruturas cristalinas e fases do aço inoxidável austenítico AISI 316L, especialmente sob o efeito TRIP (Transformation Induced Plasticity). A metodologia envolveu a aplicação das cinco etapas propostas por Rikke Dam e Teo Sian, começando com uma análise das limitações dos porta-amostras existentes. A seguir, protótipos foram criados e avaliados por meio de testes rigorosos para garantir que as melhorias implementadas fossem eficazes. Após a construção do protótipo, as amostras de aço inoxidável austenítico foram submetidas a um tratamento térmico com o intuito de reverter a microestrutura para austenita. A eficácia deste tratamento foi verificada através da ferritoscopia, uma técnica analítica utilizada para examinar a presença e a quantidade de ferrita na microestrutura do aço. Os resultados obtidos demonstraram uma melhoria significativa nos padrões de difração, facilitando a identificação mais precisa das fases cristalinas presentes no material. Além dos avanços técnicos, a aplicação do Design Thinking contribuiu para o desenvolvimento de habilidades práticas entre os participantes do projeto. Este processo não só incentivou a resolução criativa de problemas, mas também resultou na produção de artigos científicos que avançaram o conhecimento na área de materiais metálicos afetados pelo efeito TRIP. O estudo sublinha a importância do Design Thinking não apenas para a inovação técnica, mas também para a formação de profissionais qualificados e preparados para enfrentar os desafios da indústria e da pesquisa científica. Assim, o Design Thinking se revelou uma abordagem eficaz para promover melhorias contínuas na análise e compreensão dos materiais metálicos.

**Palavras-chave:** Design Thinking; Difração de Raios X; Manufatura aditiva; Protótipo.

**Abstract.** This project utilized Design Thinking to develop an advanced sample holder prototype for X-ray diffraction analysis, aiming to enhance the identification of crystal structures and phases in austenitic stainless steel AISI 316L, particularly under the TRIP (Transformation-Induced Plasticity) effect. The methodology involved applying the five stages proposed by Rikke Dam and Teo Sian, beginning with an analysis of the limitations of existing sample holders. Subsequently, prototypes were created and evaluated through rigorous testing to ensure that the implemented improvements were effective. After constructing the prototype, austenitic stainless-steel samples were subjected to a thermal treatment designed to revert the microstructure to austenite. The effectiveness of this treatment was assessed using ferritography, an analytical technique employed to examine the presence and quantity of ferrite in the steel's microstructure. The results showed a significant improvement in diffraction patterns, facilitating more accurate identification of the crystal phases present in the material. In addition to



technical advancements, the application of Design Thinking contributed to the development of practical skills among project participants. This process not only encouraged creative problem-solving but also led to the production of scientific papers that advanced knowledge in the field of TRIP-affected metallic materials. The study highlights the importance of Design Thinking not only for technical innovation but also for training qualified professionals prepared to tackle industry and research challenges. Thus, Design Thinking proved to be an effective approach for fostering continuous improvements in the analysis and understanding of metallic materials.

**Keywords:** Additive manufacturing; Design Thinking; X-ray Diffraction; Prototype.

**Resumen.** Este proyecto utilizó el Design Thinking para desarrollar un prototipo avanzado de soporte de muestras para análisis por difracción de rayos X, con el objetivo de mejorar la identificación de estructuras cristalinas y fases en acero inoxidable austenítico AISI 316L, especialmente bajo el efecto TRIP (Plasticidad Inducida por Transformación). La metodología empleó las cinco etapas propuestas por Rikke Dam y Teo Sian, comenzando con un análisis de las limitaciones de los soportes de muestras existentes. A continuación, se crearon y evaluaron prototipos mediante rigurosas pruebas para asegurar que las mejoras implementadas fueran efectivas. Después de construir el prototipo, las muestras de acero inoxidable austenítico fueron sometidas a un tratamiento térmico diseñado para revertir la microestructura a austenita. La eficacia de este tratamiento se verificó mediante ferritoscopia, una técnica analítica utilizada para examinar la presencia y cantidad de ferrita en la microestructura del acero. Los resultados mostraron una mejora significativa en los patrones de difracción, facilitando una identificación más precisa de las fases cristalinas presentes en el material. Además de los avances técnicos, la aplicación del Design Thinking contribuyó al desarrollo de habilidades prácticas entre los participantes del proyecto. Este proceso no solo fomentó la resolución creativa de problemas, sino que también resultó en la producción de artículos científicos que avanzaron el conocimiento en el campo de los materiales metálicos afectados por el efecto TRIP. El estudio subraya la importancia del Design Thinking no solo para la innovación técnica, sino también para la formación de profesionales calificados y preparados para enfrentar los desafíos de la industria y la investigación científica. Así, el Design Thinking demostró ser un enfoque eficaz para fomentar mejoras continuas en el análisis y comprensión de los materiales metálicos.

**Palabras clave:** Design Thinking; Difracción de Rayos X; Fabricación aditiva; Prototipo.

## 1. INTRODUÇÃO

Os A difração de raios X desempenha um papel fundamental na identificação de compostos cristalinos, tanto inorgânicos quanto orgânicos, sendo amplamente utilizada em diversas áreas, incluindo a educação (Da Silva, 2020). Esta técnica permite analisar os padrões de difração e as características específicas de cada substância cristalina, comparáveis a uma impressão digital, através da comparação de padrões difratométricos com referências em bancos de dados especializados (Jenkins & Snyder, 1996).

Com o avanço da tecnologia, sistemas automáticos de análise por difração de raios X têm sido empregados, facilitando a identificação e quantificação de fases cristalinas (EPP, 2016). No entanto, é crucial considerar as complexidades envolvidas na preparação das amostras e os possíveis problemas e erros associados, destacando a importância de métodos precisos e atualizados para a análise qualitativa e quantitativa de materiais cristalinos no contexto educacional (Bish & Reynolds, 1989; Mccusker, 1999).

A abordagem do Design Thinking tem se destacado como uma metodologia fundamental no desenvolvimento de habilidades críticas e na resolução de problemas em diversas áreas do conhecimento (Ranzani et al., 2024; Mazo et al., 2022). Em particular, no contexto da iniciação científica, o Design Thinking adquire uma relevância significativa, proporcionando aos estudantes a oportunidade de aplicar conhecimentos teóricos na prática, enfrentando desafios

reais e contribuindo para avanços significativos na pesquisa (De Souza, 2024; De Queiroz Neto & Vasconcelos, 2021).

Este projeto se enquadra nesse contexto, explorando o potencial transformador do Design Thinking na identificação e resolução de problemas específicos relacionados à mesa de porta-amostras para a detecção por difração de raios X da presença de fases cristalinas não austeníticas geradas pelo efeito TRIP em aço inoxidável austenítico AISI 316L durante processos de conformação plástica a frio (Teixeira et al., 2023; Nascimento & Teixeira, 2022).

O efeito TRIP (Plasticidade Induzida por Transformação) é uma transformação observada no aço inoxidável austenítico conformado plasticamente a frio, cujos efeitos têm sido documentados em estudos recentes (Teixeira et al., 2023). Essa transformação tem potencial impacto na viabilidade do uso desse aço como biomaterial metálico, conforme normas como ASTM (2020) e ISO (2016).

A conformação plástica mecânica a frio de metais é um processo de fabricação que envolve a deformação permanente de um metal por meio de forças mecânicas, sem a necessidade de aquecimento acima da temperatura de recristalização do metal (Chiaverini, 2008). Essa técnica é amplamente utilizada na metalurgia de transformação em processos como dobramento, estampagem, extrusão e trefilação, cada um com aplicações específicas na indústria para a produção de peças com formas e tamanhos distintos (Shackelford, 2000).

Em comparação com a conformação a quente, que ocorre acima da temperatura de recristalização e exige temperaturas elevadas, a conformação a frio é geralmente realizada a temperatura ambiente ou ligeiramente acima, proporcionando benefícios como maior precisão dimensional, melhor acabamento superficial e maior resistência mecânica das peças metálicas fabricadas (Chiaverini, 2008). Essa abordagem é mais econômica e versátil, podendo ser aplicada a uma variedade de metais (Shackelford, 2000).

No entanto, é essencial considerar cuidadosamente as propriedades do material e as condições do processo para garantir a qualidade e a integridade das peças produzidas, uma vez que a peça metálica está sujeita a encruamento, trabalho a frio e à geração de novas fases induzidas pela conformação a frio, como o efeito TRIP em aços inoxidáveis austeníticos (Askeland, 2003; Teixeira et al., 2023).

O efeito de plasticidade induzida por transformação (TRIP), demonstrado pela formação de martensita  $\alpha'$  durante a conformação plástica mecânica a frio, é um fator crucial para o aumento das propriedades mecânicas do aço inoxidável austenítico, resultando em maior dureza e resistência mecânica à tração (Marques et al., 2020; Teixeira et al., 2023). O tratamento de reversão aplicado ao aço inoxidável austenítico, tem como objetivo converter a estrutura martensítica  $\alpha'$  em austenítica para sua utilização como biomaterial, preservando parcialmente o incremento nas propriedades mecânicas obtidas (Teixeira et al., 2023). Esse resultado destaca a importância do controle microestrutural na adaptação do desempenho do material conforme as exigências específicas para sua aplicação como biomaterial, conforme estipulado pelas normas ASTM (2020) e ISO (2016).

A metodologia utilizada não apenas se baseia no Design Thinking, mas também integra um projeto prático com os alunos de iniciação científica, visando aprimorar a análise por difração de raios X para melhor detectar essas fases e propor soluções viáveis (Viana et al., 2024; Vieira et al., 2012; Scheer et al., 2012; Tenreiro-Vieira, 2014; Teixeira & Teixeira, 2023).

A relevância e a inovação deste projeto residem na abordagem centrada no Design Thinking, que vai além da transmissão de conhecimento teórico, oferecendo uma imersão prática e desafiadora para os alunos (Bacich & Moran, 2017; Paschoarelli & Dos Santos Menezes, 2023). Ao enfrentarem problemas reais na área da transformação de fases em materiais metálicos, os alunos não apenas desenvolvem habilidades técnicas, mas também aprimoram competências essenciais, como pensamento crítico, colaboração e resolução de problemas complexos (De Carvalho et al., 2021; Camargo & Lingnau, 2021).

A implementação eficaz do Design Thinking não só contribui para avanços científicos e tecnológicos, mas também prepara os futuros profissionais para os desafios dinâmicos e interdisciplinares do mercado de trabalho (Lacerda et al., 2021; Queiroz, 2023; Tajra, 2011; Teixeira et al., 2022). Este projeto busca não apenas identificar e resolver problemas específicos de transformação de fase em aço inoxidável, mas também demonstrar o potencial transformador do Design Thinking na formação de profissionais capacitados e engajados com as demandas atuais da indústria e da pesquisa científica.

A questão central deste projeto reside na eficácia da aplicação do Design Thinking na identificação e resolução de problemas específicos relacionados à transformação de fases em aço inoxidável austenítico AISI 316L, utilizado como biomaterial metálico (ISO, 2016). A análise aborda como essa metodologia pode melhorar a detecção de fases cristalinas não austeníticas, geradas pelo efeito TRIP durante a conformação plástica a frio, na análise por difração de raios X. Além disso, o estudo investiga o potencial do Design Thinking em promover o desenvolvimento de habilidades críticas, colaborativas e de resolução de problemas entre estudantes de iniciação científica, preparando-os para os desafios interdisciplinares do mercado de trabalho.

## 2. METODOLOGIA

O Design Thinking, aplicado na produção do porta-amostras por manufatura aditiva, é uma metodologia de design eficaz para enfrentar problemas complexos, mal definidos ou desconhecidos, com ampla aplicação em diversos setores (Brown, 2008; Martin, 2009). Esta abordagem promove a exploração de novas perspectivas e soluções inovadoras através de um processo estruturado voltado para a obtenção de insights significativos. Para implementar o Design Thinking de maneira eficaz, é recomendável seguir as cinco etapas propostas por Rikke Dam e Teo Sian (2011), que simplificam o processo e asseguram uma abordagem sistemática na resolução de problemas.

As cinco etapas essenciais do Design Thinking incluem: (1) Empatia, que envolve uma compreensão profunda das necessidades e experiências dos usuários; (2) Definição, onde o problema é claramente formulado com base nas informações coletadas; (3) Ideação, que foca na geração de uma ampla gama de ideias criativas e soluções potenciais; (4) Prototipagem, que consiste na criação de modelos físicos ou digitais para testar e refinar as soluções; e (5) Testagem, onde os protótipos são avaliados para obter feedback e ajustar as soluções conforme necessário (Brown, 2009; Dam & Siang, 2011). Embora este modelo seja mais sintético, ele abrange os passos essenciais e os requisitos de modelos mais extensos e detalhados.

Para o sucesso na aplicação do Design Thinking, é fundamental compreender todos os requisitos e necessidades envolvidos, mantendo o foco no usuário final (Brown, 2009). O trabalho em equipe multidisciplinar e colaborativo é crucial para explorar diversas habilidades e perspectivas, enquanto a criatividade deve ser incentivada através de sessões de brainstorming (Martin, 2009). Além disso, adotar uma abordagem pragmática que inclua a criação de protótipos e a realização de testes é essencial para validar ideias, e a viabilidade econômico-financeira das soluções deve ser considerada antes de alocar recursos significativos (Brown, 2009). Esses fatores críticos garantem a eficácia e a inovação da metodologia de Design Thinking.

A metodologia adotada para o desenvolvimento do protótipo do porta-amostras utilizado em equipamentos de difração de raios X seguiu um conjunto de etapas bem definidas para garantir sua eficácia e precisão, baseando-se nos princípios do Design Thinking (Melo & Abelheira, 2015; Stickdorn & Schneider, 2014; Pagani, 2018). Essa abordagem inclui ciclos

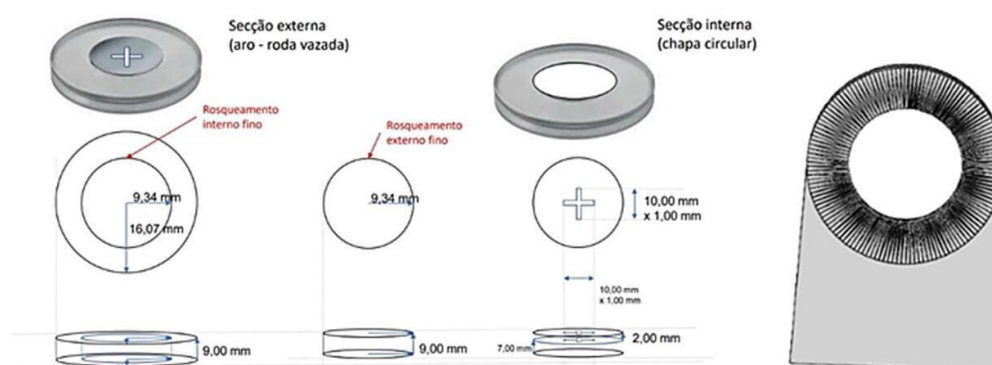
iterativos de design, onde os protótipos são concebidos, testados, aprimorados e revisados com base nas informações fornecidas pelos usuários, promovendo uma evolução ágil e adaptativa de produtos e serviços (Melo & Abelheira, 2015).

As fases cristalográficas do aço inoxidável austenítico 316L (316L) foram identificadas conforme as metodologias de Marques et al. (2020), Lacerda et al. (2021) e Teixeira et al. (2023). A análise foi realizada utilizando difração de raios X (DRX) com um difratômetro Philips-PANalytical PW 1710 X, configurado na geometria Bragg-Bretano. Localizado no laboratório de difração de raios X da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), o difratômetro estava equipado com um detector pontual proporcional selado, um monocromador de cristal de grafite e um tubo de cobre ( $Z=29$ ), com comprimento de onda médio  $K\alpha = 1,54184 \text{ \AA}$  e comprimento de onda  $K\alpha_1 = 1,54056 \text{ \AA}$ . O ângulo de varredura das amostras foi ajustado para  $0,02^\circ$  por minuto, com um tempo de integração da radiação de 4 segundos.

Na fase inicial do projeto, conforme Dam e Teo Sian (2011), identificou-se uma dificuldade significativa na determinação das fases cristalinas a partir dos difratogramas dos aços inoxidáveis em estudo, particularmente o AISI 316L. Com a colaboração dos especialistas do laboratório de difração de raios X e dos professores orientadores, foram identificados os principais problemas relacionados à obtenção de um espectro mais preciso para superfícies sólidas por difração de raios X a partir do trabalho de Marques et al. (2020). O principal desafio identificado foi a diminuição de ruído nos difratogramas, característicos do ferro. Observou-se, pela prática laboratorial, que o nivelamento da superfície metálica em relação ao plano de varredura ideal do difratômetro reduzia este ruído. O problema de alinhamento do porta-amostras com a mesa do difratômetro foi então abordado em conjunto com os alunos de iniciação científica, levando à proposta da utilização de manufatura aditiva para a produção de um porta-amostras do tipo porca e parafuso, onde o parafuso rosqueado nivelaria a superfície da amostra metálica. Durante o processo de design Thinking, os alunos desempenharam papéis ativos na identificação dos problemas, na definição dos objetivos e na formulação das questões de pesquisa (Santos & Baia, 2018; Demarchi et al., 2011).

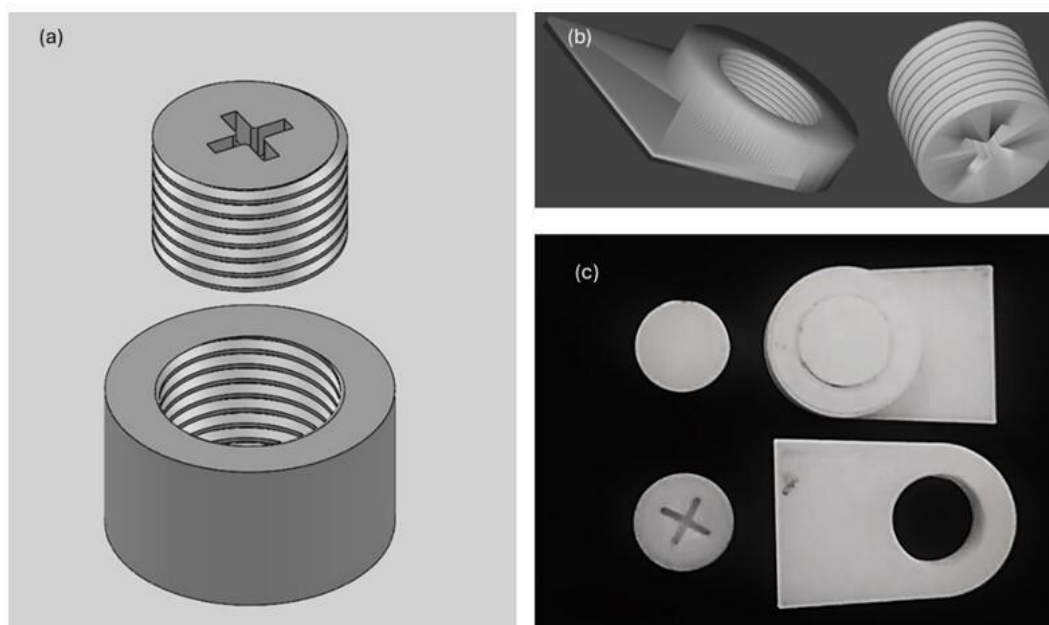
No processo de prototipagem, foram conduzidas análises detalhadas dos requisitos dimensionais e de material do porta-amostras no laboratório de difração de raios X da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Foram efetuadas as medições necessárias para o porta-amostras, considerando suas dimensões, mecanismos de ajuste para nivelamento e a seleção apropriada de materiais que não são afetados pelo feixe incidente de radiação de raios X, conforme ilustrado na Figura 1. Optou-se por um material polimérico de poliéster, ou equivalente, para a produção do protótipo do porta-amostras por meio de manufatura aditiva, especificamente a impressão 3D, a ser realizada no laboratório Maker Space da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Figura 2 (c).





**Figura 1.** Requisitos dimensionais do porta-amostras para análise por difração de raios X.  
Fonte: Dados dos autores (2024).

No estágio de projeto conceitual, Figura 2 (a), são elaborados esboços e conceitos preliminares tridimensionais do protótipo pelo desenho assistido por computador (CAD 3D), no caso específico pelo programa computacional SOLIDWORKSR. O programa CAD permite explorar diferentes designs para o sistema de nivelamento e avaliar a viabilidade das soluções propostas sob a perspectiva do Design Thinking (Santos & Baia, 2018; Demarchi et al., 2011). Em seguida, avança-se para o projeto detalhado, Figura 2 (b), onde são definidas as dimensões exatas do porta-amostras, especificado o sistema de nivelamento e selecionado o material mais apropriado, levando em consideração fatores como resistência à radiação e durabilidade, sempre com foco na experiência do usuário e na solução de problemas de forma criativa (Santos & Baia, 2018; Demarchi et al., 2011; Dos Santos Filho et al., 2024; Siqueira et al., 2014).



**Figura 2.** Protótipo de porta-amostras para análise por difração de raios X: (a) esboço; (b) projeto; e (c) protótipo em poliéster.  
Fonte: Dados dos autores (2024).

A construção do protótipo é uma etapa crucial, conforme ilustrado na Figura 2 (c), na qual o porta-amstras é fabricado. Para essa finalidade, utilizou-se uma impressora 3D no laboratório Maker Space da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). O protótipo foi produzido por meio de manufatura aditiva, seguindo as especificações do projeto detalhado, e confeccionado em poliéster. Após a impressão, o protótipo passou por um acabamento cuidadoso com lixa de granulometria fina, conforme mostrado na Figura 2 (c). Com o protótipo finalizado, foram realizados testes no sistema de nivelamento para verificar sua estabilidade e precisão, especialmente no mecanismo de rosqueamento, conforme os princípios de prototipagem iterativa do Design Thinking (Melo & Abelheira, 2015; Stickdorn & Schneider, 2014; Pagani, 2018).

Após a construção do protótipo, foram realizados testes práticos com amostras reais de aço AISI 316L, ajustando o protótipo conforme necessário usando o sistema de parafuso-rosca para assegurar que os difratogramas obtidos fossem confiáveis e apresentassem baixo ruído. Esse processo seguiu a abordagem iterativa do Design Thinking, focando na solução de problemas contínua (Santos & Baia, 2018; Demarchi et al., 2011; Dos Santos Filho et al., 2024; Siqueira et al., 2014). As análises cristalográficas foram conduzidas no laboratório de difração de raios X da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Os difratogramas obtidos permitiram a realização de análises cristalográficas das chapas polidas de aço inoxidável AISI 316L, com e sem prévia conformação plástica mecânica do aço AISI 316L.

A implementação da manufatura aditiva no projeto possibilitou a integração de um sistema de parafuso-rosca no porta-amstras, o que facilitou a identificação precisa das fases cristalinas geradas pelo efeito TRIP e contribuiu para a publicação de um artigo sobre o tema (Teixeira et al., 2023). Essa abordagem colaborativa e participativa proporciona aos alunos uma compreensão mais profunda dos desafios enfrentados na pesquisa em engenharia, particularmente no campo da cristalografia e ciência dos materiais. Além disso, promove a autonomia dos alunos e o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas como parte de uma metodologia ativa (Silva-Neto & Leite, 2023; Teixeira et al., 2020a, 2020b).

As amostras utilizadas para o estudo do efeito TRIP por análise de difração de raios X, conforme Teixeira et al. (2023) e Florencio (2023), consistem em chapas polidas de aço inoxidável AISI 316L, tanto com quanto sem prévia conformação plástica mecânica. Todas as análises foram conduzidas em triplicata no protótipo de porta-amstras durante a análise por difração de raios X, a fim de assegurar a reprodutibilidade dos resultados para publicação em periódico científico internacional, como evidenciado pela publicação de Teixeira et al. (2023).

A preparação das amostras para análises de difração de raios X envolveu o uso de corte por eletroerosão a fio e polimento, conforme descrito por Mccusker et al. (1999), Florencio (2023) e Teixeira et al. (2023). O procedimento de corte foi conduzido utilizando o equipamento EDM da marca EUROSTEC (Linjee et al., 2023), empregando uma tensão de entrada de 220V, faixa de frequência de 50Hz a 60Hz e 4,5 kVA. Durante o corte, um fio de molibdênio submerso em sais minerais ionizantes à temperatura ambiente foi utilizado para assegurar um corte preciso e seguro das amostras por meio de um braço mecânico, seguindo um desenho de projeto específico para cada corte. A seleção da eletroerosão a fio como método de corte foi baseada na condutividade do aço ASTM, o qual é adequado para o corte nesse tipo de equipamento, e na sua capacidade extremamente precisa e segura de corte metalográfico, sem induzir o efeito TRIP ou gerar aquecimento na amostra metálica (Gundgire et al., 2022; Siek et al., 2017).

Após o corte, todas as amostras foram lixadas até a granulação 600# e polidas com pasta de diamante até atingir 1µm. Posteriormente, as amostras foram limpas com álcool etílico absoluto e secas com ar seco à temperatura ambiente para evitar possíveis interferências durante a produção dos difratogramas. Para a análise cristalográfica por difração de raios X, foram utilizadas as referências de fase cristalina disponíveis nos arquivos do Joint Committee

on Powder Diffraction-International Centre for Diffraction Data, conforme especificado pelas normas ABNT NBR ISO 4287:2002, ICDD (2022) e X'PERT QUANTIFY (2024).

A difração de raios X foi empregada para identificar e caracterizar as fases cristalográficas nas amostras de aço AISI 316L após o processo de conformação plástica mecânica a frio, que induz o efeito TRIP (Marques et al., 2020; Teixeira et al., 2023). Essa análise foi essencial para compreender as transformações microestruturais do material e suas implicações na aplicabilidade biomédica (MALVERN PANALYTICAL, 2024; Teixeira et al., 2021). Por outro lado, a ferritoscopia foi utilizada para avaliar a presença de frações ferromagnéticas, como a martensita  $\alpha'$  e a ferrita  $\alpha$ , aspecto crucial para garantir a biocompatibilidade do aço, pois o aço AISI 316L, para fins de biomaterial, deve ser plenamente austenítico, que é paramagnético (ISO, 2016; Helmut Fisher, 2024).

O Projeto de Design Thinking foi conduzido de forma integrada com as técnicas de análise, permitindo que os alunos aplicassem diretamente os conceitos teóricos aprendidos na resolução de problemas práticos (Marcilio, 2019; Teixeira et al., 2020a; Teixeira et al., 2020b). Eles foram orientados pelo professor orientador a utilizar um protótipo de porta-amostras desenvolvido especificamente para permitir uma análise mais refinada por difração de raios X, alinhando-se às exigências de precisão e detalhamento das análises cristalográficas (Da Silva, 2020; Unruh & Forbes, 2019; Whittig & Allardice, 1986; EPP, 2016). Essas exigências de precisão e detalhamento das análises cristalográficas incluem a necessidade de alta resolução espacial para distinguir entre características da amostra e precisão nas medições de ângulos e intensidades (Ali, 2020; Khan et al., 2020; Whittig & Allardice, 1986).

Essa metodologia integrada e abrangente não só permite a obtenção de resultados relevantes, mas também promove o desenvolvimento de competências essenciais para a atuação no campo da pesquisa e desenvolvimento de materiais. A integração de diversas abordagens metodológicas e técnicas analíticas enriquece a análise e interpretação dos dados, facilitando a inovação e a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos (Santos & Baia, 2018; Demarchi et al., 2011; Dos Santos Filho et al., 2024; Siqueira et al., 2014; Teixeira et al., 2019; Teixeira et al., 2018).

Por exemplo, a utilização de técnicas avançadas de caracterização de materiais, como a difração de raios X e a ferritoscopia, tem sido essencial para a identificação precisa das fases cristalinas e a compreensão dos efeitos estruturais em aço inoxidável (Lacerda et al., 2021; Teixeira et al., 2023). Além disso, o desenvolvimento de protótipos inovadores, como os porta-amostras projetados para melhorar a precisão dos experimentos, exemplifica como a aplicação prática de metodologias pode levar a avanços significativos na pesquisa (Santos & Baia, 2018).

Esses métodos também contribuem para o aprimoramento das habilidades dos pesquisadores, incluindo a capacidade de integrar teoria e prática e a competência para resolver problemas complexos de forma criativa e eficaz (Demarchi et al., 2011; Teixeira et al., 2020a; Teixeira et al., 2020b). Portanto, a adoção de uma abordagem metodológica abrangente é fundamental para o sucesso na pesquisa e no desenvolvimento de novos materiais, refletindo a importância da inovação contínua e do aprimoramento das técnicas utilizadas (Siqueira et al., 2014; Teixeira et al., 2018).

### 3. RESULTADOS

A abordagem do Design Thinking nesta pesquisa resultou em uma análise pioneira das fases do efeito TRIP em aço inoxidável, utilizando um protótipo de porta-amostras desenvolvido pelos estudantes. A análise por difração de raios X com o dispositivo desenvolvido possibilitou uma investigação mais detalhada das fases presentes no aço AISI 316L, com base nos estudos iniciais de Marques et al. (2020). Os difratogramas apresentados por Teixeira et al. (2023), obtidos com o protótipo do porta-amostras em condições de pequena



redução de espessura por laminação a frio, confirmaram a presença das fases austenítica ( $\gamma$ ) e martensítica  $\alpha'$  ( $\alpha'$ ), validando a coexistência dessas fases cristalinas microestruturais. O protótipo possibilitou um melhor nivelamento das superfícies das amostras ao feixe de raios X, resultando em uma identificação mais precisa dos picos de difração de raios X característicos da fase cristalina e do efeito TRIP induzido pela conformação plástica mecânica a frio, conforme evidenciado por Teixeira et al. (2023) e Florencio (2023), em comparação com os resultados obtidos por Marques et al. (2020).

Além disso, os resultados da ferritoscopia complementaram as descobertas da difração de raios X, revelando a presença de fases ferromagnéticas após a conformação plástica mecânica a frio (Marques et al., 2020; Teixeira et al., 2023). A análise dos difratogramas obtidos por Teixeira et al. (2023) mostrou a predominância da fase austenítica na condição inicial do aço, confirmada pela característica paramagnética apresentada no aço. Após a conformação plástica mecânica a frio, foram observados por Teixeira et al. (2023), Florencio (2023) e Marques et al. (2020) os picos característicos da fase martensítica  $\alpha'$ , confirmando o maior ferromagnetismo do aço associado à formação da fase martensítica  $\alpha'$ , gerada pela transformação induzida pelo efeito TRIP a partir da austenita paramagnética.

A aplicação do Design Thinking neste projeto proporcionou aos alunos uma experiência prática e desafiadora, contribuindo para a compreensão dos processos de transformação de fases em materiais metálicos (Teixeira, Silva, & de Araújo Brito, 2019; Teixeira, Teixeira, & de Araújo Brito, 2018). Por ser uma metodologia eficaz para a resolução de problemas complexos, mal definidos ou desconhecidos, o Design Thinking proporciona ao longo do processo insights inovadores, seguindo as cinco etapas propostas por Rikke Dam e Teo Sian (Silva-Neto & Leite, 2023; Siqueira, de Sousa Cunha, Pena, de Souza Corrêa, & Amorim, 2014; Stickdorn & Schneider, 2014).

Para garantir o sucesso do Design Thinking, conforme Stickdorn e Schneider (2014), é crucial compreender completamente os requisitos e necessidades envolvidas, ampliando a perspectiva do aluno e assegurando que as soluções atendam às suas expectativas. A colaboração multidisciplinar é essencial para explorar abordagens diversas, enquanto a criatividade deve ser incentivada, por exemplo, em reuniões utilizando brainstorming. Além disso, a adoção de uma abordagem pragmática, por meio de protótipos e testes, e a avaliação da viabilidade econômica das soluções são fundamentais (Silva-Neto & Leite, 2023; Siqueira, de Sousa Cunha, Pena, de Souza Corrêa, & Amorim, 2014; Stickdorn & Schneider, 2014). Esses aspectos destacam a importância do Design Thinking como uma abordagem educacional eficaz para o desenvolvimento de habilidades práticas nos alunos, que, no caso deste projeto e outros similares, pode contribuir para o avanço do conhecimento científico na área de materiais metálicos (Teixeira & Silva, 2024; Teixeira, Silva, & de Araújo Brito, 2019; Teixeira, Teixeira, & de Araújo Brito, 2018).

#### 4. DISCUSSÃO

A metodologia inovadora empregada nesta pesquisa, que incluiu o desenvolvimento de um protótipo de porta-amostras para análise por difração de raios X do aço AISI 316L, permitiu uma análise mais refinada das fases de efeito TRIP neste material (MARQUES et al., 2020; TEIXEIRA et al., 2023). Os resultados obtidos por meio da difração de raios X e da ferritoscopia forneceram informações cruciais sobre a presença e reversão das fases geradas pelo efeito TRIP. A implementação do Design Thinking nesta pesquisa resultou em avanços significativos na análise das fases do efeito TRIP (Transformation Induced Plasticity) em aço

inoxidável, utilizando um protótipo de porta-amostras desenvolvido pelos estudantes. Essa abordagem permitiu uma investigação mais detalhada das fases presentes no aço AISI 316L, com base nos estudos iniciais de Marques et al. (2020). A análise por difração de raios X com o novo dispositivo revelou melhorias substanciais na identificação das fases austenítica ( $\gamma$ ) e martensítica  $\alpha'$  ( $\alpha'$ ), validando a coexistência dessas fases microestruturais, conforme os difratogramas apresentados por Teixeira et al. (2023).

O protótipo produzido utilizando manufatura aditiva possibilita um melhor alinhamento das superfícies das amostras com o feixe de raios X, resultando em uma identificação mais precisa dos picos de difração e na caracterização do efeito TRIP induzido pela conformação plástica mecânica a frio, conforme evidenciado pelos estudos de Teixeira et al. (2023) e Florencio (2023), em comparação com os resultados de Marques et al. (2020). No entanto, a produção do porta-amostras para metal polido enfrenta algumas limitações significativas. A superfície necessária para a varredura da difração de raios X exige uma textura extremamente lisa, o que representou um desafio durante o processo de fabricação do protótipo (Da Silva, 2020; Unruh & Forbes, 2019; Whittig & Allardice, 1986; Epp, 2016). Além disso, a área de varredura do feixe limita o tamanho das amostras a serem analisadas, restringindo a aplicabilidade do dispositivo em certos contextos de pesquisa (Da Silva, 2020; Unruh & Forbes, 2019; Whittig & Allardice, 1986; Malvern Panalytical, 2024).

Uma das dificuldades enfrentadas foi a impossibilidade de realizar o rosqueamento desejado por meio da manufatura aditiva, especificamente pela impressora 3D, devido à complexidade da geometria e à precisão requerida para esse tipo de aplicação (Whittig & Allardice, 1986; MALVERN PANANALYTICAL, 2024). Para obter um melhor rosqueamento, produziu-se protótipos sem rosqueamento, sendo o rosqueamento produzido no laboratório de usinagem da Universidade Federal de Itajubá. Isso exigiu uma etapa extra ao desenvolvimento do dispositivo e aumentando a complexidade do processo.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos foram significativos e contribuíram para o avanço do conhecimento na área de materiais metálicos. A análise detalhada dos difratogramas proporcionou informações cruciais sobre a reversão das fases geradas pelo efeito TRIP, ampliando o entendimento desse fenômeno na microestrutura do aço AISI 316L. A metodologia Design Thinking utilizada neste contexto foi fundamental para que os alunos desenvolvessem habilidades de resolução de problemas e aplicassem conhecimentos teóricos na prática laboratorial.

A aplicação do Design Thinking para enfrentar o desafio de compreender as fases geradas pelo efeito TRIP demonstrou-se eficaz na promoção da pesquisa científica. A satisfação dos alunos foi espontaneamente expressa, evidenciando o retorno positivo dessa abordagem. Esses resultados corroboram os achados apresentados por Teixeira, Silva e de Araújo Brito (2021) e Teixeira, Silva e de Araújo Brito (2019) sobre a eficácia das metodologias ativas aplicadas aos estudantes de engenharia. Além disso, a metodologia resultou em difratogramas que contribuíram para a publicação de artigos científicos, como os de Teixeira et al. (2023) e de Lacerda et al. (2021), na compreensão das mudanças estruturais e de fases identificadas pela difração de raios X em superfícies metálicas. Isso reforça ainda mais a relevância do Design Thinking como uma estratégia educacional eficaz na formação de profissionais qualificados e no avanço da ciência e tecnologia.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa destacam a importância do desenvolvimento do protótipo de porta-amostras para análise por difração de raios X na investigação das fases geradas pelo efeito TRIP em aço inoxidável. As informações obtidas por meio da difração de raios X e da ferritoscopia proporcionaram insights valiosos sobre a presença e reversão dessas fases, contribuindo significativamente para o avanço do conhecimento na área de materiais metálicos.

A implementação do Design Thinking nesta pesquisa proporcionou uma análise inovadora das fases do efeito TRIP em aço inoxidável, utilizando um protótipo de porta-amostras desenvolvido pelos estudantes. Esta abordagem permitiu uma investigação detalhada das fases presentes no aço AISI 316L, conforme os estudos iniciais de Marques et al. A análise por difração de raios X, utilizando o dispositivo desenvolvido, permitiu a identificação precisa das fases austenítica ( $\gamma$ ) e martensítica  $\alpha'$  ( $\alpha'$ ), validando a coexistência dessas fases microestruturais, como demonstrado nos difratogramas apresentados por Teixeira et al. e Florencio.

O protótipo produzido por manufatura aditiva facilitou um melhor alinhamento das superfícies das amostras com o feixe de raios X, resultando em uma identificação mais precisa dos picos de difração e na caracterização do efeito TRIP induzido pela conformação plástica mecânica a frio. Embora a produção do porta-amostras tenha enfrentado desafios, como a necessidade de uma textura extremamente lisa para a varredura de difração de raios X e limitações no tamanho das amostras, os resultados obtidos foram significativos e contribuíram para o avanço do conhecimento na área de materiais metálicos. A ferritoscopia complementou os achados da difração de raios X, revelando a presença de fases ferromagnéticas após a conformação plástica mecânica a frio. Esses resultados reforçam a relevância do Design Thinking como uma estratégia educacional eficaz na formação de profissionais qualificados e no avanço da ciência e tecnologia.

Além disso, a metodologia do Design Thinking proporcionou aos alunos uma experiência prática valiosa, contribuindo para a compreensão dos processos de transformação de fases em materiais metálicos. A abordagem interdisciplinar e colaborativa incentivou a criatividade e a inovação, seguindo as etapas propostas por Rikke Dam e Teo Sian, e ressaltou a importância da compreensão completa dos requisitos e necessidades, bem como da avaliação da viabilidade econômica das soluções propostas.

Concluindo, resposta à questão central deste projeto sobre a eficácia da abordagem na identificação e resolução de problemas relacionados à transformação de fases em aço inoxidável, constatou-se que essa metodologia se mostrou uma estratégia eficaz para enfrentar desafios complexos na detecção e análise das fases resultantes do efeito TRIP. Além disso, a aplicação dessa abordagem promoveu o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas e facilitou a integração entre teoria e prática, preparando os alunos para enfrentar desafios interdisciplinares no mercado de trabalho. Esses resultados ressaltam a importância dessa metodologia como uma ferramenta valiosa tanto no ambiente educacional quanto na pesquisa científica, contribuindo significativamente para a compreensão e caracterização de materiais, especialmente os aços inoxidáveis austeníticos.

## AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Professor Hugo José Ribeiro, coordenador do laboratório Maker Space, e ao Professor Tarcísio Gonçalves de Brito, coordenador do laboratório de Usinagem da Universidade Federal de Itajubá Campus Theodomiro Carneiro Santiago, pela produção e



acabamento dos protótipos de porta-amostras. Agradece-se à Professora Andréia Bicalho Henriques, coordenadora do laboratório de difração de raios X da Universidade Federal de Minas Gerais, pela análise e refinamento dos resultados por difração de raios X.

## REFERÊNCIAS

- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-ray diffraction techniques for mineral characterization: A review for engineers of the fundamentals, applications, and research directions. *Minerals*, 12(2), 205.
- Askeland, D. R., Phulé, P. P., Wright, W. J., & Bhattacharya, D. K. (2003). *The science and engineering of materials*. Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1842-9>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2002). ABNT NBR ISO 4287:2002 - *Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions, and surface texture parameters*. Rio de Janeiro. Recuperado de <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=UGNiYIByRDZmbWRhRVMvL05uRDJtRkFRZC80d0tmR1FZeE5pd1h2Q2wzND0>
- ASTM Internacional. (2020). *ASTM F138-19: Standard specification for wrought 18Chromium-14Nickel-2.5Molybdenum stainless steel bar and wire for surgical implants (UNS S31673)*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials. Recuperado de <https://www.astm.org/f0138-19.html>
- Bacich, L., & Moran, J. (2017). *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*. Penso Editora.
- Bish, D.L., & Reynolds Jr., R.C. (1989). Sample preparation for X-ray diffraction. In D.L. Bish & J.E. Post (Eds.), *Modern powder diffraction* (pp. 73-99). Washington: Mineralogy Society of America. (Reviews in Mineralogy, Vol. 20).
- Brown, T. (2009). *Change by design: How design thinking transforms organizations and inspires innovation*. HarperCollins.
- Camargo, H. A., & Lingnau, C. M. (2021). Teoria e prática: cultura maker e experiência de iniciação científica voluntária. *Revista Ciranda*, 5(1), 155-163.
- Chiaverini, V. (2008). *Aços e Ferros Fundidos* (7ª ed.). São Paulo: ABM..
- da Silva, R. F. (2020). A Difração de Raios X: uma técnica de investigação da estrutura cristalina de materiais. *Revista Processos Químicos*, 14(27), 73-82.
- Dam, R. F., & Siang, T. Y. *5 stages in the design thinking process*. Interaction Design Foundation. Recuperado de [www.interaction-designing/literature/article/5-stages-in-the-design-thinking-process](http://www.interaction-designing/literature/article/5-stages-in-the-design-thinking-process).
- de Carvalho, B. R., Ribeiro, R. B., Langhi, C., Borges, S. P. T., de Souza, A. J. S., & de Jesus Silva, J. W. (2021). Aplicação do Design Thinking como ferramenta de inovação na gestão de projetos no setor metalúrgico. *Research, Society and Development*, 10(8), e43210817532-e43210817532.
- de Queiroz Neto, J. P., & Vasconcelos, J. S. (2021). *ABPI–Aprendizagem Baseada em Projetos Interdisciplinares: Formando Alunos Autônomos*. Editora Appris.
- de Souza, V. R. P. (2024). *Avanços Tecnológicos, Gestão da Qualidade e Linguagem*. Editora Dialética.
- Demarchi, A. P. P., Fornasier, C. B. R., & de Freitas Martins, R. F. (2011). A Gestão de Design humanizada pelo Design thinking a partir de relações conceituais. *Projetica*, 2(1), 19-36.
- dos Santos Filho, E. B., Lira, E. G., Gonçalves, F., Santos, L. C. B., & da Silva, S. (2024). Design Thinking e metodologias ativas na educação do século XXI. *Revista Ilustração*, 5(1), 217-223.
- Epp, J. (2016). X-ray diffraction (XRD) techniques for materials characterization. In *Materials characterization using nondestructive evaluation (NDE) methods* (pp. 81-124). Woodhead Publishing.



- Florêncio, K. C. (2022). Estudo do efeito TRIP produzido pela laminação a frio do aço inoxidável austenítico AISI 316L e avaliação de seu uso como biomaterial (Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Mestrado Profissional). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil. Recuperado de <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/3457>
- Gundgire, T., Jokiaho, T., Santa-aho, S., Rautio, T., Järvenpää, A., & Vippola, M. (2022). Comparative study of additively manufactured and reference 316L stainless steel samples – Effect of severe shot peening on microstructure and residual stresses. *Materials Characterization*, *191*, 112162. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2022.112162>
- HELMUT FISHER. (2024). *Helmut Fisher user manual: Ferritscope® FMP30 measurement of the ferrite content in austenitic and duplex steel*. Lenexa. Recuperado de <https://content.ndtupply.com/assets/Uploads/Fischer-FMP30-Feritscope-User-Manual.pdf?clientId=639792014.1674687240>
- ICCD. (2022). *International Centre for Diffraction Data. Powder Diffraction File (PDF) - Phase Search*. Newtown Township. Recuperado de <https://www.icdd.com/pdfsearch/>
- ISO. (2016). ISO 5832-1:2016. *Implantes para cirurgia - Materiais metálicos - Parte 1: Aço inoxidável laminado*. Genebra: Organização Internacional de Normalização. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/66636.html>
- Jenkins, R., & Snyder, R.L. (1996). *Introduction to X-ray powder diffractometry*. New York: John Wiley. (Chemical Analysis, Vol. 138).
- Khan, H., Yerramilli, A. S., D'Oliveira, A., Alford, T. L., Boffito, D. C., & Patience, G. S. (2020). Experimental methods in chemical engineering: X-ray diffraction spectroscopy—XRD. *The Canadian journal of chemical engineering*, *98*(6), 1255-1266.
- Lacerda, J. C. D., Freitas, L. L. D., Brito, R. F., Moura Filho, F., & Teixeira, R. L. (2021). Comparative study between sensitization degree of the 0.4% Mo austenitic stainless steel and UNS S31803 duplex stainless steel. *Materials Research*, *24*(1), e20200408.
- Linjee, S., et al. (2023). On the severe shot peening effect to generate nanocrystalline surface towards enhancing fatigue life of injection-moulded Ti-6Al-4V alloy. *Journal of Materials Science*, *58*, 15513-15528. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08978-3>
- MALVERN PANANALYTICAL. (2024). *X-ray diffractometers: Benchtop & floorstanding XRD solutions - X'Pert3*. Malvern. Recuperado de <https://www.malvernpanalytical.com/en>
- Marcilio, D. S. (2019). *Aprendizagem baseada na resolução de problemas*. Editora Senac São Paulo.
- Marques, A. V. M., Carmo, K. M. D., Lage, W. C., Teixeira, R. L. P., Lacerda, J. C. D., Teixeira, C. H. S. B., & Shitsuka, R. (2020). Evaluation of the effect of plastic deformation on the microstructure, hardness, and magnetic properties of AISI type 316L stainless steel. *Matéria (Rio de Janeiro)*, *25*, e-12611.
- Martin, R. L. (2009). *The design of business: Why design thinking is the next competitive advantage*. Harvard Business Press.
- Mazo, E. M., Sampaio, R. R., de Brito Lordelo, S. N., de Souza, G. O., & Veimrober, R. F. (2022). Uma Abordagem Inovadora de Aprendizagem para o Desenvolvimento de Competências Transversais. *Cadernos de Educação Tecnologia e Sociedade*, *15*(1), 113-125.
- Melo, A., & Abelheira, R. (2015). *Design Thinking & Thinking Design: Metodologia, ferramentas e uma reflexão sobre o tema*. Novatec Editora.
- McCusker, L.B., et al. (1999). Rietveld refinement guidelines. *Journal of Applied Crystallography*, *32*, 36-50.
- Nascimento, M. F. T., & Teixeira, R. L. P. (2023). Estudo do efeito TRIP do aço 316L induzido por conformação mecânica por laminação a frio e por jateamento com microesferas de vidro. *Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica*, 2022. <https://doi.org/10.29327/1307153.1-94>



- Pagani, T. (2018). *Design thinking*. Editora Senac São Paulo. Recuperado de <https://books.google.com.br/books?id=lz1MDwAAQBAJ>
- Paschoarelli, L. C., & dos Santos Menezes, M. (Eds.). (2023). *Design: Desafios da pesquisa*. Canal 6 Editora.
- Queiroz, C. C. S. F. (2023). Cultura maker e abordagem STEAM: transformando vidas atrás das grades. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(10), 1039-1060.
- Ranzani, R. C., Kul, E. T. S., Miranda, N. M., Gallo, S. A., & de Lima, V. R. (2024). REFLEXÕES SOBRE AS METODOLOGIAS ATIVAS NA EDUCAÇÃO. *Revista Ilustração*, 5(1), 239-249.
- Santos, A. D. P. L., & Baia, A. P. (2018). Inovação no processo de desenvolvimento de produto através do Design Thinking. *Revista Empreender e Inovar*, 1(1), 33-46.
- Scheer, A., Noweski, C., & Meinel, C. (2012). Transforming constructivist learning into action: Design thinking in education. *Design and Technology Education: An International Journal*, 17(3), 8–19. <https://www.itecpro.org.uk/journal>
- Shackelford, J. F. (2000). *Materials science for engineers*. Upper Saddle River, New Jersey.
- Siek, D., Ślósarczyk, A., Przekora, A., Belcarz, A., Zima, A., Ginalska, G., Czechowska, J. (2017). Evaluation of antibacterial activity and cytocompatibility of  $\alpha$ -TCP based bone cements with silver-doped hydroxyapatite and CaCO<sub>3</sub>. *Ceramics International*, 43(16), 13997-14007. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.07.131>
- Silva-Neto, S. L. D., & Leite, B. S. (2023). Design Thinking aplicado como metodologia para a solução de problemas no ensino de Química: um estudo de caso a partir de uma problemática ambiental. *Ciência & Educação (Bauru)*, 29, e23043.
- Siqueira, O. A. G., de Sousa Cunha, L., Pena, R. D. S. F., de Souza Corrêa, B., & Amorim, M. E. (2014). Metodologia de projetos em design, design thinking e metodologia ergonômica: Convergência metodológica no desenvolvimento de soluções em design. *Cadernos UniFOA*, 9(Esp), 49-66.
- Stickdorn, M., & Schneider, J. (2014). *This is service design thinking: Basics, tools, cases*. Bookman Editora.
- Tajra, S. F. (2011). *Informática na Educação: novas ferramentas pedagógicas para o professor na atualidade*. Saraiva Educação SA.
- Teixeira, C. H. S. B., Teixeira, R. L. P., Veiga, R. T., de Araújo Brito, M. L., & Silva, P. C. D. (2022). The circular economy in the age of the 4th industrial revolution—the use of technology towards transition. *Revista Gestão & Tecnologia*, 22(4), 64-89.
- Teixeira, C. H. S., & Teixeira, R. L. P. (2023). The circular economy in the age of the 4th industrial revolution: use of technology towards transition. *Br. J. Ed., Tech. Soc.*, 16(2), 219-235.
- Teixeira, R. L. P. et al. (2021). The effects of niobium on the bioactivity of Ni-Ti-Al-Nb shape memory alloys. *Archives of Metallurgy and Materials*, 66(2). Recuperado de [https://www.imim.pl/files/archiwum/Vol2\\_2021/12.pdf](https://www.imim.pl/files/archiwum/Vol2_2021/12.pdf)
- Teixeira, R. L. P., & Silva, P. C. D. (2024). Advancing Metallic Biomaterials for Biomedical Implants: A Comprehensive Integrative Review. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(5), e05255-e05255.
- Teixeira, R. L. P., de Lacerda, J. C., Florencio, K. C., da Silva, S. N., & Henriques, A. B. (2023). TRIP effect produced by cold rolling of austenitic stainless steel AISI 316L. *Journal of Materials Science*, 58(7), 3334-3345.
- Teixeira, R. L. P., Silva, P. C. D., & de Araújo Brito, M. L. (2021). Gamificação para o ensino de engenharia no contexto da indústria 4.0: metodologia estratégica para a motivação dos estudantes. *Revista de Casos e Consultoria*, 12(1), e23964-e23964.

Teixeira, R. L. P., Silva, P. C. D., Shitsuka, R., de Araújo Brito, M. L., Kaizer, B. M., & e Silva, P. D. C. (2020, April). Project based learning in engineering education in close collaboration with industry. In *2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1945-1953). IEEE.

Teixeira, R. L. P., Silva, P. C. D., Shitsuka, R., de Araújo Brito, M. L., Kaizer, B. M., & e Silva, P. D. C. (2020, April). Project-based learning with industry as a learning strategy for improvement engineering education. In *2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1-2). IEEE.

Teixeira, R. L. P., Silva, P. C. D., & de Araújo Brito, M. L. (2019). Aplicabilidade de metodologias ativas de aprendizagem baseada em problemas em cursos de graduação em engenharia. *Humanidades & Inovação*, 6(8), 138-147.

Teixeira, R. L. P., Teixeira, C. H. S. B., & de Araújo Brito, M. L. (2018). A formação profissional do engenheiro: um enfoque nas metodologias ativas de aprendizagem em Universidade Federal. *Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica*, 2(15), e7330-e7330.

Tenreiro-Vieira, C. (2014). Perspectivas futuras de investigação e formação sobre pensamento crítico. *Revista Lusófona de Educação*, 93, 92-107. <https://doi.org/10.21814/rleu.93.07>

Unruh, D. K., & Forbes, T. Z. (2019). X-ray diffraction techniques. In *Analytical geomicrobiology: A handbook of instrumental techniques* (pp. 215-237). CRC Press.

Viana, S. C., da Silva Franqueira, A., Malta, D. P. D. L. N., Matos, E. F., do Carmo, J. P. G., dos Santos, M. L. M., ... & da Costa Mariano, T. C. G. (2024). Metodologia ativa design thinking. *Revista Contemporânea*, 4(4), e4009-e4009.

Vieira, I., Machado, C., Von Kortzfleisch, H. F. O., Zerwas, D., & Mokanis, I. (2012). Design thinking for educators (2nd ed.). Riverdale & IDEO. Recuperado de <http://www.designthinkingforeducators.com>

Whittig, L. D., & Allardice, W. R. (1986). X-ray diffraction techniques. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods* (Vol. 5, pp. 331-362). American Society of Agronomy.

X'Pert Quantify. (2024). *Quantitative phase analysis software for X-ray diffraction applications*. Leyweg. Recuperado de [https://www.malvernpanalytical.com/en/assets/Quantify\\_brochure\\_tcm50-52027.pdf](https://www.malvernpanalytical.com/en/assets/Quantify_brochure_tcm50-52027.pdf)