

# VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA

## TECNOLOGIA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

### DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DIDÁTICO DE MOTOR DE COMBUSTÃO

*DEVELOPMENT OF A DIDACTIC MODEL OF A COMBUSTION ENGINE*

*DESARROLLO DE UN MODELO DIDÁCTICO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN*

Douglas Dias Freitas<sup>1</sup>  
Francielly Elizabeth de Castro Silva<sup>2</sup>

**Grupo de trabalho:** Grupo de Gestão em Inovação e Sustentabilidade da UNINTER –  
GGIS/UNINTER, Educação para Engenharias

#### RESUMO

As escolas de ensino superior têm buscado proporcionar aos seus alunos um ambiente educacional que aborde a teoria e a prática a fim de prepará-los para os desafios de sua vida profissional. Neste contexto, o *Project Based Learning* (PBL) — o aprendizado baseado em projeto —, tem sido aplicado como metodologia de ensino ativa. O grande desafio desta pesquisa é desenvolver um PBL que trabalhe com as competências do aluno de engenharia mecânica e/ou produção, conforme o que dispõe o Artigo 12 do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (Resolução nº 218, de 29 de junho de 1973), através das atividades práticas propostas nas disciplinas do curso. Dessa maneira, o presente trabalho visa a aplicação do método PBL para o desenvolvimento de projeto e construção de um motor didático monocilíndrico de 4 tempos de ciclo Otto. A escolha deste projeto se dá pela abrangência que este tipo de máquina tem, tanto nos conceitos de engenharia como na sua aplicação comercial. A proposta do modelo didático, ou seja, sem injeção e queima de combustível, é uma solução viável, pois os motores são máquinas complexas, que exigem elevada precisão e funcionam pela explosão de uma mistura de ar/combustível dentro da câmara de combustão. Se mal dimensionado, pode representar risco para quem o manipule. Além disso, as peças mais complexas de um motor comercial têm um custo elevado, o que inviabiliza a proposta de um produto individual por estudante. O aluno irá projetar os principais componentes de seu motor e compreender o seu mecanismo de funcionamento. Os conceitos de termodinâmica envolvidos no sistema — como a queima de ar/combustível que produz a transformação da energia fornecida pela reação química em energia mecânica —, poderão ser explorados em uma bancada didática de um motor funcional. Como resultado desta pesquisa, tem-se o projeto e montagem dos principais componentes do motor didático no software *CAD Inventor*. São eles: virabrequim, biela, pistão, cilindro/cabeçote, comando de válvulas, válvulas, entre outras peças como suporte, transmissão de potência através de um sistema de polias, manípulo, mola e parafusos. A próxima etapa é a confecção de um protótipo, onde as peças poderão ser usinadas nas máquinas do laboratório de usinagem e na impressora 3D. O objetivo é que o aluno possa confeccionar suas próprias peças utilizando as diversas máquinas disponíveis na indústria. Além disso, um sistema eletrônico deverá ser incorporado ao motor a fim de explorar temas de programação/eletrônica no curso e mostrar através de um led o processo de faísca da vela, por exemplo.

**Palavras-chave:** motor; modelagem CAD; componentes.

<sup>1</sup> Estudante do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Internacional UNINTER.

<sup>2</sup> Professora da UNINTER (orientador).

# VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA

## TECNOLOGIA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

### ABSTRACT

Higher education institutions have sought to provide their students with an educational environment that addresses theory and practice to prepare them for the challenges of their professional lives. In this context, Project Based Learning (PBL) has been applied as an active teaching methodology. The great challenge of this research is to develop a PBL that works with the competencies of the mechanical and/or production engineering student, as provided in Article 12 of the Federal Council of Engineering and Agronomy (Resolution nº. 218 of June 29, 1973), through the practical activities proposed in the course subjects. Thus, this work aims to apply the PBL method to develop the design and construction of a didactic 4-stroke single cylinder Otto cycle engine. The choice of this project is due to the scope that this type of machine has, both in engineering concepts and in its commercial application. The proposal of the didactic model, that is, without fuel injection and burning, is a viable solution, because engines are complex machines, which require high precision and function by the explosion of an air/fuel mixture inside the combustion chamber. If poorly sized, it can represent a risk to those who handle it. In addition, the most complex parts of a commercial engine have a high cost, which makes it unfeasible for a student to propose an individual product. The students will design the main components of their engine and understand its working mechanism. The thermodynamics concepts involved in the system — such as the burning of air/fuel that produces the transformation of the energy provided by the chemical reaction into mechanical energy — can be explored on a didactic bench of a functional engine. As a result of this research, we have the design and assembly of the main components of the didactic engine using the Inventor CAD software. They are: crankshaft, connecting rod, piston, cylinder/head, camshaft, valves, among other parts such as support, power transmission through a system of pulleys, knob, spring, and screws. The next step is the making of a prototype, where the parts can be machined in the machining lab equipments and 3D printer. The goal is for students to be able to manufacture their own parts using the various machines available in the industry. In addition, an electronic system should be incorporated into the engine to explore programming/electronics topics in the course and show through a led the spark plug process, for example.

**Keywords:** engine; CAD modeling; components.

### RESUMEN

Las escuelas de educación superior han tratado de ofrecer a sus alumnos un ambiente educativo que asocie la teoría a la práctica para prepararlos para los retos de su vida profesional. En ese contexto, el *Project Based Learning* (PBL) — el aprendizaje basado en proyecto —, ha sido aplicado como metodología de enseñanza activa. El gran reto de esta investigación es desarrollar un PBL que trabaje con las competencias del estudiante de ingeniería mecánica y/o de producción, según lo dispuesto en el artículo 12 del Consejo Federal de Ingeniería y Agronomía (Resolución nº 218, de 29 de junio de 1973), a través de las actividades prácticas propuestas en las disciplinas del curso. De esa manera, el presente trabajo pretende hacer una aplicación del método PBL para el desarrollo de proyecto y construcción de un motor Otto didáctico de 4 tiempos monocilíndrico. La selección de ese proyecto se debe a la amplitud de ese tipo de máquina, tanto en los conceptos de ingeniería como en su aplicación comercial. La propuesta de un modelo didáctico, es decir, sin inyección y quema de combustible, es una solución viable, pues los motores son máquinas complejas, que exigen elevada precisión y funcionan por la explosión de una mezcla de aire/combustible dentro de la cámara de combustión. Si está mal dimensionado, puede representar riesgo para quien lo manipule. Además, las piezas más complejas de un motor comercial tienen un costo elevado, lo que dificulta la propuesta de un producto individual por estudiante. El alumno proyectará los principales componentes de su motor y comprenderá el mecanismo de su funcionamiento. Los conceptos de termodinámica del sistema — como la quema de aire/combustible que causa la transformación de la energía producida por reacción química en energía mecánica — podrán ser explorados en un banco didáctico funcional de motores. Como resultado de esta investigación, se tiene el proyecto y montaje de los principales componentes del motor didáctico en el software *CAD Inventor*. Son ellos: cigüeñal, biela, pistón, cilindro/culata, comando de válvulas, válvulas, entre otras piezas como soporte, transmisión de potencia a través de un sistema de

# VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA

## TECNOLOGIA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

poleas, perilla, resorte y tornillos. La etapa siguiente es la construcción de un prototipo, cuyas piezas podrán ser mecanizadas en un taller de mecanizado y en una impresora 3D. El objetivo es que el estudiante pueda elaborar sus propias piezas utilizando las diversas máquinas disponibles en la industria. Además, un sistema electrónico deberá ser incorporado al motor con el fin de explorar temas de programación/electrónica en el curso y demostrar, por medio de un led, el proceso de chispa de la bujía, por ejemplo.

**Palabras-clave:** motor; modelaje CAD; componentes.

### INTRODUÇÃO

O futuro engenheiro tem claramente necessidade de obter conhecimento teórico e prático, para poder aplicar as experiências vividas no ambiente acadêmico na sua vida profissional. A pergunta que fica é: Como desenvolver as competências do engenheiro a fim de atender às expectativas do mercado? Na formação do engenheiro mecânico, especificamente entre as metodologias que facilitam o aprendizado estão as práticas, que permitem a interação do aluno com as ferramentas de projeto, equipamentos, instrumentos, máquinas e softwares que estão presentes no dia a dia profissional.

As escolas de ensino superior têm buscado, cada vez mais, proporcionar aos alunos um ambiente educacional que aborde a teoria e a prática, a fim de prepará-los para os desafios de suas carreiras. Uma forma de atender esta premissa é inserir situações práticas em que o aluno tenha que desenvolver um projeto/produto, concebê-lo fisicamente através de processos de fabricação e analisá-lo através de ensaios/testes. Neste contexto, o PBL tem sido aplicado como uma metodologia de ensino e aprendizagem construtivista, em que o aluno é um aprendiz ativo, que constrói seu conhecimento através de experiências (FRANK; LAVY; ELATA, 2003).

O problema a ser atendido através da proposta desta pesquisa é o desenvolvimento de um PBL (traduzido para Aprendizagem Baseada em Projetos) aplicado aos cursos de engenharia Mecânica e de Produção, onde se entende que o motor de combustão é uma máquina que permite o desenvolvimento de vários conhecimentos pertinentes aos cursos e é capaz de produzir boa parte das competências e habilidades do aluno, conforme as diretrizes desses cursos.

Neste trabalho, propõe-se o projeto de um modelo didático, ou seja, sem a injeção e queima de combustível. Trata-se de uma solução viável, sabendo-se que os motores são máquinas complexas, com peças que exigem elevada precisão. Seu funcionamento se dá pela explosão de uma mistura de ar/combustível dentro da câmara de combustão que, se for mal dimensionado, pode representar algum risco àquele que o estiver manipulando. Além disso, as peças mais complexas que compõem um motor comercial são de custo elevado, o que inviabilizaria a proposta de um produto individual por aluno.

# VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA

## TECNOLOGIA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

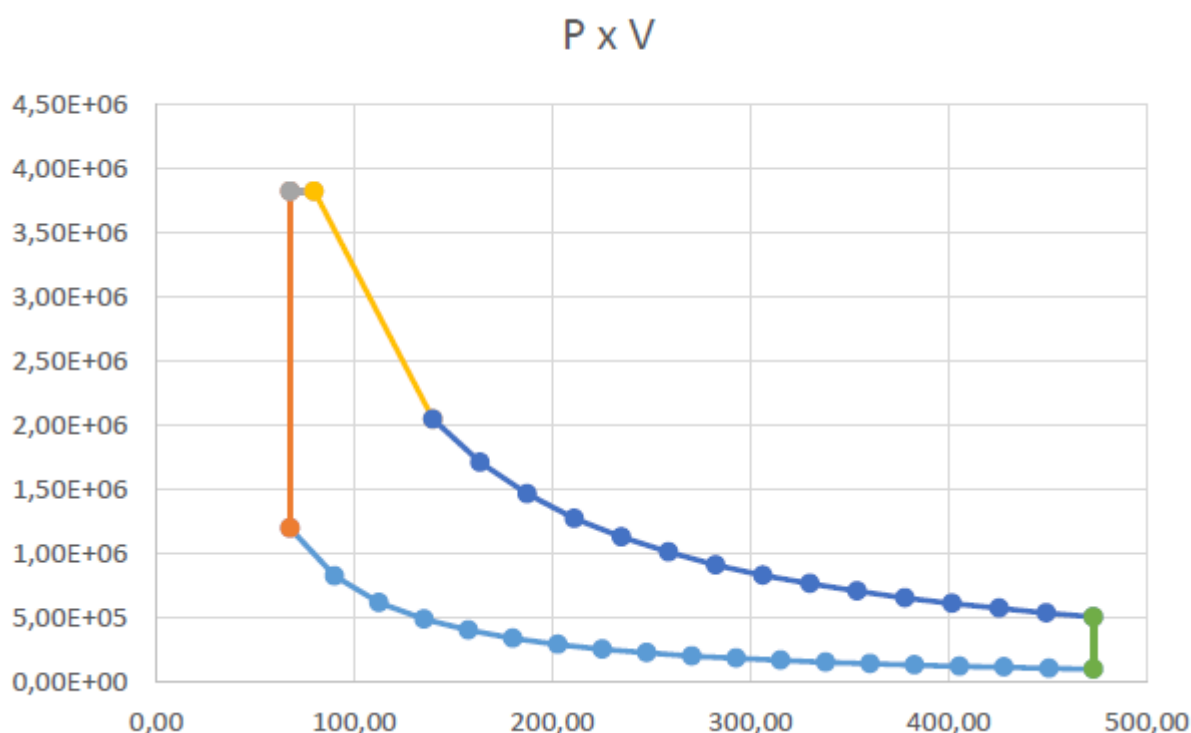
Neste contexto, o presente projeto de pesquisa tem o objetivo de projetar um motor didático de combustão utilizando o software *CAD Inventor* a fim de, em um processo posterior, fabricar um protótipo, montá-lo e viabilizá-lo como um PBL contínuo aplicado aos cursos supracitados.

### METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho iniciou-se com a revisão bibliográfica de trabalhos e projetos realizados anteriormente, com a finalidade de alcançar o maior número de informações possível sobre o tema, levando em consideração todos os conceitos físicos para a construção de um motor do ciclo Otto. Para isso, levaram-se em consideração vários parâmetros, como dimensionamento, cálculo do volume do cilindro no início e final do processo, volume específico, mecanismos e outros.

Na dissertação de Bruno (2008), o autor apresentou um descritivo de cálculos a fim de projetar os principais elementos de um motor a combustão, considerando alguns parâmetros iniciais, como potência e rotação desejada, tipo de combustível e ventilação. Este trabalho serviu como base no ano de 2020 para a atual pesquisa, onde se construiu uma planilha de cálculos conforme a dissertação citada, e obtivemos o diagrama P x V (pressão por volume) da proposta de Bruno.

Figura 1: Diagrama P x V



Fonte: os autores (2020).

# VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA

## TECNOLOGIA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

Os principais componentes do motor também foram projetados — entre eles biela, pistão e cilindro —, considerando as tensões que estes elementos podem sofrer e comparando com as propriedades mecânicas dos materiais desejados para o projeto.

Conforme a pesquisa realizada, viu-se que há poucos trabalhos na literatura, ou ao menos poucos divulgados e disponíveis, com os cálculos pertinentes — como variação das pressões internas no cilindro em relação ao seu volume, o projeto dos principais componentes etc. É possível dar sequência ao trabalho de Bruno (2008) projetando as peças via software e, posteriormente, confeccionando-as, porém, são necessários equipamentos/máquinas de boa qualidade e precisão, bem como materiais.

Como o objetivo deste trabalho é atingir todos os alunos do curso, torna-se inviável colocar em prática o desenvolvimento completo de um motor de combustão funcional (com explosão), pois requer habilidades de fabricação e materiais de difícil acesso.

Neste contexto, optou-se por uma versão didática do motor, onde o aluno poderá projetá-lo e construí-lo, utilizando as máquinas disponíveis e materiais mais simples, tendo em vista que o funcionamento do motor não se dará pela explosão de uma mistura de ar/combustível dentro da câmara de combustão, mas através de movimento mecânico e manual provocado pelo usuário.

Para alcançar este objetivo, no ano de 2021, investigaram-se os modelos didáticos disponíveis no mercado e desenvolveu-se uma versão do motor didático completo.

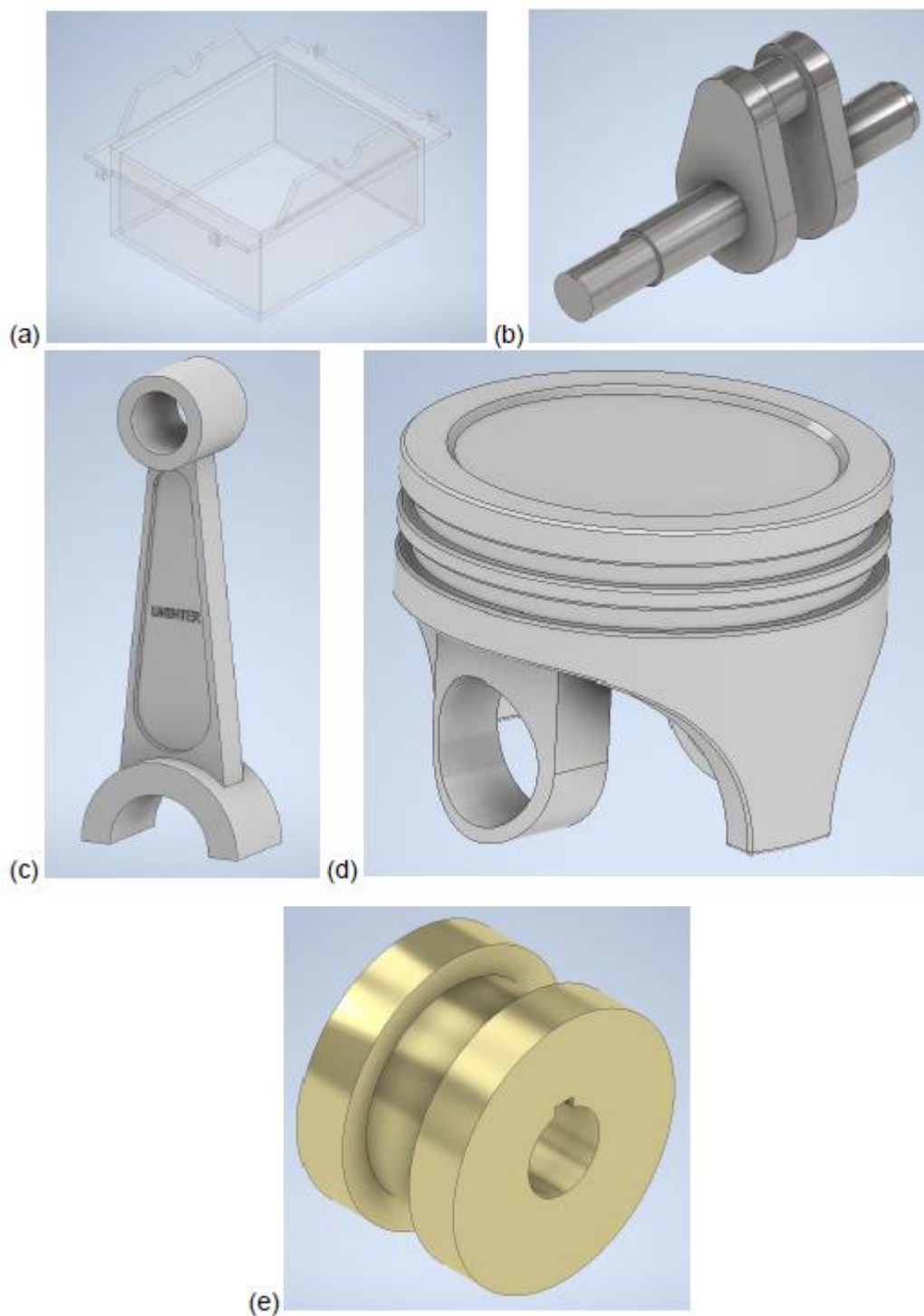
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado deste trabalho tem-se o projeto de um motor didático de combustão. As peças foram modeladas no software *Inventor* e montadas a fim de tornar factível a fabricação desses componentes. A Figura 2 mostra a modelagem dos componentes inferiores: (a) base do motor (carter), (b) virabrequim, (c) biela, (d) pistão e (e) polia acoplada ao virabrequim.

# VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA

## TECNOLOGIA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

**Figura 2:** modelagem via software da (a) base do motor (carter), (b) virabrequim, (c) biela, (d) pistão e (e) polia acoplada ao virabrequim



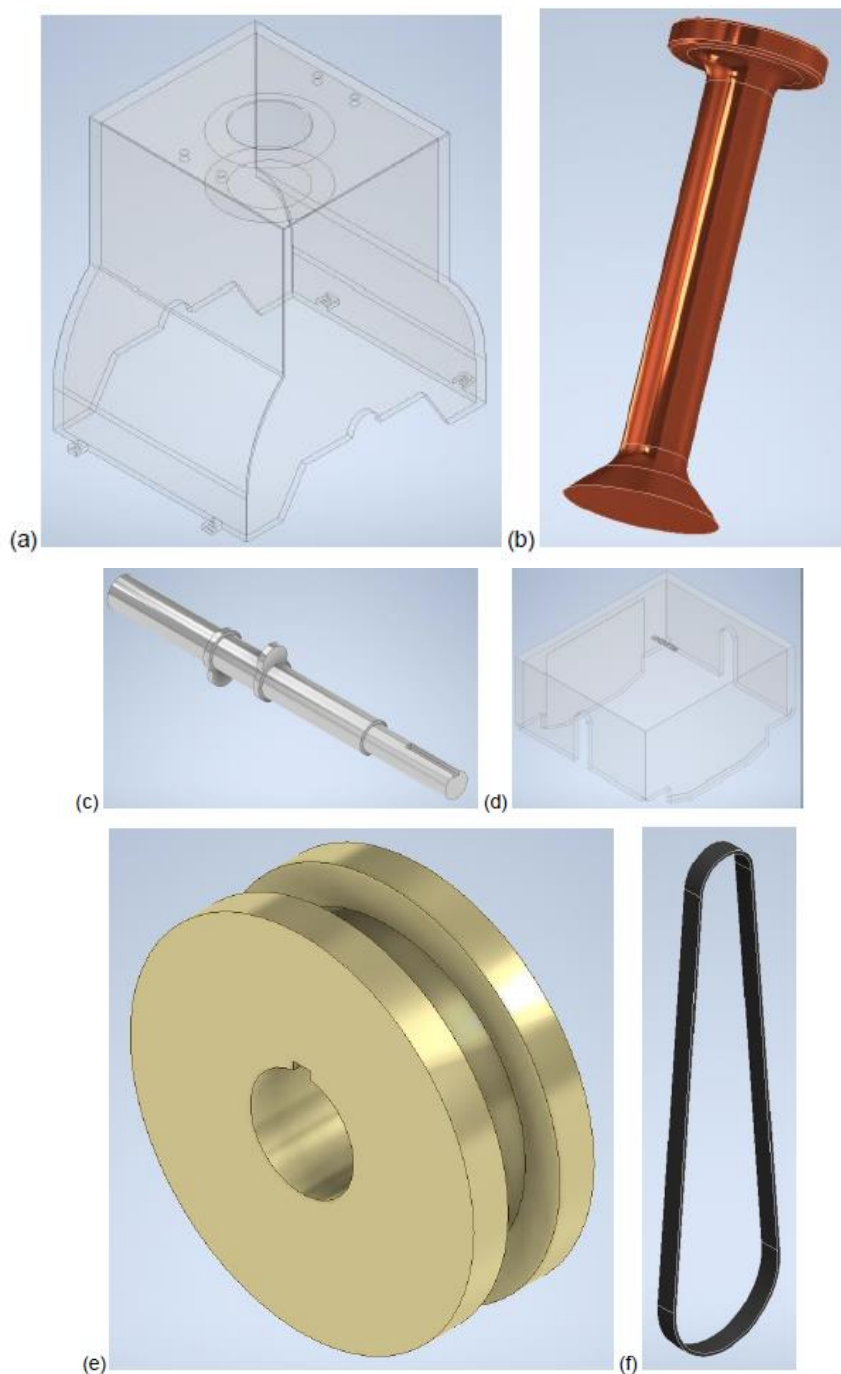
**Fonte:** os autores (2021).

# VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA

## TECNOLOGIA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

A Figura 3 apresenta a modelagem dos componentes inferiores: (a) bloco do motor, (b) válvula, (c) virabrequim do comando de válvulas, (d) tampa do sistema de comando de válvulas (e) polia do comando de válvulas e (f) correia.

**Figura 3:** modelagem via software do (a) bloco do motor, (b) válvula, (c) virabrequim do comando de válvulas, (d) tampa do sistema de comando de válvulas (e) polia do comando de válvulas e (f) correia



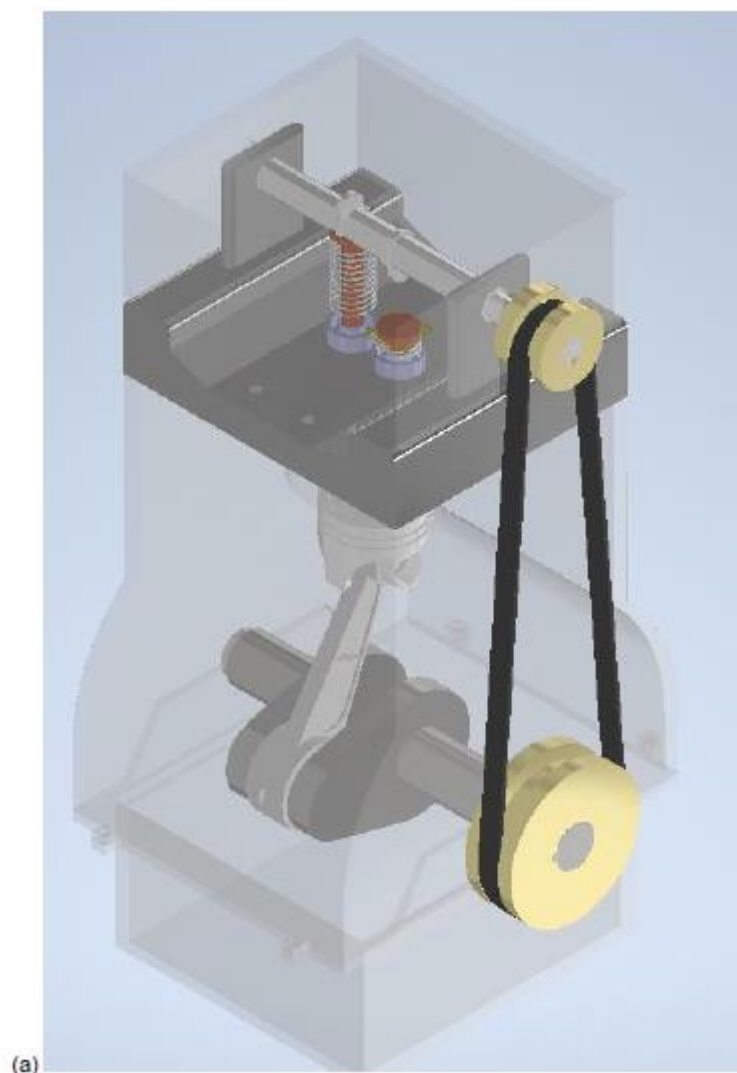
**Fonte:** os autores (2021).

# VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA

## TECNOLOGIA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

Por fim, a Figura 4 mostra o motor com todos os componentes montado. Observe que as peças podem ser fabricadas de diversos materiais, como alumínio, aço, latão, cobre, aço inoxidável, acrílico, nylon etc. Isso é interessante no aprendizado do aluno, pois ele poderá trabalhar com esses materiais, onde cada um tem a sua característica de usinagem. Além disso, algumas peças pequenas como a polia, válvula ou o pistão podem ser fundidas pelo aluno; outras, como a base do motor ou a tampa, podem ser fabricadas na impressora 3D. A ideia de se modelar o bloco do motor em acrílico tem por objetivo a visualização do movimento dos elementos.

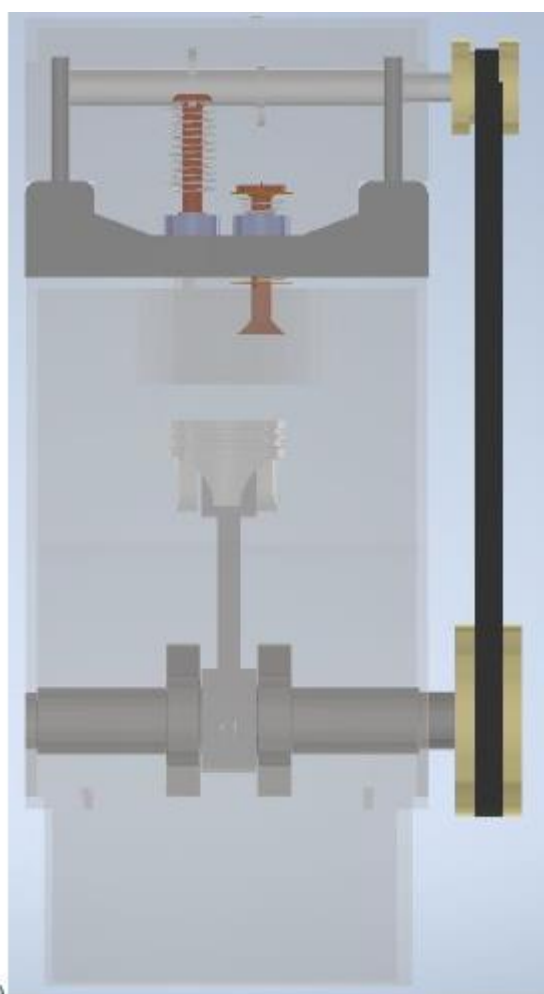
**Figura 4:** motor didático montado com vista (a) em perspectiva e (b) frontal





# VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA

## TECNOLOGIA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE



Fonte: os autores (2021).

Nesta etapa do projeto de pesquisa, foram desenvolvidos os conhecimentos pertinentes à área de desenho técnico, projeto assistido por computador (CAD), pré-cálculo, projeto de componentes mecânicos e mecanismos. Portanto, até aqui a aplicação do PBL, considerando um motor de combustão didático, auxilia na produção destes conhecimentos, habilidades e competências do discente de engenharia de produção e mecânica.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve por objetivo apresentar a modelagem de um motor didático de combustão através do software *Inventor*, a fim de desenvolver o aprendizado dos alunos, fazendo-os colocar em prática os conhecimentos adquiridos nas disciplinas através de um PBL contínuo. O aluno será envolvido, neste PBL, com disciplinas iniciais como desenho técnico e pré-cálculo e com outras mais específicas, como mecânica dos fluidos, transferência de calor, projeto de componentes mecânicos etc.

# VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA

## TECNOLOGIA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

Pode-se concluir que, através do projeto do motor de combustão didático, o discente pôde compreender os mecanismos envolvidos no movimento dos componentes do motor, bem como o seu projeto detalhado via uma ferramenta comercial, o *software Inventor*. Foram aplicados os conhecimentos da área de projeto de componentes mecânicos para determinar o tamanho das polias e a correia adequada para movimentar o eixo do virabrequim e do comando de válvulas, simultaneamente, e com rotações diferentes. Através do *Inventor*, o aluno conseguiu dimensionar o mecanismo virabrequim, biela e pistão, que precisa deslizar adequadamente no cilindro a fim de representar os quatro tempos do motor. Através de uma simulação dinâmica, foi possível visualizar o deslocamento desses elementos.

O projeto do PBL considerando o motor de combustão didático tem o objetivo de que o aluno aplique os conhecimentos adquiridos nas aulas através da concepção, projeto, fabricação, montagem e teste do motor. Ao final do PBL, o aluno terá como produto seu próprio motor, coroando o aprendizado através de um modelo mais palpável e totalmente concebido por ele. Nesta etapa, foi realizada a concepção e o projeto do motor. A próxima etapa é a fabricação de todas as peças que foram modeladas neste projeto e a montagem do protótipo, que servirá como modelo para elaboração de uma matriz de competências, que podem ser desenvolvidas com este PBL e suas respectivas disciplinas.

### REFERÊNCIAS

BRUNO, E. P. **Projeto de um motor 4 tempos, a gasolina monocilíndrico**: cálculo termodinâmico, desenho, usinagem e montagem da parte alternativa. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2008.

FRANK, M.; LAVY, I.; ELATA, D. Implementing the Project-Based Learning Approach in an academic engineering course. **International Journal of Technology and Design Education**, [s. l.], v. 13, p. 273-288, 2003.