# MÁQUINAS E MECANISMOS DE LEONARDO DA VINCI E CAD MECÂNICO – VIRABREQUIM

**Evandro Cardozo da Silva**

*Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Campus Joinville, Joinville, Brasil*

*Resumo:* Este trabalho é o registro e divulgação do desenvolvimento da temática Máquinas e Mecanismos de Leonardo da Vinci abordado em aulas de desenho de engenharia (Representação Gráfica e Desenho e Modelagem). A representação com interpretação livre destes inventos como projetos mecânicos implementados no CAD 3D SolidWorks® nos últimos 16 anos desempenhou um papel importante no ensino de desenho nos cursos do departamento de Engenharias da Mobilidade. Não é um processo fácil de ser ensinado nas fases iniciais de um curso de engenharia com base mecânica, onde análise e exploração de conceitos mecânicos ainda são incipientes. Para formar os futuros profissionais esta experiência, adotada no ensino e pesquisa, deve ser levado como modelo para adotar a tecnologia CAD em todas as disciplinas dos cursos, principalmente as profissionalizantes com aulas virtuais do conteúdo em CAD que já são prática de desenvolver protótipos virtuais é uma alternativa economicamente viável para condições deficitárias de infraestrutura para criar protótipos físicos que são trabalhosos e demandam muito mais tempo para serem implementados. Os modelos físicos de máquinas, como a coleção de Reuleaux de mecanismos cinemáticos da Universidade de Cornell, são substituídos por protótipos virtuais (PV). Porém, dentro de limitações, a tecnologia da impressão 3D (RP) pode resgatar modelos físicos ainda definidos como recursos didáticos de modelos funcionais para o ensino de conceitos mecânicos como a cinemática e é forte aliada para validar o que podemos simular em PV funcionais.

*Palavras-chave*: Mecanismos, Leonardo da Vinci, Virabrequim, CAD, VP

## INTRODUÇÃO

Os mecanismos e máquinas conhecidos são resultado de séculos de contribuições de indivíduos que tem seus registros como modelos e ideias ainda em uso. Podemos resgatar da Grécia Antiga os inventos de Arquimedes de Siracusa (287 a.C. – 212 a.C.) que foram reproduzidos e aperfeiçoados como o parafuso de Arquimedes que Leonardo da Vinci (1452 – 1519) adotou. Para a matemática, Arquimedes contribui com o valor do número pi que Isaac Newton (1643 – 1727) compreendeu e aplicou 18 séculos depois.

Interpretar a história de grandes gênios da humanidade, resgata como seus inventos foram decisivos para ensinar hoje o que é essencial para a formação de engenheiros. Este conhecimento se relaciona com o desenvolvimento da Geometria, que tem seu principal registro a obra "Os Elementos" de Euclides (330 a.C.), as primeiras vistas de conjunto explodido de Leonardo da Vinci na Renascença e com a evolução da Geometria Descritiva para o Desenho Técnico com Gaspar Monge (1746 – 1818) no século 18 foi fundamental para o início da Primeira Revolução Industrial (indústria 1.0).

Com os recursos de CAD 3D, a exemplo do CAD mecânico SolidWorks®, podemos fazer a análise de engenharia na integra, da cinemática e dinâmica de máquinas e mecanismos a sua análise estrutural. Na primeira fase de um curso de engenharia é importante motivar o ingressante a estudar e reconhecer que entendimento e domínio de um sistema CAD atual e da linguagem do desenho técnico são essenciais para a sua formação. Com nosso estudo de inventos de Leonardo da Vinci (LdV), adotado em projetos das disciplinas Representação Gráfica e Desenho e Modelagem Geométrica nos últimos 16 anos, são publicados os resultados em disciplina de Mecanismos e seu significado em cursos de base engenharia mecânica.

## DESENVOLVIMENTO DE MECANISMOS

Máquinas e mecanismos são inventados por milhares de anos gerando eras de desenvolvimento humano. A partir de 1965, com a descoberta das notações do Codex Madrid de Leonardo da Vinci (LdV), temos um registro importante do projeto de máquinas da tecnologia Renascentista (Moon, 2007). O objetivo deste projeto é atender a um currículo de engenharia

de base mecânica, interpretando de forma livre estes projetos com os recursos de um programa CAD (SolidWorks®).

Ensinar desenho de engenharia é estudar CAD na origem das máquinas da Era das Máquinas do século 19 com Franz Reuleaux (1829-1905) que iniciou na Renascença com Leonardo da Vinci (1452-1519) (Moon, 2007) e sua relação com a coleção da Universidade de Cornell (Moon, 2004) que é uma contribuição alemã para modelos de mecanismos de máquinas adotado pela Universidade de Kyoto do Japão (Shiroshita et al., 2001).

O início da construção de máquinas em elementos básicos do projeto de máquinas, tem origem na Renascença e tem seu paralelo com a teoria de classificação formal de Reuleaux na Era Industrial (Moon, 2007). A comparação de elementos cinemáticos no projeto de máquinas pode ser entre o livro de Reuleaux, notas do Codex Madrid I de LdV com a interpretação livre do autor com CAD atual (Figura 1, adaptado de Moon, 2007).

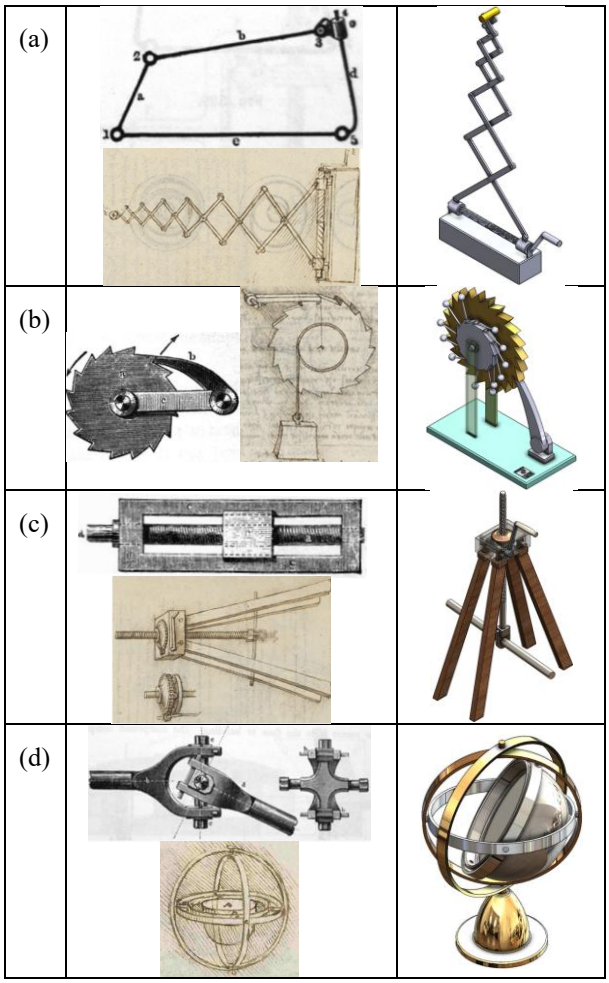



Figura 1. Comparação de elementos cinemáticos de Franz Reuleaux, Leonardo da Vinci e do autor no CAD (SolidWorks®): (a) juntas, (b) catraca, (c) cadeia de parafuso e (d) junta esférica.

A aplicação da tecnologia CAD, que surgiu no início da década de 60, representou uma mudança significativa do processo de projeto e detalhamento mecânico (Figura 2, adaptado de Apilluelo *et al.*, 2000). Até cerca de 50 anos atrás, praticamente todos os desenhos técnicos produzidos no mundo eram feitos a lápis ou tinta através do processo manual que apresentava deficiências.

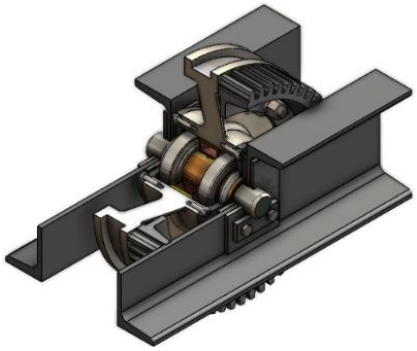


Figura 2. Exemplo de modelo mecânico em um programa CAD.

## METODOLOGIA

Apresentar os resultados obtidos no trabalho e sua discussão em relação ao conhecimento já disponível. Nos resultados poderão ser apresentadas tabelas, gráficos e outras ilustrações que sejam essenciais à boa compreensão do texto. A proposta deste trabalho é estudar os projetos de Máquinas e Mecanismos desenvolvidos por Leonardo da Vinci com a tecnologia de CAD atual. Nas anotações do Códice Madrid I (Leonardo Interactivo, 2024) encontram-se 376 páginas preservadas com os registros dos esboços e descrições de uma grande quantidade de máquinas e mecanismos, experimentos e estudos de mecânica, hidráulica, termodinâmica, mecânica dos fluídos, etc. Nestes registros e outros disponíveis, encontramos inventos que revolucionaram a mecânica, como: bicicleta, helicóptero, tanque, carro, paraquedas, ornitóptero, rolamento de esferas, etc. Hoje temos o CAD para criar protótipos virtuais (Virtual Prototype-VP) de produtos, e, protótipos de inventos de LdV podem ser obtidos com as tecnologias de impressão 3D por prototipagem rápida (Rapid Prototyping-RP). Lipson *et al.* (2005) confirma que modelos físicos desempenharam papel importante na história da engenharia para o ensino, análise e explorar conceitos mecânicos com a impressão de um mecanismo biela-manivela e rosca sem-fim denominado como virabrequim de LdV e neste trabalho modelado em CAD (VP).

Nas disciplinas de Desenho e Modelagem Geométrica (DMG) e Representação Gráfica (RG) são avaliados os trabalhos de equipes de projetos de Máquinas e Mecanismos de Leonardo da Vinci, com o objetivo de representar através do Desenho Técnico (DT),

conforme a norma ABNT, utilizando uma ferramenta CAD (SolidWorks®). Os conceitos fundamentais de Desenho Geométrico (DG), Geometria Descritiva (GD) e Desenho Técnico (DT) se representam na habilidade do uso de instrumentos de desenho com uso do esboço à mão livre, régua e compasso e par de esquadros. Esta proposta pedagógica se operacionaliza com a desenvolver um projeto básico utilizando um sistema CAD para montar conjunto e defini-lo virtualmente funcional para RG. O desafio da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP ou PBL - Project-Based Learning) é incrementado na 2a Fase dos cursos de engenharia do Departamento de Engenharias da Mobilidade com a apresentação de protótipo físico funcional com modelo em impressão 3D (fabricação aditiva), marcenaria, etc., na disciplina de DMG.

## MODELAGEM CAD

O projeto em desenvolvimento, para atender ao estágio inicial na formação de cursos de engenharia, compreende estudar as Máquinas e Mecanismos de Leonardo com o recurso da computação gráfica. A primeira fase do projeto especifica mecanismos que utilizam elementos básicos da indústria moderna que possuem registro gráfico de notações de LdV. Com uma ferramenta CAD3D podemos criar VP dos seus inventos estudando e aplicando conceitos de disciplinas de engenharia de um currículo contemporâneo.

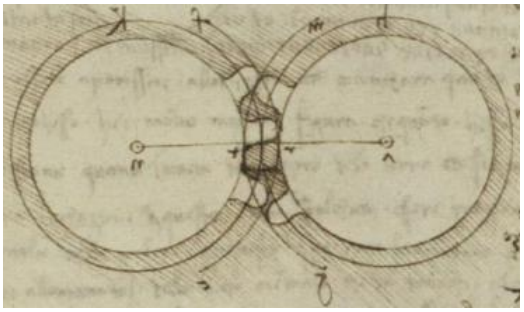
Para progredir de uma ideia para o projeto final, é preciso criar esboços das ideias, analisar movimentos, dimensões, especificar materiais, métodos de produção e fabricação por impressão 3D e elaborar leiautes do projeto. Com todos os planos esboços de Leonardo é preciso fazer a leitura das máquinas e mecanismos reproduzindo o projeto original com relação as tecnologias atuais e que se relacionam.

É possível acessar o Códices de Madri I-II no site da biblioteca nacional da Espanha onde os manuscritos de LdV oferecem muitos desenhos de alta qualidade representando máquinas e seus elementos (Leonardo Interactivo, 2024). Os comentários, que dizem respeito ao processo cinemático e suas dificuldades, são apresentados por um projeto de Instituto Histórico RWTH da Universidade de Aachen (Alertz *et al.*, 2024).

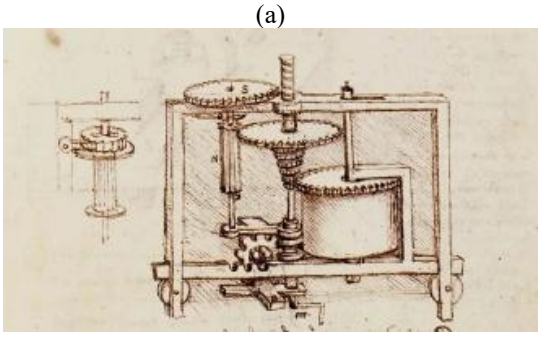
Leonardo viveu no período da Renascença Italiana, tendo criado vários inventos e descobertas como engenheiro e cientista, estando séculos a frente de seu tempo e é referência para a engenharia moderna. Muitas das suas criações se refletem no desenvolvimento da humanidade e inspiraram várias máquinas e mecanismos que adotamos e aprimoramos até os nossos dias.

### Engrenagens

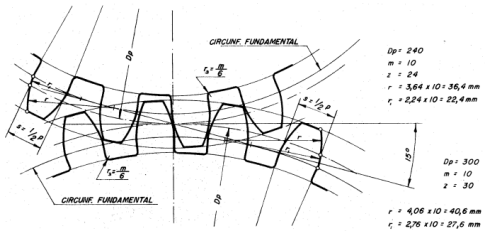
A engrenagem é um elemento de máquina dentado usado em sistemas de transmissão de potência para transmitir movimento e torque através do acoplamento entre os dentes de duas ou mais engrenagens. No registro do Codex Madrid (Leonardo Interactivo, 2024) vemos claramente as representações dos estudos de engrenagens (Figura 3a) e suas aplicações em mecanismos elaborados (Figura 3b). O 2-D do engrenamento adota forma simplificada com perfil evolvente de dente de engrenagem (Figura 3c) como base do desenho técnico aplicado em um sistema CAD (Pro-Tec, 1991).



(a)



(b)



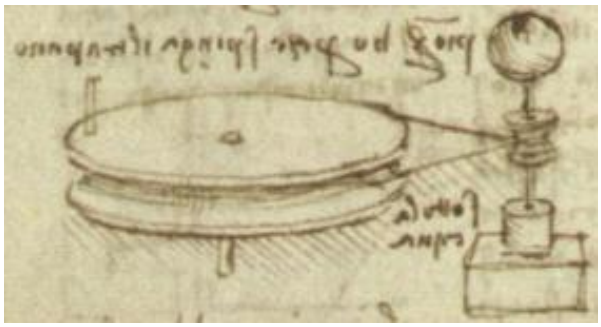

(c)

(d)

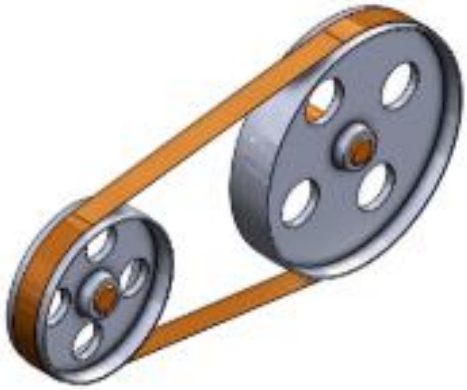
Figura 3. Modelo de engrenagens de LdV: (a) estudo de engrenamento, (b) mecanismo (coração), (c) modelo de DT atual e (d) CAD do autor.

**Polias e correias**

Os tipos principais e correspondentes polias são definidos por correias planas com polias abauladas, correias redondas e em V com polias ranhuradas ou roldanas e correias sincronizadoras requerem rodas dentadas. Uma criação de LdV está no uso de polias e correias aplicadas em vários dispositivos de transmissão de movimento com e sem inversão e foi ilustrado em um mecanismo de furadeira manual (Figura 4a) que hoje é representado com características de elementos mecânicos funcionais em um sistema CAD (Figura 4b e 4c).



(a)



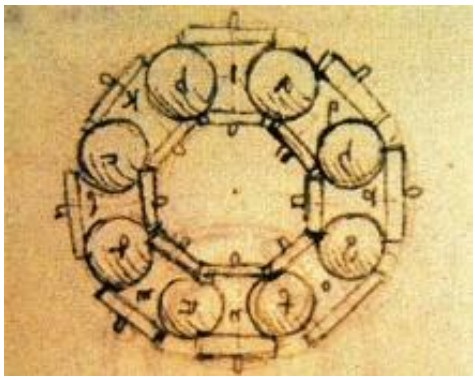
(b)

(c)

Figura 4. Modelo de polias e correias: (a) de LdV (furadeira manual), (b) sistema de correia plana (CAD) e (c) correia em V (CAD).

**Rolamentos**

Pode ser considerado o primeiro rolamento com as características de redução de atrito entre as esferas que não se tocam devido a um separador projetado por LdV (Figura 5a), modelado no CAD (Figura 5b), e que equivale a gaiola do rolamento que é modelado pelo autor (Figura 5b), representando rolamentos que surgiram só no início do século 20.



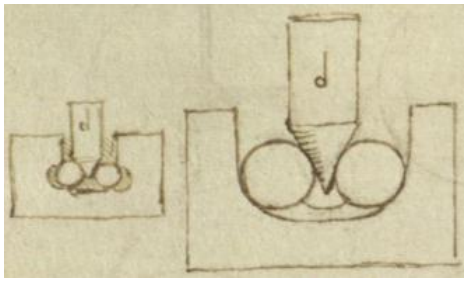
(a)

(b)

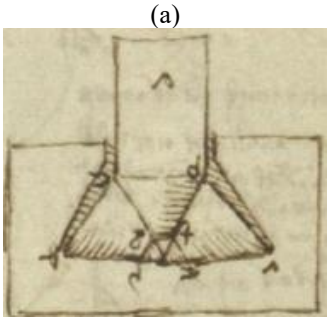
(c)

Figura 5. Modelo de rolamento de esferas: (a) de LdV, (b) representado no CAD e (c) CAD com corte do autor.

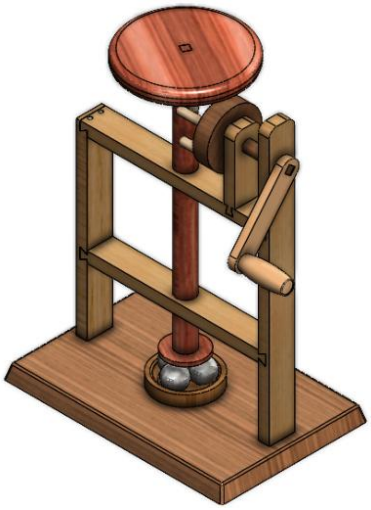
Outras ilustrações de LdV de rolamento de esferas (Figura 6a) com o funcionamento engenhoso para a disposição axial de apoio a um eixo de um mecanismo modelado com interpretação livre e funcional pelo autor (Figura 6b).



(a)



(b)

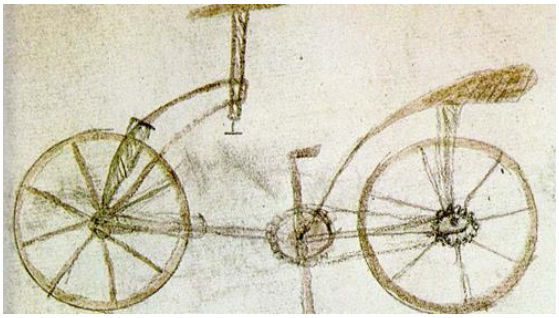


(c)

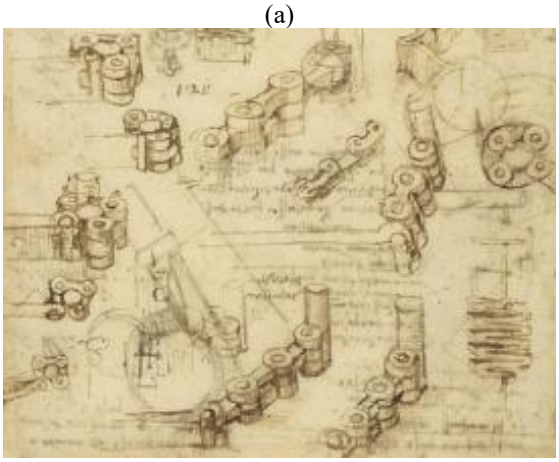
Figura 6. Modelo de rolamento esferas axiais: (a) de LdV e (b) CAD do autor.

**Transmissão por corrente**

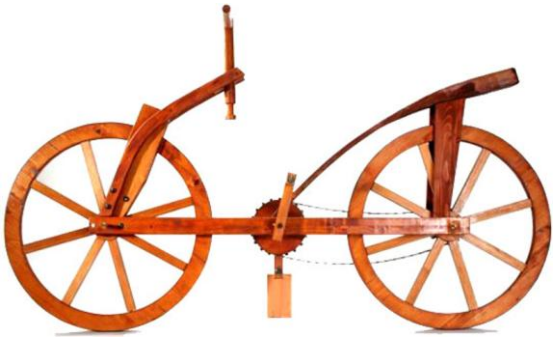
Características básicas de transmissão por corrente incluem: razão constante, uma vez que nenhum escorregamento nem fluência estão envolvidos; vida longa; e a capacidade de acionar vários eixos a partir de uma única fonte de potência (Shigley, 2011). A bicicleta inventada por LdV (Figura 7a) mostra uma aplicação prática da transmissão por corrente de roletes (Figura 7b) e sua reprodução em modelos de madeira (Figura 7c). O sistema proposto por Leonardo só seria adotado no início do século 20 e que no presente pode ser totalmente modelado em um sistema CAD (Figura 7d) que segue o engranzamento de uma corrente e roda dentada para transmitir potência também em motocicletas com características específicas do veículo motor de duas rodas e de máquinas.



(a)



(b)



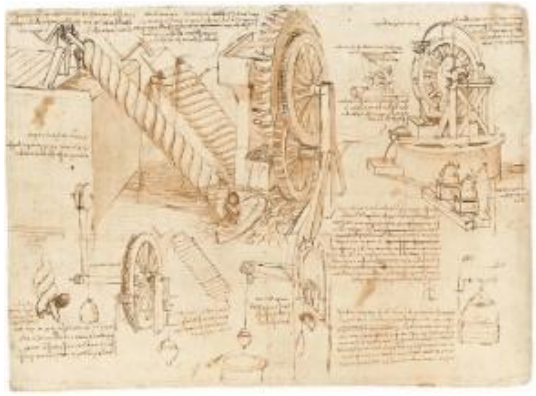
(c)

(d)

Figura 7. Modelo de transmissão por corrente: (a) bicicleta de Leonardo, (b) estudos de elos de corrente de Leonardo, (c) físico (maquete em madeira) e (d) CAD do autor.

**Parafuso**

Ideia para uma máquina de movimento perpétuo usando um parafuso de Arquimedes (Figura 8a) por LdV (Rossi, 2006), avaliando o valor de projetar esta máquina em que há certos problemas que jamais conseguiremos resolver, mas é muito útil entender por quê. “Entre as possíveis decepções do homem está a busca pelo movimento perpétuo, chamado por alguns de moto-contínuo”, declarou no Codex Madrid I (Isaacson, 2017). Leonardo inspirado no parafuso de Arquimedes concebeu um parafuso em que a hélice foi substituída por um tubo helicoidal que representa na prática um parafuso de rosca sem fim (Figura 8b).

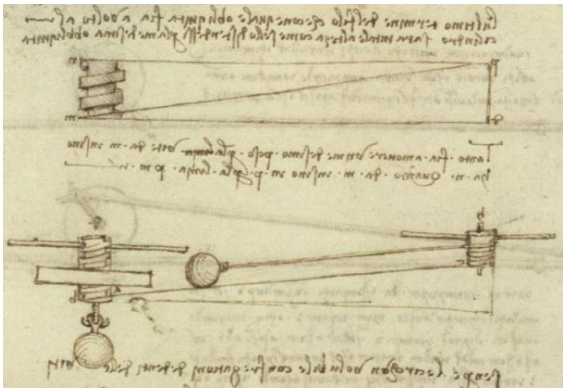


(a)

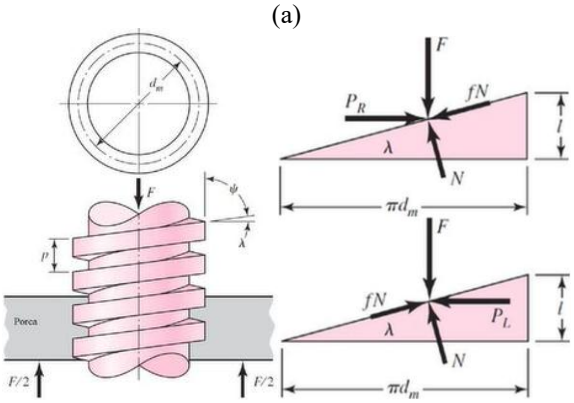
(b)

Figura 8. Modelo parafuso sem-fim: (a) de Leonardo como parafuso de Arquimedes e (b) CAD do autor.

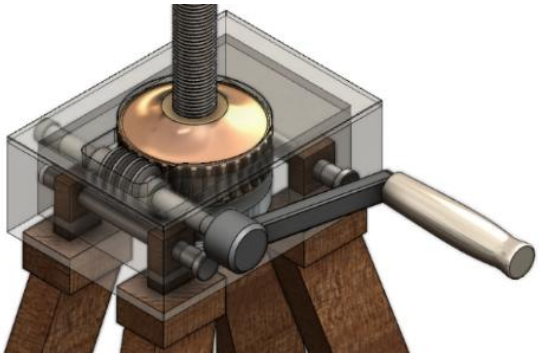
O parafuso de potência é um dispositivo usado para transformar o movimento angular em movimento linear para transmitir potência a partir do conceito de rosca. É estudado por LdV (Figura 9a) e abordado na área de projeto de engenharia mecânica como livro “Elementos de Máquinas de Shigley” com diagramas das forças atuantes nos filetes (Figura 9b) e detalhe do macaco mecânico com parafuso de coroa sem fim (Figura 9c) inspirado em LdV (Figura 1).



(a)




(b)

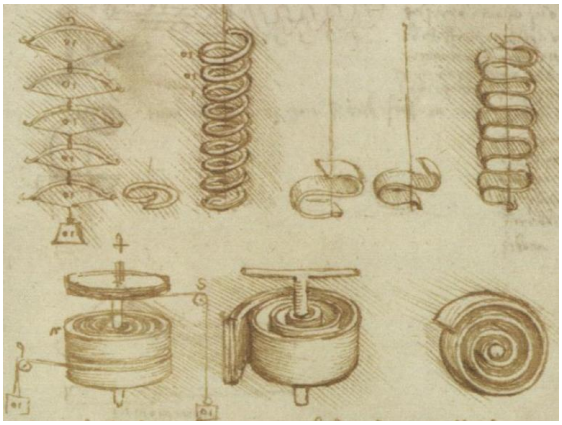


(c)

Figura 9. Parafuso de potência: (a) de Leonardo, (b) diagrama de força e (c) CAD do autor.

**Molas**

As molas são componentes elásticos mecânicos mais conhecidas como helicoidais de compressão e molas de torção já estudas por LdV (Figura 10a) e aplicada na engenharia mecânica na suspensão de veículos e sistemas de amortecimento (Figura 10b).



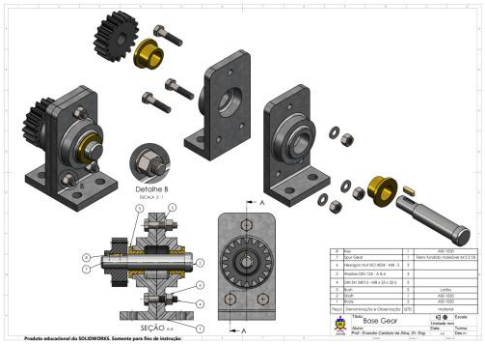
(a)

(b)

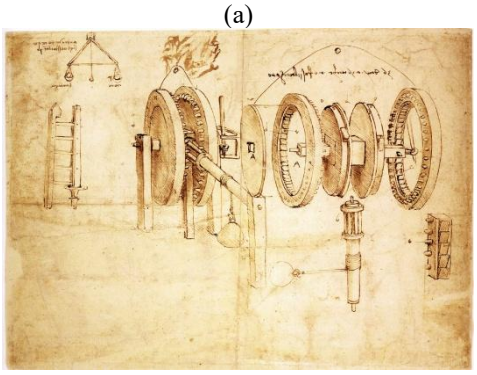
Figura 10. Representação de molas: (a) desenho espiral e de torção de LdV e (b) amortecedor no CAD.

**Conjunto montado**

Um desenho de conjunto mostra a máquina ou equipamento montado, com todas as peças individuais em suas posições funcionais. Em um sistema CAD podemos gerar um desenho de conjunto montado, explodido e em corte (Figura 11a). Leonardo representa uma grua e seus componentes tendo o mecanismo montado do lado esquerdo da página e a vista explodida de cada um dos componentes completam o desenho em perspectiva e sombreado (Figura 11b) do registro no Código Atlântico de Leonardo da Vinci (Rossi, 2006).



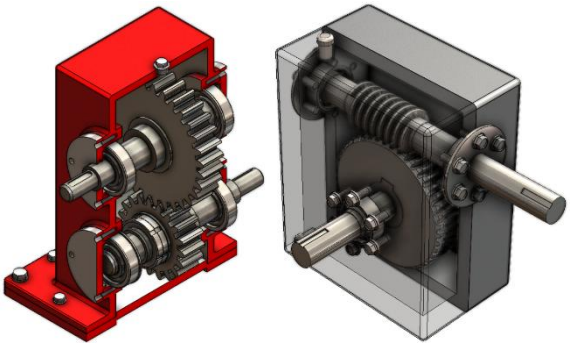
(a)



(b)

Figura 11. Desenho de conjunto: (a) em folha A2 no CAD e (b) grua de Leonardo.

Referências de desenho técnico podem ser reproduzidos em CAD (Figura 12a) e inúmeros tutoriais podem ser encontrados da grande maioria de modelagem de máquinas e mecanismos (Figura 12b).



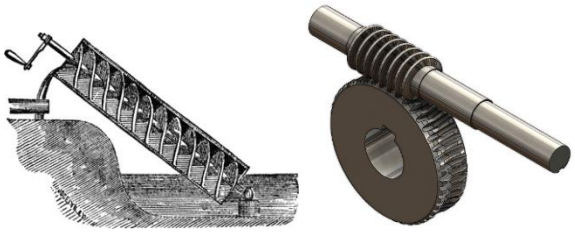
(a) (b)

Figura 12. Desenho de conjunto no CAD: (a) caixa de engrenagens de dente reto e (b) caixa com engrenagem coroa e pinhão.

## RESULTADOS

**Projeto CAD**

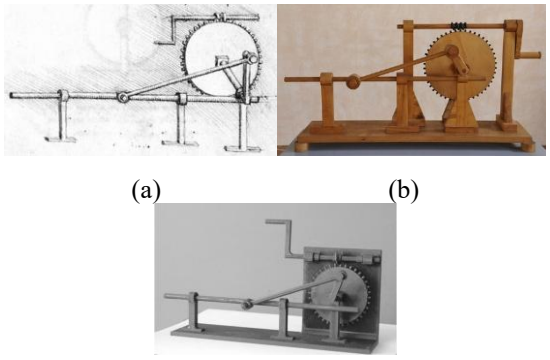
O projeto em CAD é o mecanismo conhecido como virabrequim de LdV, que é a evolução e aplicação de conceitos como o parafuso de Arquimedes (Figura 13a) e a combinação da engrenagem helicoidal e o parafuso sem-fim (Figura 13b). O parafuso sem-fim, aplicado desde a antiguidade, tem ainda inúmeras aplicações nas máquinas modernas.



(a) (b)

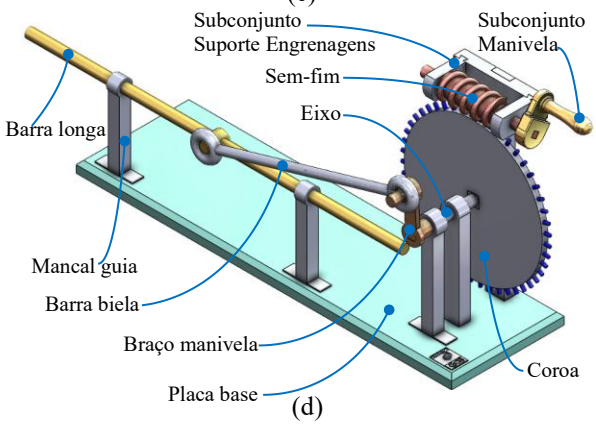
Figura 13. Evolução do parafuso de Arquimedes: (a) desenho do sistema de parafuso de Arquimedes e (b) CAD do parafuso sem-fim acoplando em uma engrenagem helicoidal.

O movimento de virabrequim acionado por parafuso sem-fim e roda dentada é o estudo de Leonardo da composição de sistemas mecânicos inventados para acionar mecanismos funcionais (Figura 14a), com modelo em madeira (Catto, 2025) (Figura 14b), modelo de impressão 3D (Lipson *et al.*, 2005) (Figura 14c) bem como modelo VP em um sistema CAD (Figura 14d), também funcional.



(a) (b)

(c)




(d)

Figura 14. Mecanismo de manivela e engrenagem sem-fim (virabrequim): (a) esboço de LdV, (b) modelo em madeira, (c) modelo de impressão 3D por RP e (d) modelo CAD do autor.

A grande vantagem do uso de um sistema CAD para projetos de engenharia está na facilidade com que se pode construir mecanismos e máquinas com grande rapidez e precisão (Figura 15). Sendo possível representar no ambiente virtual todos os conceitos que normalmente são vistos no desenho com instrumentos na prancheta e que muitas vezes são extremamente complexos e trabalhosos para serem estudados e implementados no papel.

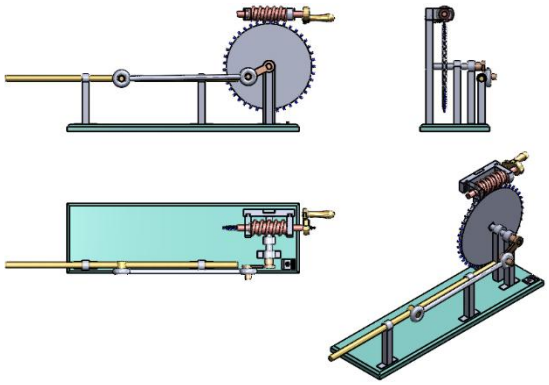
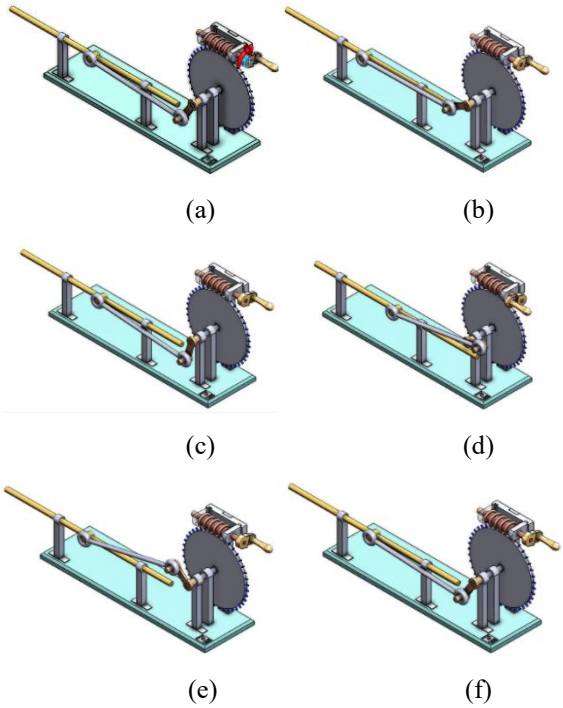


Figura 15. Modelo CAD (projeção e isométrica) do mecanismo de manivela e engrenagem sem-fim de Leonardo

Animação 3D é definida no estudo do movimento inserindo um motor rotativo na manivela (Figura 16a) que gira a 30 rpm. O resultado do cálculo do estudo do movimento é a animação do mecanismo tipo virabrequim (Figuras 16b – 16f) que gira a manivela, que está conectada ao sem-fim, que transmite rotação à engrenagem de pinos, que conecta a manivela, que transmite o movimento giratório a uma biela conectada à uma haste deslizante.



(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

Figura 16. Animação CAD do mecanismo de manivela e engrenagem sem-fim de Leonardo: (a) rotação da manivela, (b) t=0s, (c) t=2s, (d) t=7s, (e) t=12s e (f) t=16s.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No passado remoto foi Arquimedes o pioneiro nas suas descobertas (leis das alavancas, hidrostática, centro de gravidade, número pi, parafuso), na Idade Média Leonardo da Vinci (Codex Madrid e Codex Atlanticus) contribui com vários componentes cinemáticos usados nas máquinas e mecanismos atuais, e, com a revolução industrial, Reuleaux (coleção da Universidade de Cornell) representa um acervo de mecanismos cinemáticos até a indústria 4.0 com extensa revolucionária aplicação da Inteligência Artificial (IA), tem representado grande desafio na história do ensino de engenharia e na prática atual.

Hoje é a competência do engenheiro no mundo digital que define o sucesso da indústria. Com o auxílio de métodos de aprendizagem de máquinas (Géron, 2021) o conhecimento implícito dos modelos CAD existentes são estudados e podem tornar em breve sistemas de assistência baseados em IA realidade (Krahe et al., 2019).

O desenho auxiliado pelo computador é indispensável para implementar qualquer projeto e tem na experiência baseada no conceito da representação do desenho técnico com instrumentos soluções mais confiáveis. Seria surpreendente que na formação de engenheiros fosse adotado a abordagem de todos os conteúdos do currículo com uma ferramenta CAD de forma produtiva, uma vez que são sistemas paramétricos e que se adequam a qualquer conceito que se aprende nas literaturas atuais de engenharia e que se desenvolveram com modelos físicos e hoje tem em PV e na impressão 3D um forte aliado no ensino de engenharia.

Com este trabalho é possível demonstrar o quanto a tecnologia CAD pode reproduzir modelos cinemáticos históricos, como forma didática motivadora buscando interesse dos acadêmicos para aprender tecnologia como aqui um primeiro modelo (virabrequim de LdV).

## REFERÊNCIAS

ALERTZ, Ulrich et al. **Codex Madrid I - Kommentierte Edition.** Disponível em: https://www.codex-madrid.rwth-aachen.de/. Acesso em: 09 ago. 2024.

APILLUELO, Auria et al. **Dibujo industrial. Conjuntos y despieces: conjuntos y despieces**. Madrid, España: Thomson Editor Spain, Ediciones Paraninfo SA. 2000.

ELMÔR FILHO, Gabriel *et al.* **Uma nova sala de aula é possível: aprendizagem ativa na educação em engenharia.** 1. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2019.

GÉRON, Aurélien. **Mãos à obra: aprendizado de máquina com Scikit-Learn, Keras & TensorFlow.** 2. Ed. Rio de Janeiro: Alta Books. 2021.

ISAACSON, Walter; CZARNOBAI, André. **Leonardo da Vinci**. 1. Ed. RJ: Intrínseca. 2017.

KRAHE, Carmen *et al*. **AI-based Computer Aided Engineering for automated product design-A first approach with a Multi-View based classification.** Procedia CIRP, Vol. 86, pp. 104-109, 2019.

CATTO, Renato. **Leonardo da Vinci Machines Collection.** Disponível em: https://www.leonardomachines.com/projects/project-the-mechanism/. Acesso: 10 mar. 2025.

BLOG DA MATEMÁTICA. **História da Matemática: Arquimedes e Cálculo do pi**. Disponível em: https://matana-blogdamatemtica.blogspot.com/2011/07/historia-da-matematica-arquimedes.html. Acesso em: 10 abr. 2026.

FLOWTECH. **How Archimedes Shaped The Modern World Of Pumps**
Disponível em: https://www.flowtech.org.uk/latest-news/how-archimedes-shaped-the-modern-world-of-pumpsl. Acesso em: 20 abr. 2026.

LEONARDO INTERACTIVO. **Códice Madrid I.** Disponível em: http://leonardo.bne.es/index.html. Acesso em: 09 ago. 2024.

LIPSON, Hod *et al.* **3-D printing the history of mechanisms.** School of Mechanical and Aerospace Engineering. Cornell University, Ithaca, New York, 14850, USA. 2005.

MOON, Francis C. **Mechanical Engineering Heritage Collection, Reuleaux Collection of Kinematic Mechanisms at Cornell University 1882**. SAE. 2004.

MOON, Francis C. **The Machines of Leonardo Da Vinci and Franz Reuleaux: kinematics of machines from the Renaissance to the 20th Century**. New York: Springer, 2007.

PRO-TEC, Escola. **Desenhista de máquinas.** São Paulo: Provenza, v. 8, 1991.

ROSSI, Fernanda M. V. A. **O Código Atlântico de Leonardo da Vinci**. São Paulo: Anúbis Editores Ltda. 2006.

SHIGLEY, Joseph E.; BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley.** 8. ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda. 2011.

SHIROSHITA, Sohei et al. **Constructing a virtual museum of machine mechanism models imported from Germany during Japanese westernization for higher education.** In: Museums and the Web. 2001. Disponível em: https://www.archimuse.com/mw2001/papers/shiroshita/shiroshita.html. Acesso: 16 abr. 2025.