



MÁQUINAS ANTIGAS: PROJETANDO UM ODOMÊTRO BASEADO EM LEONARDO DA VINCI

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2022.4099

Lincoln Stephano Frade Bueno - lincolnbueno@id.uff.br
Universidade Federal Fluminense

Lucca Collares dos Reis Favieri Ferreira - luccacollaresf@gmail.com
Universidade Federal Fluminense

Thais Cilene Moreira - thaiscilene@id.uff.br
Universidade Federal Fluminense

Maria Antonia Pedrosa Pinto - ma.pedrosa@outlook.com
Universidade Federal Fluminense

Talita da Cruz Fidelis - talita_fidelis@id.uff.br
Universidade Federal Fluminense

Lucas Bonato de Souza Carvalho - lucasbonato@id.uff.br
Universidade Federal Fluminense

Fabiana Rodrigues Leta - fabianaleta@id.uff.br
Universidade Federal Fluminense

Resumo: *Este trabalho tem a finalidade de descrever o desenvolvimento do projeto de um odômetro inspirado em um desenho de Leonardo da Vinci, considerando o processo de engenharia reversa. A proposta faz parte de uma atividade de ensino-pesquisa-extensão do Programa de Educação Tutorial em Engenharia da Universidade Federal Fluminense, chamado Máquinas Antigas. São tratados desde os aspectos históricos da idealização da máquina, incluindo suas funcionalidades, até o desenvolvimento de um projeto mecânico, considerando dimensionamento e materiais, compatível com o esboço por Leonardo da Vinci*

Palavras-chave: *odômetro, Leonardo da Vinci, tecnologia, ensino de engenharia, engenharia reversa*



MÁQUINAS ANTIGAS: PROJETANDO UM ODÔMETRO BASEADO EM LEONARDO DA VINCI

1 INTRODUÇÃO

Presente na Universidade Federal Fluminense desde 1996, o Programa de Educação Tutorial em Engenharia Mecânica (PET-MEC) desenvolve uma série de atividades baseadas em três pilares básicos: ensino, pesquisa e extensão. Dentre as atividades desenvolvidas pelo grupo destaca-se o projeto Máquinas Antigas, cujo objetivo é pesquisar, planejar e construir máquinas idealizadas no passado, em especial aquelas projetadas por Leonardo da Vinci. Neste contexto, algumas máquinas foram projetadas através do método da engenharia reversa, observando-se os desenhos de da Vinci. Podem-se destacar o torno mecânico (Miranda et al., 2014), o martelete com came (Oliveira et al., 2015) e o Trebuchet (Lima et al., 2018). Todos envolveram a definição dos materiais condizentes com aqueles disponíveis à época dos inventos, o desenvolvimento do projeto estrutural e sua montagem. As máquinas projetadas vêm sendo utilizadas em exposições na universidade e em eventos de Ciência e Tecnologia.

É indiscutível a produção artística e tecnológica de Leonardo Da Vinci e consequentemente seu legado para áreas como artes, engenharia e anatomia. Destaca-se ainda a produção de seus engenhos para a solução de questões bem específicas, por exemplo a máquina de voar inspirada no voo dos pássaros e inúmeras máquinas de guerra. Muito provavelmente, Leonardo tenha sido um dos primeiros inventores a admitir a observação da natureza como principal inspiração das suas invenções e feitos, algo conhecido hoje como Biomimética (Lucchesi, 2020).

O presente artigo discorre acerca do processo de pesquisa, motivação, desenho e análise estrutural de uma dessas invenções de da Vinci: o odômetro, dispositivo que mede distâncias percorridas por um veículo. A máquina idealizada por Leonardo da Vinci funciona por tração humana, semelhante a um carrinho de mão. A partir do movimento de suas rodas, um conjunto de engrenagens se movimenta e marca a distância por meio de pequenas bolas. O odômetro destaca-se por sua importância para demarcação de terras, uma vez que possibilita uma melhor medição sobre terrenos acidentados. E atualmente é de fundamental importância em dispositivos automotores.

Neste artigo apresenta-se a evolução de uma proposta apresentada durante o Seminário de Pesquisas em Engenharia Mecânica, organizado pelo PET-MEC, que tem por objetivo difundir internamente os projetos desenvolvidos pelos alunos de graduação e pós-graduação da UFF. O artigo contém uma revisão sobre os modelos antigos de odômetros e a metodologia adotada para projetar uma máquina similar à desenhada por Leonardo da Vinci, a partir de uma análise estrutural, considerando materiais usuais à época, como madeira por exemplo.

2 O ODÔMETRO

O odômetro (do grego $\acute{o}\delta\acute{o}\varsigma$, caminho, e $\mu\acute{\epsilon}\tau\rho\nu$, medida) é um instrumento que tem como objetivo medir a distância percorrida por um veículo na terra ou no mar. A maioria dos odômetros da atualidade são eletrônicos ou eletromecânicos, no entanto, nos tempos mais antigos ele era puramente mecânico (Callegari et al., 2020).

Arquimedes de Siracusa (287-212 a.C.) foi creditado como possível inventor do odômetro. Por volta de 30 a 15 a.C, a máquina foi descrita pela primeira vez no manuscrito "De architectura" de Marcus Vitruvius Pollio. Contudo, foi somente no período entre 1500 e 1504 que Leonardo Da Vinci descreveu a sua construção e suas características, sendo o primeiro a desenhar um odômetro em detalhes (Brillarelli et al., 2020) (Flores et al, 2017).

2.1 Os odômetros de Leonardo da Vinci

O estudo de Leonardo sobre a máquina de Vitruvius levou a dois desenhos no *Codex Atlanticus*, mostrados na Figura 1. Esses desenhos são odômetros feitos para medir distâncias terrestres (Brillarelli et al., 2020),

Figura 1 – Desenhos do odômetro feito por Leonardo Da Vinci no Codex Atlanticus.



Fonte: Brillarelli et al., 2020.

O primeiro design desenvolvido por Leonardo foi provavelmente o odômetro da direita, cujo mecanismo é bem semelhante ao de Vitruvius, baseado no acoplamento de uma roda com um só dente a uma engrenagem. Porém, esse modelo é inviável devido a necessidade de se ter um diâmetro de engrenagem muito maior do que o da roda com um dente, tornando a sua construção muito difícil.

O segundo conceito desenvolvido por Leonardo foi o do odômetro de duas rodas, o da esquerda na Figura 1. Esse modelo utiliza o mecanismo de engrenagem de parafuso sem fim para redução das rotações, o qual pode ser realizado mais facilmente, já que não necessita de uma diferença grande de diâmetro entre as engrenagens (Martins, 2014).

2.1.1 Odômetro de duas rodas

O funcionamento dessa máquina é fundamentado na revolução do eixo das rodas do odômetro, onde fica a engrenagem de parafuso sem fim, que a cada revolução move um dente de uma engrenagem vertical (Martins, 2014). A engrenagem vertical é acoplada a uma haste com um dente no final que transmite movimento para uma roda com uma série de estacas verticais ao longo da sua circunferência. A cada rotação completa da haste, seu dente gira uma estaca, como representado na Figura 2 (Brillarelli et al, 2020).

Figura 2. Roda com estacas e haste com dente.



Fonte: (Brillarelli et al., 2020).

Para o registro da distância percorrida, na roda horizontal há vários furos, cada um correspondente a uma estaca, que aloja uma bola, e embaixo dela há uma bandeja redonda com somente um buraco. Com isso, com uma certa distância percorrida pelo odômetro, uma bola cai por esse buraco e é recolhida por uma caixa presa na parte de baixo da roda com um buraco. Para saber a distância percorrida, basta contar as bolas que caíram na caixa (Brillarelli et al., 2020),

3 METODOLOGIA

Todo projeto foi desenvolvido através de engenharia reversa, metodologia que busca entender como um dispositivo já existente funciona, através da observação e até mesmo da desconstrução do mecanismo.

Tomando-se como base o catálogo da exposição: "Leonardo da Vinci: Maravilhas Mecânicas" (Martins, 2014), foram pesquisadas máquinas que pudessem ser reproduzidas, e que pudessem contribuir para o aprendizado de conteúdos de Física e de Engenharia. Neste contexto, já foram projetadas e construídas três máquinas idealizadas por Leonardo da Vinci, e atualmente tem-se duas máquinas em fase de fabricação que consistem no odômetro, tratado neste artigo, e, no anemômetro.

A partir da observação dos desenhos de da Vinci, realizam-se alguns esboços iniciais que posteriormente são modelados usando-se software CAD. Com isto estudam-se as possibilidades dimensionais e de uso de materiais para tornar viável a fabricação e a montagem das máquinas escolhidas. Destaca-se que cada máquina possui especificidades que permitem explorar uma série de conteúdos de engenharia, como elementos de máquinas, dinâmica, materiais, entre outras.

A escolha do odômetro para ser o objeto do projeto remete ao próprio intuito da atividade Máquinas Antigas que visa buscar grandes ideias do passado e recriá-las a partir da engenharia reversa, propiciando um conhecimento prático, teórico e histórico sobre importantes tópicos dentro da engenharia mecânica (Bueno et al., 2021).

4 O PROJETO

O projeto do odômetro foi baseado nos desenhos feitos por Leonardo da Vinci. Então, a primeira parte do projeto consistiu na pesquisa sobre o instrumento, com relação ao seu funcionamento, seu uso e a sua história.

Inicialmente buscou-se replicar o desenho de Leonardo Da Vinci utilizando um software de CAD e encontrou-se o primeiro desafio, que consistiu em definir cotas



compatíveis com o desenho antigo, que tornasse o projeto de fato funcional e mantivesse o mesmo princípio de funcionamento e formato proposto por Leonardo Da Vinci. Como resultado tem-se a modelagem apresentada na Figura 3.

Figura 3. Modelagem em 3D do odômetro feito pelo grupo.

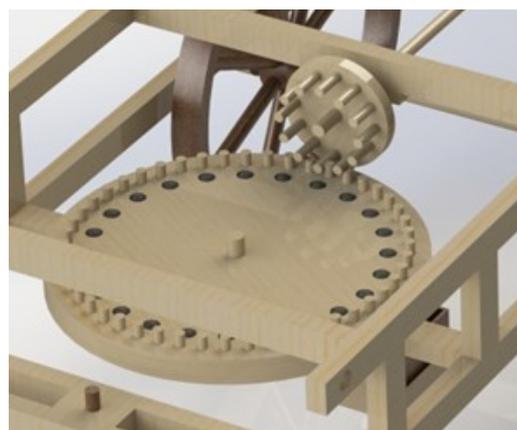


Fonte: autores.

A ideia inicial de Da Vinci para o odômetro continha duas possibilidades: um odômetro com apenas uma roda e outro com duas rodas, ambos feitos de madeira. Inicialmente, escolheu-se a opção com apenas uma roda, entretanto, na etapa de pesquisas, foram encontrados alguns problemas como a dificuldade de montagem e fabricação, pois esse modelo requer uma diferença entre o diâmetro da roda e o da engrenagem muito alta. Além disso, por ter somente uma roda seria mais instável do que o modelo de duas rodas porque perderia o equilíbrio mais facilmente, sendo assim, o projeto foi modificado para um odômetro de duas rodas.

No odômetro de duas rodas projetado apesar manteve-se a madeira como material básico de sua construção e o mesmo princípio de funcionamento do projeto original de Leonardo Da Vinci. Entretanto, houve algumas mudanças em suas dimensões, além da inserção de uma engrenagem na ponta da haste que transmite o movimento para a engrenagem onde ficam as esferas, ao invés da opção original com um só dente. Na Figura 4, é possível observar com mais detalhes essa nova engrenagem.

Figura 4. Sistema de transmissão da haste para a engrenagem com furos.



Fonte: autores.

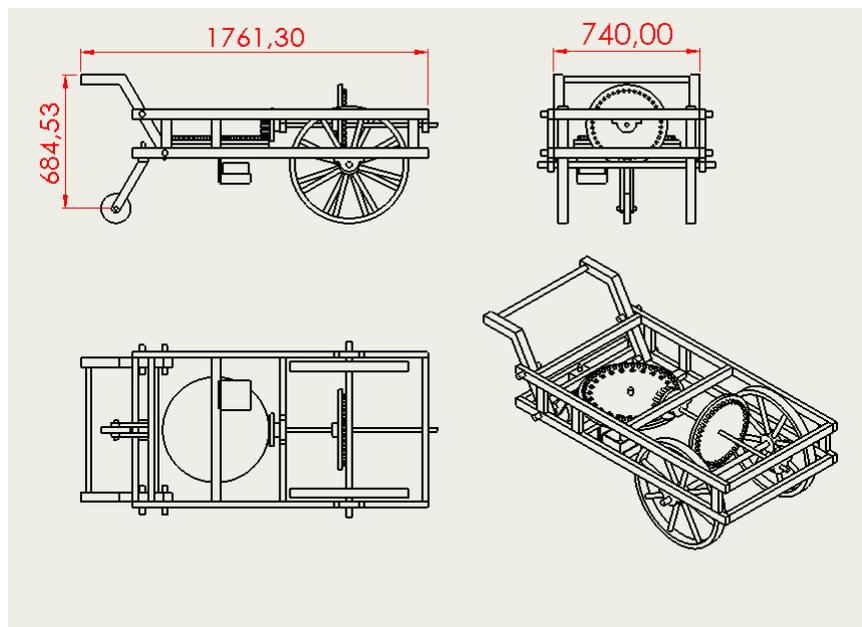


4.2 Dimensionamento e modelagem

Durante o processo de dimensionamento do projeto, encontraram-se algumas dificuldades no âmbito dimensional. Foi difícil determinar com exatidão as medidas apenas pelos desenhos. Por esse motivo, as medidas foram arbitradas levando-se em conta que o odômetro seria movido por uma pessoa. Por se tratar de uma versão inicial do projeto, não foram estabelecidas as tolerâncias dimensionais e geométricas.

A Figura 5 retrata as principais vistas do odômetro montado e suas respectivas cotas de maneira a evidenciar as suas maiores medidas. A altura do apoio para as mãos foi escolhida de acordo com a mediana de altura masculina e feminina brasileira, que segundo o IBGE é de 1,73 metros e 1,61 metros, respectivamente, para pessoas com 20 a 24 anos de idade. Por isso, esse apoio ficou com cerca de 70 cm em relação ao solo, para que uma pessoa de estatura média se sentisse confortável ao manejar o odômetro, sem uma postura curvada.

Figura 5. Desenho técnico com as medidas principais do odômetro.



Fonte: autores.

Como pode ser observado na Figura 6, a estrutura de madeira do chassi é responsável por unir todas as engrenagens e rodas do projeto, portanto, é crucial analisá-la de maneira isolada. Em primeiro momento, foi tentado projetar um odômetro com um comprimento menor, cerca de 1000 mm no chassi, porém ele não conseguiria desempenhar a função de agrupar todas as engrenagens e eixos, sem diminuir o alcance de medição. Por esses motivos, o grupo chegou à conclusão de que o comprimento que satisfaz o projeto é de 1500 mm.

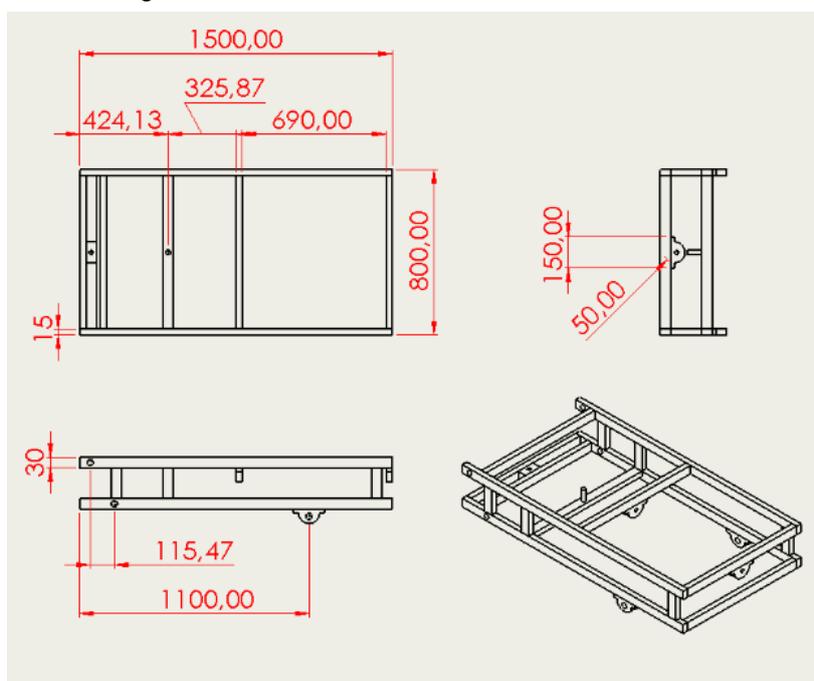
A escolha do tamanho das madeiras foi baseada em uma pesquisa de mercado sobre o tamanho das ripas de madeiras comercializadas no Brasil. Com isso, foi escolhida uma medida de 30x15 mm de área transversal para as componentes estruturais do odômetro.



Na Figura 7, é possível observar a engrenagem onde ficam as bolas. Já foi explicado anteriormente que elas são responsáveis pela medição das distâncias percorridas pelo odômetro. Neste projeto, optou-se por ter 24 esferas, por isso a engrenagem é composta por 24 furos circulares com 25 mm de diâmetro cada, distando 210 mm do centro. Mais externo aos furos existem pinos que são responsáveis por girar a engrenagem à medida que a roda do odômetro gira.

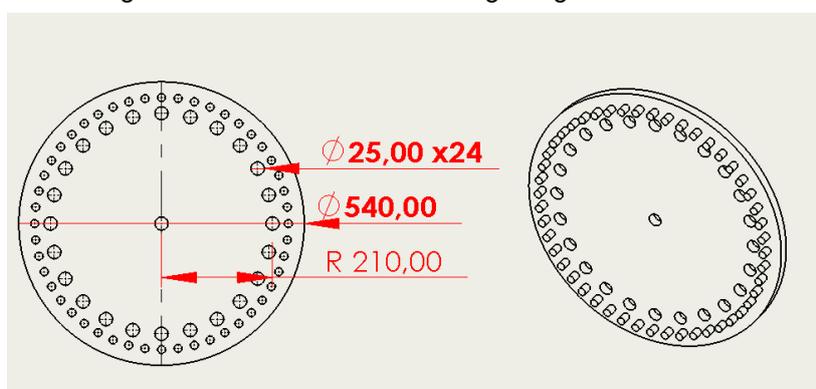
As rodas traseiras foram projetadas com 600mm de diâmetro externo e espessura de 20mm cada, como representado na Figura 8.

Figura 6. Desenho técnico do chassi do odômetro.



Fonte: autores.

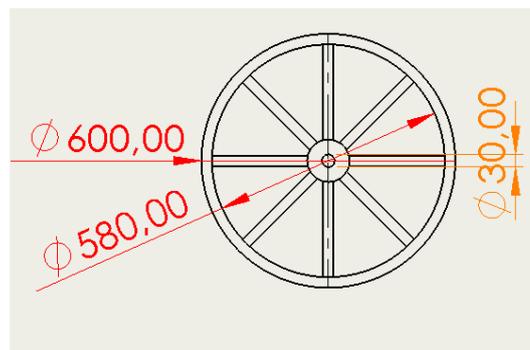
Figura 7. Desenho técnico da engrenagem com furos.



Fonte: autores.



Figura 8. Desenho técnico das rodas dianteiras do odômetro.



Fonte: autores.

5 ANÁLISE ESTRUTURAL

Tendo em vista a composição estrutural do odômetro, foi analisada a integridade das vigas de madeira, que comportam grande parte da sustentação da ferramenta, e a quantificação de raios, que unem rigidamente a zona central com a perimetral das rodas existentes no projeto.

Como citado anteriormente, a decisão estrutural do projeto foi realizada sem muito embasamento inicial, tendo como inspiração a metodologia de engenharia reversa. Entretanto, para afirmar que a ferramenta apresentada se mostra íntegra e funcional, análises estruturais foram realizadas ao final do projeto.

Analisando o conjunto da carcaça, composta majoritariamente de madeira, é possível observar que certas vigas estão sujeitas a uma quantidade de esforços maior, mostrando-se regiões mais críticas do projeto.

Após a identificação dessas áreas, cálculos estruturais foram realizados a fim de mitigar qualquer tipo de flexão que pudesse corromper a estrutura da ferramenta e assim detectar regiões de maior índice de flexão. Obtendo, então, um mapeamento estrutural do conjunto, visando melhorias e correções do início do projeto.

As vigas inferiores, que conectam as rodas frontais, foram consideradas as mais solicitadas no projeto, com isso, calculou-se as condições de projeto delas e observou-se os resultados de flexão e momento que elas apresentaram.

Foram levados em consideração os esforços internos de cortante e momento fletor para a análise, considerando que as peças em questão estão apoiadas e sofrendo uma força vertical, no caso o peso de todo conjunto sustentado acima.

Entretanto o resultado obtido não se mostrou conclusivo, visto que o peso das peças que solicitam essas vigas é ínfimo a qualquer perigo estrutural ao projeto.

Conclui-se na análise estrutural, que inexistente qualquer perigo na estrutura da ferramenta e que ela foi superdimensionada, obtendo, então uma oportunidade de melhoria futura. Podendo ser construído e projetado uma ferramenta mais leve, com menos necessidade de material.

6 CONCLUSÃO

A partir do que foi apresentado neste trabalho, é possível concluir que ele serve como prática dos conceitos teóricos aprendidos no curso de engenharia mecânica, além de promover o desenvolvimento de habilidades de pesquisa, ensino e extensão. Além disso, esse projeto deu continuidade ao objetivo do grupo Máquinas Antigas, que é estudar e reproduzir máquinas históricas. De fato, a elaboração desse projeto conseguiu unir os conhecimentos teóricos aprendidos em sala de aula, como, por exemplo, a noção de resistência estrutural.

O próximo passo é a construção do modelo de odômetro proposto nesse artigo e o cálculo da distância que ele pode medir. Além disso pretende-se adotar este modelo para o ensino de conceitos de Física e de Metrologia em escolas da rede pública e na própria universidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao MEC-SESu e à Pró-Reitoria de Graduação da UFF (PROGRAD).

REFERÊNCIAS

Brillarelli et al, **Digital Experience of the Work of Vitruvius and Leonardo**. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 949 012041. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/949/1/012041>. 2020.

Callegari, M., Brillarelli, S. and Scoccia, C., Archimedes, Vitruvius and Leonardo: The Odometer Connection. *Advances in Historical Studies*, 9, 330-343. doi: 10.4236/ahs.2020.95025. 2020.

Flores, Paulo & Gomes, J. & Dourado, Nuno & Marques, Filipe. **Engrenagens de Parafuso Sem-Fim**. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/310599377_Engrenagens_de_Parafuso_Sem-Fim. Acesso em: 16 ago. 2021.

Lima, B. et al. **DESENVOLVIMENTO DE UM TREBUCHET INSPIRADO EM UM PROJETO DE LEONARDO DA VINCI**. In: XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Salvador, 2018.

Lucchesi, Marco. **Alma do Mundo - Leonardo 500 anos**. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 2020.

Martins, Antonio. **Exposição Leonardo da Vinci: maravilhas mecânicas**. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências afins, 2014. Catálogo de exposição. Disponível em: https://www.gov.br/mast/pt-br/imagens/publicacoes/2014/catalogo_leonardo_da_vinci.pdf. Acesso em: 14 maio 2022.

Miranda, F. et al. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM TORNO MECÂNICO INSPIRADO EM UM DESENHO DE LEONARDO DA VINCI.** In: VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Uberlândia, 2014.

Oliveira, L. et al. **MÁQUINAS ANTIGAS: O USO DO MARTERLO COM CAME DE LEONARDO DA VINCI COMO FERRAMENTA DE ENSINO DE TRANSMISSÃO.** In: XLIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Mauá, 2015.

Abstract: This paper presents detailed instructions about the development of an odometer, designed and inspired by a Leonardo da Vinci illustration, considering a reverse engineering process. The proposal is part of a teaching-research-extension activity of the Tutorial Education Program in Mechanical Engineering at "Universidade Federal Fluminense", called "Máquinas Antigas". It was treated from the historical aspects of the idealization of the machine, including its functionalities, to the development of a mechanical project, considering dimensioning and materials choice, compatible with the one outlined by Leonardo da Vinci.

Keywords: odometer, Leonardo da Vinci, engineering teaching, technology, manufacturing, reverse engineering process.