UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ANA VITÓRIA DE SOUZA FARIAS

AUTODESK INVENTOR: POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA O ENSINO DE ENGENHARIA E FÍSICA

ANGICOS
2021

ANA VITÓRIA DE SOUZA FARIAS

AUTODESK INVENTOR: POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA O ENSINO DE ENGENHARIA E FÍSICA

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Profª. Dra. Gislene Micarla Borges de Lima

ANGICOS

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S Souza Farias, Ana Vitória de .
224a AUTODESK INVENTOR: POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA O ENSINO DE ENGENHARIA E FÍSICA / Ana Vitória de Souza Farias. - 2021.
82 f. : il.

Orientadora: Gislene Micarla Borges de Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2021.

1. Prototipagem. 2. Prototipagem virtual. 3. Autodesk Inventor. I. Borges de Lima, Gislene Micarla, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC´s) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANA VITÓRIA DE SOUZA FARIAS

AUTODESK INVENTOR: POSSÍVEIS APLICAÇÕES PARA O ENSINO DE ENGENHARIA E FÍSICA

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 28 / Maio / 2021.

BANCA EXAMINADORA

Assinado digitalmente por:
Gislene Micarla Borges de Lima
CPF: 051912284-48

Profa. Dra. Gislene Micarla Borges de Lima (UFERSA)
Presidente

ENAI TAVEIRA DA CUNHA:01301857440
Assinado de forma digital por ENAI TAVEIRA DA CUNHA:01301857440
Dados: 2021.06.10 16:58:58 -03'00'

Profa. Dra. Enai Taveira da Cunha (UFERSA)
Membro Examinador

Digitally signed by MARCOS VINICIUS CANDIDO HENRIQUES:00978165403
Date: 2021.06.10 17:19:38 BRT

Prof. Dr. Marcos Vinícius Cândido Henriques (UFERSA)
Membro Examinador

Isaura de Farias Freitas (In Memoriam)

Izanir de Souza
Silvonês de Farias Freitas

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, por estar presente em cada passo que dei, por me confortar cada vez que pensei não ser capaz, por colocar em minha vida pessoas especiais, amigos e família que me ajudaram a chegar até aqui.

Minha mãe, Izanir de Souza, e meu pai, Silvonês de Farias Freitas, pois sempre me incentivaram a estudar e ensinaram que este caminho abre portas. Sempre procuraram dar o melhor a meus irmãos e a mim. Agradeço, pois se cheguei até aqui, grande parte devo a meus pais.

Meus irmãos, Ana Clara de Souza Farias e Isaac Ramon de Souza Farias, por, do jeitinho deles, contribuírem para a formação da pessoa que sou hoje.

Minha família em geral, pois me incentivaram a ser melhor e dar o melhor de mim, sempre acreditaram no meu potencial e contribuíram para minha formação pessoal.

Minha orientadora, Profª Dra Gislene Micarla Borges de Lima, por acreditar no meu potencial e capacidade, por ter agido como uma mãe com palavras carinhosas e reconfortantes toda vez que minha ansiedade e nervosismo se manifestavam.

Todos os meus professores, desde o Fundamental I até o Ensino Superior, que através de seus ensinamentos contribuíram para que eu chegasse até aqui. Admiro todos vocês, toda sua paciência, cuidado e dedicação.

Aos amigos que fiz na universidade, Vinícius Vale, Deverson Rafael, Pablo Klinsmann, Izaque Natanael, Daniel Silva, Rômulo Ruda, Lara Fernandes, Pedro Lucas (PD), Gabriel Ramalho e ao meu amigo e, também, namorado Obadias Gurgel. Sou grata às amizades que conquistei na escola e fora dela, Nelson Bezerra, Karla Suzana, Delzir Júnior, Ana Helena, Marina Ayara, Pedro Henrique, Airton Breno, Robert Danilo, Edson Júnior e Ariel Lucas. Meus mais sinceros agradecimentos por terem me apoiado e ajudado de diversas formas tantas vezes, vocês são uma segunda família pra mim.

“Até mesmo a menor das criaturas pode mudar o rumo do mundo.”

J.R.R. Tolkien

RESUMO

Tendo em vista o desenvolvimento tecnológico e a larga utilização e importância dos *softwares* de prototipagem em diversas áreas profissionais, bem como, a implementação da prototipagem nos Laboratórios de Fabricação (FABLABs) como novo método voltado ao desenvolvimento do ensino e aprendizado, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo teórico a respeito das possíveis aplicações do *software* de prototipagem Autodesk Inventor no ensino de Física e Engenharia. Ao longo deste trabalho, será apresentado ao leitor o programa em questão, bem como, as ferramentas básicas utilizadas na prototipagem virtual, além disso, serão discutidos problemas modelos que através da prototipagem virtual possam contribuir para o ensino de Física e Engenharia e, com isso, apontamentos serão feitos, com base na perspectiva da autora, no que se refere às limitações do *software* Autodesk Inventor, como por exemplo, a carência no que tange à representação simultânea de mais de uma força agindo em um sistema.

Palavras-chave: Prototipagem. Prototipagem virtual. Autodesk Inventor.

ABSTRACT

In view of the technological development and the wide use and importance of prototyping software in several professional areas, as well as the implementation of prototyping in Manufacturing Laboratories (FABLABs) as a new method aimed at the development of teaching and learning, the present work has with the objective of presenting a theoretical study about the possible applications of the Autodesk Inventor prototyping software in the teaching of Physics and Engineering. Throughout this work, the program in question will be presented to the reader, as well as the basic tools used in virtual prototyping, in addition, model problems will be discussed that through virtual prototyping can contribute to the teaching of Physics and Engineering and, with that, , notes will be made, based on the author's perspective, regarding the limitations of the Autodesk Inventor software, such as, for example, the lack of simultaneous representation of more than one force acting on a system.

Keywords: Prototyping. Virtual prototyping. Autodesk Inventor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sala de desenvolvimento de desenhos técnicos 17
Figura 2 - A interface do software Inventor. (a) Criação de 4 ações distintas: (1) “Part”, (2) "Assembly”, (3) “Drawing” e (4) “Presentation”. (b) Configurar Modelo Padrão 22
Figura 3 - Caixa da opção “Configuração Modelo Padrão” 22
Figura 4 - Acesso aos templates 23
Figura 5 - Outros templates 23
Figura 6 - Área de trabalho. (a) Árvore de “Montagem/Modelagem”, (b) Coordenadas do plano de trabalho e (c) ferramentas para manipulação de peças 24
Figura 7 - Aba "Esboço" 24
Figura 8 - (a) Plano de trabalho, (b) comandos da aba “Esboço” 25
Figura 9 - Comando “Line” 25
Figura 10 - Parâmetros para curva da equação 26
Figura 11 - Comando “Circle” 26
Figura 12 - Comando "Arc" 27
Figura 13 - Comando “Rectangle” 27
Figura 14 - Comando “Polygon”. A primeira opção cria um polígono inscrito, a segunda irá criar um circunscrito 28
Figura 15 - Comandos “Fillet” e “Chamfer” 28
Figura 16 - (a) Caixa para definição do raio de arredondamento, (b) Caixa para definição do tipo de chanfro 29
Figura 17 - Comando para inserir texto 29
Figura 18 - Comando “Point” 30
Figura 19 - Comando “Project Geometry” (Projetar Geometria) 30
Figura 20 - Comando do painel “Modify” 31
Figura 21 - Painel “Patter” 32
Figura 22 - (a) Comandos do painel “Constrain”, (b) comando “Construction”, (c) comando “Center Line" 33
Figura 23 - Aba “Modelo 3D” 33
Figura 24 - Comandos do painel “Create” 33
Figura 25 - Submenu “Extrude” 34
Figura 26 - Submenu “Revolve” 34
Figura 27 - Submenu “Sweep” 35
Figura 28 - Comando “Sweep” perfis selecionados 35
Figura 29 - Sólido representando as nervuras 36
Figura 30 - Comandos do painel “Modify” 36
Figura 31 - (a) Submenu “Hole”, (b) representação 37
Figura 32 - (a) Submenu “Fillet”, (b) representação 37
Figura 33 - (a) Submenu “Chamfer”, (b) representação 38
Figura 34 - (a) Submenu “Shell”, (b) representação 38
Figura 35 - Submenu “Draft” 39

Figura 36 - Submenu “Thread” 39
Figura 37 - Painel “Work Features”. (1) “Plane”, (2) “Axis” e (3) “Point” 40
Figura 38 - Painel “Pattern”. (1) “Rectangular Pattern”, (2) “Circular Pattern” e “Mirror” 40
Figura 39 - (a) Aba “Anotar”, (b) aba “Inspecionar”, (c) aba “Ferramentas” e (d) aba “Visualizar” 41
Figura 40 - Comandos aba “Montagem” 41
Figura 41 - Painel “Component”. (a) “Place” e (b) “Create” 42
Figura 42 - Comandos painel Position. (a) “Move”, (b) “Rotate” 42
Figura 43 - (a) Comando “Constrain” e (b) submenu “Constrain” 43
Figura 44 - Outros comandos da aba “Montagem” 43
Figura 45 - Comando “Dynamic Simulation” 43
Figura 46 - (a) Comando “Inserir Junta”, (b) caixa do “Simulador” 44
Figura 47 - Representação Pêndulo de Newton 45
Figura 48 - Representação dos vetores força e velocidade 46
Figura 49 - Meio círculo para criação do sólido 47
Figura 50 - (a) Criação de traços equidistantes da linha de construção e (b) submenu “Sweep” 47
Figura 51 - (a) Sólido a partir do comando "Sweep", (b) projeção da geometria no plano XY 48
Figura 52 - Retângulo para construir a base 48
Figura 53 - Base feita a partir do comando "Extrude" 49
Figura 54 - Furos para o encaixe do suporte 49
Figura 55 - Esboço do suporte 50
Figura 56 - Círculo de referência para espessura do suporte 50
Figura 57 - Comando "Sweep" 51
Figura 58 - Suporte finalizado 51
Figura 59 - Peças posicionadas na área de trabalho 52
Figura 60 - Restringindo o suporte à face normal da base 52
Figura 61 - Restringindo o suporte ao furo da base 53
Figura 62 - Inserção dos eixos 53
Figura 63 - Inserção dos planos de referência 53
Figura 64 - Representação das restrições nos pêndulos 54
Figura 65 - Representação da “Gravidade” 55
Figura 66 - Ângulo em que o pêndulo inicia o movimento 55
Figura 67 - Identificação do "Contato 2D" dos pêndulos 56
Figura 68 - Representando a trajetória do pêndulo 56
Figura 69 – Representação do gráfico posição x tempo gerado no Inventor com o experimento dos “Pêndulos de Newton” 57
Figura 70 - Perspectiva do sistema massa-mola 58
Figura 71 - (a) Equilíbrio, (b) esticada, (c) comprimida 58
Figura 72 - Esboço da massa 59
Figura 73 - Extrusão para formar o sólido 59

Figura 74 - Criação do furo de referência na massa 60
Figura 75 - (a) Esboço, (b) Extrusão para criar o sólido, (c) criação do furo de referência 60
Figura 76 - Posição das peças na área de trabalho 61
Figura 77 - Neste exemplo foi escolhido o eixo X para restrição 61
Figura 78 - (a) eixo do sistema (eixo X neste exemplo), (b) furo de referência da massa 62
Figura 79 - Restrição entre o plano e a face normal do sólido 62
Figura 80 - Restrição entre a face normal da massa e a face normal do sólido de encaixe 63
Figura 81 - Restrição entre os eixos das peças 63
Figura 82 - (a) Escolha da face de trabalho, (b) criação de um plano de trabalho na face selecionada, (c) criação do plano na face normal da massa 64
Figura 83 - (a) Eixo criado entre as peças e (b) representação das projeções criadas e sua cota 65
Figura 84 - Representação do esboço da mola 65
Figura 85 - Criação da mola a partir do esboço 66
Figura 86 - Retira-se as partes da mola que se projetam para dentro das faces das peças 66
Figura 87 - Sistema massa-mola finalizado 67
Figura 88 - Caixa de diálogo para geração de movimento automático 67
Figura 89 - (a) Montagem sistema massa-mola e (b) Comando "Inserir Junta" para sistema massa-mola 68
Figura 90 - Opção "Mola / Amortecedor / Conector" 69
Figura 91 - (a) Propriedades da mola e (b) configurações da mola 69
Figura 92 - Caixa opção "Gravidade". (a) informa-se o local em que a força está localizada no sistema, (b) modifica a direção da força 70
Figura 93 - Fixar uma peça 70
Figura 94 - Caixa do comando "Força". (a) Seleciona-se o local em que a força irá atuar, (b) indica a direção da força, (c) informa-se a intensidade da força 71
Figura 95 - (a) Representação das forças de compressão e (b) tração 71
Figura 96 - Caixa do comando "Traço". (a) seleciona-se a origem da peça, (b) indica a peça de referência 72
Figura 97 - Caixa do "Gráfico de Saída" 72
Figura 98 - Representação gráfica do Sistema Massa-Mola submetido a uma força de compressão. Gráfico gerado a partir do Inventor 73
Figura 99 - Representação gráfica do Sistema Massa-Mola submetido a uma força de tração. Gráfico gerado a partir do Inventor 73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	*Computer Aided Design*
Fab Lab	Laboratório de Fabricação
2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
AI	Autodesk Inventor

LISTA DE SÍMBOLOS

@	Arroba
©	Copyright
®	Marca registrada
%	Porcentagem
$	Cifrão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16
2. INVENTOR 21
2.1. Ferramentas 21
2.1.1. “Esboço” 24
2.1.2. “Modelo 3D” 33
2.1.3 “Montagem” 41
2.1.3.1 Aba “Ambiente” 43
3. EXEMPLOS DE PROJETOS 45
3.1 Pêndulos de Newton 45
3.1.1 Pêndulo de Newton no Inventor 47
3.2 Sistema massa – mola 57
3.2.1 Sistema massa-mola no Inventor 58
4. CONCLUSÃO 74

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, os seres humanos têm buscado meios práticos e eficazes para realização de suas tarefas, sendo notório que tal busca desempenhou e desempenha um papel crucial no que se refere ao desenvolvimento da ciência e tecnologia. Na Revolução Industrial, por exemplo, a busca por uma produção em larga escala de mercadorias fez com que fossem desenvolvidas as máquinas a vapor e, posteriormente, a análise da eficiência dessas máquinas foi crucial para o desenvolvimento das Leis da Termodinâmica. Além disso, segundo Carvalho (1997) foi a partir da Revolução Industrial que os conhecimentos tecnológicos e a estrutura social foram modificados de forma acelerada.

A engenharia consiste em um conjunto de técnicas e métodos voltados ao desenvolvimento de estruturas para auxílio do ser humano. A inovação em diferentes setores, impulsionada pelos avanços da inteligência artificial, automação e criação de *softwares* que auxiliam no design, pré-construção, construção, operação e gestão de projetos, são cada vez mais comuns. A Engenharia Mecânica e a Civil não ficam de fora disso. No cenário atual, ambas fazem uso, em larga escala, de recursos tecnológicos, como os *softwares*, para realização e monitoramento de seus trabalhos. *Softwares*, também conhecidos como programas, são constituídos por códigos que formam a parte lógica de computadores ou algum outro aparelho eletromecânico. Através deles é possível a realização de tarefas simples como navegar na internet, que é o caso dos browsers ou navegadores, bem como a criação de complexos projetos de construção sejam mecânicos ou civis, como os programas de prototipagem. Além de serem vastamente utilizados na engenharia dentro de empresas do ramo tecnológico, os *softwares* de prototipagem podem aparecer como alternativas auxiliares para criação de projetos aplicados no ensino de Engenharia e Física.

A prototipagem pode ser compreendida como uma etapa em que a compreensão de um projeto, de determinado produto, é incorporada em uma dada representação (protótipo), seja física ou virtual, em que a partir de testes é possível determinar se reparos são necessários (CLARK; WHEELWRIGHT, 1993). *Softwares* CAD, do inglês Computer Aided Design – Desenho Assistido por Computador, como SolidWorks, Revit, Autodesk Inventor, entre outros, são utilizados em larga escala para desenvolver protótipos virtuais de estruturas ou peças. Contudo, antes destes *softwares* serem criados, ideias e projetos eram descritos por meio do desenho técnico, com o auxílio de ferramentas como, pranchetas, esquadros, lápis, papel vegetal, nanquins e etc. Este tem sua linguagem baseada no trabalho intitulado “Geometrie

Descriptive" publicado em 1795, do matemático francês Gaspard Monge, cujo método permite a representação de objetos tridimensionais em superfícies planas. Na Figura 1 é possível observar como se dava o processo de criação de projetos a partir do desenho técnico em período antecessor ao desenvolvimento dos *softwares* CADs.

Figura 1 - Sala de desenvolvimento de desenhos técnicos

Fonte: Retirada da referência ArchDaily, 2021

Assim, considera-se que o desenho técnico seja a aplicação dos princípios da geometria descritiva. Ele obedece às regras estipuladas mundialmente, deve transmitir uma ideia, conceito ou projeto de forma única, sem duplo significado ou múltiplas interpretações (SILVA, 2006).

> Uma vantagem evidente dos desenhos digitais em relação aos desenhos tradicionais é a possibilidade de experimentar modificações no projeto, estudar pontos de vista alternativos ou testar diferentes técnicas de desenho. Essas vantagens advêm da possibilidade de se desfazer uma ação ou uma sequência de operações, ou salvar uma versão do desenho enquanto trabalhamos em uma cópia ou retornar à versão salva, se necessário (CHING, 2017, p.14).

Apenas em meados da década de 50 ocorreram pesquisas significativas acerca da criação dos primeiros *softwares* de prototipagem virtual, tornando – se, mais tarde, conhecidos como CAD aqui já citados, o termo é creditado ao cientista da computação Douglas Taylor Ross, o qual fez parte do desenvolvimento destas ferramentas. Em 1960 Ivan Sutherland criou o SKETCHPAD, primeiro *software* CAD, era um editor gráfico contendo os princípios básicos e a efetividade do desenho técnico de computador, ele permitia ao projetista o uso de uma caneta de luz em que podia desenhar no monitor, semelhante as mesas digitalizadoras. Até então os

softwares CADs eram de aplicação em duas dimensões (2D), apenas na década de 70 começaram a surgir as aplicações em três dimensões (3D), assemelhando- se aos desenhos manuais. Foi então em meados dos anos 80 que o desenho de sólidos em CADs surgiu. Desde então empresas como Dassault Systèmes (1977), Autodesk (1995), entre outras, vêm desenvolvendo ferramentas de desenho 3D como CATIA, SolidWorks, Autocad, Inventor e vários outros *softwares*. As aplicações destes programas estendem-se para além das engenharias, abrangem áreas dentro do ramo académico e outras como a cinematográfica e *design*.

O uso de *softwares* de modelagem já é bem difundido atualmente, seja no âmbito acadêmico, seja no ramo empresarial, uma vez que por meio deles é possível prever o funcionamento de determinado projeto, otimizando o processo de criação e testes. Outros fatores que contribuem para a expansão desses *softwares* é a possibilidade de criar diversas formas, como linhas e figuras sejam elas bidimensionais e tridimensionais, além de oferecer ao projetista a visualização do projeto em várias vistas e ângulos, bem como a capacidade de gerar fotomontagens. Segundo Farrely (2015) essa técnica é usada com o intuito de representar as ideias do cliente ou ilustrar a maneira como o projeto se adapta ao determinado terreno, por exemplo, tornando mais fácil a aprovação de possíveis soluções propostas. Diversas áreas da engenharia e fora dela fazem uso do CAD, tais como Engenharia Civil, Mecânica, Elétrica, Design, Arquitetura entre outros.

Na Engenharia Civil, *softwares* como AutoCAD, SketchUp e Revit fazem parte do dia a dia dos profissionais da área. Dentre eles, o primeiro é o mais utilizado seja para fazer plantas na construção civil, planta elétrica ou modelos de projetos mecânicos, porém não permite uma visualização tridimensional destes. O programa Revit é constituído por ferramentas voltadas à elaboração de projetos hidráulicos, elétricos e estruturais de uma construção, além de permitir a colaboração em equipe. Já o SketchUp configura-se como um *software* intuitivo e rápido, com ele é possível modelar a ideia do projeto, porém não é usado na elaboração das estruturas hidráulicas e elétricas.

Apesar do AutoCAD ser bastante usado na área de mecânica para elaboração de plantas, programas como SolidWorks e Inventor ganharam espaço quando se trata de modelagem de peças, uma vez que, através deles é possível simular os movimentos requeridos no projeto. O SolidWorks permite ao usuário a realização de testes que simulam a realidade, como estresse, temperatura e pressão, sendo mais intuitivo. Entretanto, este programa não dispõe de uma

assinatura gratuita para estudantes. O Inventor, por outro lado, possui a opção de assinatura gratuita para estudante, além de ser mais completo no que tange modelagem e simulação de peças. Contudo, este *software* é escasso de materiais e tutoriais voltados a explicar suas ferramentas com profundidade. O CAD se tornou uma ferramenta tão poderosa e indispensável que está difundida em várias esferas do trabalho, inclusive na TV. Programas como, 3D Studio MAX e Maya, ambos da empresa Autodesk, são voltados para modelagem tridimensional e renderização de imagens e animações. Usados em produções de filmes, animações, personagens de jogos e qualquer outra aplicação envolvendo criação de um ambiente virtual.

O uso de papel, esquadros e nanquins para representação de projetos, seja na área civil, mecânica ou elétrica, era muito comum há anos atrás, no entanto, ao identificar um problema na planta, o projetista teria o trabalho de refazer todo o projeto, ou seja, gastos com mais materiais referentes ao esboço. Desta maneira, havia um impacto tanto no lado econômico, quanto no tempo empregado. Assim sendo, a chegada do CAD trouxe uma economia nesses dois quesitos, uma vez que criar uma planta no AutoCAD, por exemplo, torna – se mais prático e rápido que fazê-la a mão. Pode – se citar, também, o fato de que no computador o engenheiro ou projetista tem um controle maior das medidas usadas no projeto, bem como, os materiais adequados podendo, inclusive, simular situações dinâmicas em que possam analisar o desempenho do protótipo virtual, isso tudo com o intuito de prever e corrigir possíveis falhas no modelo.

Além das aplicações na área de engenharia de forma profissional, a prototipagem aparece como protagonista nos FABLABs (Laboratório de Fabricação do inglês Fabrication Laboratory), esses surgiram como um novo método voltado ao desenvolvimento do ensino e aprendizagem através de ferramentas geridas por intermédio de um computador e materiais, ambos voltados à prototipagem. Tendo como base o movimento *maker*, o qual pode ser caracterizado pela possibilidade de o aluno entrar em contato direto com o processo de construção e resolução de problemas em diversas áreas por meio de materiais reais (MEDEIROS et al, 2016). John Dewey, filósofo e pedagogista, propôs que a educação deve ser mais experimental de forma que possa se conectar com o mundo real. No Brasil, os FABLABs começaram a se expandir em 2015 quando começaram a contar com o apoio do poder público, instituições de ensino e associações. Na atualidade, vários deles são ligados a prefeituras, universidades como o Insper e o SESI. Segundo o presidente do Instituto de FABLABs do Brasil há no país em torno de 59 desses laboratórios, a maioria localizado no estado de São

Paulo (LAVADO, 2019). Um experimento realizado com uma turma de 20 alunos do 8º e 9º na cidade de Gravataí, RS, no qual os mesmos teriam que construir protótipos de geradores de energia elétrica, sem ter tido uma aula prévia. Ao final do experimento, os alunos foram capazes de explicar de maneira clara e prática o funcionamento de usinas hidrelétricas e eólicas (MEDEIROS et al, 2016). Dessa forma, pode se constatar que com os FABLABs os estudantes conseguem absorver melhor os conteúdos, bem como, compreender de forma clara o funcionamento dos problemas propostos.

Assim sendo, neste trabalho será apresentado para o leitor informações acerca do uso do *software* Autodesk Inventor, por meio de apontamentos das ferramentas básicas disponibilizadas por este programa para o desenvolvimento de projetos em 3D, com o intuito de fazer com que o leitor possa conhecer um pouco sobre o *software* em questão. Além disso, serão discutidos problemas modelos que podem ser utilizados para abordagens no ensino de conceitos correlatos com a Engenharia e a Física. Por fim, serão apontadas as vantagens e as limitações observadas durante o uso do *software,* na perspectiva da autora.

2. INVENTOR

O *software* CAD Autodesk Inventor surgiu no mercado para auxiliar engenheiros mecânicos no processo de criação de projetos em 3D, como também, permite ao usuário a documentação e simulação destes produtos, bem como, o compartilhamento de ideias entre diversas pessoas e revisão de projetos por intermédio das ferramentas de serviço on-line integrada ao programa. O Inventor é um *software* paramétrico, ou seja, ao construir um modelo em 3D, inicialmente o projetista irá fazer um esboço do perfil da peça. Neste, informará os parâmetros que seriam largura e comprimento, por exemplo. Esses parâmetros permitem a construção de esboços com dimensões precisas (CRUZ, 2016). Desta forma, ao alterar esses parâmetros, toda a peça construída a partir desse esboço, será juntamente modificada.

Como mencionado anteriormente, o programa em questão, permite a simulação dos produtos, de outro modo, ele fornece ferramentas na qual é possível reproduzir movimentos, os quais a peça deve realizar. Além de conter uma biblioteca de materiais que podem ser aplicados aos modelos em 3D. Ademais, no site da empresa Autodesk[1], responsável pela elaboração do Inventor, é disponibilizado a opção Autodesk *student* a qual permite aos usuários que são estudantes o acesso gratuito ao programa e suas ferramentas, a partir da constatação do vínculo entre o usuário e a instituição de ensino.

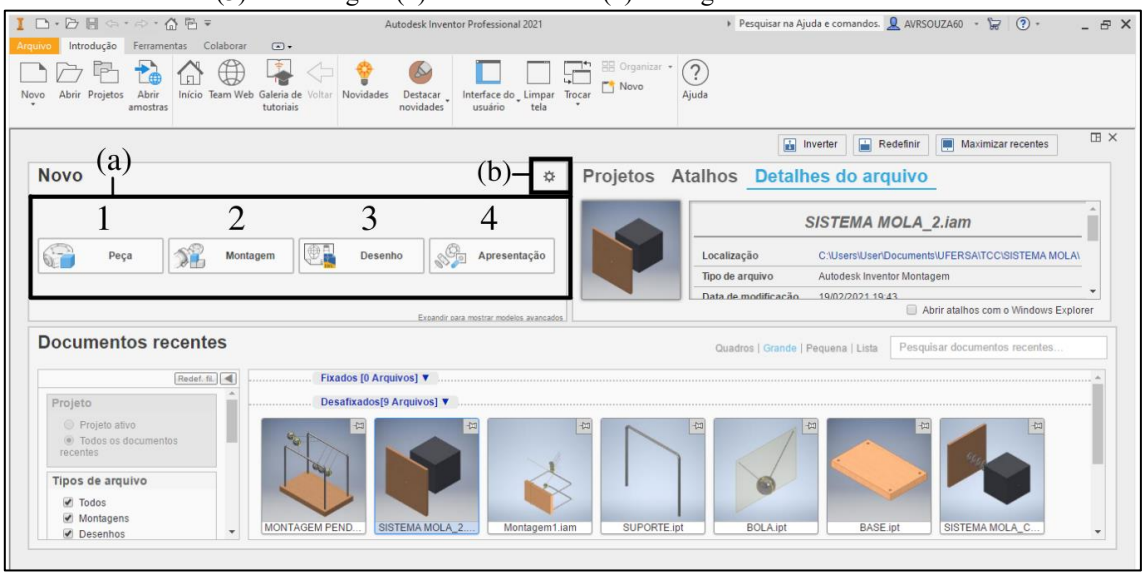
2.1. FERRAMENTAS

O *software* Autodesk Inventor (AI) contém diversas ferramentas que são de grande importância na elaboração dos modelos mecânicos, desde a elaboração de esboços 2D a adição de peças eletromecânicas. A interface entre o *software* e o usuário consiste na tela de comando mostrada pelo programa, comumente, observa-se a existência de imagens, ícones e demais ferramentas as quais facilitam a utilização de tarefas pelo usuário. Ao acessar o programa o usuário terá como primeira visão a imagem da Figura 2. O *software* permite que o usuário faça 4 ações distintas: (I) crie peças mecânicas novas; (II) faça a montagem de projetos a partir de peças já criadas; (III) obtenha diferentes vistas do projeto e (IV) crie a animação ou vistas explodidas para arquivos de montagem, na Figura 2-(a) estão representadas as possibilidades de entrada para essas ações, respectivamente. Nesse mesmo ambiente, tem-se o botão

[1] Site: https://www.autodesk.com.br/education/edu-software/overview?sorting=featured&page=1

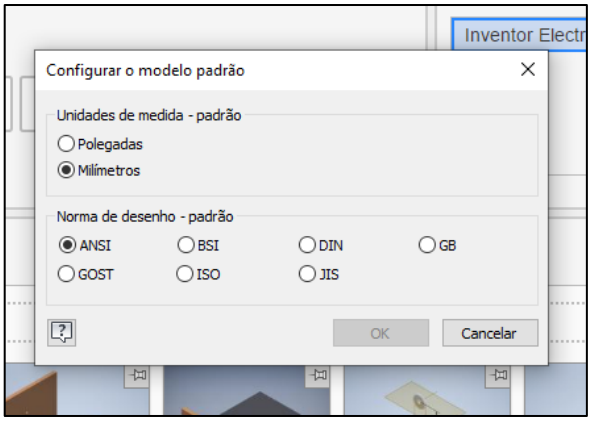
“Configurar modelos padrão”, ilustrado na Figura 2-(b), o qual permite ao usuário substituir a unidade padrão usada nos modelos (ver Figura 3).

Figura 2 - A interface do software Inventor. (a) Criação de 4 ações distintas: (1) “Part”, (2) "Assembly”, (3) “Drawing” e (4) “Presentation”. (b) Configurar Modelo Padrão



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 3 - Caixa da opção “Configuração Modelo Padrão”

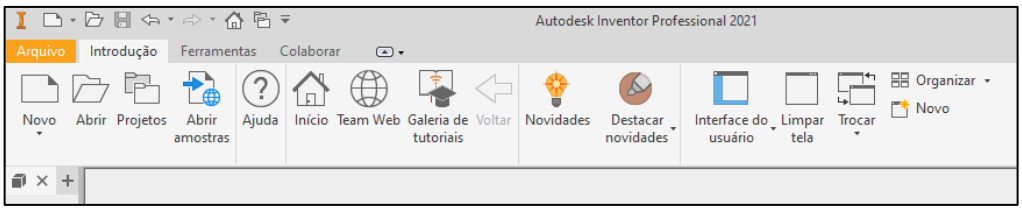


Fonte: Autoria própria, 2021

Criando ou editando um projeto

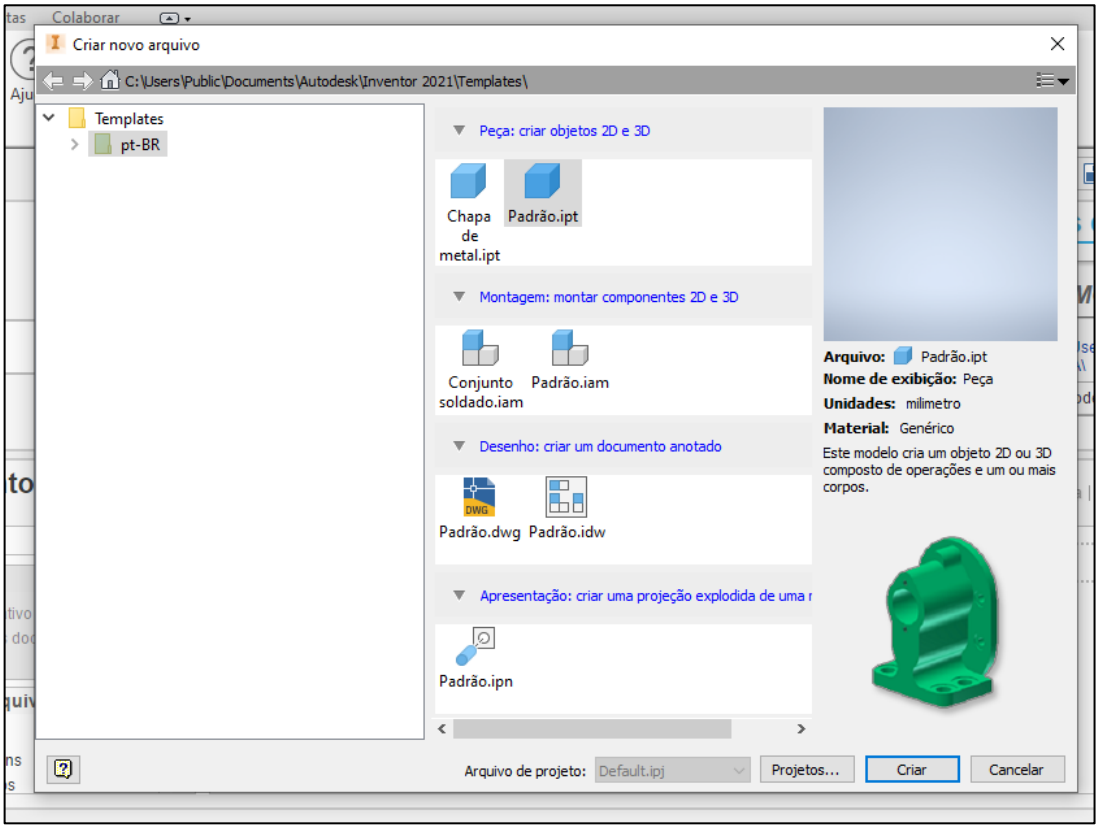
Dentro da aba representada na Figura 4, no botão Novo o usuário tem acesso a vários outros *templates*, (ver Figura 5), além de ter a opção de importar arquivos CAD. Após escolher o template desejado, deve-se clicar em criar e o arquivo será aberto.

Figura 4 - Acesso aos templates



Fonte: Autoria própria, 2021

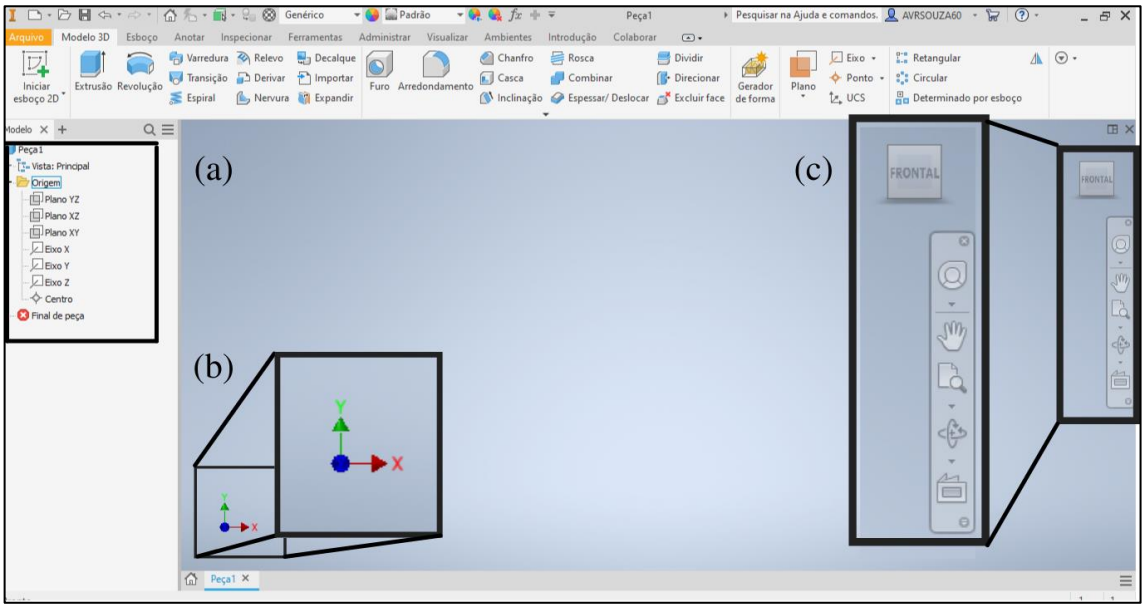
Figura 5 - Outros templates



Fonte: Autoria própria, 2021

Ao criar um arquivo, é apresentado a área de trabalho onde o usuário utilizará as ferramentas disponíveis para modelar e montar uma peça mecânica. Na Figura 6-(a) está representado a árvore de **"Montagem/Modelagem"**, onde ficam registrados os esboços, montagens e restrições que cada peça possui, além de apresentar os planos de origem da área de trabalho e das peças. No canto inferior esquerdo da área de trabalho ficam as coordenadas do modelo no plano, são representadas por X, Y e Z, como visto na Figura 6-(b). As ferramentas, retratadas na Figura 6-(c), se encontram ao lado superior direito da área de trabalho. O cubo nos fornece as vistas do modelo, para usá-lo basta clicar em suas faces. As demais ferramentas são para movimentar o objeto, obter o *zoom* e visualização.

Figura 6 - Área de trabalho. (a) Árvore de “Montagem/Modelagem”, (b) Coordenadas do plano de trabalho e (c) ferramentas para manipulação de peças

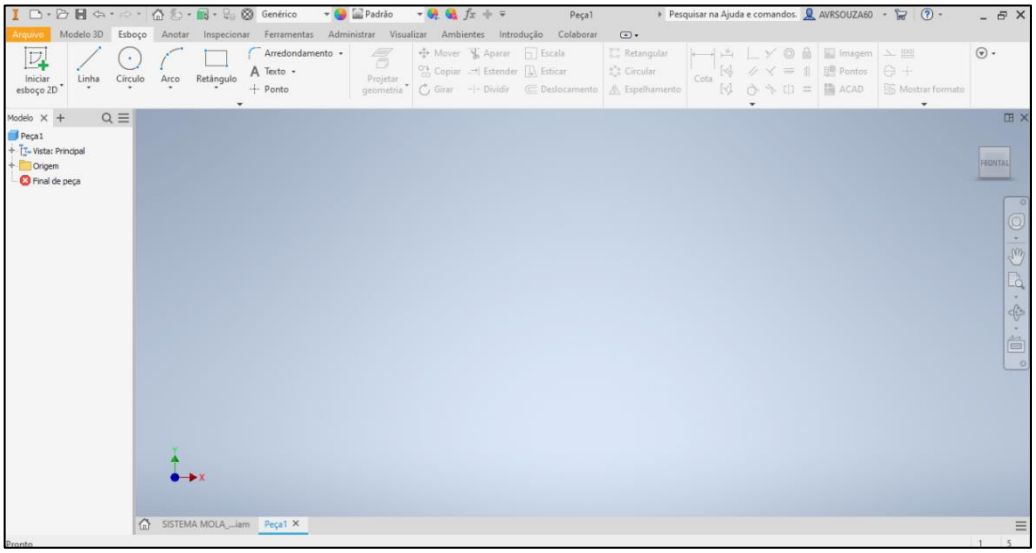


Fonte: Autoria própria, 2021

2.1.1. “Esboço”

A etapa inicial de um protótipo é marcada pelo estabelecimento dos parâmetros de cada peça a ser incorporada no projeto. Como por exemplo, caso o usuário deseje criar uma peça cúbica, ele precisa especificar as dimensões do lado do cubo. O desenho inicial é construído a partir da aba **“Esboço”**.

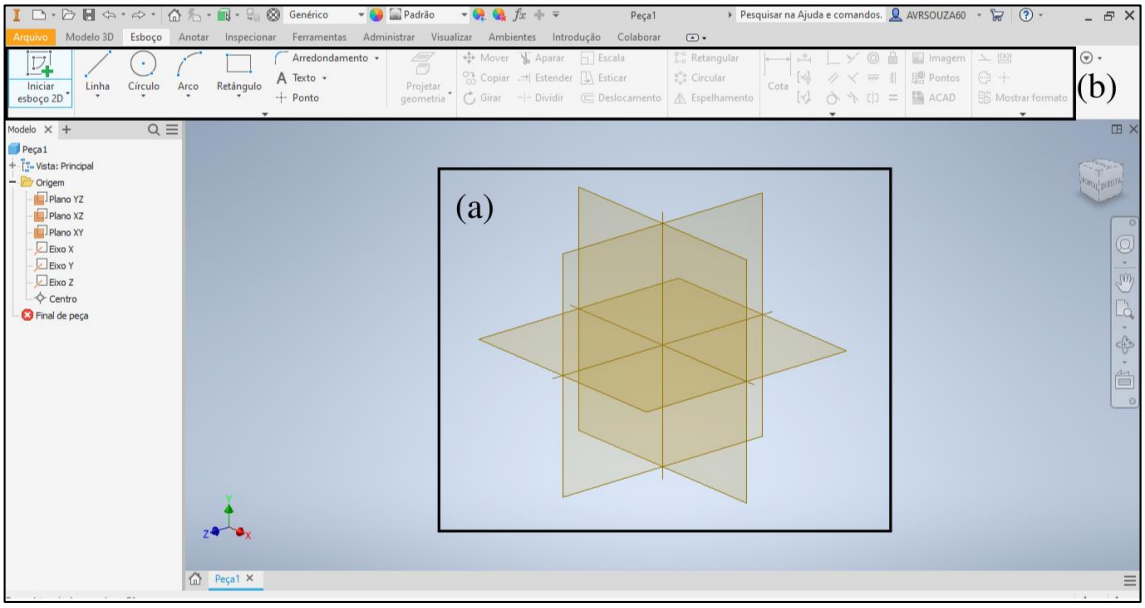
Figura 7 - Aba "Esboço"



Fonte: Autoria própria, 2021

Ao clicar no botão **“Iniciar Esboço 2D”** serão apresentados os planos de trabalho, vistos na Figura 8-(a), em que o usuário irá fazer o esboço da peça. Dentro da aba **“Esboço”** estão presentes algumas ferramentas, como mostra a Figura 8-(b), que auxiliam na criação do *sketch* da peça.

Figura 8 - (a) Plano de trabalho, (b) comandos da aba “Esboço”

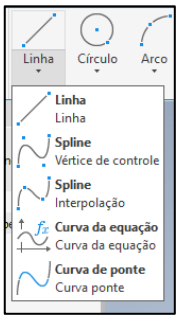


Fonte: Autoria própria, 2021

Comando “Line”

Dentro da aba esboço, têm – se o comando **“Line”** (Linha), representado na Figura 9, usado para criar, como o próprio nome diz, uma linha. Para utilizar, basta clicar em um ponto inicial e, em seguida, no final ou no atalho L do teclado.

Figura 9 - Comando “Line”



Fonte: Autoria própria, 2021

Em seu submenu têm opções para criação de linhas curvas, bastando apenas informar os pontos, outro botão presente nesse comando é o de geração de curva de equações, a partir de parâmetros informados na caixa de diálogo aberta quando o este comando é selecionado, como mostra a

Figura 10. Há também o comando **“Curva de ponte”**, em que é criada uma curva conectando dois pontos. Uma vez que há dois pontos ou retas, basta acionar este comando e uma curva será criada entre os pontos ou retas.

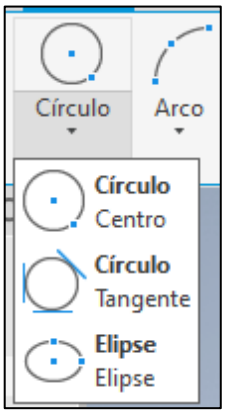
Figura 10 - Parâmetros para curva da equação

Fonte: Autoria própria, 2021

Comando “Circle”

Este comando, ver Figura 11, permite a criação de círculos. No submenu do comando tem as opções **“Circle Center Point”**, **“Circle Tangent”** e **“Ellipse”**. **“Circle Center Point”**, o usuário define o centro e, em seguida, o raio da circunferência, isso pode ser feito por meio de clique ou digitando na caixa de medidas que abre no momento que é acionado o comando. Na opção **“Circle Tangent”**, define-se três linhas, o diâmetro é determinado pelas retas. Assim, basta acessar o comando e selecionar as três retas. E, na opção **“Ellipse”**, é definido o centro e dois eixos para criar a elipse.

Figura 11 - Comando “Circle”



Fonte: Autoria própria, 2021

Comando “Arc”

Este comando, representado na Figura 12, permite a criação de arcos. Em seu submenu há três opções, **“Three Point Arc”**, **“Tangent Arc”** e **“Center Point Arc”**. A primeira opção cria-se um arco a partir de três pontos distintos na área de trabalho, a segunda opção cria ao final ou começo de uma linha ou arco e a última é definido o centro e, em seguida, o ponto inicial e final do arco.

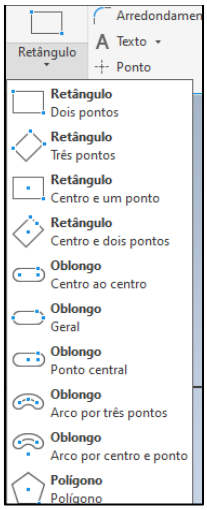
Figura 12 - Comando "Arc"

Fonte: Autoria própria, 2021

Comando “Rectangle”

Este comando, ver Figura 13, permite a criação de retângulos, além de *slots* (formas oblongas) e polígonos. Em seu submenu são apresentadas as possibilidades de criar estas formas. O retângulo pode ser esboçado a partir de 2 a três pontos, como também informando o centro da forma e um ponto ou o centro e dois pontos.

Figura 13 - Comando “Rectangle”



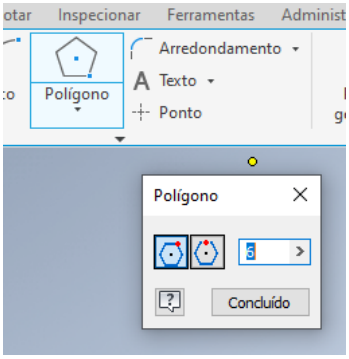
Fonte: Autoria própria, 2021

A forma oblonga pode ser representada por cinco meios:

- Centro ao centro: em que o usuário informa dois pontos centrais;
- Geral: neste caso a forma é criada a partir de três pontos;
- Ponto central: aqui o usuário cria, também, por meio de três pontos, contudo o primeiro irá definir o centro, o segundo o comprimento e terceiro a largura;
- Arco por três pontos: este comando irá criar um *slot* em arco por intermédio de três pontos. Sendo que, os dois primeiros definem o centro e o terceiro o raio do arco;
- Arco por centro e ponto: neste comando o *slot* é definido pelo raio da linha de centro, em seguida pelo início e fim da linha de centro e largura da forma.

Por último, tem-se o comando para esboçar polígonos, retratado na Figura 14. Ao clicar sobre ele, aparecerá uma caixa de diálogo na qual será informado o número de lados que o polígono terá, bem como a opção de ser inscrito ou circunscrito em uma circunferência.

Figura 14 - Comando "Polygon". A primeira opção cria um polígono inscrito, a segunda irá criar um circunscrito

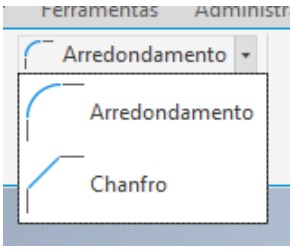


Fonte: Autoria própria, 2021

Comandos "Fillet" (Arredondamento) e "Chamfer" (Chanfro)

Estes dois comandos, apresentados na Figura 15, podem ser acionados tanto clicando sobre o botão, quanto pelo atalho F no teclado.

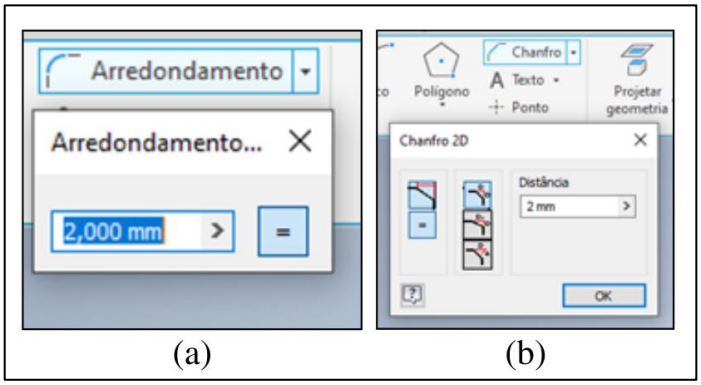
Figura 15 - Comandos "Fillet" e "Chamfer"



Fonte: Autoria própria, 2021

O **“Fillet”**, cria um raio de arredondamento sobre as arestas desejadas, ao selecioná-lo aparecerá uma caixa de diálogo, como mostra a Figura 16-(a), na qual, deve-se informar o valor do raio de arredondamento. Já o **“Chamfer”**, cria chanfros sobre as arestas desejadas, ao acioná-lo é aberta uma caixa de diálogo, ver Figura 16-(b), em que o usuário escolherá o tipo de chanfro a ser usado.

Figura 16 - (a) Caixa para definição do raio de arredondamento, (b) caixa para definição do tipo de chanfro



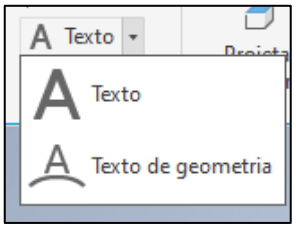
Fonte: Autoria própria, 2021

No comando **“Chamfer”**, acionando o primeiro botão do lado esquerdo da Figura 16-(b) são colocadas cotas nos chanfros, o botão **“Igual” (=)** permite que todos os chanfros aplicados a geometria, fiquem com um mesmo valor. Os demais botões são, respectivamente, para aplicar um chanfro de mesmo valor as dimensões vertical e horizontal, aplicar chanfro de divergente valor as dimensões vertical e horizontal e definir um chanfro por meio da distância e um ângulo.

“Create Text”

Esta ferramenta, apresentada na Figura 17, possui como atalho T no teclado. A primeira opção do submenu possibilita a criação de texto tanto em baixo relevo como em alto. Para usar este comando cria-se um esboço de texto que sofrerá extrusão (CRUZ, 2016). Já a segunda opção é criar textos em torno de uma geometria.

Figura 17 - Comando para inserir texto

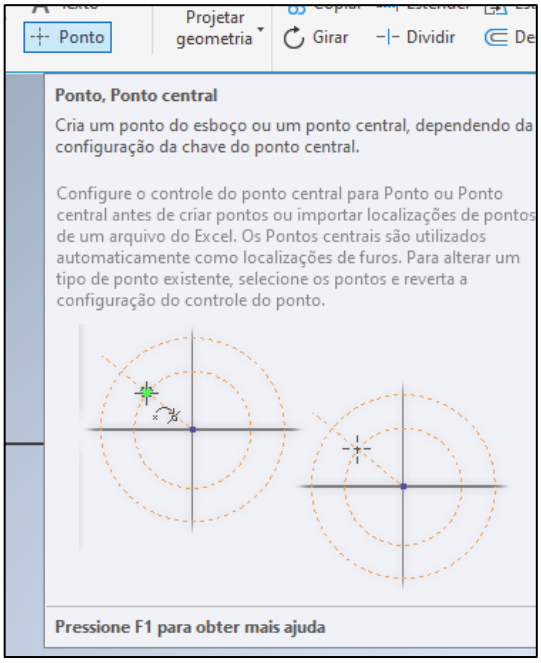


Fonte: Autoria própria, 2021

Comando “Point”

Ao selecionar este comando, ver Figura 18, o usuário define o centro ou ponto de furo como referência ou posição de um furo a ser criado com o comando “Hole”, ver Figura 31.

Figura 18 - Comando “Point”

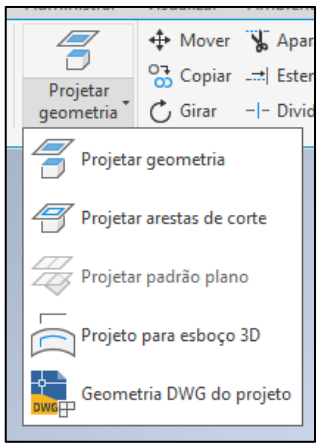


Fonte: Autoria própria, 2021

Comando “Project Geometry” (Projetar Geometria)

Este comando, representado na Figura 19, projeta geometrias de arestas desejadas do modelo no esboço que está sendo trabalhado. Para isso, basta selecionar o ponto, aresta ou face do modelo que o usuário deseja projetar.

Figura 19 - Comando “Project Geometry” (Projetar Geometria)

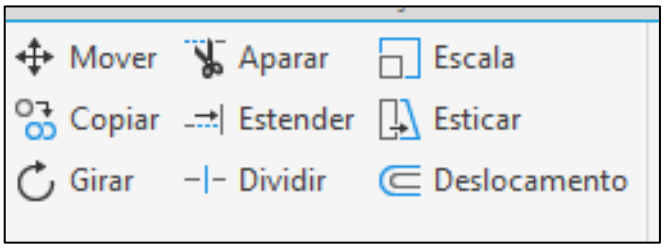


Fonte: Autoria própria, 2021

Comandos do painel “Modify”

Neste painel, apresentado na Figura 20, são encontradas algumas ferramentas, cuja função é modificar o esboço.

Figura 20 - Comando do painel “Modify”



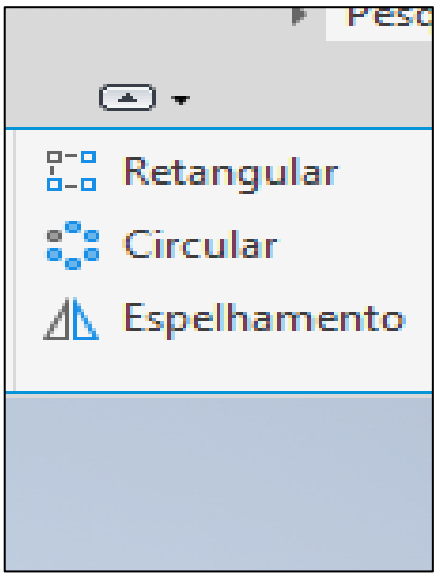
Fonte: Autoria própria, 2021

- Move (Mover): Ao acionar este comando e selecionar a geometria, bem como um ponto de base, pode-se mover o esboço;
- Copy (Copiar): Este comando permite selecionar, marcar um ponto de base e copiar o esboço desejado;
- Rotate (Girar): Ao selecionar a geometria e marcar um ponto como base, com este comando acionado, é possível rotacionar o esboço.
- Trim (Aparar): permite ao usuário cortar partes da geometria que se cruzam;
- Extend (Estender): ao contrário do “Trim”, este comando permite que a linha ou arco selecionado se estenda até o elemento mais próximo que este cruzar;
- Split (Dividir): este comando divide elementos cruzados sem apagar nenhum deles;
- Scale (Escala): ao clicar em um ponto base da geometria com este comando acionado e digitar o valor no campo, a escala do objeto será alterada;
- Stretch (Esticar): tem a função de esticar o elemento até o ponto determinado no esboço;
- Offset (Deslocamento): esse comando tem a função de criar/copiar uma curva, reta ou, até mesmo, uma geometria paralela a outra já existente.

Comandos do painel “Patter” (Padrão)

Os comandos **“Circular Patter”** e **“Rectangular Patter”** permitem criar repetições do elemento selecionado, tendo como referência, respectivamente, centro e ângulos, linhas e colunas. Já o comando **“Mirror”** (Espelhamento), espelha um ou mais geometrias a partir de uma linha de referência. Estes comandos são exibidos na Figura 21.

Figura 21 - Painel “Patter”

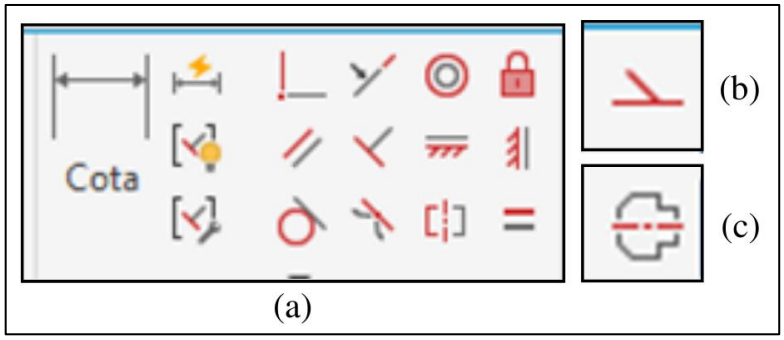


Fonte: Autoria própria, 2021

Comandos do painel “Constrain” (Restrição)

O comando **“Dimension”** (Cota), é usado para cotar todos os tipos de elementos seja linha, curva, arco, círculo ou ângulo. Os demais comandos deste painel são usados para restringir elementos geométricos do esboço a outros, por exemplo, restringe linhas para deixá-las perpendiculares, linhas para deixar tangente à círculos, bem como, restringe linhas paralelas. Esse painel é representado na Figura 22-(a). Com o comando **“Construction”** (Construção), mostrado na Figura 22-(b), é possível criar linhas, curvas ou geometrias de referência. Com o comando **“Center Line”** (Linha de Centro) selecionado, ver Figura 22-(c), pode-se criar uma linha e esta será uma linha de centro, ou seleciona uma linha já existente e aciona o comando. A *center line* é uma linha de referência no centro da geometria

Figura 22 - (a) Comandos do painel “Constrain”, (b) comando “Construction”, (c) comando “Center Line"

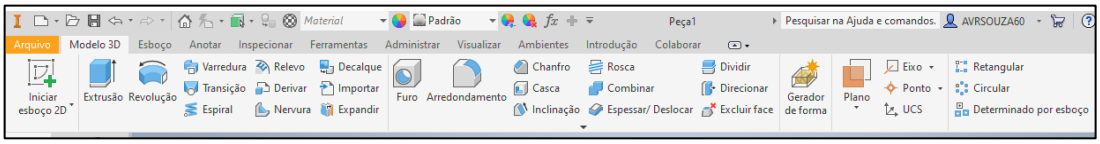


Fonte: Autoria própria, 2021

2.1.2. “Modelo 3D”

Nesta aba, os esboços gerados, anteriormente, são transformados em peças 3D, para isso ela conta com algumas ferramentas e comandos, como ilustrado na Figura 23.

Figura 23 - Aba “Modelo 3D”

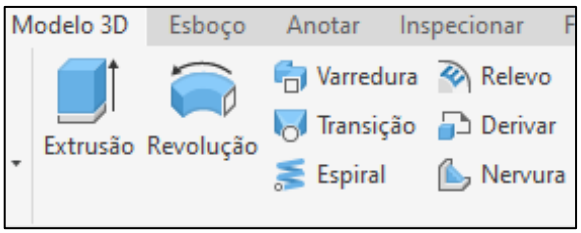


Fonte: Autoria própria, 2021

Comandos do painel “Create” (Criar)

Este painel, ver Figura 24, possui alguns comandos para edição da peça 3D, dentre eles, pode-se destacar:

Figura 24 - Comandos do painel “Create”

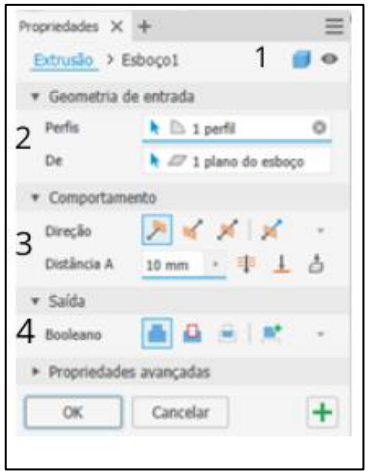


Fonte: Autoria própria, 2021

- Extrude (Extrusão): este comando é utilizado para gerar sólidos, superfícies e cortes nas peças. Ele possui uma caixa de diálogo, mostrada na Figura 25, na qual, informa-se a ação que será realizada. A primeira parte (Figura 25 -1) neste submenu é a opção para gerar um sólido ou uma superfície sólida, como uma casca, a partir da área selecionada. No campo “Geometria de entrada” (Figura 25-2) mostra os perfis selecionados. O campo Comportamento (Figura 25-3), pode-se informar a

distância da extrusão, bem como, a direção em que ela irá ocorrer. Já a quarta parte (Figura 25-4), saída, mostra a operação que será realizada, seja para unir, recortar ou fazer a interseção das peças.

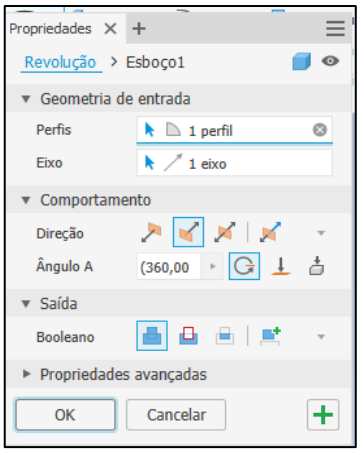
Figura 25 - Submenu “Extrude”



Fonte: Autoria própria, 2021

- Revolve (Revolução): Com este comando é possível criar sólidos a partir da revolução de um perfil e eixo selecionado. Ele, assim como o **“Extrude”**, possui um submenu, como é possível observar na Figura 26. As funções presentes nesse submenu são semelhantes às contidas no comando anterior.

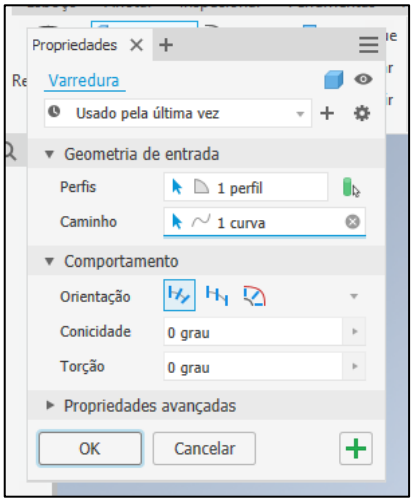
Figura 26 - Submenu “Revolve”



Fontes: Autoria própria, 2021

- Sweep (Varredura): cria sólidos a partir de um perfil e um caminho no qual o sólido vai seguir. O submenu deste comando (ver Figura 27) permite a seleção dos perfis e caminhos, assim como, a orientação que vai seguir e grau de torção.

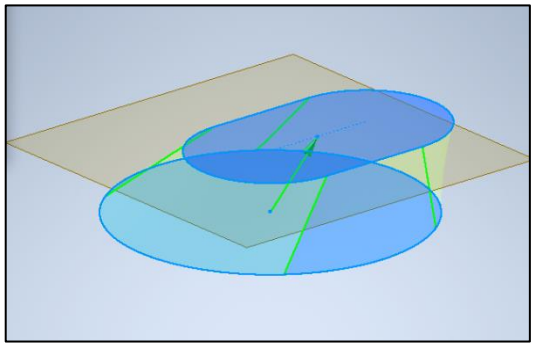
Figura 27 - Submenu “Sweep”



Fonte: Autoria própria, 2021

- Loft (Transição): cria um sólido de transição entre dois ou mais esboços. Ao acioná-lo o usuário deve selecionar os esboços para transição. Na Figura 28 é apresentado um exemplo de um sólido criado a partir deste comando.

Figura 28 - Comando “Sweep” perfis selecionados



Fonte: Autoria própria, 2021

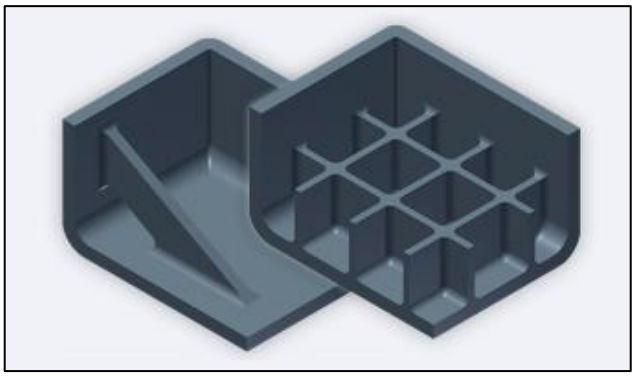
- Coil (Espiral): por meio deste comando (ver Figura 24), é possível criar molas e perfis de roscas. Para usá-lo é preciso ter o esboço da espessura e o caminho que a mola vai seguir. Em seu submenu, tem as opções de sentido, horário ou anti-horário, da peça.

- Emboss (Relevo): cria um relevo sobre a peça. Para usar é necessário criar um esboço sobre a peça, selecioná-la e acionar o comando (ver Figura 24).

- Derive (Derivar): esse comando (ver Figura 24) insere um componente preexistente ou uma montagem do Inventor na peça em que está trabalhando.

- Rib (Nervura): esse comando (ver Figura 24) é usado na criação de apoios no sólido, seja ele de perfil aberto ou fechado, como mostra a Figura 29.

Figura 29 - Sólido representando as nervuras

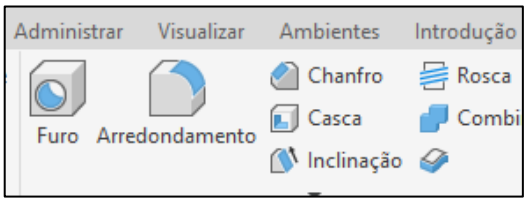


Fonte: Autoria própria, 2021

Comandos do painel "Modify" (Modificar)

Nesta parte da aba em questão, são apresentadas ferramentas capazes de modificar a peça criada, seja para criar furos, arredondar arestas etc. Na Figura 30 é possível observar os comandos presentes no painel **"Modify"**.

Figura 30 - Comandos do painel "Modify"



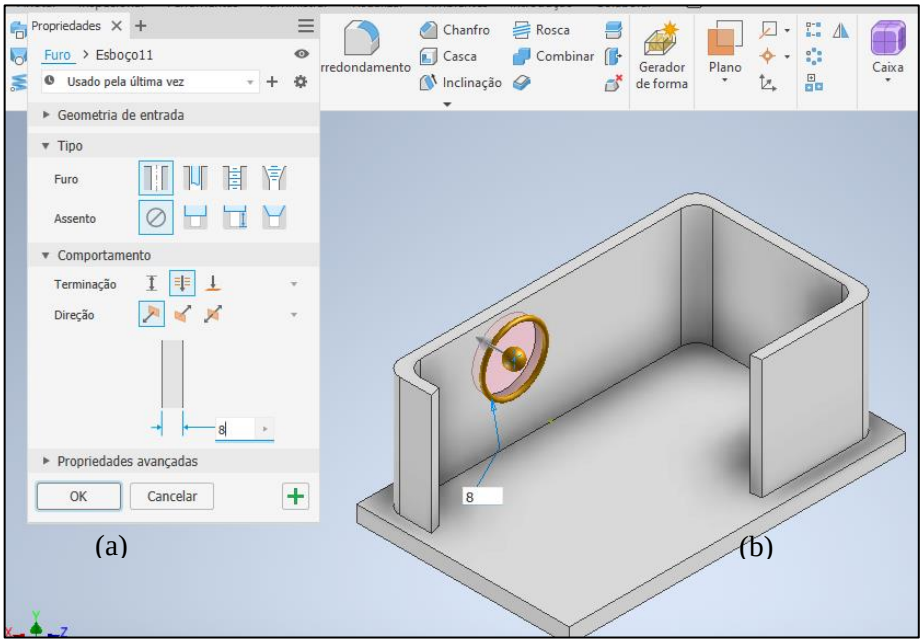
Fonte: Autoria própria, 2021

- Hole (Furo): permite a criação de furos na peça a partir de um esboço de ponto. Para utilizá-la é preciso fazer um *sketch* (esboço) de um ponto no local em que se deseja furar. Este comando possui um submenu, no qual, há diversas opções de furos e dimensões a escolha do usuário. Na Figura 31 é apresentado o comando **"Hole"** acionado.

- Fillet (Arredondamento): possui a mesma função que o **"Fillet"** no esboço, a diferença é que nesta aba ele é aplicado a peças sólidas. Ao acionar este comando e selecionar as arestas desejadas, as mesmas serão arredondadas. Seu submenu possui as opções para arredondamento de arestas e faces, raio de arredondamento e

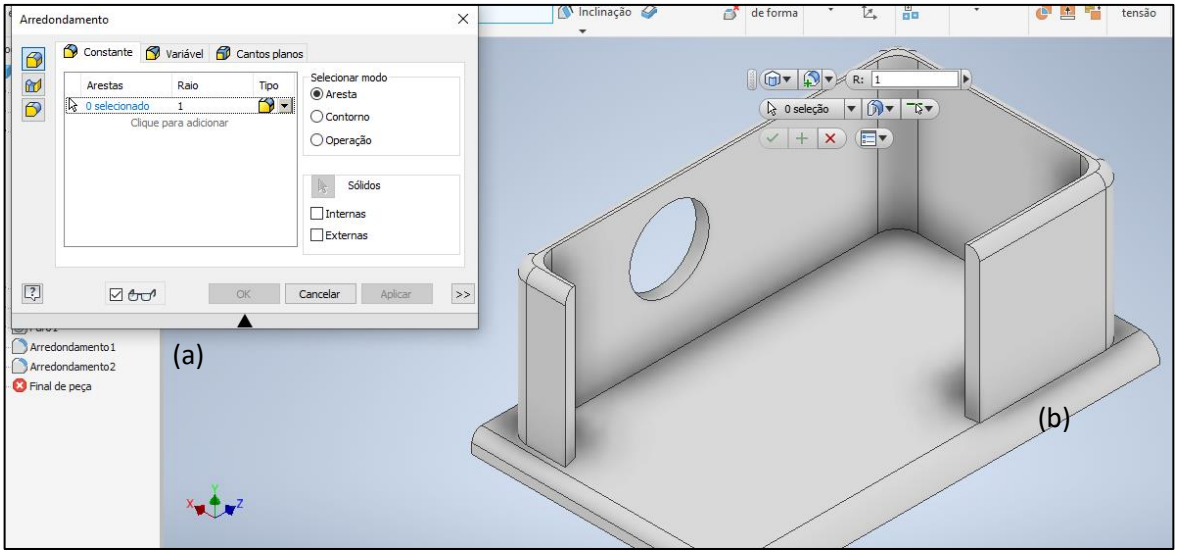
tipo de arredondamento. Na Figura 32 é possível observar o comando **"Fillet"** acionado, bem como, seu submenu.

Figura 31 - (a) Submenu "Hole", (b) representação



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 32 - (a) Submenu "Fillet", (b) representação

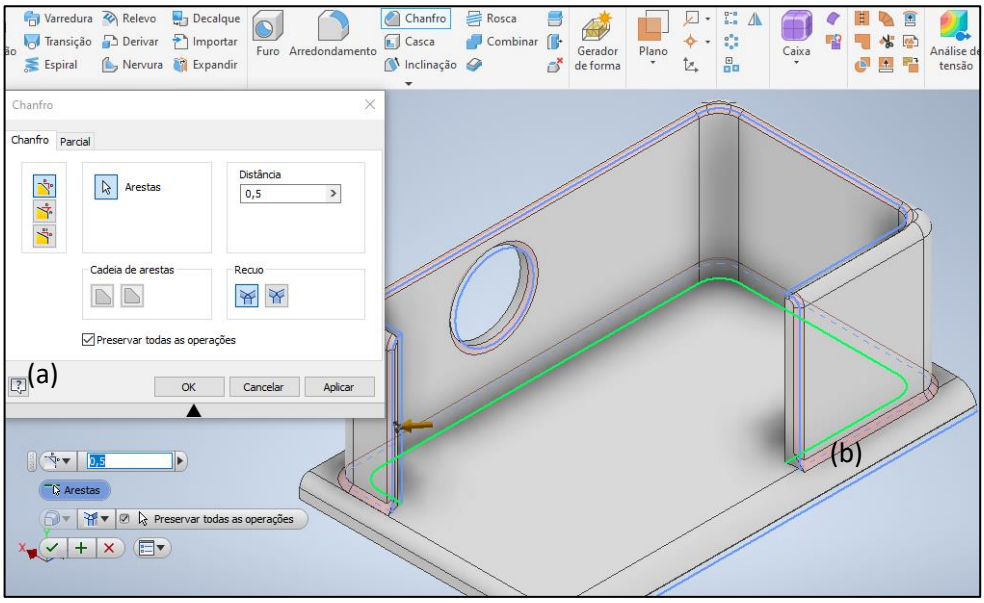


Fonte: Autoria própria, 2021

- Chamfer (Chanfro): este comando, apresentado na Figura 33, também possui a mesma funcionalidade que apresenta na aba esboço, a diferença é que na aba em questão ele é aplicado em uma peça 3D. Ao usar este comando é aberto um submenu com os tipos de operações de chanfro assim como no comando anterior.

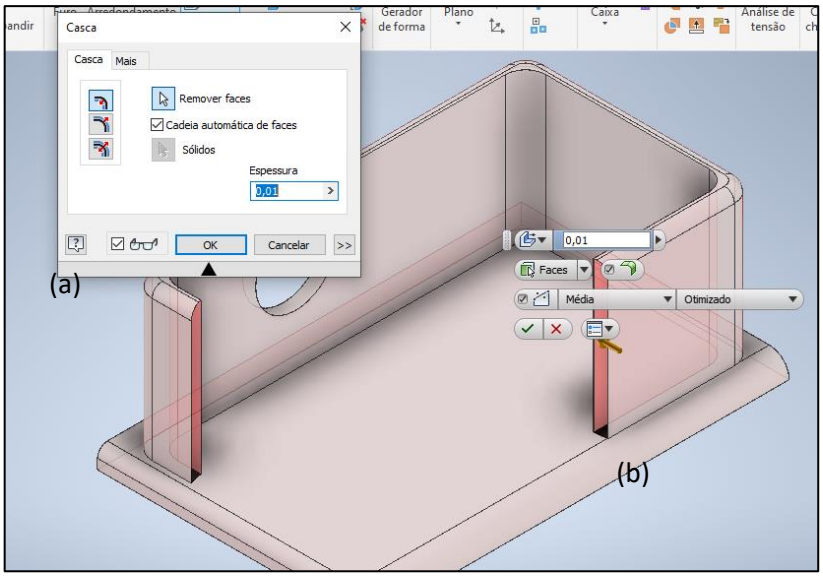
- Shell (Casca): este comando, representado na Figura 34, permite retirar material do interior de uma peça, gerando uma espécie de casca. Para usá-lo basta acionar o comando, selecionar o material a ser retirado e especificar as dimensões da casca.

Figura 33 - (a) Submenu “Chamfer”, (b) representação



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 34 - (a) Submenu “Shell”, (b) representação

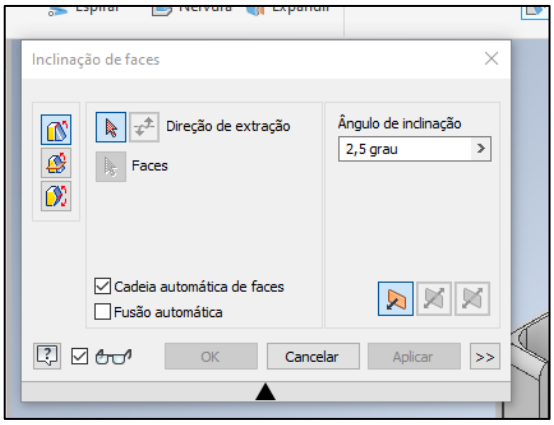


Fonte: Autoria própria, 2021

- Draft (Inclinação): com este comando é possível aplicar um ângulo de inclinação das faces selecionadas do modelo. Em seu submenu, ver Figura 35, o usuário consegue editar o tipo de inclinação e o grau.

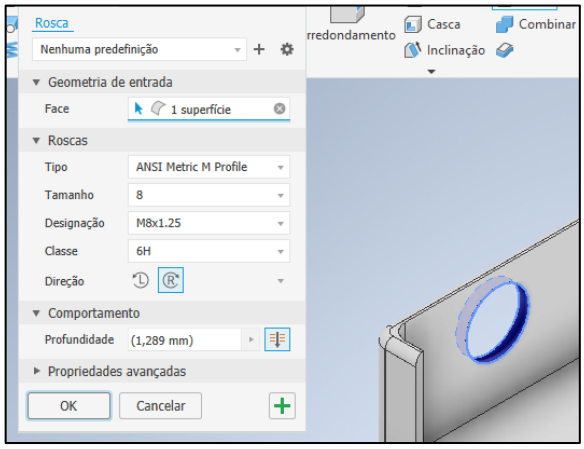
- Thread (Rosca): ao selecionar um furo e acionar esta ferramenta, é gerado no local da seleção uma rosca. Através do submenu, mostrado na Figura 36, é possível editar o tipo de rosca e direção de giro.

Figura 35 - Submenu “Draft”



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 36 - Submenu “Thread”



Fonte: Autoria própria, 2021

Comandos do painel “Work Features” (Operações de trabalho)

Na imagem abaixo, Figura 37, é apresentado os comandos presentes no painel **“Work Features”**. O comando **“Plane”** (Plano), Figura 37-1, é usado para criar planos de trabalho. Para usá-lo, basta acionar o botão, selecionar a opção desejada no submenu e, em seguida, selecionar a área do modelo desejada para o novo plano. O comando **“Axis”** (Eixo), Figura 37-2, cria uma linha de construção anexada ao sólido ou à superfície. O comando “**Point**” (Ponto), Figura 37-3, cria um ponto de construção no objeto.

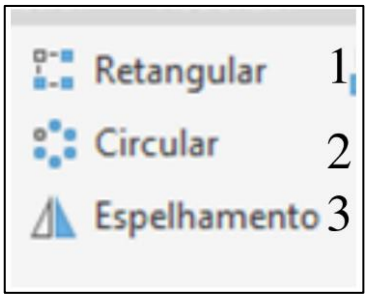
Figura 37 - Painel “Work Features”. (1) “Plane”, (2) “Axis” e (3) “Point”

Fonte: Autoria própria, 2021

Comandos do painel “Pattern” (Padrão)

Os comandos “Rectangular Pattern” (Padrão retangular), Figura 38-1, e “Circular Pattern” (Padrão circular), Figura 38-2, têm como função criar repetições obedecendo ao número e distância informada. Já o comando “Mirror” (Espelhamento), Figura 38-3, permite que o sólido ou uma operação seja espelhada criando um novo copo em distâncias iguais no plano.

Figura 38 - Painel “Pattern”. (1) “Rectangular Pattern”, (2) “Circular Pattern” e “Mirror”



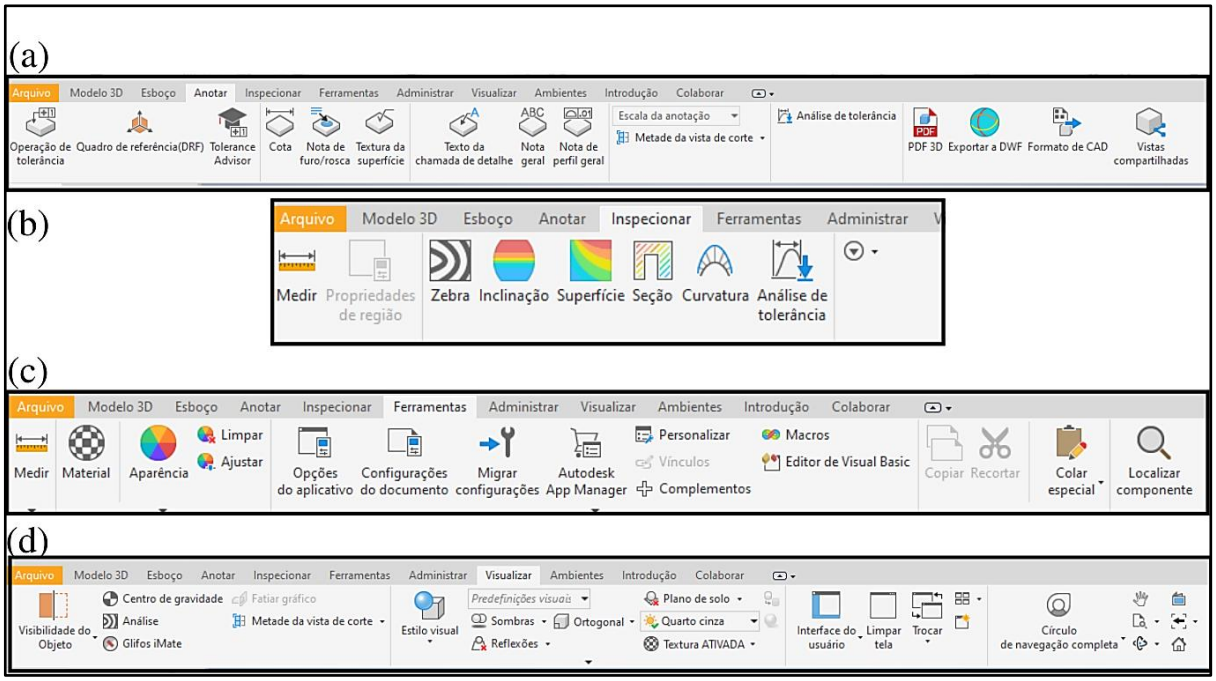
Fonte: Autoria própria, 2021

Demais abas

Dentro da aba **“Anotar”**, apresentada na Figura 39-(a), há alguns comandos como o de cota, usado para colocar as medidas no modelo tridimensional. Na aba **“Inspecionar”**, encontra-se o comando **“Medir”** identificado por meio de uma régua. Através deste comando, é possível medir as distâncias presentes na peça. Comandos envolvendo a análise da peça tridimensional, também são encontrados nesta aba, como mostra a Figura 39-(b). Na aba **“Ferramentas”** é possível encontrar comandos voltados para escolha do tipo de material e aparência que a peça terá, aqui também se encontra o comando **“Medir”**. Esses comandos são apresentados na Figura 39-(c). Para modificar estilo de visualização da peça, área de trabalho e

interface do usuário faz-se por meio dos comandos presentes na aba **“Visualizar”**, ver Figura 39-(d).

Figura 39 - (a) Aba “Anotar”, (b) aba “Inspecionar”, (c) aba “Ferramentas” e (d) aba “Visualizar”

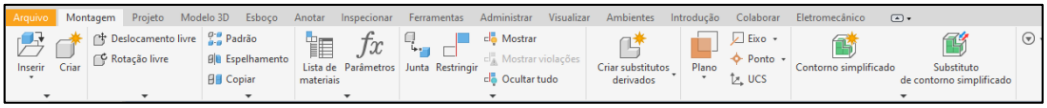


Fonte: Autoria própria, 2021

2.1.3 “Montagem”

Nesta aba é possível fazer a montagem das peças previamente criadas, além de possibilitar a simulação de movimentos mecânicos. Na Figura 40 é possível observar alguns de seus comandos.

Figura 40 - Comandos aba “Montagem”

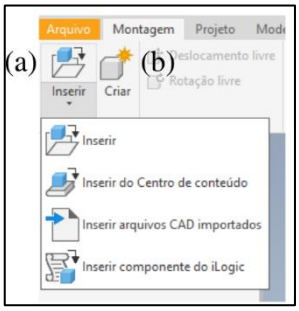


Fonte: Autoria própria, 2021

Comando painel “Component” (Componentes)

Neste painel são apresentadas duas opções, **“Place”** (Inserir) e **“Create”** (Criar), que são, respectivamente, a de inserir peças, Figura 41-(a), seja a partir de uma já criada no Inventor ou uma originada da biblioteca do próprio programa, e a de criar peças, Figura 41-(b).

Figura 41 - Painel “Component”. (a) “Place” e (b) “Create”

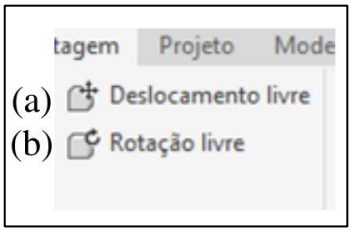


Fonte: Autoria própria, 2021

Comandos painel “Position” (Posição)

Neste painel estão presentes comandos, ilustrados na Figura 42, cuja função é alterar a posição da peça dependendo da vontade do usuário.

Figura 42 - Comandos painel Position. (a) “Move”, (b) “Rotate”



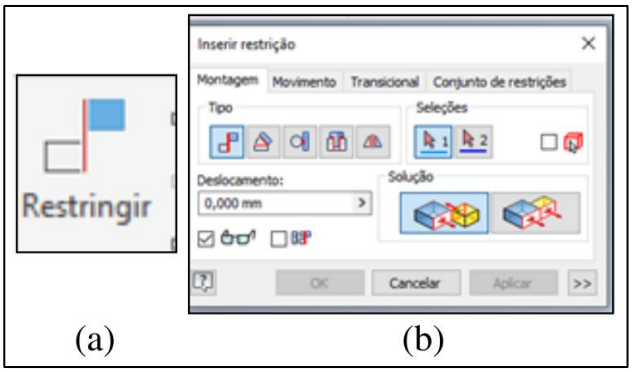
Fonte: Autoria própria, 2021

- Move (Deslocamento Livre): ao selecionar a peça e acionar este comando, Figura 42-(a), o usuário pode mover a peça para qualquer ponto no espaço;
- Rotate (Rotação Livre): com este comando, Figura 42-(b), ativado e a peça selecionada, pode-se rotacionar a mesma para qualquer direção ou sentido.

Comando “Constrain” (Restringir)

Por meio deste comando, representado na Figura 43-(a), é possível restringir movimentos das peças em relação a determinadas direções. Ele possui um submenu, em que é apresentado ao usuário configurações da restrição. Na Figura 43-(b) é possível observar o submenu deste comando. Através das opções fornecidas no submenu, é possível restringir face de uma determinada peça à face de outra ou a um plano, restringir eixos de peças e assim por diante.

Figura 43 - (a) Comando “Constrain” e (b) submenu “Constrain”



Fonte: Autoria própria, 2021

Outros comandos da aba “Montagem”

Os demais comandos da aba em questão, como **“Espelhamento”**, **“Copiar”**, **“Plano”**, **“Eixo”** e **“Ponto”**, possuem as mesmas funções que exercem na aba **“Modelo 3D”**. Esses comandos são apresentados na Figura 44.

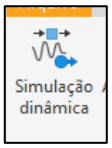
Figura 44 - Outros comandos da aba “Montagem”

Fonte: Autoria própria, 2021

2.1.3.1 Aba “Ambiente”

Dentro desta aba encontra-se o comando **“Dynamic Simulation”** ou **“Simulação Dinâmica”**, ver Figura 45. Este permite a geração de movimentos dinâmicos. Ao clicar sobre ele, é apresentada a aba de simulação dinâmica.

Figura 45 - Comando “Dynamic Simulation”



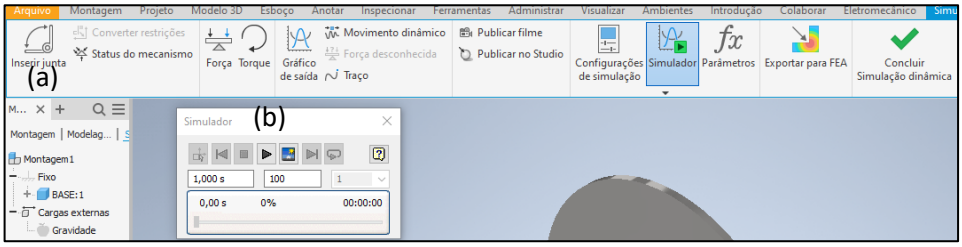
Fonte: Autoria própria, 2021

Aba “Dynamic Simulation” (Simulação Dinâmica)

Nesta aba, estão diversos outros comandos ligados a simulação, por meio deles, as peças podem passar por situações envolvendo forças e torques. O comando **“Inserir Junta”**, Figura 46-(a), permite que seja colocado na montagem peças como correia ou mola, além de

possibilitar movimentos envolvendo o contato dos objetos. Com o comando **“Simulador”**, Figura 46-(b), é possível representar o movimento e controlar sua duração. Na Figura 46 é apresentada a aba do comando **“Dynamic Simulation”**.

Figura 46 - (a) Comando “Inserir Junta”, (b) caixa do “Simulador”



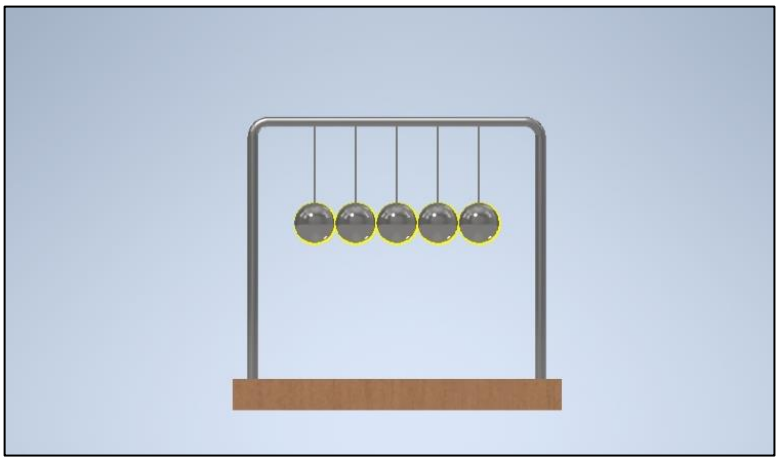
Fonte: Autoria própria, 2021

3. EXEMPLOS DE PROJETOS

3.1 Pêndulos de Newton

Este dispositivo (ver Figura 47) recebeu este nome graças ao físico Sir Isaac Newton e seus estudos sobre a gravidade, colisões e a conservação de energia. Constituído por, no mínimo, cinco pêndulos de mesma massa presos a uma estrutura de forma que, em repouso, eles possam encostar uns nos outros.

Figura 47 - Representação Pêndulo de Newton



Fonte: Autoria própria, 2021

Ao levantar uma esfera e soltá-la a mesma irá colidir com as outras. Ao final da colisão, a esfera da outra extremidade vai se erguer na mesma altura que a primeira para, em seguida, colidir com as outras. Considerando um sistema isolado, em que apenas forças conservativas atuam trocando energia é possível descrever o funcionamento dos pêndulos de Newton usando a conservação da energia mecânica, na qual, a quantidade total de energia mecânica de um sistema nunca se altera, ou seja, a soma da energia cinética com a energia potencial, considerando um sistema isolado, deve ser nula. Assim, uma energia aumenta na mesma quantidade que a outra diminui.

$$\Delta Emec = \Delta Ec + \Delta Ep = 0 \qquad (1)$$

$$Ec_2 + Ep_2 = Ec_1 + Ep_1 \qquad (2)$$

Nos pêndulos de Newton, ao soltar a esfera para colidir com as outras, é fornecido ao sistema energia potencial gravitacional, que depende da constante gravitacional (g), da massa da esfera (m) e da altura em que inicia o movimento (h):

$$Ep = mgh. \qquad (3)$$

Antes de colidir com as outras, a energia potencial gravitacional é transformada em energia cinética, e esta passa pelas esferas até chegar à última na extremidade oposta, fazendo-a atingir a altura máxima, onde sua velocidade é zero e a energia cinética é transformada em potencial. A energia cinética de cada esfera é dada por:

$$Ec = \frac{(m\,v^2)}{2} \qquad (4)$$

em que m é a massa da esfera e v a velocidade.

Além da conservação de energia mecânica, tem-se também condições para a conservação do momento linear, ou também chamado de quantidade de movimento de um corpo. Quando a esfera é solta antes de colidir com as outras, tem sua energia potencial do sistema transformada em cinética, a mesma possui uma quantidade de movimento ou momento linear, ele é constante e passa de esfera para esfera sem aumentar ou diminuir o valor. No final, a quantidade de movimento do final é igual à do início. O momento linear depende tanto da massa (m) do objeto quanto da velocidade (v), sua fórmula é dada por:

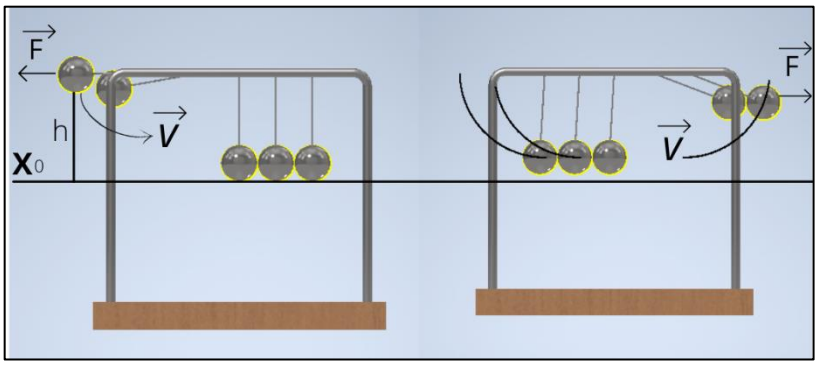
$$Q = m\,v. \qquad (5)$$

A quantidade de movimento total (Q_T) para um sistema como os Pêndulos de Newton, é igual a soma da quantidade de movimento de cada esfera.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \qquad (6)$$

Pode-se representar o vetor força (F) e velocidade (*v*) agindo sobre o sistema, como mostra a Figura 48.

Figura 48 - Representação dos vetores força e velocidade



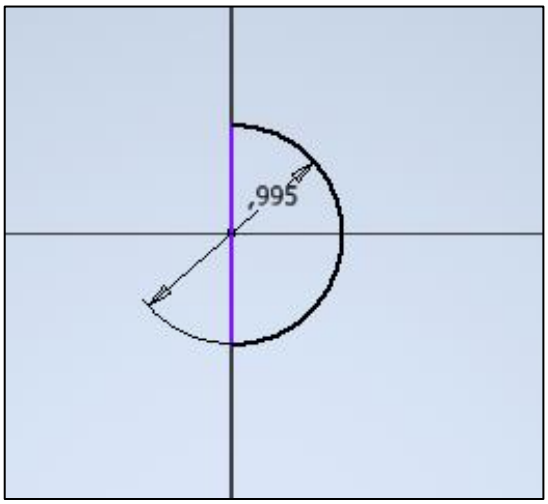
Fonte: Autoria própria, 2021

3.1.1 Pêndulo de Newton no Inventor

Pêndulo

Com o *software* aberto, deve-se criar um esboço do pêndulo, a partir da ferramenta **"Circle"** ou **"Arc"**, como representado na Figura 49.

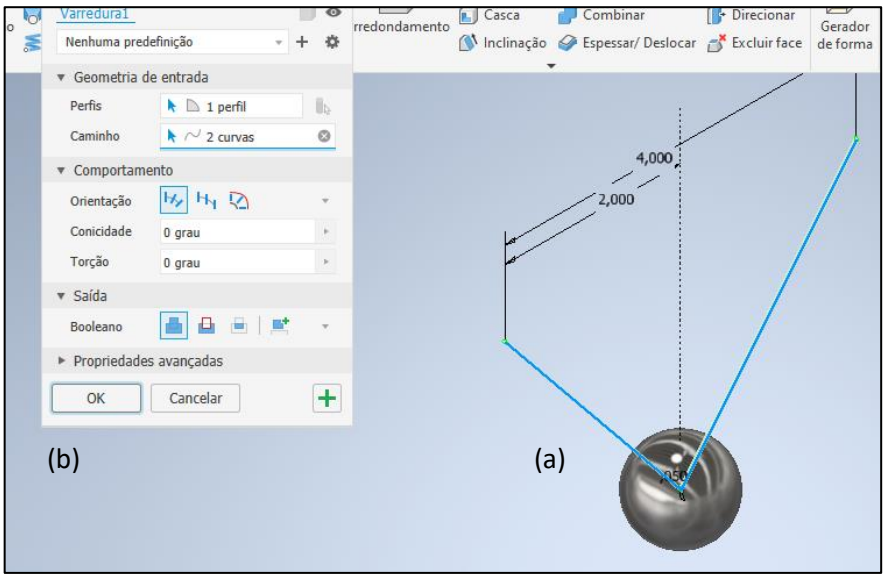
Figura 49 - Meio círculo para criação do sólido



Fonte: Autoria própria, 2021

Para criar o objeto sólido aciona-se o comando **"Revolve"**. Em seguida, cria-se um novo esboço, no plano YZ, e traçam-se duas retas partindo da origem do plano selecionado, como mostra a Figura 50. Após isto, traça-se uma linha de construção no centro do esboço e com o auxílio do comando **"Dimension"** deixa as linhas equidistantes da linha de construção.

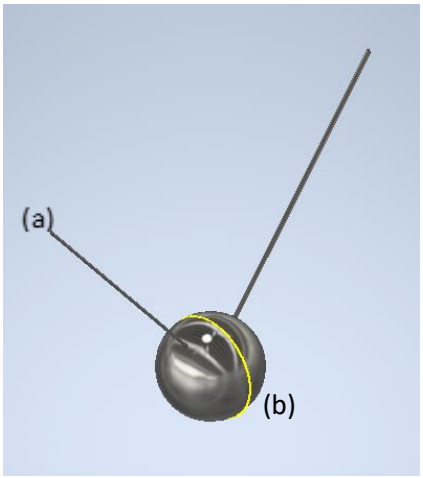
Figura 50 – (a) Criação de traços equidistantes da linha de construção e (b) submenu "Sweep"



Fonte: Autoria própria, 2021

Após editar os traçados, aciona-se o comando **“Sweep”** para gerar o sólido 3D. Em seguida, cria-se um novo esboço no plano XY e projeta a geometria da esfera com o comando **“Project Geometry”**, como visto na Figura 51.

Figura 51 - (a) Sólido a partir do comando "Sweep", (b) linha amarela representa a projeção da geometria no plano XY

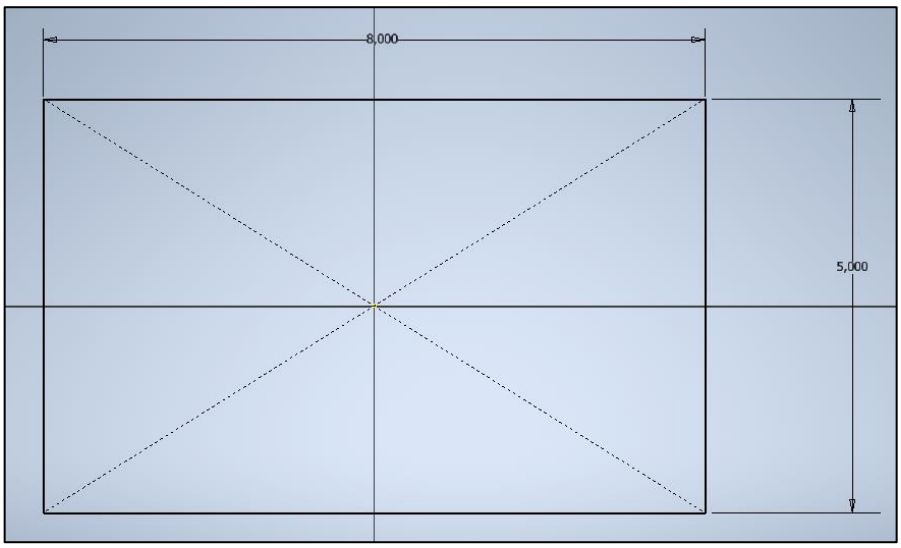


Fonte: Autoria própria, 2021

Base

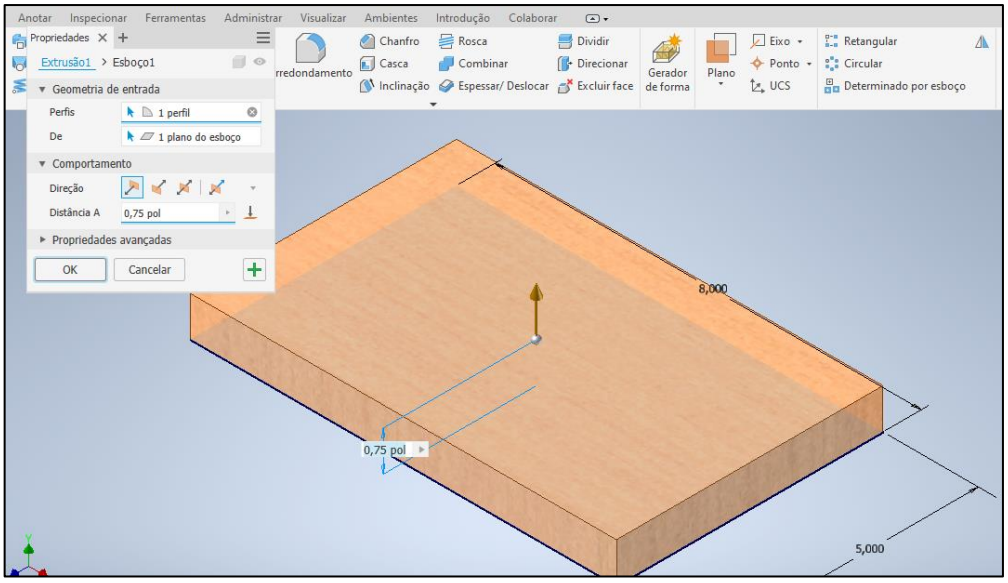
Para a base, é necessário criar uma nova peça. No plano XZ constrói-se um esboço retangular, como visto na Figura 52. Após isto, com o comando **“Extrude”** cria-se o sólido. Na Figura 53 é possível observar o sólido criado. Em seguida, com auxílio do comando **“Hole”**, cria-se quatro furos na peça. Esses furos são representados na Figura 54.

Figura 52 - Retângulo para construir a base



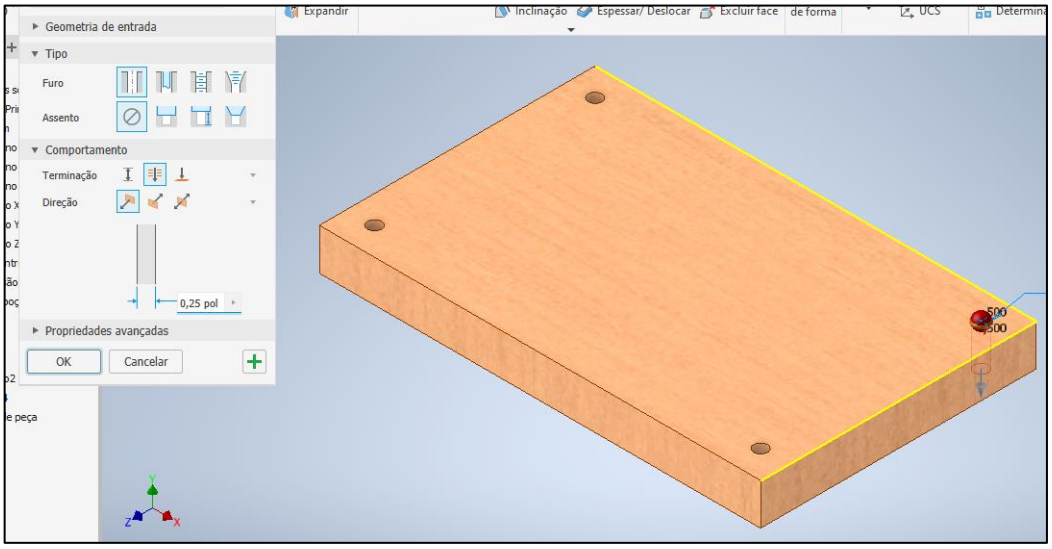
Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 53 - Base feita a partir do comando "Extrude"



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 54 - Furos para o encaixe do suporte



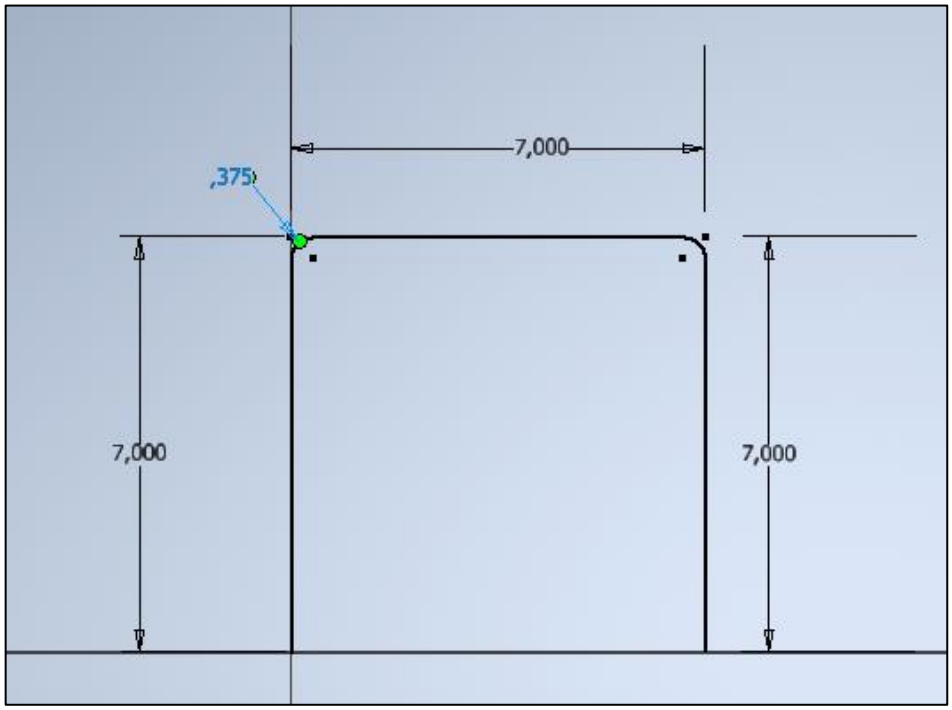
Fonte: Autoria própria, 2021

Suporte

Para este sólido, cria-se uma nova peça, o esboço é feito no plano XY. Usa-se o comando “Line” para criá-lo, em seguida o comando “Fillet” para arredondar as arestas, como mostra a Figura 55. Logo após, seleciona-se um novo plano de trabalho, o XZ, e esboça-se um círculo, ver Figura 56, este será a referência de espessura do suporte. Após construir os dois esboços,

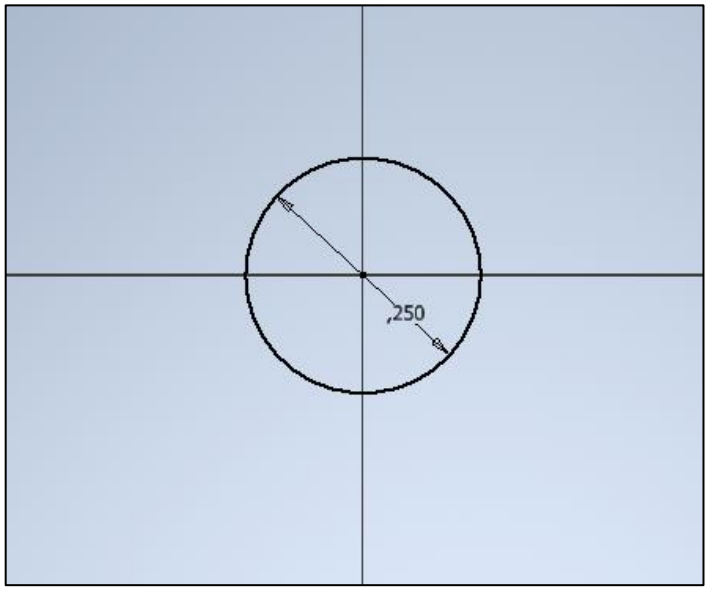
seleciona-se o comando “Sweep” para gerar o sólido, como mostra a Figura 57. O sólido formado, que será o suporte, criado a partir do comando “Sweep” é representado na Figura 58.

Figura 55 - Esboço do suporte



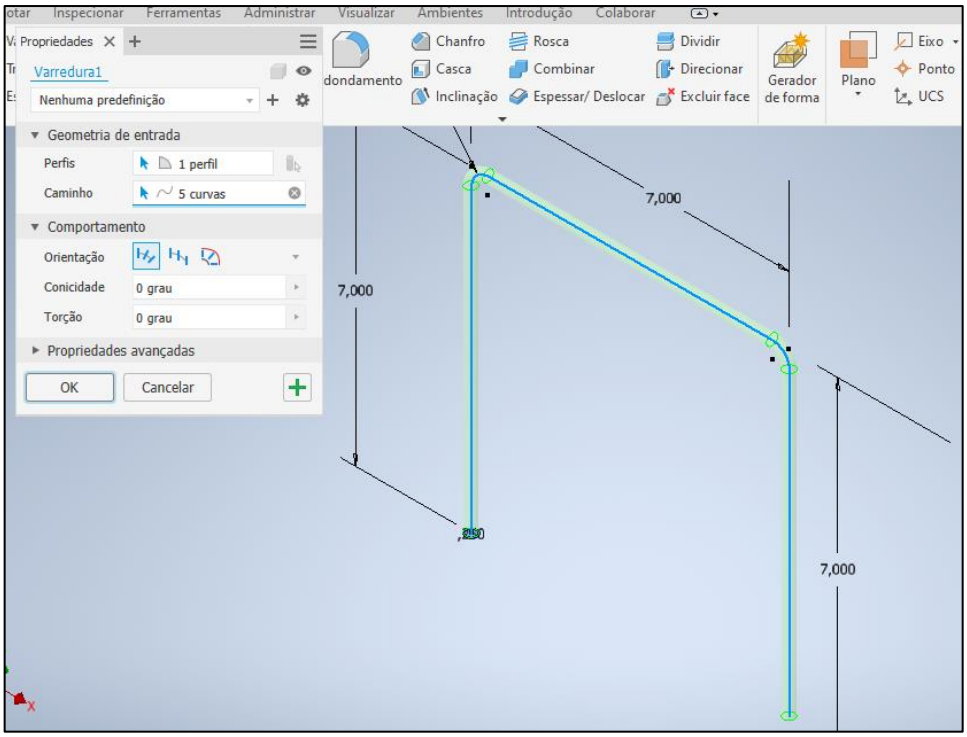
Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 56 - Círculo de referência para espessura do suporte



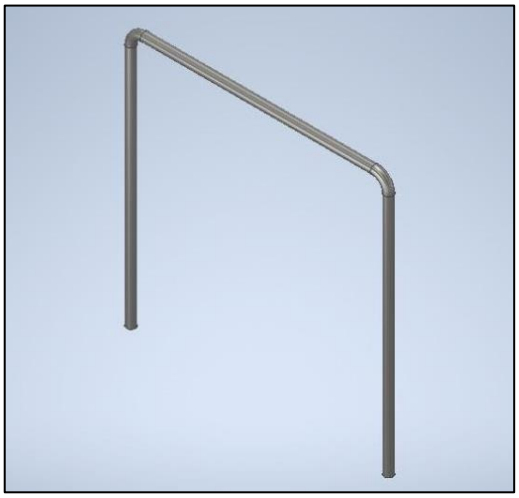
Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 57 - Comando "Sweep"



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 58 - Suporte finalizado



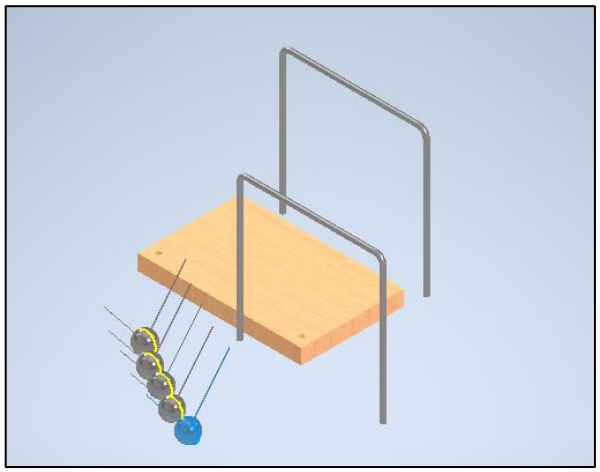
Fonte: Autoria própria, 2021

Montagem

Para fazer a montagem, seleciona-se as peças criadas e as posiciona na área de trabalho. Em seguida, cria-se uma cópia do suporte e do pêndulo e cola na área de trabalho, como mostra a Figura 59. A partir do comando **“Construction”** encaixa o suporte na base. Clicando-se, inicialmente, no suporte e logo mais, no furo que deseja encaixá-lo e restringindo-o à face normal da base, isto para ambos os suportes, como ilustrado na Figura 60 e Figura 61,

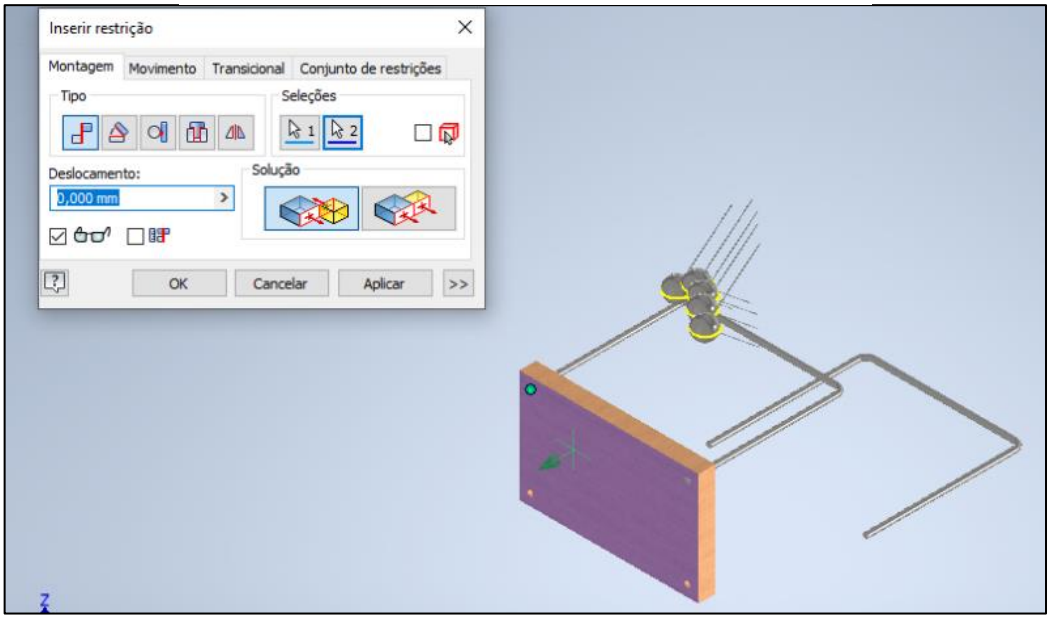
respectivamente. Em seguida, deve-se identificar os eixos no suporte, por meio do comando **“Axis”**. Isto é feito ao acionar o comando **“Axis”** e em seguida selecionar os objetos desejados para identificação dos eixos, como é representado na Figura 62. Deve-se criar 5 planos de trabalho equidistantes (ver Figura 63) ao longo do comprimento da base, estes planos servirão de referência para montagem dos pêndulos. Cria-se os planos por meio do “Deslocamento a partir do plano”.

Figura 59 - Peças posicionadas na área de trabalho



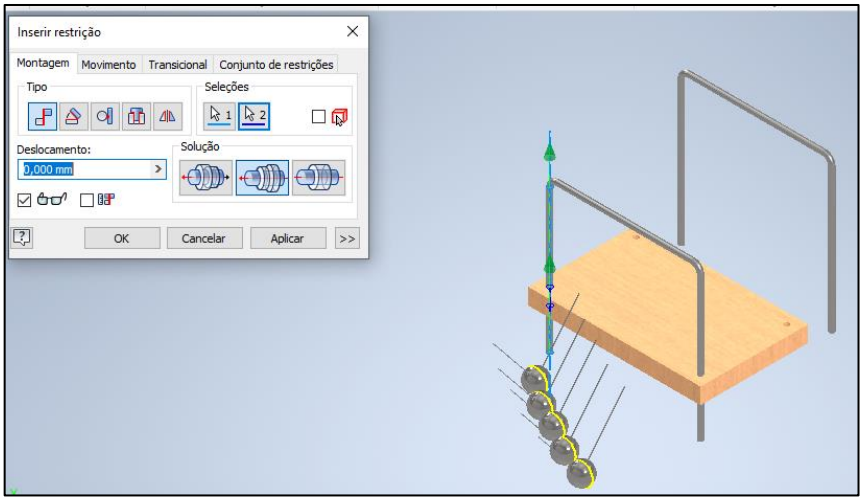
Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 60 - Restringindo o suporte à face normal da base



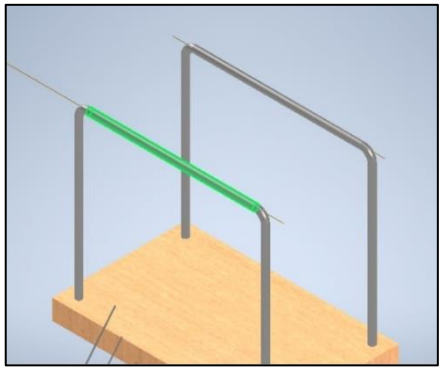
Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 61 - Restringindo o suporte ao furo da base



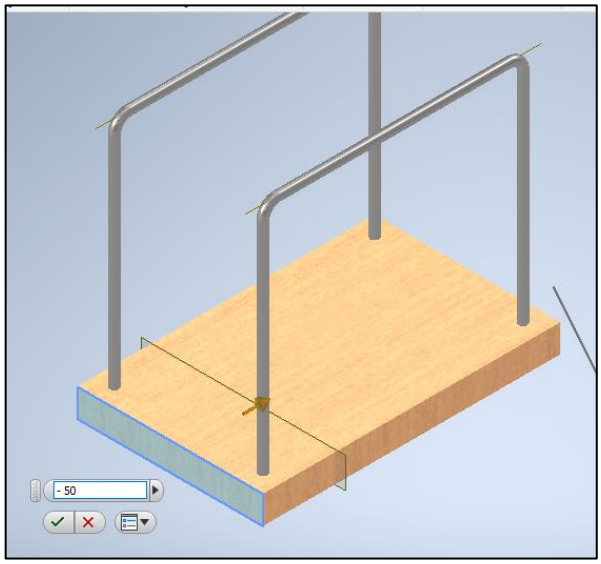
Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 62 - Inserção dos eixos



Fonte: Autoria própria, 2021

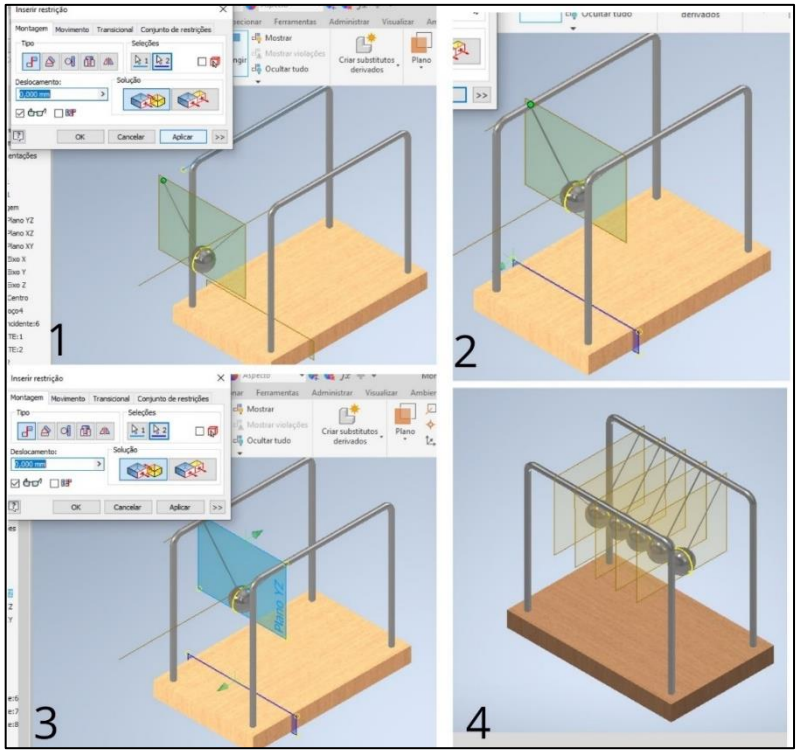
Figura 63 - Inserção dos planos de referência



Fonte: Autoria própria, 2021

O próximo passo é o de posicionamento dos pêndulos (ver Figura 64). Para tal, deve-se, inicialmente, deixar visível o plano YZ do pêndulo, em seguida, acionar o comando **"Constrain"** e selecionar o eixo do suporte e o pêndulo (1), depois, selecionar o pêndulo e o plano de trabalho (2), por fim, faz-se a restrição do plano YZ do pêndulo ao plano de referência correspondente (3). Deve-se repetir estes passos para o restante dos pêndulos (4).

Figura 64 - Representação das restrições nos pêndulos

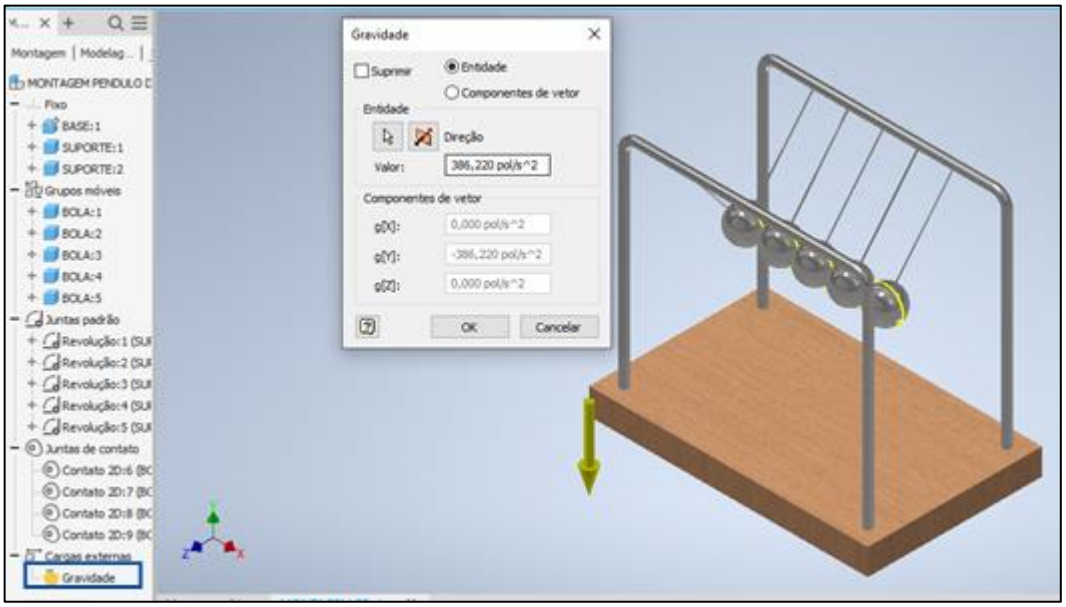


Fonte: Autoria própria, 2021

Na aba **"Ambientes"** seleciona-se a opção **"Simulação Dinâmica"**. No campo **"Modelo"**, posicionado à esquerda da área de trabalho, tem a opção **"Gravidade"** em que permite identificar o sentido em que a força gravitacional está agindo. A opção **"Gravidade"** pode ser observada na Figura 65.

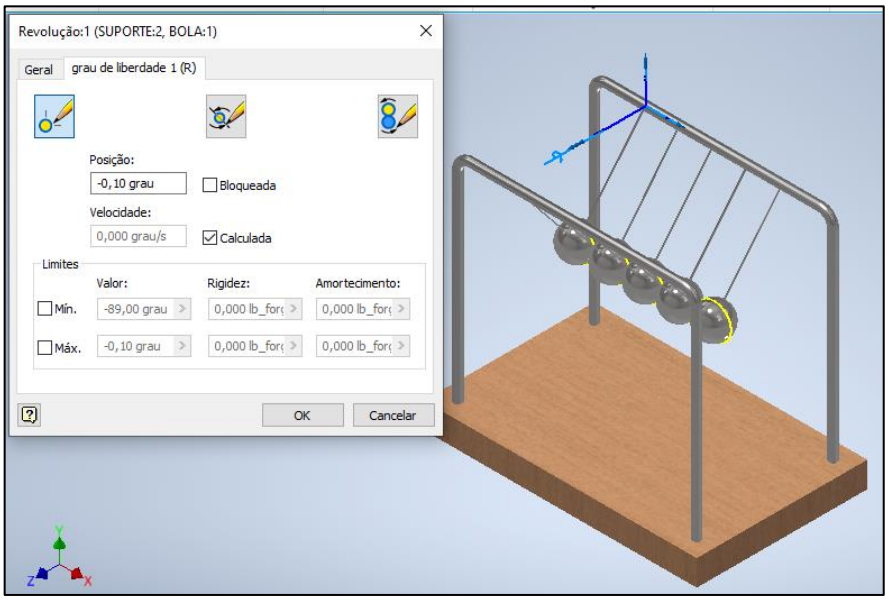
Na opção **"Revolução 1"** clica-se com o botão direito do *mouse* e seleciona-se **"Propriedades"**, na aba **"Grau de Liberdade"** deve-se informar o ângulo o qual o pêndulo iniciará seu movimento, assim como mostra a Figura 66.

Figura 65 - Representação da “Gravidade”



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 66 - Ângulo em que o pêndulo inicia o movimento

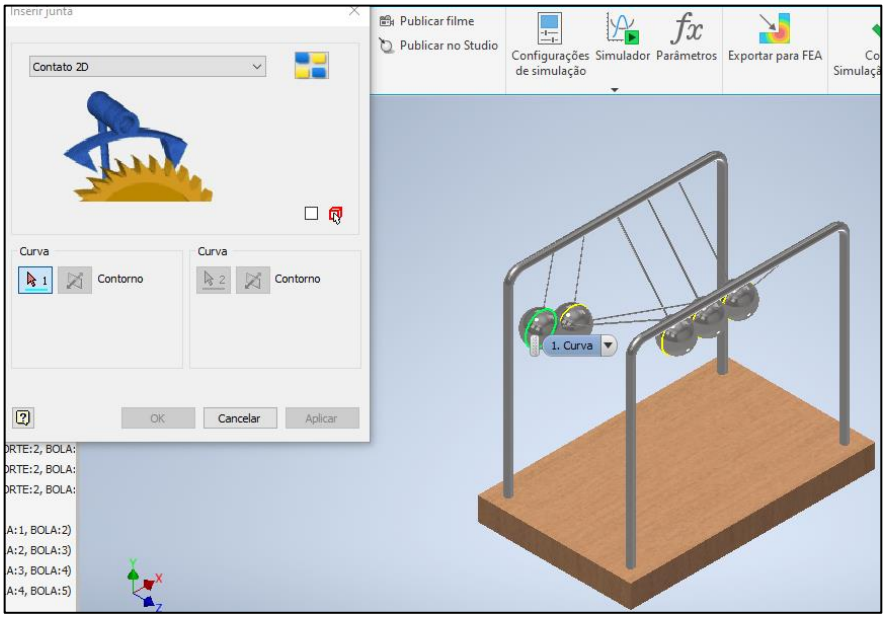


Fonte: Autoria própria, 2021

Logo após, deve-se acionar o comando **“Inserir Junta”**, clica-se na seta ao lado da opção **“Espacial”** e seleciona **“Contato 2D”** (ver Figura 67), em seguida, clica-se na projeção geométrica do pêndulo movimentado e na projeção geométrica dos pêndulos seguinte. Desta

forma, o *software* identifica que há o contato entre o pêndulo que será movimentado e os demais. Com isso, o usuário pode configurar para movimentar quantos pêndulos quiser.

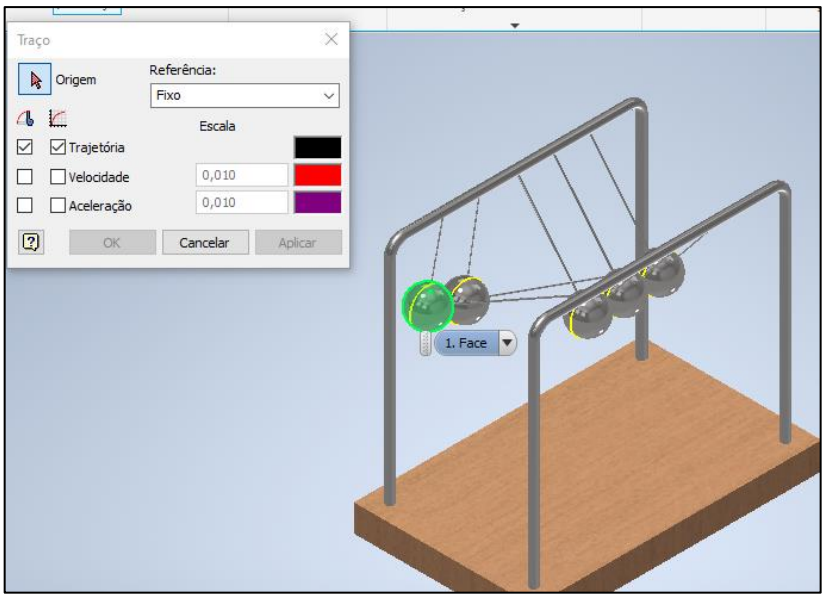
Figura 67 - Identificação do "Contato 2D" dos pêndulos



Fonte: Autoria própria, 2021

Através do Inventor é possível gerar um gráfico com a trajetória do pêndulo, velocidade ou aceleração. Para tal, deve-se selecionar o comando **"Traço"** (ver Figura 68) e escolher a opção que será representada no gráfico, (ver Figura 69).

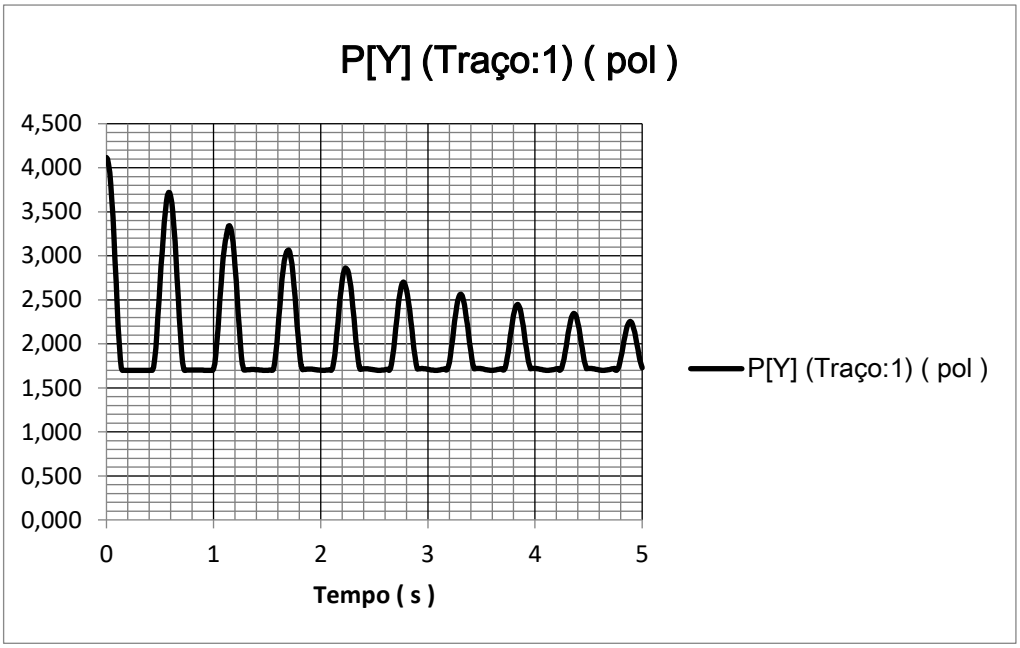
Figura 68 - Representando a trajetória do pêndulo



Fonte: Autoria própria, 2021

Para visualizar o gráfico, aciona-se o comando **“Gráfico de Saída”** e inicia o comando **“Simulador”**. O gráfico, posição x tempo, será formado no instante em que o pêndulo iniciar seu movimento.

Figura 69 – Figura do gráfico gerado no Inventor com o experimento do "Pêndulo de Newton"



Fonte: Autoria própria, 2021

Na Figura 69, tem-se representada a posição, P[Y], do pêndulo no decorrer do tempo, T(s). Nota-se que no gráfico da figura, a amplitude das ondas diminui com o passar do tempo, significando que, na simulação dinâmica do *software* Inventor, é levada em consideração as forças dissipativas, ou seja, é demonstrado o comportamento de um pêndulo de Newton real. Tais forças fazem com que os pêndulos tenham sua energia dissipada, assim, eles perdem amplitude até que esta seja nula.

3.2 Sistema massa – mola

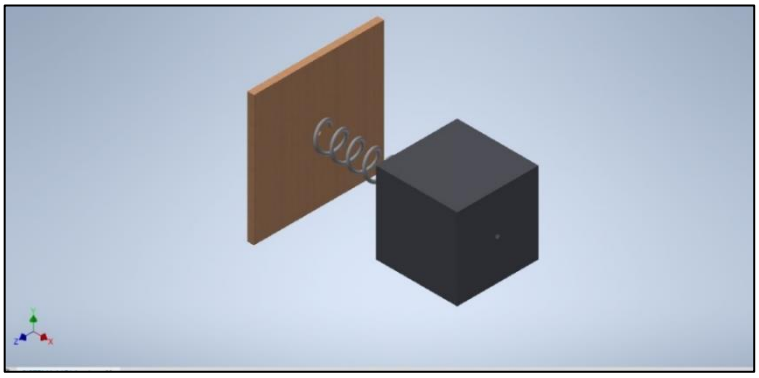
Lei de Hooke

O sistema massa-mola (ver Figura 70) é um exemplo de oscilador harmônico simples, uma vez que não haja forças externas atuando sobre o sistema, como a força de atrito, ele é muito utilizado para representar a força restauradora. Quando uma mola sofre deformação, seja alongamento ou compressão, existe uma força capaz de restaurar a mola ao seu estado inicial, a força elástica. Para representar esta força, usa-se a Lei de Hooke, comumente escrita da seguinte forma:

$$F = -kx\ . \qquad (7)$$

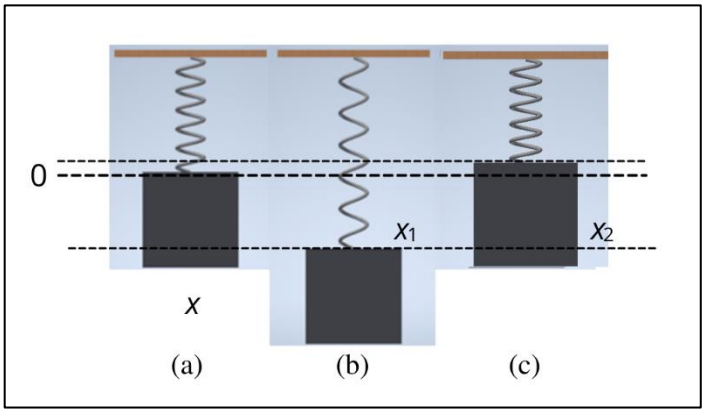
Em que F é a força, *x* é a deformação sofrida pela mola e *k*, a constante de elasticidade da mola. O sinal negativo é um indicador de que a força restauradora age em sentido contrário à deformação. Na Figura 71 é possível observar o deslocamento (*x*, x_1 e x_2) da mola quando uma força age sobre ela.

Figura 70 - Perspectiva do sistema massa-mola



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 71 - (a) Equilíbrio, (b) esticada, (c) comprimida



Fonte: Autoria própria, 2021

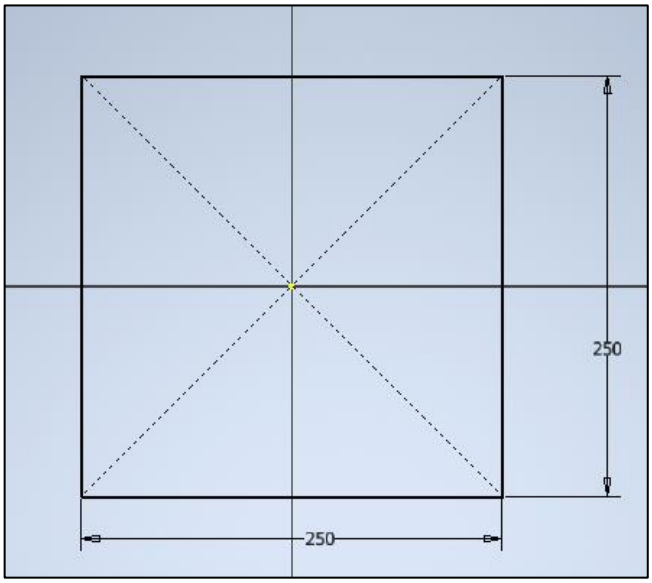
3.2.1 Sistema massa-mola no Inventor

Ao dar início ao projeto, deve-se criar o esboço da massa e do sólido em que a mola ficará encaixada.

Massa

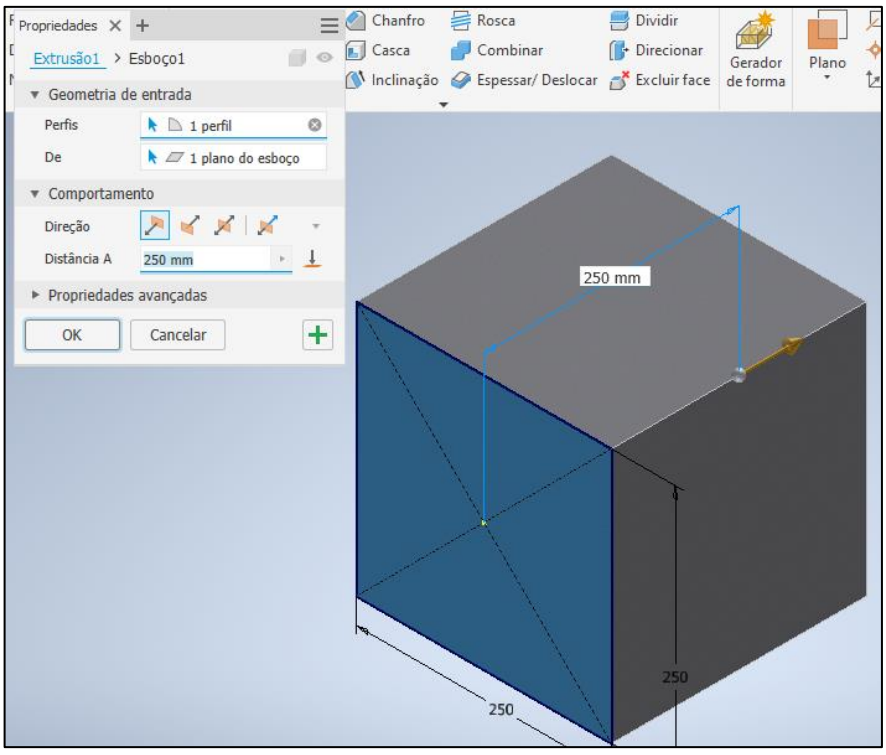
Para esboçar a massa, cria-se um esboço no plano XZ, como ilustra a Figura 72. Em seguida, finaliza-se o esboço e no comando **"Extrusão"** realiza-se os procedimentos para criar o sólido, como pode ser observado na Figura 73. Após isto, constrói-se um furo no meio do sólido formado (ver Figura 74) esse furo servirá de referência para montagem do sistema.

Figura 72 - Esboço da massa



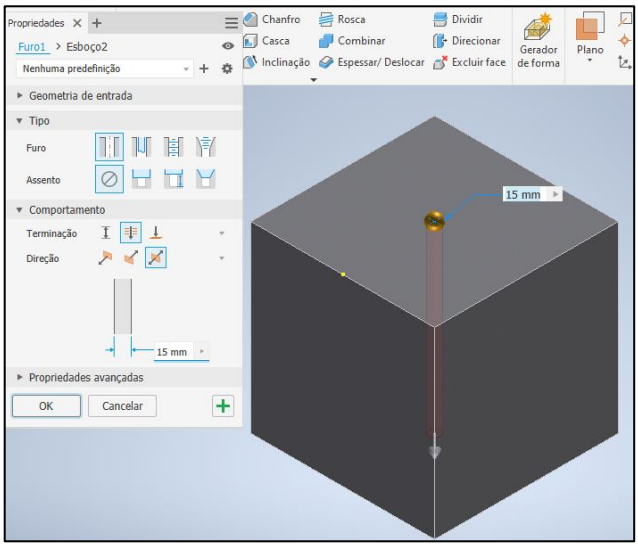
Fonte: Autoria própria, 202

Figura 73 - Extrusão para formar o sólido



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 74 - Criação do furo de referência na massa

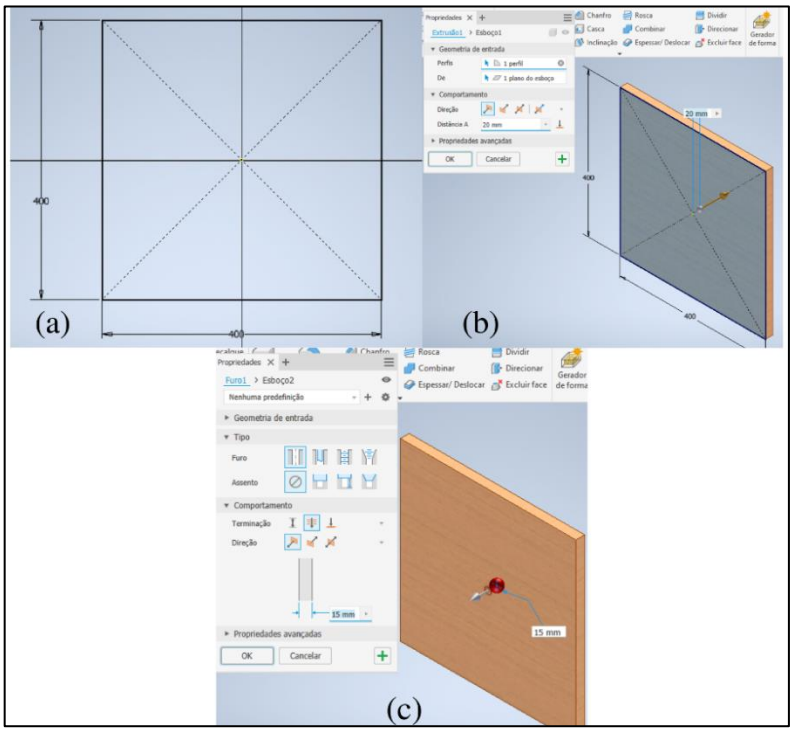


Fonte: Autoria própria, 2021

Sólido para encaixe da mola

Os procedimentos aplicados para criação da massa serão os mesmos para o desenvolvimento deste sólido. Em primeiro momento, cria-se o esboço com os parâmetros desejados, em seguida aplica o comando **"Extrusão"** para criar o sólido e, logo após, cria-se o furo de referência para este sólido, como é mostrado na Figura 75.

Figura 75 - (a) Esboço, (b) Extrusão para criar o sólido, (c) criação do furo de referência

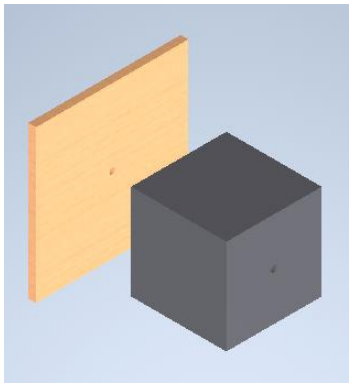


Fonte: Autoria própria, 2021

Montagem do sistema e criação da mola

Ao iniciar a montagem deve-se inserir as peças criadas na área de trabalho, como ilustrado na Figura 76. As peças devem ficar na seguinte posição:

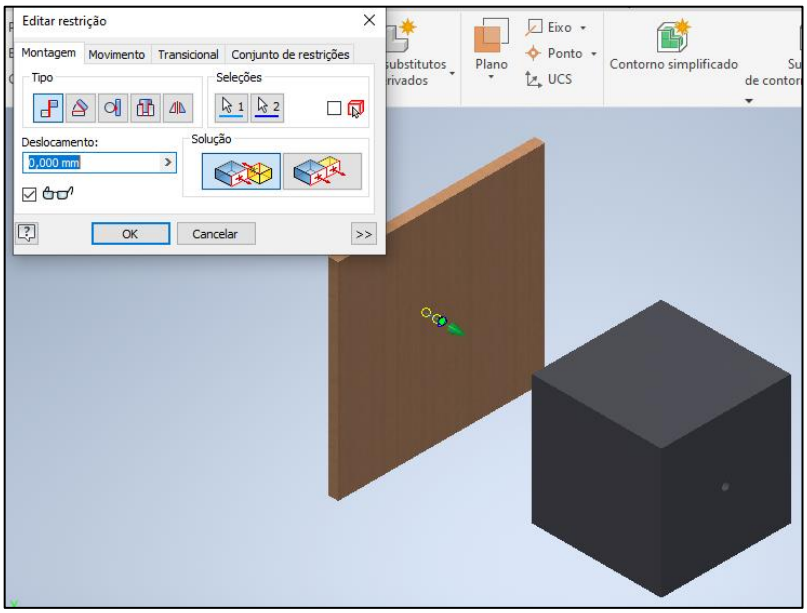
Figura 76 - Posição das peças na área de trabalho



Fonte: Autoria própria, 2021

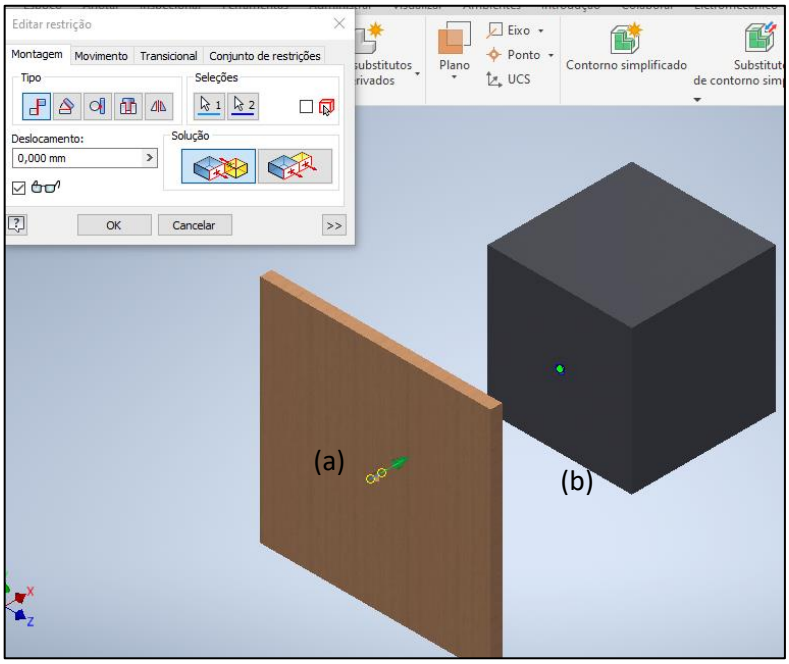
Após isto, inicia-se o processo de restrição das peças. A primeira restrição será do eixo no qual as peças estão posicionadas, no exemplo a seguir (ver Figura 77) foi escolhido o eixo X, com o furo de referência do sólido de encaixe da mola. A segunda restrição será entre o eixo no qual as peças estão posicionadas e o furo da massa, como mostra a Figura 78. A próxima restrição é entre o plano YZ (escolhe-se o plano em paralelo com a face normal do sólido) e a face normal do sólido de encaixe. Na Figura 79 é possível observar essa restrição.

Figura 77 - Neste exemplo foi escolhido o eixo X para restrição



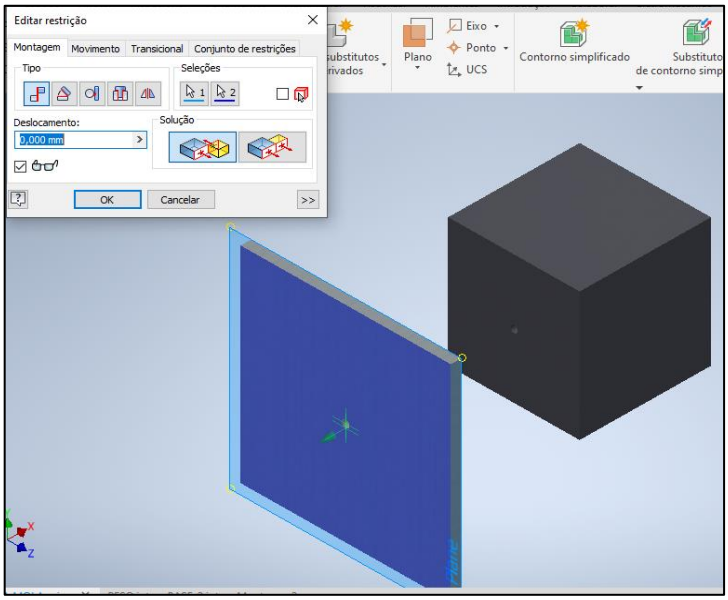
Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 78 - (a) eixo do sistema (eixo X neste exemplo), (b) furo de referência da massa



Fonte: Autoria própria, 2021

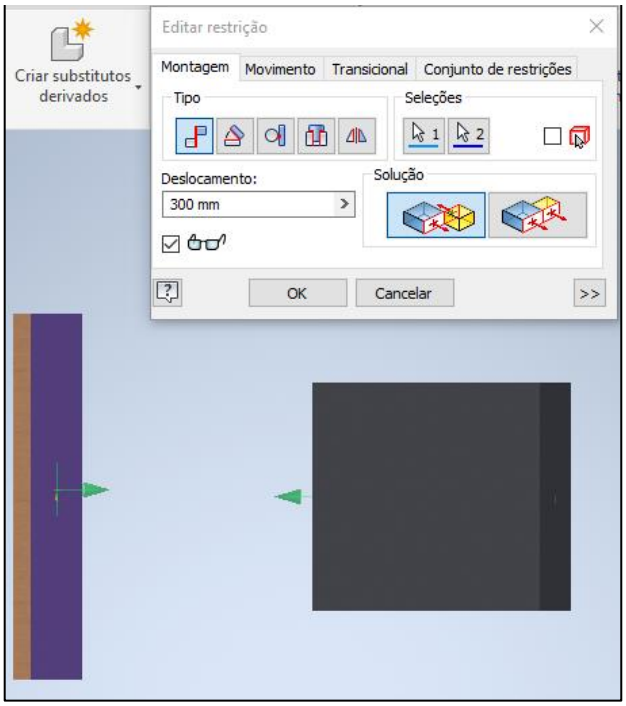
Figura 79 - Restrição entre o plano e a face normal do sólido



Fonte: Autoria própria, 2021

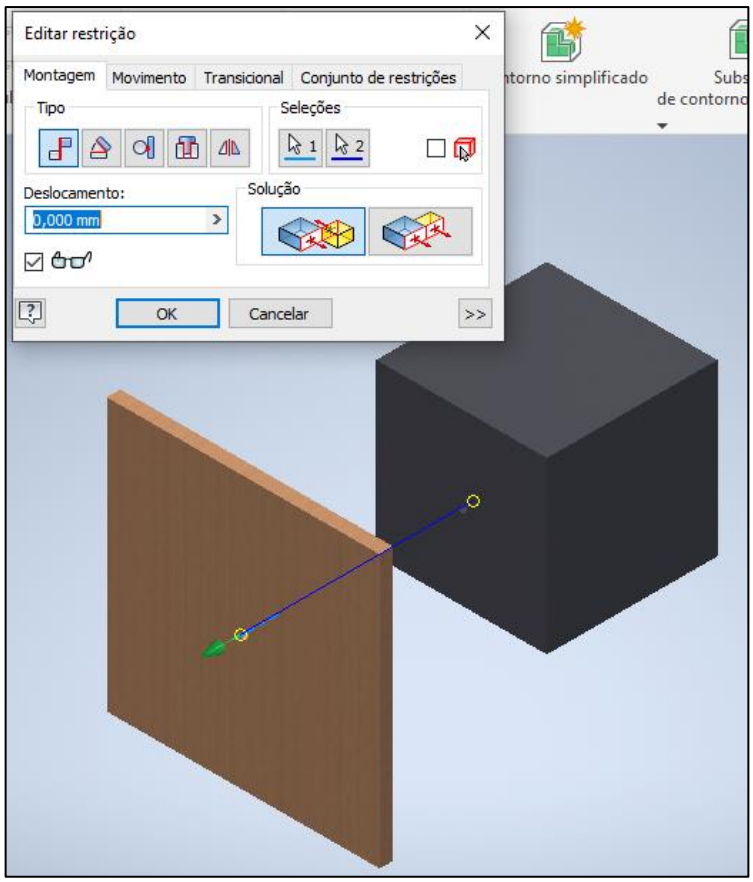
A quarta restrição é entre a face normal da massa e a face normal do sólido de encaixe (ver Figura 80). Nesta restrição informa-se a distância entre as peças. É a partir dela que será feito o movimento das peças, logo, nomeia-se esta restrição como “DRIVE”. Em seguida, restringe-se os eixos das peças, como é exemplificado na Figura 81.

Figura 80 - Restrição entre a face normal da massa e a face normal do sólido de encaixe



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 81 - Restrição entre os eixos das peças

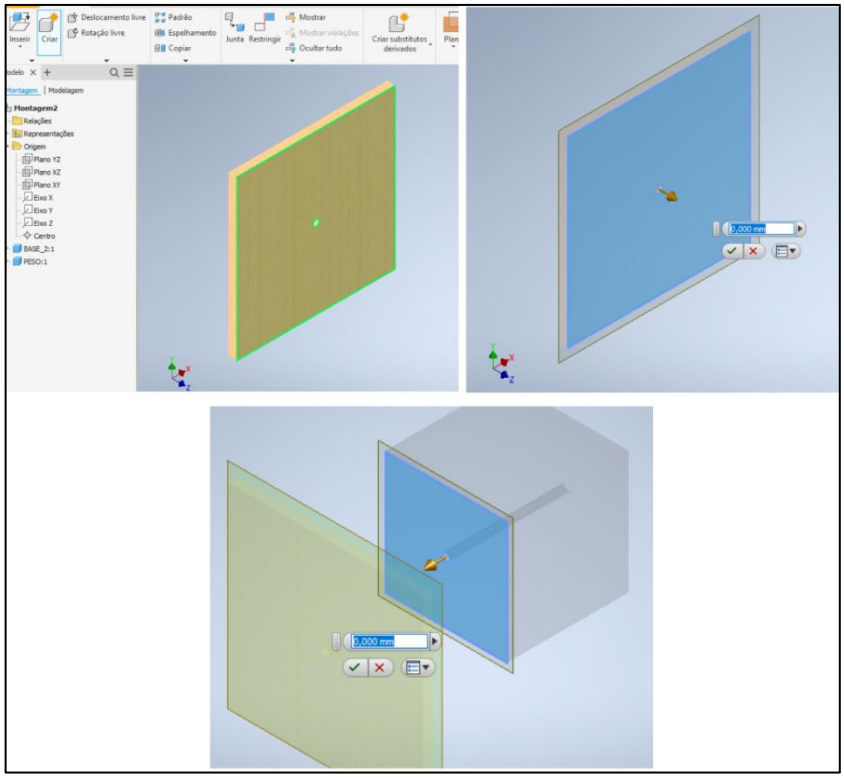


Fonte: Autoria própria, 2021

Mola

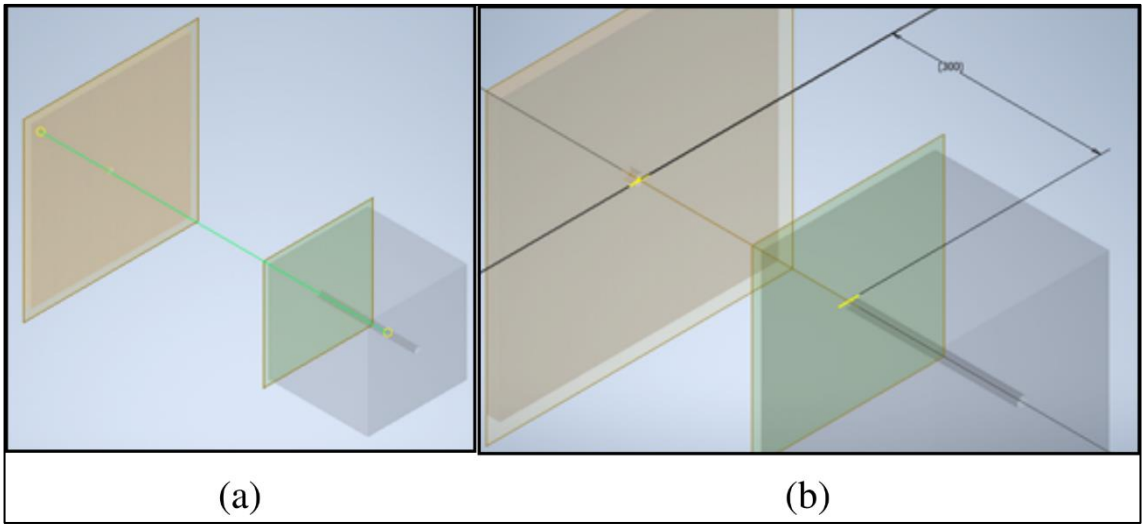
Para criar a mola aciona-se o comando **"Create"** presente na aba **"Montagem"**, em seguida seleciona-se a face de trabalho que será a base do esboço para a mola. Logo após, cria-se um plano de trabalho sobre a face anteriormente selecionada e sobre a face normal da massa. A Figura 82 ilustra esse processo da montagem do sistema massa-mola. Em seguida, cria-se um eixo, através do comando **"Axis"**, entre as duas peças, como ilustrado na Figura 83-(a). Logo após, cria-se um esboço no plano YZ, este se encontra na pasta **"Origem"** referente a mola. Depois, projeta-se a geometria da parte superior dos dois planos criados, anteriormente. Cota-se a distância entre as projeções, esta tem de ser igual a distância especificada na restrição "DRIVE". Na Figura 83-(b) tem-se a representação do processo.

Figura 82 - (a) Escolha da face de trabalho, (b) criação de um plano de trabalho na face selecionada, (c) criação do plano na face normal da massa



Fonte: Autoria própria, 2021

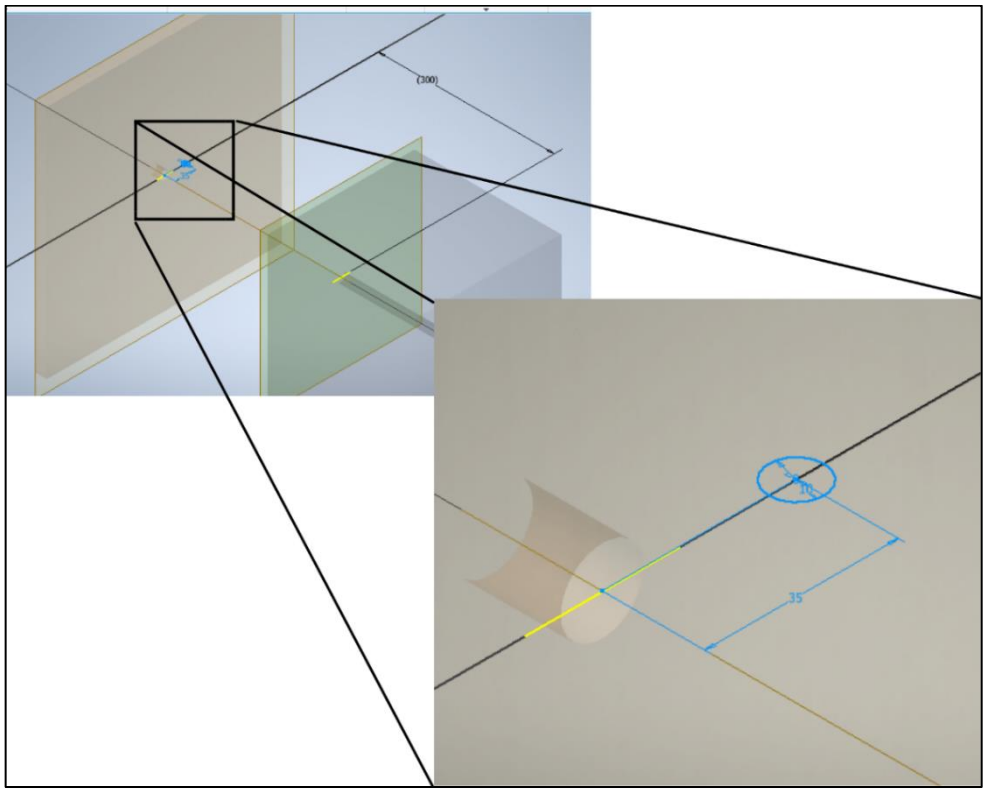
Figura 83 – (a) Eixo criado entre as peças e (b) representação das projeções criadas e sua cota



Fonte: Autoria própria, 2021

Para iniciar o esboço da mola, seleciona-se o plano YZ, o mesmo usado anteriormente, e com o comando **"Circle"** esboça-se o que será a espessura da mola, a distância que ela está do eixo de origem será o raio da mola. No exemplo da Figura 84, o círculo criado tem diâmetro de 10 mm e o raio da mola 35 mm.

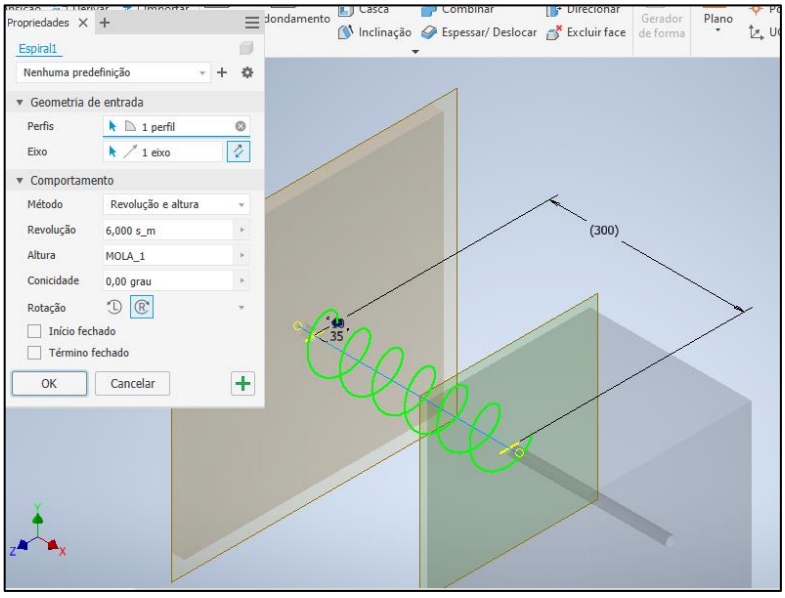
Figura 84 - Representação do esboço da mola



Fonte: Autoria própria, 2021

Após isto, aciona-se o comando **“Coil”** ou **“Espiral”**, seleciona-se o perfil e o eixo, informa-se o número de revoluções da mola e a sua altura, esta corresponde a distância entre as projeções dos planos de trabalho, na Figura 85 é possível observar a caixa em que são realizadas as configurações da mola.

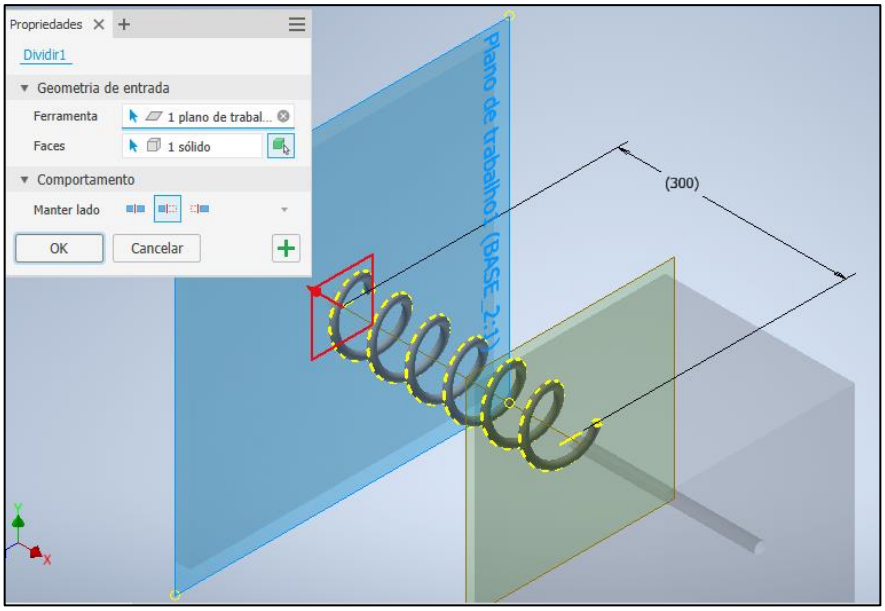
Figura 85 - Criação da mola a partir do esboço



Fonte: Autoria própria, 2021

Com o comando **“Dividir”**, retira-se as partes da mola que se projetam para dentro das faces das peças, este processo é aplicado em ambos os lados da mola, como ilustra a Figura 86.

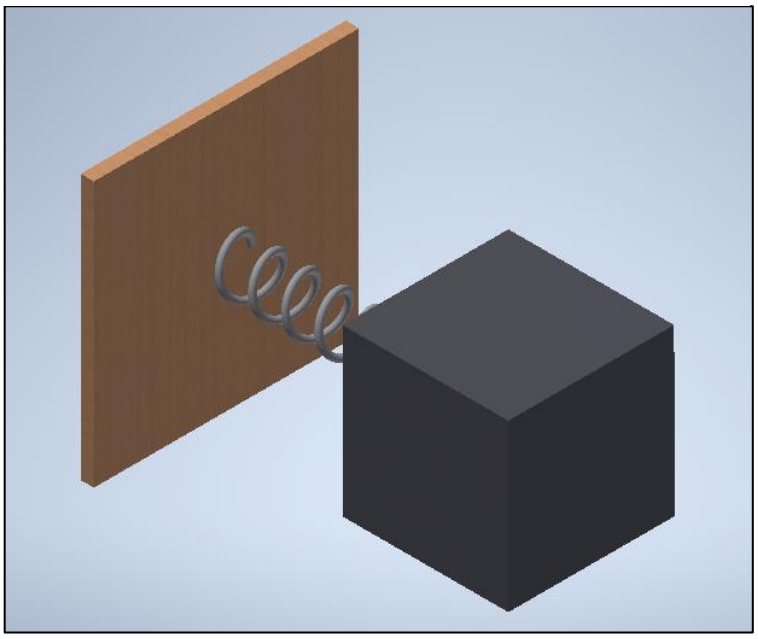
Figura 86 - Retira-se as partes da mola que se projetam para dentro das faces das peças



Fonte: Autoria própria, 2021

Pode-se ainda tornar os planos de trabalho criados e os furos de referência, invisíveis, para tal, clica-se sobre eles com o botão direito do *mouse* e seleciona as opções **"Visibilidade"** e **"Suprimir Operação"**, respectivamente. O sistema massa-mola resultante é representado na Figura 87.

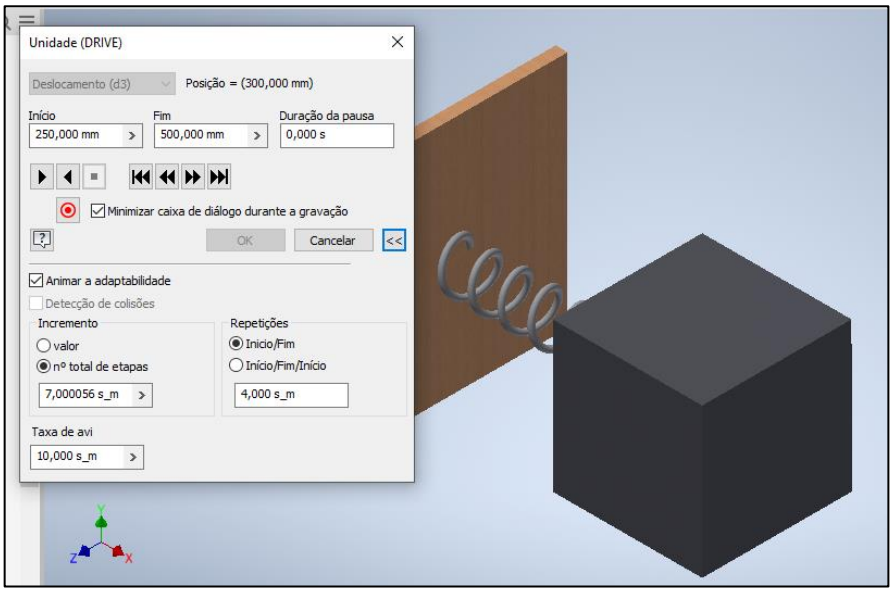
Figura 87 - Sistema massa-mola finalizado



Fonte: Autoria própria, 2021

Para gerar o movimento, clica-se sobre a restrição "DRIVE" com o botão direito do *mouse* e seleciona a opção **"Conduzir"**. Na caixa de diálogo (ver Figura 88) o usuário pode modificar ao seu gosto. Esta opção dá a escolha de gravar o movimento e salvar no dispositivo.

Figura 88 - Caixa de diálogo para geração de movimento automático



Fonte: Autoria própria, 2021

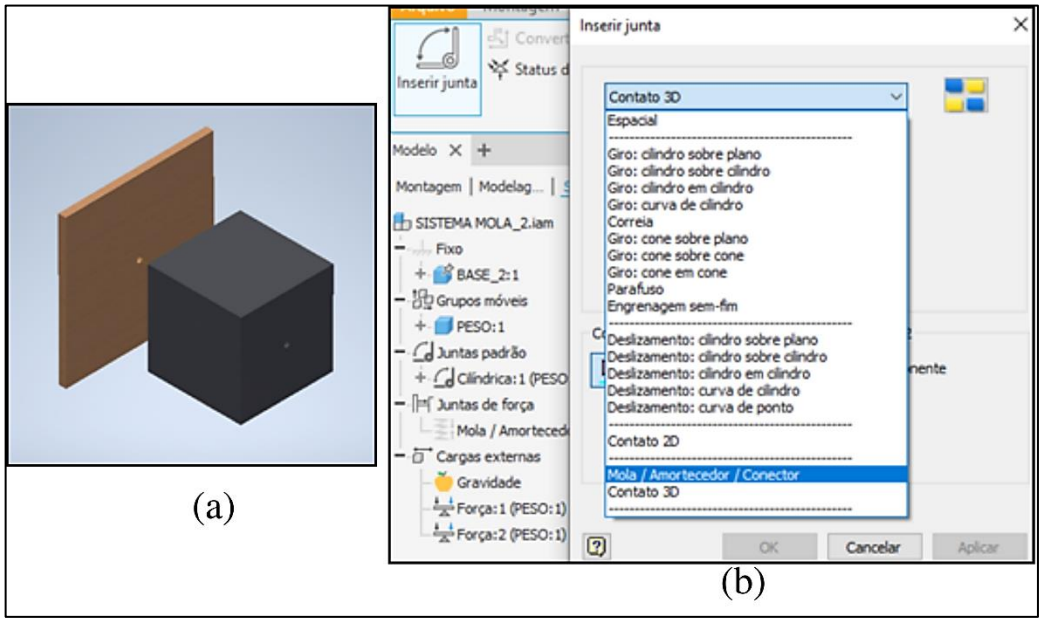
Sistema massa-mola a partir da opção “Simulação Dinâmica”

O comando “Simulação Dinâmica” permite a geração de movimento levando em consideração a gravidade ou qualquer outra força que atue no sistema. Ao montar o sistema massa-mola para este trabalho, foi observado que o *software* Inventor permitiu a inserção de mais de uma força, todavia, apenas uma força é representada de cada vez.

O movimento da mola, neste comando, é realizado em apenas uma direção, vai depender do sentido da força, mas mesmo com essas limitações o programa permite a geração de gráficos, seja da trajetória, aceleração ou velocidade do objeto escolhido, para este caso, permite a edição das propriedades da mola, bem como, a intensidade da força atuante no sistema.

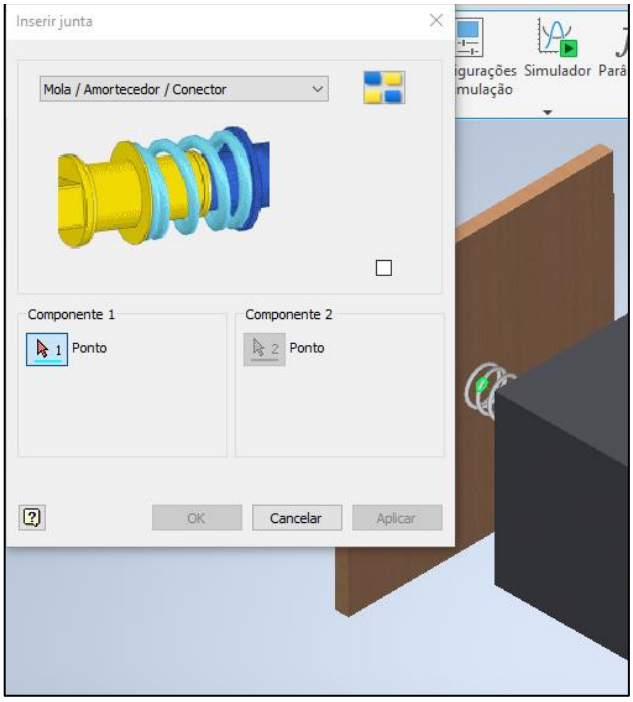
A montagem do sistema para este comando, segue os mesmos passos da anterior, a diferença é que não se cria a mola. A mola será gerada dentro do comando “Simulação Dinâmica”. Na Figura 89-(a) é possível observar as peças do sistema massa-mola posicionadas na área de trabalho. Após a montagem, aciona-se o comando **“Simulação Dinâmica”**, dentro da aba **“Ambientes”**. Será aberta uma aba chamada **“Simulação Dinâmica”**, nela clica-se no comando **“Inserir Junta”** e seleciona a opção **“Mola / Amortecedor / Conector”**, como mostra a Figura 89-(b). Dentro dessa opção, deve-se selecionar os pontos que servirão de base para a geração da mola (ver Figura 90). Após selecionar os pontos, clica-se em **“Aplicar”**.

Figura 89 – (a) Montagem sistema massa-mola e (b) Comando "Inserir Junta" para sistema massa-mola



Fonte: Autoria própria, 2021

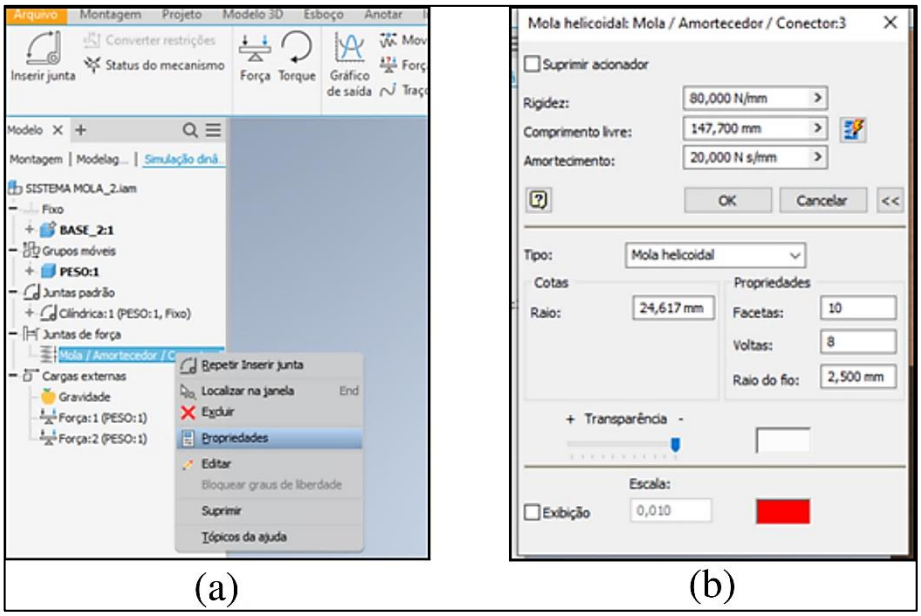
Figura 90 - Opção "Mola / Amortecedor / Conector"



Fonte: Autoria própria, 2021

Após isto, a mola é criada e é possível editar suas propriedades, como raio do fio, rigidez, amortecimento e número de voltas. Para isso, basta acessar a árvore de simulação dinâmica e na mola recém criada, clica-se com o botão direito do *mouse* e seleciona-se **"Propriedades"**, como ilustra a Figura 91-(a). Em seguida, será apresentada uma caixa de diálogo com as configurações da mola, ver Figura 91-(b).

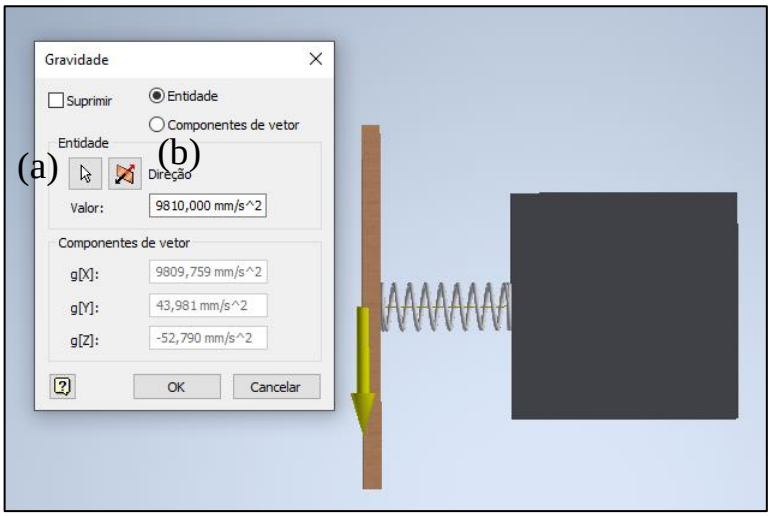
Figura 91 – (a) Propriedades da mola e (b) configurações da mola



Fonte: Autoria própria, 2021

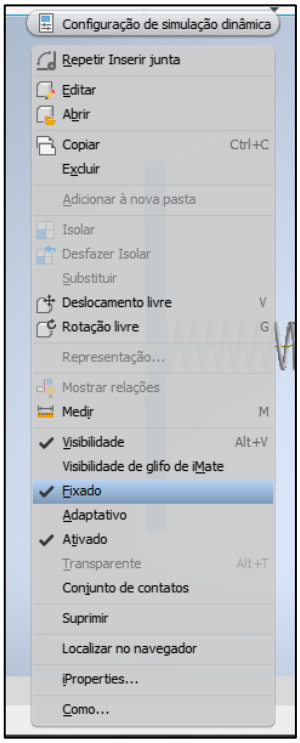
Logo após, deve-se informar a gravidade e em que direção ela está atuando. Na árvore de simulação dinâmica encontra-se a opção **"Gravidade"**, clica-se sobre ela e é aberta uma caixa de diálogo, como apresentada na Figura 92. O local em que a força gravitacional irá atuar no sistema, deve ser fixado na área de trabalho. Para tal, deve-se clicar sobre a peça que não irá se movimentar, com o botão direito do mouse, e selecionar a opção **"Fixado"**, ver Figura 93. No exemplo usada neste trabalho, o objeto fixo é a base (ver Figura 92).

Figura 92 - Caixa opção "Gravidade". (a) informa-se o local em que a força está localizada no sistema, (b) modifica a direção da força



Fonte: Autoria própria, 2021

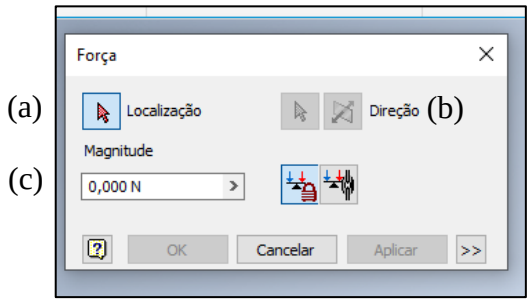
Figura 93 - Fixar uma peça



Fonte: Autoria própria, 2021

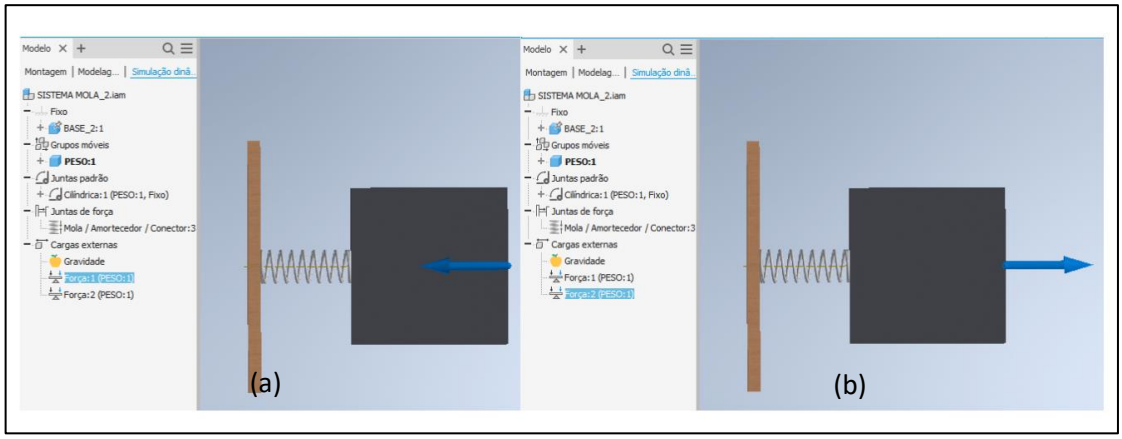
Para inserir as forças no sistema, aciona-se o comando **"Força"** na aba de **"Simulação Dinâmica"**. A Figura 94 ilustra a caixa do comando **"Força"**. A força, neste caso, será aplicada na massa. É possível representar tanto a tração na mola quanto a compressão (ver Figura 95), para isso, basta criar duas forças, ambas em direções opostas.

Figura 94 - Caixa do comando "Força". (a) Seleciona-se o local em que a força irá atuar, (b) indica a direção da força, (c) informa-se a intensidade da força



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 95 - Representação das forças de compressão (a) e tração (b)

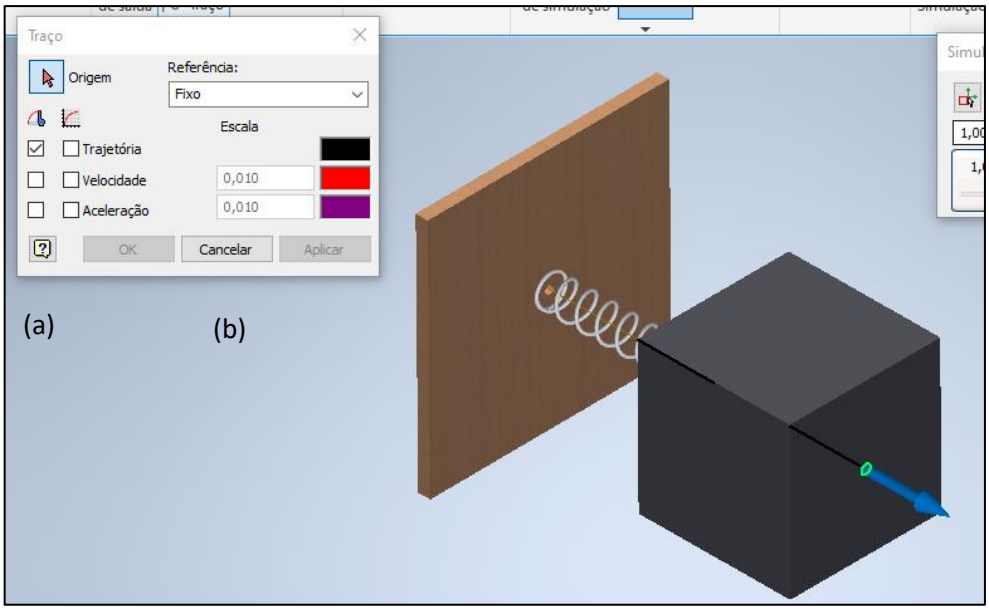


Fonte: Autoria própria, 2021

Com o comando **"Simulador"** é possível iniciar o movimento do sistema. Caso o usuário queira representar a força de compressão, basta suprimir a força de tração, clicando-se sobre ela com o botão direito do *mouse* e selecionando a opção **"Suprimir"**. Como dito anteriormente, o Inventor permite uma força sendo simulada de cada vez.

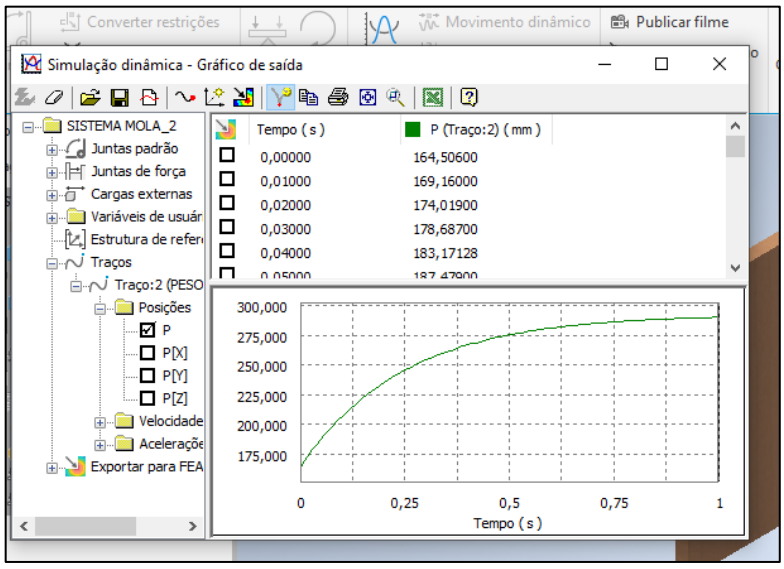
O comando **"Traço"** (ver Figura 96) permite que a peça ao iniciar um movimento, tenha sua trajetória, velocidade ou aceleração, representada por um traço. Esse comando também possibilita a geração do gráfico de saída com os traços desejados. Para visualizar o gráfico clica-se no comando **"Gráfico de Saída"**. A Figura 97 mostra a caixa de diálogo do "Gráfico de Saída".

Figura 96 - Caixa do comando "Traço". (a) seleciona-se a origem da peça, (b) indica a peça de referência



Fonte: Autoria própria, 2021

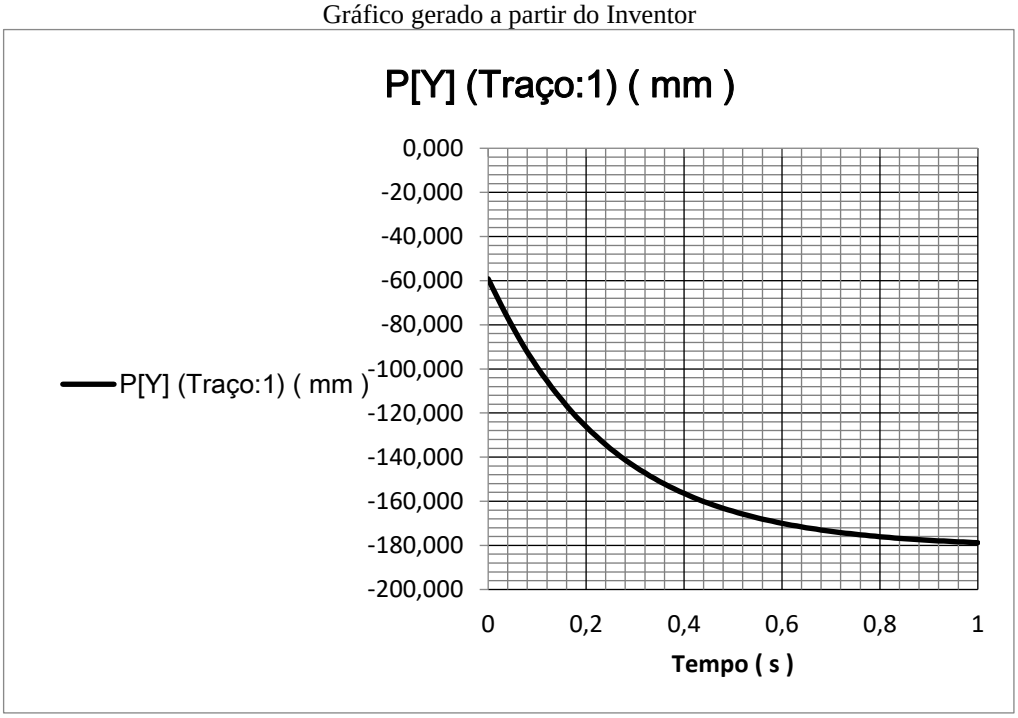
Figura 97 - Caixa do "Gráfico de Saída"



Fonte: Autoria própria, 2021

Nesta caixa é possível selecionar o que se deseja representar no gráfico em relação a cada coordenada do plano de trabalho, também é possível exportar as informações contidas para o *software* de planilha Excel, obteve-se nesse caso os gráficos presentes na Figura 98 e Figura 99, além de permitir a impressão dos resultados. Ao finalizar a simulação clica-se em **"Concluir Simulação Dinâmica"**. A mola só irá aparecer quando estiver selecionado o comando **"Simulação Dinâmica"**.

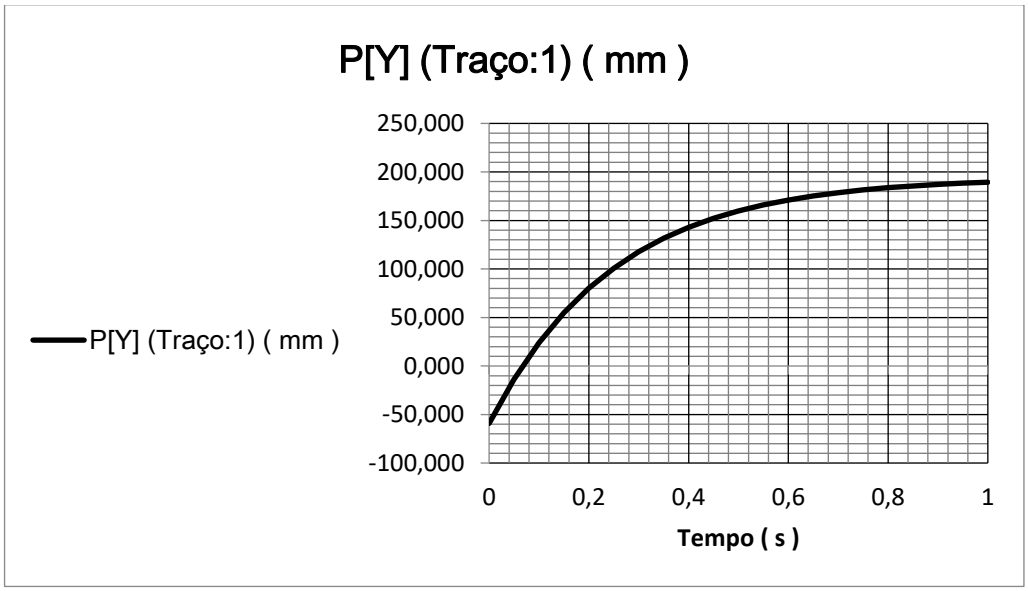
Figura 98 – Representação gráfica do Sistema Massa-Mola submetido a uma força de compressão. Gráfico gerado a partir do Inventor



Fonte: Autoria própria, 2021

No gráfico da Figura 98, a massa do sistema iniciou o movimento na posição Y = -59,18150 mm e finalizou o movimento na posição Y = -178,77500 mm. Já no gráfico da Figura 99, a massa do sistema inicia seu movimento na posição Y = -59,18150 mm e finaliza na posição Y = 189,41650 mm.

Figura 99 - Representação gráfica do Sistema Massa-Mola submetido a uma força de tração. Gráfico gerado a partir do Inventor



Fonte: Autoria própria, 2021

4. CONCLUSÃO

Com base nas pesquisas realizadas, percebeu-se o quanto a humanidade avançou no quesito tecnológico, desde o desenvolvimento das primeiras máquinas aos *softwares* interativos, que tanto auxiliam na vida acadêmica quanto na profissional dos indivíduos. Foi observado o quanto os *softwares* de prototipagem virtual têm ganhado espaço em diversas áreas profissionais, em especial nas engenharias como a Engenharia Civil e a Mecânica, visto que facilitam a modelagem, visualização, bem como, a execução dos projetos, além de serem alternativas mais econômicas. Além disso, com o advento dos FABLABS, baseando-se em um conhecimento prévio sobre um determinado assunto, é possível criar protótipos e, dessa forma, assimilar melhor o conteúdo. No exemplo citado no texto introdutório o tema trabalhado com uma turma do 8º e 9º ano foi Geradores Elétricos, percebeu-se que ao construir protótipos desses geradores, os estudantes conseguiram absorver melhor o conteúdo ministrado.

Desta maneira, este trabalho, por intermédio de pesquisas bibliográficas, buscou relacionar os *softwares* de prototipagem virtual com o ensino de Física e Engenharia. Em virtude disso, foi utilizado o *software* Autodesk Inventor para reproduzir exemplos tais quais, Pêndulo de Newton e Sistema Massa-Mola, com o intuito de observar como estes se comportam quando modelados e simulados no Inventor, bem como, tomar conhecimento das limitações que o programa impõe as simulações. Ao modelar os exemplos citados anteriormente, observou-se que através do Inventor é possível simular seus movimentos, contudo, apresenta uma limitação relacionada à representação de forças, a qual fica mais evidente no Sistema Massa-Mola. Neste exemplo, dentro do comando **"Simulação Dinâmica"**, a força de compressão e tração aplicada ao sistema só podem ser simuladas separadamente, ou seja, ao acionar a simulação de compressão a mola só se moverá em uma direção, logo, não é possível observar a força de restauração da mola.

Conforme visto na etapa de modelagem, é possível modificar as configurações da mola, tais quais, rigidez, comprimento e raio do fio. Também pode-se observar, que a movimentação do sistema se relaciona com a intensidade da força e com as configurações da mola, ou seja, quanto mais rígida for a mola a força necessária para deformá-la será maior. Um outro ponto que vale salientar, é que no ato da montagem deve-se atentar às restrições de movimento impostas às peças, caso contrário, ocasionará em erros durante a simulação. Uma consequência desses erros seria a estática total da peça ou sua movimentação de maneira errônea.

Apesar destas limitações, o *software* Inventor atende às exigências básicas dos projetos aqui trabalhados. Com os Pêndulos de Newton, ilustrado no *software,* foi possível observar o comportamento desse sistema considerando as forças dissipativas, uma vez que o movimento dos pêndulos cessa no decorrer do tempo. Este fato é observado de maneira gráfica a partir do gráfico de saída gerado no próprio Inventor, em que a posição dos pêndulos em cada instante é representada de maneira precisa. Já com o sistema massa-mola, observa-se, a partir dos gráficos gerados, a posição da massa em relação ao tempo, quando a mola é comprimida ou tracionada. Além disso, nas configurações da mola (ver Figura 91) é possível modificar a rigidez da mola, assim, o usuário pode observar a relação entre a rigidez e a intensidade da força aplicada à mola. Assim sendo, o programa de prototipagem virtual em questão, seria uma alternativa voltada ao auxílio no ensino de Física e Engenharia.

REFERÊNCIAS

Amaral, R. D., & Filho, A. C. (Maio de 2010). A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia. *ResearchGate*. Acesso em 05 de 04 de 2021, disponível em https://www.researchgate.net/publication/267251565_A_Evolucao_do_CAD_e_sua_Aplicacao_em_Projetos_de_Engenharia

Autodesk. (s.d.). *Inventor - Software CAD 3D profissional para engenharia e projetos de produtos*. Acesso em 14 de 05 de 2021, disponível em Autodesk: https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview?term=1-YEAR

Barbeta, V. B. (Janeiro de 2000). Recuros de simulação em computador em aulas de física para Engenharia. *ResearchGate*. doi:10.13140/2.1.5075.2323

Carvalho, M. G. Tecnologia, Desenvolvimento Social e Educação Tecnológica. Revista Educação & Tecnologia. Curitiba: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, julho de 1997, semestral, p.70-87

Chan, M. M., & Blikstein, P. (9 de Outubro de 2018). Exploring Problem-Based Learning for Middle School Design and Engineering g Education in Digital Fabrication Laboratories. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*. Acesso em 21 de Março de 2021, disponível em https://docs.lib.purdue.edu/ijpbl/vol12/iss2/7/

Clark, K. B.; Wheelwright, S. C. Managing new product and process development: text and cases. Primeira ed. New York: The Free Press, 1993. 896 p

Cruz, M. D. (2016). *Autodesk Inventor Professional 2016 - Desenhos, Projetos e Simulações* (1ª ed.). Saraiva. Acesso em 07 de Março de 2021, disponível em https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518947/pageid/1

Equipe Educamundo. (03 de Maio de 2019). *Programas CAD: como a tecnologia revolucionou a área do desenho*. Acesso em 07 de Março de 2021, disponível em Educa Mundo: https://www.educamundo.com.br/blog/programas-cad

Lavado, T. (17 de Fevereiro de 2019). *Rede de FabLabs do Brasil faz 1º encontro nacional durante Campus Party*. Acesso em 25 de Abril de 2021, disponível em G1: https://g1.globo.com/economia/tecnologia/campus-party/2019/noticia/2019/02/17/rede-de-fablabs-do-brasil-faz-1o-encontro-nacional-durante-campus-party.ghtml

Marques, J. C. (2015). *O Ensino do Desenho Técnico e suas relações com a História da Matemática, da Arquiteruta e a Computação Gráfica.* Acesso em 07 de Março de 2021, disponível em XIX EBRAPEM - Encontro Brasileiro de Estudante de Pós - Graduação em

Educção Matemática: https://www.ufjf.br/ebrapem2015/files/2015/10/gd3_janaina_marques.pdf

Medeiros, J., Bueira, C. L., Peres, A., & Borges, K. S. (2016). Movimento maker e educação: análise sobre as possibilidades de uso dos Fab Labs para o ensino de Ciências na educação Básica. *FABLEARN*. Acesso em 21 de Março de 2021, disponível em https://fablearn.org/wp-content/uploads/2016/09/FLBrazil_2016_paper_33.pdf

Neatu, M. (21 de Fevereiro de 2018). *20 Dicas de desenho técnico para arquitetura*. Acesso em 25 de Abril de 2021, disponível em ArchDaily: https://www.archdaily.com.br/br/889405/20-dicas-de-desenho-tecnico-para-arquitetura/5a8c587ff197cce9dc0000c7-20-technical-architecture-drawing-tips-image

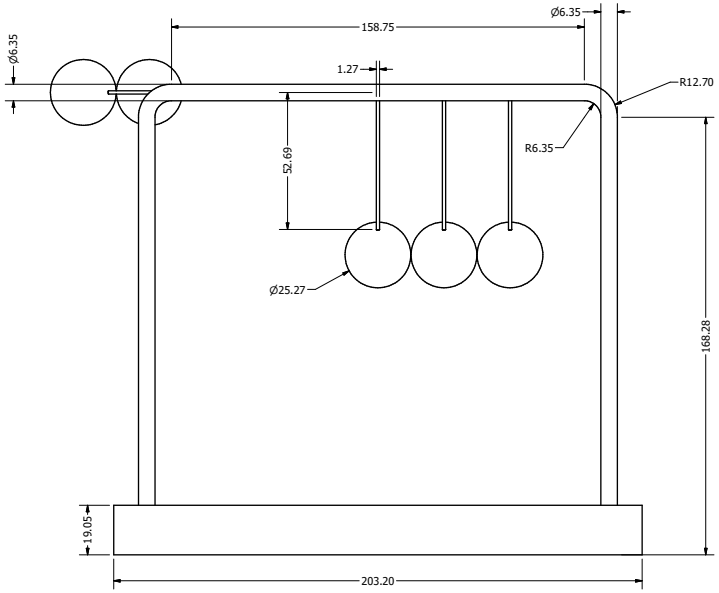
Orsi, C. F. (20 de Novembro de 2002). F809 – Instrumentação para o Ensino de Física. Pêndulos de Newton.Relatório Final do Experimento. *Instituto de Física. "Gleb Wataghin"*. Acesso em 20 de Abril de 2021, disponível em https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2002/962020_Carla_pendulo_newton.pdf

ProConcept. (18 de Julho de 2018). *A História e a Evolução do Software CAD*. Acesso em 07 de Março de 2021, disponível em ProConcept: https://www.proconcept.com.br/2018/07/18/a-historia-do-software-cad/

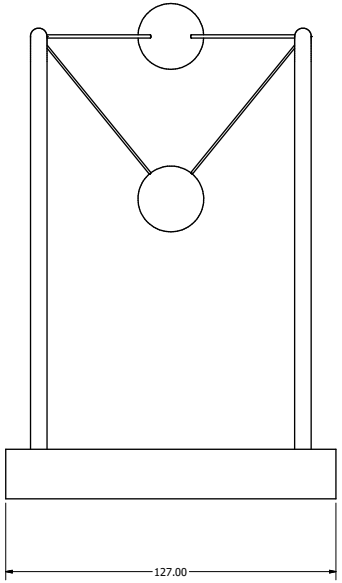
Wagner, J., Volpatto, C. P., Voigt, F. R., Souza, D. A., & Meneguzzi, C. R. (2018). Projetos Bidimensionais Auxiliados por Computador. Prto Alegre : Dieimi Deitos. Acesso em 09 de Março de 2021

Cotas dos Pêndulos de Newton em polegadas (pol)

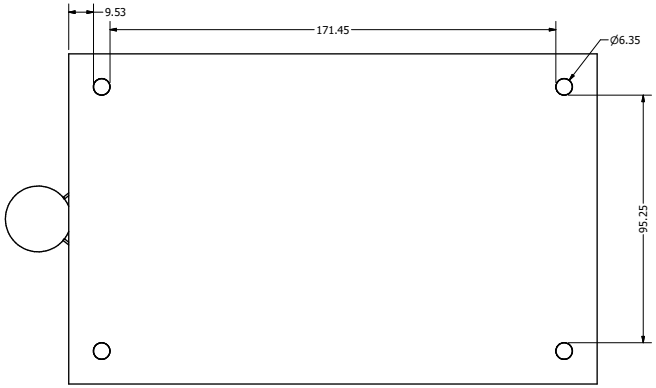
Visão frontal dos Pêndulos de Newton



Vista direita dos Pêndulos de Newton



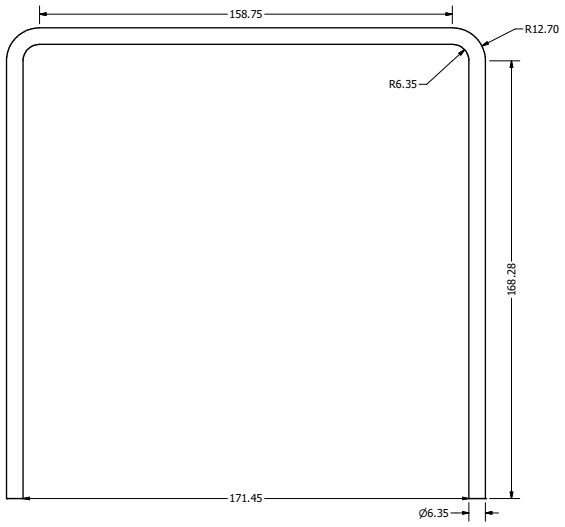
Vista inferior dos Pêndulos de Newton



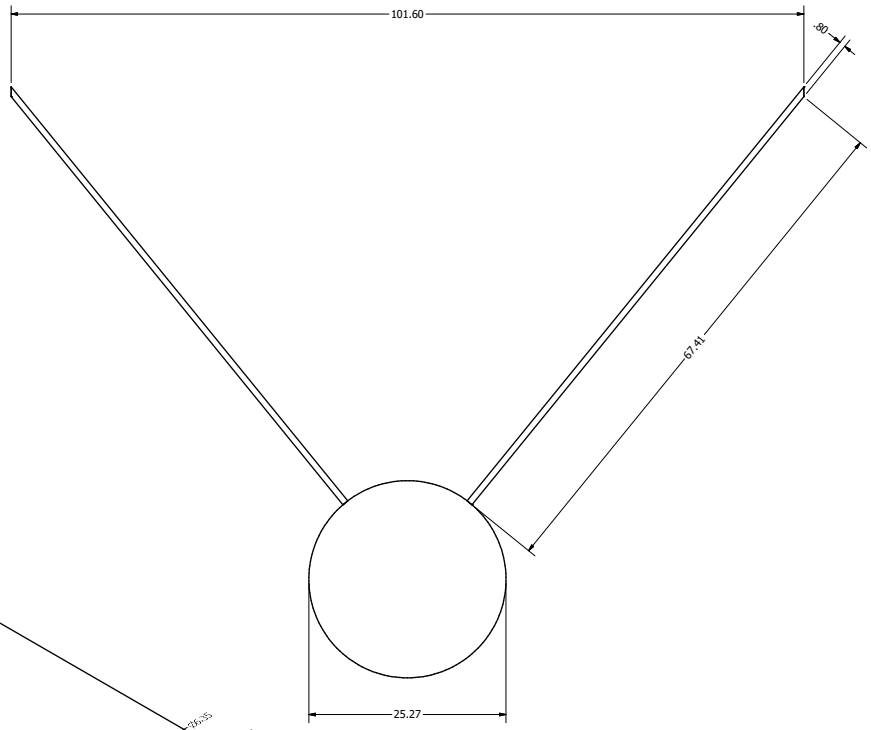
DRAWN User	09/06/2021	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		
		SIZE D / DWG NO / REV
		SCALE 1 : 1 / SHEET 1 OF 1

Cotas dos componentes dos Pêndulos de Newton em polegadas (pol)

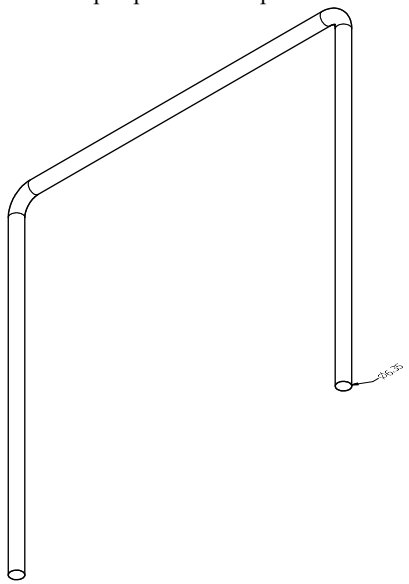
Vista frontal do suporte



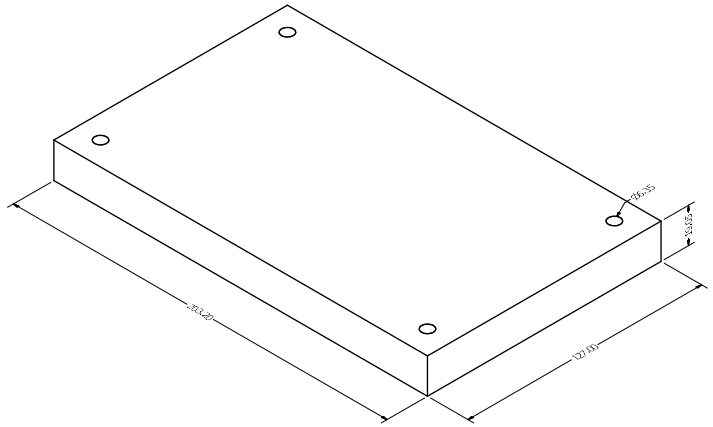
Vista esquerda do pêndulo



Vista em perspectiva do suporte



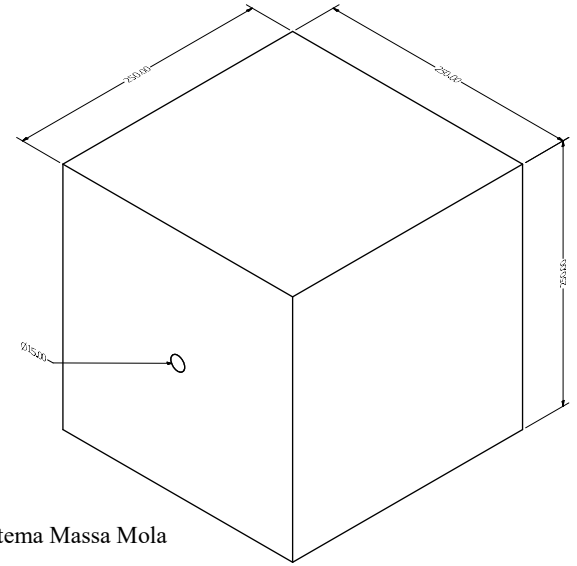
Vista em perspectiva da base



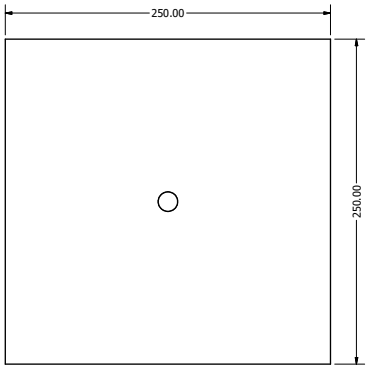
DRAWN User	09/06/2021		
CHECKED		TITLE	
QA			
MFG			
APPROVED		SIZE D	DWG NO / REV
		SCALE 3 : 1	SHEET 1 OF 1

Cotas dos componentes do Sistema Massa Mola em milímetros (mm)

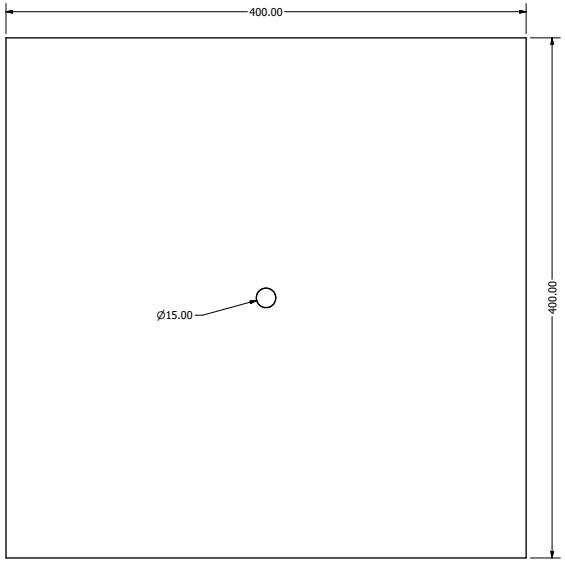
Vista em perspectiva do Sistema Massa Mola



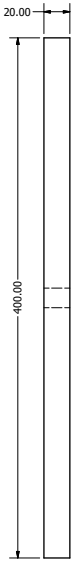
Vista frontal do Sistema Massa Mola



Vista superior do Sistema Massa Mola



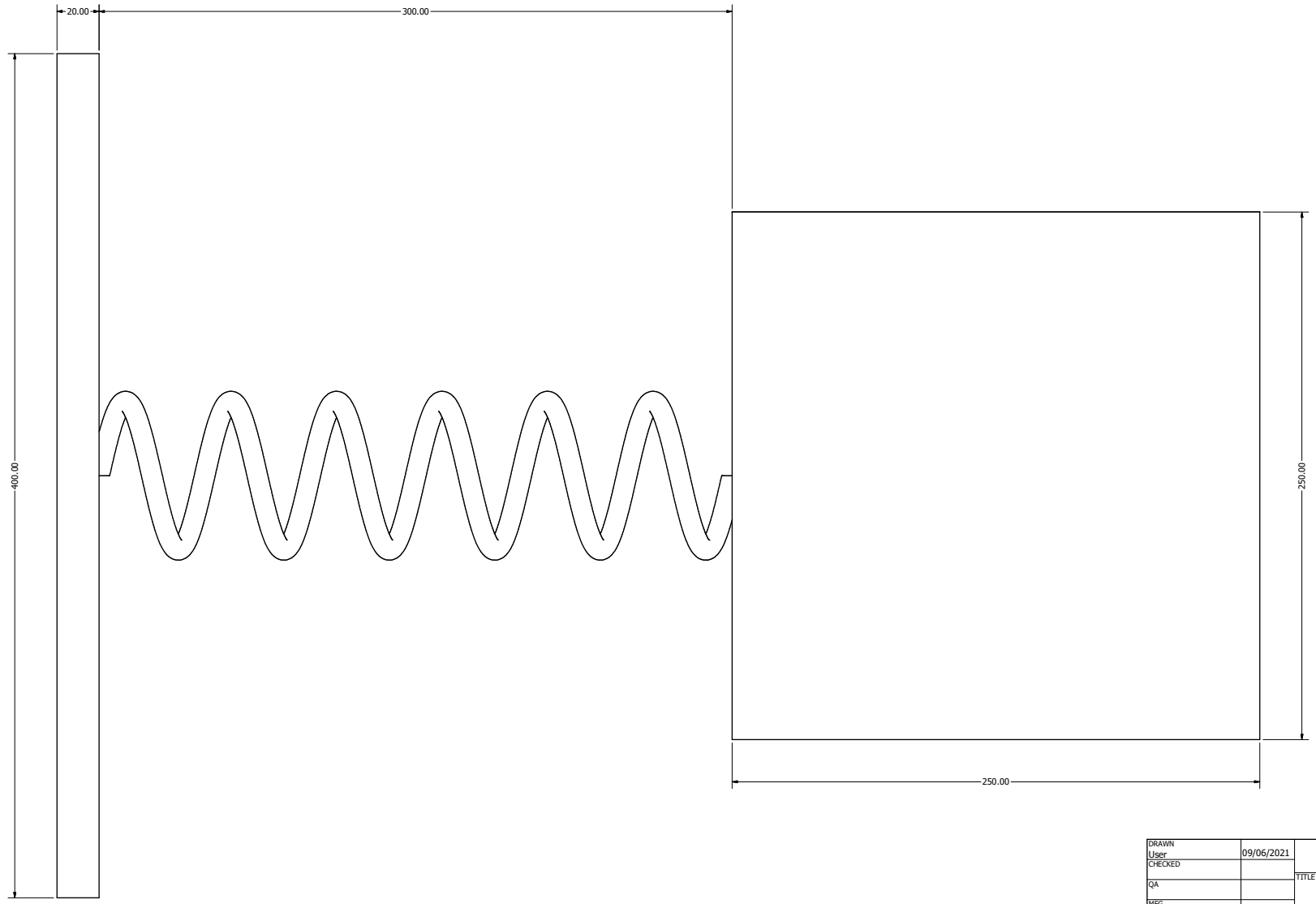
Vista direita do Sistema Massa Mola



DRAWN User	09/06/2021	
CHECKED		TITLE
QA		
MFG		
APPROVED		
		SIZE D / DWG NO PESO / REV
		SCALE 1 / 2 / SHEET 1 OF 1

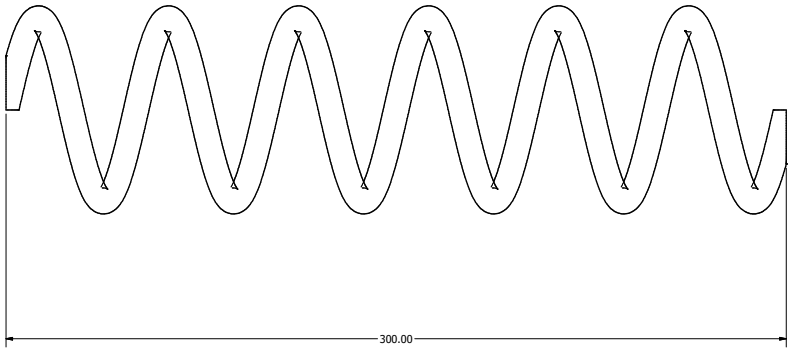
Cotas do Sistema Massa Mola em milímetros (mm)

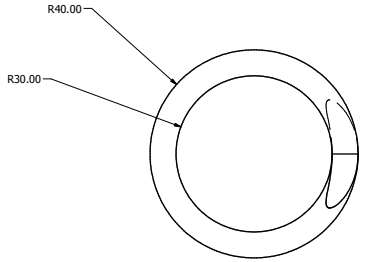
Vista frontal do Sistema Massa Mola



DRAWN User	09/06/2021		
CHECKED		TITLE	
QA			
MFG			
APPROVED		SIZE D	DWG NO / REV
		SCALE 1 : 1	SHEET 1 OF 1

Cotas da mola do Sistema Massa Mola em milímetros (mm)





DRAWN User	09/06/2021		
CHECKED		TITLE	
QA			
MFG			
APPROVED		SIZE D	DWG NO MOLA_1 REV
		SCALE 1 : 1	SHEET 1 OF 1