INTERFACE TECNOLÓGICA

DISCUSSÃO TÉCNICA DO PROCESSO DE ELETROEROSÃO A FIO E UM ESTUDO DE CASO

TECHNICAL DISCUSSION ON THE WIRE EDM PROCESS AND A CASE STUDY

Phelipe Gabriel Faccioli Paixão – phelipe.paixao@fatec.sp.gov.br
Faculdade De Tecnologia De Taquaritinga – Taquaritinga – São Paulo – Brasil

Ramílio Ramalho Reis Filho – ramilio.reis@fatec.sp.gov.br
Faculdade De Tecnologia De Taquaritinga – Taquaritinga – São Paulo – Brasil

DOI: 10.31510/infa.v22i2.2262
Data de submissão: 01/09/2025
Data do aceite: 27/11/2025
Data da publicação: 20/12/2025

RESUMO

A eletroerosão a fio é uma técnica inovadora no ramo da usinagem, amplamente utilizada para fabricação e restauração de peças com alto nível de precisão e maior qualidade de acabamento. Com este trabalho, busca-se mostrar uma ampla discussão sobre esse processo, além de suas principais vantagens e aplicações. Para tal, uma revisão bibliográfica de estudos e artigos confiáveis é a metodologia escolhida, buscando assim garantir a confiabilidade das informações através de institutos e indústrias renomados no Brasil, como também é apresentado um estudo de caso, feito em uma indústria no interior de São Paulo, que visa demonstrar a eficácia da técnica para abertura de canais de chaveta, sendo que na ocasião são realizados testes em engrenagens e eixos vazados. Fatores específicos como o tempo e a precisão do corte, bem como a minuciosidade dimensional e o acabamento superficial, são levados em conta para considerar a eletroerosão a fio uma alternativa eficiente para determinadas aplicações industriais, especialmente na produção de peças complexas e de baixa demanda. O estudo também busca deixar espaço para a realização de novos testes que possam aprimorar os parâmetros da operação, em razão de torná-la uma tecnologia ainda mais competitiva frente às técnicas tradicionais de usinagem.

Palavras-chave: Eletroerosão. Precisão. Usinagem. Acabamento.

ABSTRACT

Wire electrical discharge machining (EDM) is an innovative technique in the field of machining, widely used for the manufacturing and restoration of parts with high precision and superior surface finish. This paper aims to provide a comprehensive discussion on this process, highlighting its main advantages and applications. A literature review of reliable studies and articles serves as the chosen methodology to ensure the credibility of the information, sourced from reputable institutes and industries in Brazil. Additionally, a case

study conducted in an industry in the interior of São Paulo is presented, demonstrating the effectiveness of the technique for keyway channel opening. The case study includes tests on gears and hollow shafts. Specific factors such as cutting time, precision, dimensional accuracy, and surface finish are considered to establish wire EDM as an efficient alternative for certain industrial applications, particularly in the production of complex, low-demand parts. The study also aims to leave room for new tests that can refine the operation's parameters, making it an even more competitive technology compared to traditional machining techniques.

Keywords: Wire Electrical Discharge Machining, Precision, Machining, Surface Finish.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Guimarães e Ribeiro (2022), a eletroerosão a fio pode ser definida como uma tecnologia avançada de usinagem de alta precisão e acabamento das peças. Diante do recente avanço industrial e da crescente demanda por processos mais eficientes quanto à recuperação de componentes mecânicos, a eletroerosão tem se consolidado como uma alternativa viável às técnicas convencionais de usinagem.

Entretanto, Oliveira (2019) aponta que há desafios a serem superados, como o melhoramento da viabilidade econômica para aplicação em larga escala. A busca é, portanto, de responder ao suposto de que a eletroerosão a fio pode ser considerada uma alternativa competitiva e analisar os fatores que influenciam na eficiência do processo.

Considerando aspectos como o tempo de usinagem, a precisão dimensional e a qualidade do acabamento superficial, Oliveira (2019) mostra que é possível avaliar a eficácia da eletroerosão a fio na fabricação e manutenção de produtos oriundos da usinagem, como é o caso da abertura de canais de chaveta em engrenagens e eixos vazados, que recebe um estudo de caso neste trabalho. Além disso, busca-se identificar vantagens e limitações do processo, contribuindo para uma compreensão mais ampla sobre seu potencial de aplicação na indústria.

Diretamente ligada à necessidade crescente de processos de usinagem minuciosos, a eletroerosão a fio se apresenta como uma opção atrativa para indústrias que, segundo Simplício (2024), necessitam produzir peças complexas em pequena escala. Ao analisar um estudo de caso real, é possível oferecer uma contribuição prática para a decisão por novos processos produtivos.

Como metodologia, uma revisão bibliográfica de estudos e artigos acadêmicos na área é apresentada para trabalhar a hipótese proposta, de que essa atraente tecnologia, conforme corrobora Oliveira (2019), deve ser vista como uma alternativa competitiva para a usinagem de diversas aplicações industriais, permitindo indicar também melhorias para seu aprimoramento, como a de minimizar custos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E HISTÓRICA DA ELETROEROSÃO

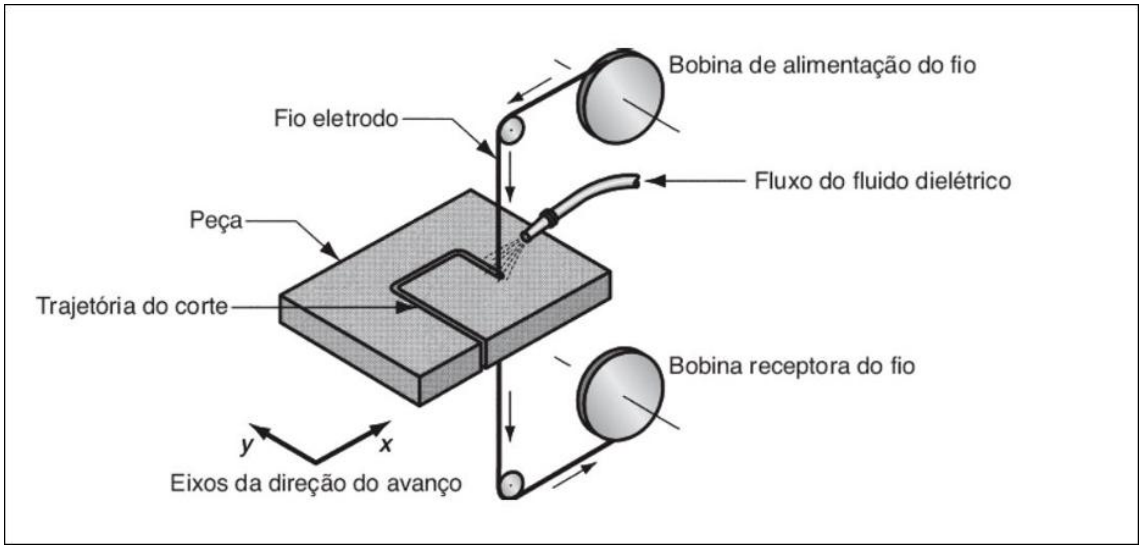
A tecnologia da eletroerosão foi descoberta no século XIX por um grupo de pesquisadores soviéticos que buscavam maneiras de evitar a erosão em contatos elétricos e desenvolveram o primeiro gerador de descargas controladas, que permitia a remoção de material metálico com precisão. Apesar disso, sua aplicação em escala industrial começou apenas no século XX, com a crescente demanda de materiais e ferramentas fabricados minuciosamente (Guimarães e Ribeiro, 2022).

Inicialmente, as indústrias usavam a técnica para o reparo e recuperação de objetos danificados, como brocas e machos, entretanto, com o aprimoramento dos processos industriais e da eletroerosão a fio, observou-se uma escalada nas pesquisas, testes e estudos, para sua aplicação em diversos tipos de usinagem (Guimarães e Ribeiro, 2022).

Apesar de ser considerada ainda recente e não convencional, a técnica da eletroerosão a fio tem se tornado cada vez mais popular nas indústrias por não apresentar contato direto entre a ferramenta e a peça de trabalho, já que se utiliza de um eletrodo constituído por uma liga condutora, geralmente cobre ou grafite, que imerso em fluido elétrico realiza o corte preciso e a remoção de resíduos (Inácio e Costa, 2018).

Para tal, o fio eletrodo é avançado pela peça para conseguir a linha de corte previamente tracejada. Conforme demonstrada na imagem a seguir, Guimarães e Ribeiro (2022) explicam que “para gerar na peça com uma geometria constante, o eletrodo é alimentado lenta e continuamente entre uma bobina de alimentação e uma bobina de recepção”.

Imagem I – Processo de Eletroerosão a fio



Fonte: Guimarães e Ribeiro (2022).

Com a necessidade de aprimoramento das técnicas em todo o ramo industrial, a eletroerosão a fio tem se destacado pela eficiência na usinagem de peças complexas e de geometria difícil de ser alcançada por métodos convencionais. A técnica permite cortes finos em materiais altamente resistentes, como ligas metálicas, ou até mesmo materiais cerâmicos, sem causar danos térmicos às peças (Erbert, 2013).

Outro ramo da usinagem que, atualmente, tem se adequado ao uso da técnica é a indústria de moldes e matrizes, em que a precisão e a qualidade das superfícies são requisitos indispensáveis. No entanto, já é possível observar a aplicação da eletroerosão a fio em inúmeros ramos, como automotivo, aeroespacial e eletrônico (Simplício, 2024).

O aumento na demanda tende a se expandir cada vez mais, à medida que os equipamentos e eletrodos apropriados tornem-se mais acessíveis à indústria convencional, impulsionado também pelos sistemas de controle e automação, bem como a gradual implantação da inteligência artificial para aperfeiçoar os processos e controles dos mais variados âmbitos do cotidiano da usinagem (Simplício, 2024).

2.1 Vantagens, desvantagens e aplicações

A principal vantagem largamente apontada pelo uso da eletroerosão a fio é a alta precisão da erosão, que consequentemente é capaz de entregar um acabamento altamente

minucioso. Além disso, Santos (2017) cita a alta eficiência da técnica em materiais mais duros e a possiblidade de fabricar geometrias complexas sem força de corte.

No entanto, Santos (2017) destaca que essa tecnologia ainda possui custo bem elevado quanto comparado às técnicas convencionais, tendo em vista que seu tempo de usinagem é maior e o desgaste do eletrodo também ocorre de maneira consideravelmente elevada.

Quanto ao seu uso nas últimas décadas, é importante mencionar que a eletroerosão a fio possui aplicação na indústria cada vez mais ampla, abrangendo punções de zona cega, peças como eixos e engrenagens com pequenos detalhes, matrizes e moldes para injeção de plásticos, estamparia e fundição, bem como a fabricação de chavetas e outros componentes entalhados (Santos, 2017).

3 ESTUDO DE CASO

Localizada no município de Monte Alto, interior de São Paulo, a indústria Weg-Cestari (WCES), especializada em redutores e motorredutores, publicou em junho de 2023 uma análise técnica interna contendo proposta de abertura de canal de chaveta em engrenagens e eixos vazados, com processo de eletroerosão a fio.

A proposta menciona a realização de testes usando a técnica em peças com canais com largura acima de 20 mm, e até 700 mm de comprimento, buscando reduzir o investimento com equipamentos tradicionais, tal qual a brochadeira com alta capacidade, e o custo com brochas e dispositivos para peças com baixa demanda, já que se trata de ferramentas de elevado valor para aquisição (WCES, 2023).

Além dos objetivos principais acima mencionados, a empresa buscou alcançar tempos de processo que atendam à demanda, que apesar de ser pouco superior ao processo de brochadeira, ainda assim se mantém atrativo, conforme explica o relatório da WCES (2023).

Para realização dos testes, a empresa disponibilizou duas máquinas de eletroerosão a fio com potência de 40A e altura máxima de corte de 300 mm, do fornecedor Sodick. Com o objetivo de verificar os parâmetros de processo entre a especificação do fornecedor e os testes com os componentes, a WCES (2023) explica que realizou os testes de abertura do canal em dois tipos de peças, sendo uma engrenagem endurecida e um eixo em material SAE 1045.

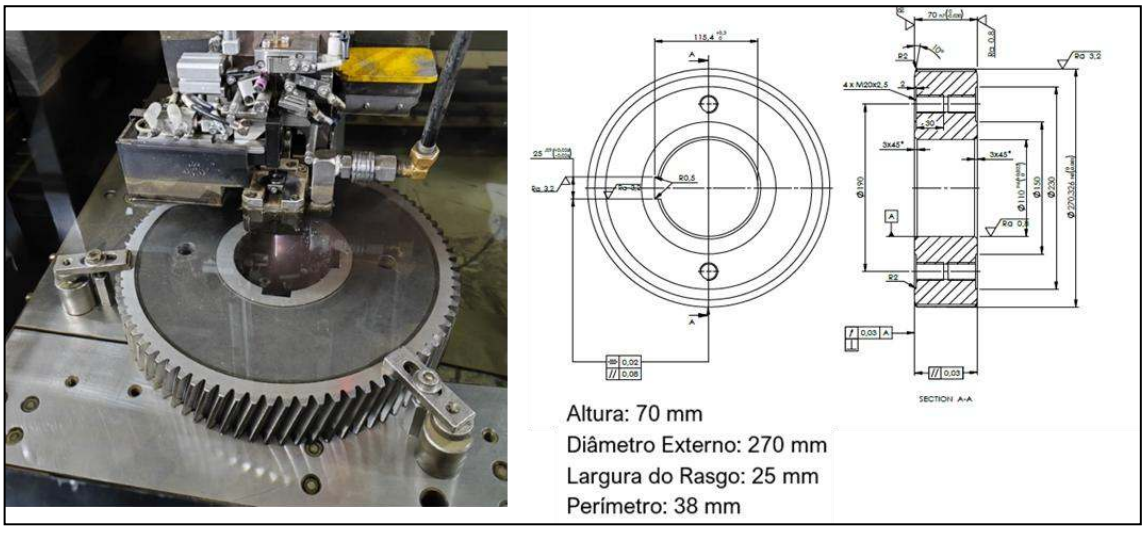
3.1 Detalhes dos testes

Os testes foram realizados com um fio de cobre de 0,25mm de espessura, cuja passagem ocorre de forma automática por meio de um jato de água. O *setup* do equipamento leva cerca de 30 minutos, e também segundo a WCES (2023), a qualidade do fluido utilizado influencia diretamente no processo.

Os parâmetros de corte são calculados e controlados pelo Controlador Lógico Programável (CLP) ou pelo próprio comando do equipamento. Para isso, o relatório da WCES (2023) explica que o colaborador apenas insere os dimensionais da peça, permitindo que a máquina determine automaticamente as configurações ideais. No momento, o fornecedor não possibilita o manuseio com alturas superiores a 300 mm por ainda não fabricar máquinas capazes desta operação.

O primeiro teste foi de abertura de canal de chaveta com largura de 25 mm e altura de 70 mm em uma engrenagem WGOGW16603507110, conforme especificada na imagem abaixo, cortada em eletroerosão a fio com equipamento Sodick modelo AG600L, ano de fabricação 2014, com potência de 40A (WCES, 2023).

Imagem II – Características da engrenagem

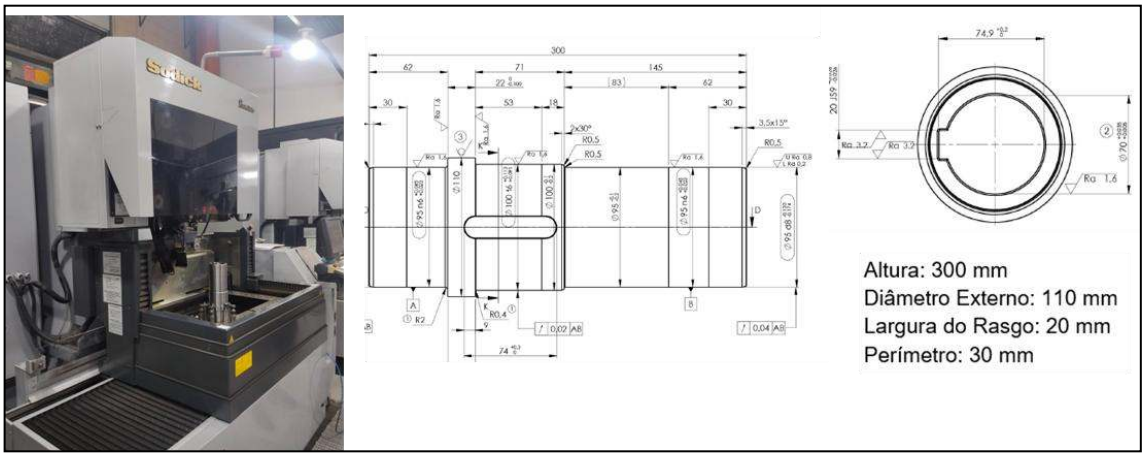


Fonte: WCES (2023).

O segundo teste foi de abertura de canal de chaveta com largura de 20 mm e altura de 300 mm em um eixo vazado WGHSF09070S, conforme especificada na imagem abaixo,

cortado em eletroerosão a fio com equipamento Sodick modelo AQ537L, ano de fabricação 2005, com potência de 40A (WCES, 2023).

Imagem III – Características do eixo vazado



Fonte: WCES (2023).

Para ilustrar o processo de eletroerosão a fio e complementar a descrição dos testes realizados, foram capturadas imagens ao longo da execução do trabalho. As fotografias registram desde a interface do equipamento, com os parâmetros de corte programados, até a estrutura da máquina utilizada (WCES, 2023).

Imagem IV – Capturas durante os testes realizados com equipamento Sodick



Fonte: WCES (2023).

Essas imagens permitem uma visualização mais clara do funcionamento da máquina Sodick, destacando aspectos como o controle do processo por meio do painel de operação e o ambiente fabril onde os testes foram conduzidos (WCES, 2023).

3.2 Resultados obtidos

A fim de facilitar a leitura dos resultados da pesquisa, a WCES (2023) forneceu em seu relatório tabela exposta a seguir contendo os principais retornos obtidos em relação aos parâmetros de corte, tempo e características das peças processadas.

Tabela I – Resultados atingidos no estudo

Parâmetro	Engrenagem	Eixo vazado
Avanço de corte (mm/min)	2,8	0,25
Tempo de corte (min)	15	132
Rugosidade (Ra)	2,8	1,5
Simetria (mm)	0,008	0,012
Largura (mm)	24,998	20,013

Fonte: WCES (2023).

Como uma anamnese geral, os valores mostraram uma combinação de maior avanço de corte e menor tempo de corte, o que se reflete em um processo mais eficiente. Além disso, a rugosidade das superfícies (Ra) da engrenagem e do eixo vazado foram medidas, com a engrenagem alcançando um valor ligeiramente maior, e a simetria apontando valores próximos, o que reflete a precisão do corte por eletroerosão a fio (WCES, 2023).

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a realização de testes de abertura de canal de chaveta em engrenagens e eixos, vazados em máquinas similares à proposta, e discussão técnicas com especialistas em corte com erosão a fio, pôde-se obter o resultado de que a proposta apresentada atende as necessidades da WCES no processo de abertura de canal de chavetas com largura acima de 20 mm, e até 700 mm de comprimento. Na imagem a seguir, divulgada do relatório interno da WCES (2023), é possível observar a comparação dos objetivos propostos com os resultados atingidos no estudo.

Imagem V – Relatório comparativo

Componente	Características /Parâmetros	Proposto	Atingido no teste
Engrenagem (Lote 1 peça) 	Altura (mm)	70	70
	Diâmetro Externo (mm)	270	270
	Largura do Rasgo (mm)	25	25
	Perímetro (mm)	38	38
	Avanço de corte (mm/min)	3,2	2,8
	Tempo de corte (min)	12	15
	Rugosidade (Ra)	3,2	2,8
	Simetria (mm)	0,02	0,008
	Largura (mm)	24,974 - 25,026	24,998
Eixo vazado (Lote 1 peça) 	Altura (mm)	300	300
	Diâmetro Externo (mm)	110	110
	Largura do Rasgo (mm)	20	20
	Perímetro (mm)	30	30
	Avanço de corte (mm/min)	0,3	0,25
	Tempo de corte (min)	107	132
	Rugosidade (Ra)	3,2	1,5
	Simetria (mm)	0,02	0,012
	Largura (mm)	19,974 - 20,026	20,013

Fonte: WCES (2023).

Os testes buscam validação dos tempos propostos, carga máquina e os dimensionais dos cortes conforme especificações do projeto, e os tempos de processo e parâmetros de qualidade foram obtidos utilizando equipamentos com potências de 40A, além de que a proposta prevê uma máquina de 60A. Portanto, os avanços de corte devem ser cerca de 20 a 30% superiores aos obtidos, com redução no tempo de ciclo (WCES, 2023).

Esses resultados fornecem uma base sólida para a análise do desempenho do processo de eletroerosão a fio, permitindo uma compreensão detalhada da interação entre os parâmetros operacionais e os resultados obtidos nas diferentes peças testadas (WCES, 2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eletroerosão é um processo de usinagem avançado e essencial para a indústria moderna. Sua capacidade de produzir peças com alta precisão e excelente acabamento

superficial a torna indispensável para dados setores da usinagem, como a indústria de moldes e matrizes. Apesar de algumas limitações como o tempo de usinagem prolongado e os custos elevados, a eletroerosão continua sendo uma tecnologia relevante para a fabricação de componentes complexos.

No estudo de caso realizado na empresa Weg-Cestari (WCES), os testes comprovam que a eletroerosão a fio é capaz de atender às exigências dimensionais e de acabamento superficial dos componentes analisados. Comparado a métodos convencionais como a brochadeira, a técnica apresenta vantagens significativas em termos de precisão e flexibilidade. A substituição de equipamentos tradicionais por essa tecnologia é, então, viável para aplicações específicas, enfatizando as produções de menor escala, tendo em conta os custos elevados com ferramentas e maquinários.

Os resultados obtidos reforçam a relevância do processo para a indústria e torna evidente seu desempenho na aplicação em fabricação de engrenagens, eixos e outros diversos componentes críticos e geometrias complexas. O estudo também deixa espaço para a realização de novos testes que podem ser conduzidos para aprimorar os parâmetros de corte e o tempo de operação, em busca de fazer da eletroerosão a fio uma tecnologia ainda mais competitiva frente às técnicas tradicionais de usinagem.

REFERÊNCIAS

ERBERT, H. **Análise de Alguns Parâmetros Tecnológicos da Usinagem.** Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2013. Disponível em <http://pelicano.ipen.br/pibic/2013/livro-resumo-2013/LIVRO-PIBIC-2013.pdf>. Acesso em 27 fev. 2025.

GUIMARÃES, D. O. T.; RIBEIRO, F. S. F. **Análise do processo de eletroerosão e condições finais do componente fabricado.** Ourinhos: Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos, 2022. Disponível em <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/221110933.pdf>. Acesso em 26 fev. 2025.

INÁCIO, R. H.; COSTA, C. B. **Avaliação da circularidade na eletroerosão a fio do aço AISI P20.** São Paulo: Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 2018. Disponível em <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/eletroerosao>. Acesso em 26 fev. 2025.

OLIVEIRA, L. F. B. **Ativação da Superfície da liga Ti-6Al-4V através de Eletroerosão.** Belo Horizonte, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019. Disponível em <https://sig.cefetmg.br/sigaa/verArquivo?idArquivo=2406058&key= 4322bbe62d42b2bbec2becafbe515778 >. Acesso em 27 fev. 2025.

SANTOS, R. A. O. **Projeto preliminar de eixos e chavetas para sistemas de transmissão por engrenagens cilíndricas utilizando a linguagem VBA.** Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista, 2017. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/ bitstreams/a029e5e6-dd8b-4f07-ae4d-c5b44eaa31d6/content>. Acesso em 26 fev. 2025.

SIMPLÍCIO, E. R. **Eletroerosão na Indústria: entendendo a tecnologia e as soluções.** Caxias do Sul, Informativos Industriais: 2024. Disponível em <https://eurostec.com.br/ eletroerosao-na-industria-entenda-a-tecnologia.pdf>. Acesso em 22 fev. 2025.

WCES, Weg-Cestari Redutores e Motorredutores SA. **Analise técnica da proposta de abertura de canal de chaveta em engrenagens e eixos vazados com processo de erosão a fio.** Monte Alto: Departamento de Engenharia Industrial, p.1-4, 2023.