



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - LICENCIATURA

Gautama Moglié Funes

**EXPLORANDO O POTENCIAL DA IMPRESSÃO 3D NA EDUCAÇÃO: UM  
PROTOCOLO GUIADO PARA PRODUÇÃO DE BICAMADAS LIPÍDICAS**

Florianópolis

2023

Gautama Moglié Funes

**EXPLORANDO O POTENCIAL DA IMPRESSÃO 3D NA EDUCAÇÃO: UM  
PROTOCOLO GUIADO PARA PRODUÇÃO DE BICAMADAS LIPÍDICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Campus Florianópolis da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Giordano Calloni

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Funes, Gautama Molglié

Explorando o potencial da impressão 3d na educação: um  
protocolo guiado para produção de bicamadas lipídicas /  
Gautama Molglié Funes ; orientador, Giordano Wosgrau  
Calloni, 2023.

126 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis,  
2023.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Biologia celular . 3.  
Impressão 3D. 4. Protocolo guia. I. Calloni, Giordano  
Wosgrau. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha família. Mãe, meu agradecimento sincero por todo o amor que você depositou em mim. Como aprendi ao longo da minha graduação, o amor e o cuidado são alguns dos maiores investimentos que alguém pode receber e são determinantes para o sucesso na vida. Nesse aspecto, considero-me verdadeiramente bem-sucedido. Sua bondade e ternura são exemplos que carregarei sempre comigo, inspirando-me a ser uma pessoa melhor a cada dia. Pai, obrigado por estar sempre presente em minha vida. Mesmo quando distante, você encontrava uma maneira de se fazer presente, e isso não tem preço. Agradeço pelas conversas e por sempre me ouvir quando eu mais precisava. Sua sensibilidade em relação à vida me ensinou lições inestimáveis e contribuiu para moldar a pessoa que sou hoje. Também gostaria de agradecer às minhas irmãs, pois sem elas a vida seria muito sem graça. Obrigado pelos conselhos que recebi ao longo do caminho e pelos gestos de carinho que demonstraram que eu nunca estava sozinho.

Gostaria de agradecer também à Elen, Alan e à Dona Rose. Essas pessoas, sem dúvida, constituem uma segunda família para mim. Elen, tua força de vontade é verdadeiramente admirável, e tua confiança, mesmo nos momentos mais difíceis, é contagiante. O cuidado que tens pelas pessoas é evidente nos pequenos detalhes, mostrando que o amor está presente em cada gesto. Agradeço imensamente pelo apoio que você me proporcionou ao longo desses anos, especialmente durante os meses desafiadores da pandemia. Serei eternamente grato pelo seu carinho. Alan, o que posso dizer? Não sei se “Cê” recebeu, mas este trabalho possui uma bela influência tua. tua engenhosidade e curiosidade me inspiraram e motivaram a pensar fora da caixa. Tu és uma pessoa incrível! Agradeço por toda a ajuda que você me ofereceu. Dona Rose, como o nome sugere, és uma figura poderosa que nos ensina valiosas lições de força e determinação. Obrigado por ter me acolhido como um neto durante essa jornada.

À Francine, minha “camarada” incansável, obrigado pela constante presença em minha vida. Tua companhia tem sido um apoio inestimável ao longo desses anos. Juntos, enfrentamos desafios e tomamos decisões importantes que nos trouxeram até este momento, e você nunca deixou de estar ao meu lado, trazendo conforto e compreensão, mesmo nos momentos mais difíceis. Muito obrigado por ser meu alicerce, minha motivação e minha melhor amiga.

Ao meu orientador, que me abriu as portas e guiou ao longo dessa jornada, meu muito obrigado. Sua paixão pela docência e seu comprometimento com a educação foram

fundamentais para o meu crescimento acadêmico e pessoal ao longo dessa jornada. Sou grato por ter tido a oportunidade de aprender com alguém tão dedicado e apaixonado pelo ensino.

À Evelin e ao Leonardo, gostaria de expressar minha sincera gratidão por sua paciência e dedicação ao revisar uma parte deste trabalho. Seus olhares atentos e sugestões valiosas contribuíram significativamente para a melhoria e aprimoramento desse conteúdo.

Por fim, expresso meu profundo agradecimento à Universidade Federal de Santa Catarina por ter proporcionado tantas experiências. Sou grato aos professores do Centro de Ciências Biológicas, que com sua dedicação e expertise, me mostraram a beleza e a importância desta área do conhecimento que escolhi trilhar.

## RESUMO

O potencial tecnológico das ferramentas de impressão tridimensional (3D) é amplo e promissor, principalmente na educação escolar. No entanto, a maioria dos estudos de pesquisa sobre o uso da impressão 3D na educação tem se concentrado no ensino universitário. Isso resulta em uma lacuna significativa em relação às práticas de ensino que buscam incorporar propostas alternativas ao ensino básico. Este trabalho busca promover uma discussão e reflexão sobre as possibilidades do uso de impressão 3D na educação escolar, bem como fornecer um protocolo guia com orientações fundamentais para a criação e impressão de objetos 3D. Para isso, são explorados os principais recursos e ferramentas dos *softwares Blender e Ultimaker Cura*, por meio de uma sequência de etapas e exemplos que buscam promover um entendimento mais amplo acerca desses processos. Este trabalho se concentra no ensino de biologia celular, com ênfase na membrana de célula, dado que a compreensão desse tema é fundamental para entender fenômenos orgânicos em diferentes níveis de organização. A utilização de modelagem e impressão 3D na educação oferece oportunidades, mas não é uma revolução por si só. É necessário integrá-la ao ensino e explorar novas abordagens pedagógicas para enriquecer o processo de aprendizagem. Este trabalho busca conscientizar sobre o potencial da impressão 3D e incentivar seu uso em sala de aula, visando uma educação mais envolvente, prática e criativa.

**Palavras-chave:** Impressão 3D; Protocolo; Biologia celular

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem comparativa da qualidade de impressão entre impressoras do tipo FDM e SLA-----	17
Figura 2 - Processos relacionados à impressão 3D-----	28
Figura 3 - Visão inicial da interface do Blender. A - Interface ampliada. B - Figura central informando a versão e opções de arquivos-----	30
Figura 4 - Detalhamento da interface do Blender-----	31
Figura 5 - Como excluir um objeto. A - Procedimento padrão. B - Atalho.-----	32
Figura 6 - Adicionando novos elementos. A - Adicionando novas malhas. B - Adicionando outros componentes-----	32
Figura 7 - Barra de Ferramentas-----	33
Figura 8 - Ferramenta Cursor. A - Posição padrão do cursor. B - Movimentando o cursor ao redor da 3D Viewport-----	34
Figura 9 - Ferramenta Move-----	35
Figura 10 - Ferramenta Rotate-----	36
Figura 11 - Ferramenta scale. A - Eixos de deformação. B - Deformando a face voltada ao eixo y. C - Alterando a forma de dois eixos combinados. D - Alterando a escala do objeto-----	37
Figura 12 - Ferramenta Transform-----	38
Figura 13 - Prateleira de ferramentas para a função scale-----	38
Figura 14 - Barra lateral ativada através da tecla "N"-----	40
Figura 15 - Navegação na janela de visualização. A- Janela de visualização de rotação. B- Atalhos de rotação no teclado numérico-----	41
Figura 16 - Exemplo de mouse a ser utilizado para modelagem 3D-----	42
Figura 17 - Habilitar a opção "emulate 3 button mouse"-----	43
Figura 18 - Movimento "Pan"-----	44
Figura 19 - Outline, Barra de propriedade e lista de modificadores-----	45
Figura 20 - Barra de propriedades em diferentes casos. A - Objeto selecionado. B - Câmera selecionada. C - Texto selecionado. D - Alto falante selecionado-----	45
Figura 21 - Os três modos de interação com o objeto na 3D viewport-----	46
Figura 22 - Modo objeto(a), modo edição(b) e modo escultura(c)-----	47
Figura 23 - Vértices, arestas e faces-----	47
Figura 24 - Novas ferramentas no modo de edição-----	48
Figura 25 - Extrusão de arestas, vértices e faces.-----	49
Figura 26 - Comparação entre um cubo não chanfrado (A) e cubo chanfrado (B)-----	49
Figura 27 - Cubo chanfrado completamente (A), em aresta (B), vértice (C) e face (D).-----	50
Figura 28 - A - Edge loop longitudinal adicionado paralelo ao eixo x. B - Edge loop transversal adicionado paralelo ao eixo y. C - Sucessivas edge loops longitudinalmente e transversalmente adicionadas. D - Extrusão de uma face criada-----	51
Figura 29 - Lista de Modificadores-----	53

<i>Figura 30 - Ativando o complemento LoopTool a partir das configurações de preferências</i>	54
<i>Figura 31 - Localização de configuração viewport shading</i>	55
<i>Figura 32 - Modos de sombreado viewport shading. A - Modo de apresentação em sólido. B - Modo de apresentação em Wireframe. C - Modo de apresentação em visualização do material. D - Modo de apresentação Renderização</i>	57
<i>Figura 33 - Seleção de vértices em diferentes modos de apresentação. A - Modo de apresentação sólido. B - Modo de apresentação wireframe.</i>	58
<i>Figura 34 - Iluminação e sombreado. A - Flat shading . B - Smooth Shading</i>	59
<i>Figura 35 - Smooth shading</i>	60
<i>Figura 36 - Modelando uma cadeira. A - Excluindo o cubo padrão. B - Adicionando uma nova malha</i>	61
<i>Figura 37 - Nomeação de um objeto no outline</i>	61
<i>Figura 38 - Modo edição</i>	62
<i>Figura 39 - Extrusão do plano. A - Extrusão ao longo do eixo Z. B - Extrusão utilizando a prateleira de ferramentas</i>	63
<i>Figura 40 - A - Definindo a orientação do primeiro Edge Loop. B - Edge loop adicionado. C - Prateleira de ferramentas. D - Definindo a orientação do segundo Edge Loop. E - Par de Edge Loops adicionados ao plano extrusado</i>	64
<i>Figura 41 - Movendo os anéis até a borda através da função Bevel</i>	64
<i>Figura 42 - A - Seleção de faces de encosto. B - Extrusão de faces. C - Seleção de faces de pernas. D - Extrusão de faces de perna.</i>	65
<i>Figura 43 - Configuração do modificador Bevel. A - Offset ajustado em 0.1 (Amount). B - Offset ajustado em 0.01 (Amount)</i>	66
<i>Figura 44 - Molécula de Fosfolipídio</i>	69
<i>Figura 45 - Adicionando o modificador Subdivision Surface</i>	71
<i>Figura 46 - A - Objeto em vista inferior. B - Selecionando faces para compor as caudas do fosfolipídio</i>	72
<i>Figura 47 - Criando faces a partir da ferramenta Inset face. A - Inserindo nova face à esquerda. B- Inserindo nova face à direita</i>	73
<i>Figura 48 - Selecionando as quatro novas faces e arredondando a partir da ferramenta Loop Tool</i>	73
<i>Figura 49 - Modelagem inicial das caudas fosfolipídicas. A - Seleção das faces arredondadas. B - Extrusão das faces arredondadas. C - Dimensionando o diâmetro da cauda extrusada</i>	74
<i>Figura 50 - Modelagem inicial das caudas. A - Alinhamento das faces da cauda em aproximadamente 90°. B - Extrusão final das caudas</i>	75
<i>Figura 51 - A - Seleção de uma das caudas. B - Multiplicando Edge Loop. C - Edge loop extra na extremidade da cauda. D - Repetição na outra cauda. E - Acabamento das caudas.</i>	77
<i>Figura 52 - Mudança de orientação de aresta.</i>	78
<i>Figura 53 - Modificação progressiva dos anéis de segmento da cauda</i>	78
<i>Figura 54 - Smooth Shading. A - Aplicação do Smooth shading. B - Smooth shading aplicado</i>	79
<i>Figura 55 - Subdivision Surface Modifier. A - Aplicando o Modifier. B - Modifier aplicado</i>	80
<i>Figura 56 - Fosfolipídios espelhados</i>	81

<i>Figura 57 - A - Fosfolipídio duplicado. B - Rotação de 180° do objeto. C - Novas características no Lipídio duplicado</i>	82
<i>Figura 58 - Junção dos dois fosfolipídios.</i>	82
<i>Figura 59 - A - Adição de dois pares de Edge Loops ao plano da interface. B - Definição de vértices na sessão instancing das propriedades de objeto</i>	84
<i>Figura 60 - A- Definindo o plano como objeto para pareamento. B- Interface do Blender após aplicação das instâncias</i>	84
<i>Figura 61 - A - Tornando as instâncias objetos reais. B - Aparecimento dos novos objetos na outline</i>	85
<i>Figura 62 - Ajustando a orientação dos fosfolipídios para criar uma bicamada orgânica</i>	86
<i>Figura 63 - A - Definição da posição da proteína. B - Junção de todos os fosfolipídios</i>	87
<i>Figura 64 - Separando as camadas superior e inferior dos fosfolipídios</i>	87
<i>Figura 65 - Redimensionamento dos Objetos para 0.05 m de altura</i>	88
<i>Figura 66 - A- Adicionando um cilindro. B - Dimensionado o cilindro. C - Posicionando o cilindro</i>	89
<i>Figura 67 - Lacuna presente na membrana da bicamada</i>	90
<i>Figura 68 - Edge loop Adicionado ao cilindro</i>	90
<i>Figura 69 - Adicionando uma nova face à extremidade vazia do semicilindro</i>	91
<i>Figura 70 - A - Adição e dimensionamento do objeto de encaixe B - Alteração no eixo de profundidade na peça de ligação</i>	92
<i>Figura 71 - União entre as peças cubo e cilindro inferior</i>	93
<i>Figura 72 - A - Criação de Furo no Cilindro Superior Utilizando o Cubo como Molde. B - Remoção do Cubo e Preservação do Furo nos Cilindros</i>	94
<i>Figura 73 - Junção do cilindro superior com a membrana superior e vice-versa</i>	95
<i>Figura 74 - Separação entre as duas camadas em posição de impressão</i>	95
<i>Figura 75 - Dimensão do objeto. A – Dimensão inicial. B – Ajuste dimensional e efeito sobre a escala.</i>	97
<i>Figura 76 - Correção da escala</i>	97
<i>Figura 77 - Sistema de encaixe entre fosfolipídios</i>	98
<i>Figura 78 - Alterando dimensão do eixo de profundidade</i>	99
<i>Figura 79 - A - Alinhamento da projeção. B - Vista ortogonal do alinhamento. C - União entre os objetos</i>	100
<i>Figura 80 – Tolerância dimensional</i>	100
<i>Figura 81 – Alinhamento e diferença</i>	101
<i>Figura 82 - Criando recessos nas faces do eixo perpendicular</i>	101
<i>Figura 83 - Sistema de encaixe entre proteína e fosfolipídios</i>	102
<i>Figura 84 – Ajustando as dimensões do cilindro</i>	103
<i>Figura 85 – Preparando o cilindro</i>	104
<i>Figura 86 - Preparando o modelo para impressão</i>	105
<i>Figura 87 – Adicionando uma impressora ao Cura</i>	107
<i>Figura 88 – Customizando as configurações de uma impressora</i>	108
<i>Figura 89 – Ajustando as configurações de filamento e bico de impressão no software de fatiamento</i>	109
<i>Figura 90 – Ajustes de impressão</i>	110

<i>Figura 91 - Verificando a escala e realizando ajustes de posição e orientação do fosfolípido no software de fatiamento</i> .....	111
<i>Figura 92 - Verificando a necessidade de suportes e configurando a adesão do objeto à mesa de impressão na impressão 3D</i> .....	113

## LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1 - Prós e contras da impressão 3D por impressoras do tipo FDM e SLA .....</i>	<i>16</i>
<i>Quadro 2 - Preço comparativo médio das principais impressoras 3D do tipo FDM em três principais categorias (básico, intermediário e profissional) disponíveis no mercado em 2023 .....</i>	<i>17</i>
<i>Quadro 3 - Comparação de custos dos principais filamento .....</i>	<i>21</i>
<i>Quadro 4 - Quadro comparativo entre duas categorias de computadores .....</i>	<i>22</i>
<i>Quadro 5 - Dados de impressão dos modelos tridimensionais.....</i>	<i>26</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
1.1 SOFTWARE DE MODELAGEM: BLENDER.....	3
1.2 IMPRESSORA 3D.....	4
1.3 FILAMENTO .....	6
1.4 COMPUTADOR.....	8
<b>2. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>9</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>11</b>
<b>5. RESULTADO.....</b>	<b>12</b>
5.1 EXPLORANDO A IMPRESSÃO 3D .....	12
5.2 SOFTWARE DE MODELAGEM.....	13
5.3 BLENDER .....	13
5.3.1 Navegando pela interface do Blender .....	14
5.3.2 Barra de ferramentas .....	16
5.3.3 Barra lateral.....	21
5.3.4 Navegação na janela de visualização (viewport) .....	22
5.3.5 Outline e barra de propriedades .....	25
5.3.6 Noções básicas de modelagem.....	26
5.3.7 Modificadores .....	31
5.3.8 Complementos (add-ons) .....	33
5.3.9 Viewport Shading .....	34
5.3.10 Smooth shading.....	37
5.3.11 Modelando uma Cadeira .....	39
5.4 MEMBRANA PLASMÁTICA .....	44
5.4.1 Estrutura e função da Membrana Plasmática:.....	44
5.4.2 Modelagem e visualização de estruturas celulares para o ensino de ciências ....	45
5.4.2.1 A molécula fosfolipídica no Blender .....	45
5.4.3 Tornando o fosfolipídio parte de um sistema de bicamada .....	55
5.4.4 Tornando o fosfolipídio peças individualmente encaixáveis.....	68
5.4.4.1 Adicionando proteínas ao sistema .....	73
5.5 IMPRESSÃO DOS MODELOS CRIADOS .....	75
5.5.1 Software de fatiamento .....	76
5.5.2 Importando e Configurando o Fosfolipídio no Cura.....	80
<b>6. DISCUSSÃO.....</b>	<b>82</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>90</b>



## 1. INTRODUÇÃO

No atual cenário educacional, os professores enfrentam desafios cada vez mais complexos para envolver os alunos e proporcionar práticas pedagógicas envolventes e de qualidade. A educação atual enfrenta inúmeros obstáculos, incluindo a falta de envolvimento dos estudantes. As abordagens de ensino muitas vezes lutam para envolvê-los e fornecer-lhes experiências significativas, as quais dependem geralmente de livros didáticos e recursos visuais bidimensionais que podem não cativar o interesse e dificultar a compreensão de alguns conceitos.

Especialmente no campo da biologia celular, o conhecimento específico possui um caráter abstrato, em parte devido à dimensão microscópica da maioria das células dos seres vivos, o que às vezes acarreta uma confusão conceitual. Essa situação é preocupante, pois a discussão desses conteúdos normalmente ocorre no primeiro ano do ensino médio, e a falta de compreensão adequada sobre a biologia celular pode comprometer as bases para o aprendizado de tópicos mais avançados.

Em paralelo a isso, nos últimos anos, a sociedade tem presenciado avanços tecnológicos significativos em diversas áreas. A revolução digital trouxe consigo uma série de inovações que transformaram a maneira como o aprendizado acontece. No entanto, apesar dos contínuos avanços técnicos, existe uma preocupação de que a educação e o aprimoramento de habilidades possam ficar aquém do desenvolvimento de novos recursos tecnológicos ([FORD; MINSHALL, 2019](#)).

Diante disso, é importante reconhecer esses desafios e garantir que a educação possa, se assim desejar, acompanhar o ritmo das inovações de maneira adequada. Desse modo, é necessário oportunizar a discussão de abordagens de ensino alternativas, que busquem explorar novos caminhos de ensino envolventes e que tragam mais significado aos estudantes.

A introdução de práticas pedagógicas que incorporam o uso de ferramentas de impressão 3D tem revelado um potencial promissor no campo da educação escolar ([FORD; MINSHALL, 2019](#)). Essas ferramentas permitem que os alunos transformem conceitos abstratos em objetos tangíveis, promovendo o aprendizado ativo e experiencial. Ao envolver os alunos em atividades práticas, os educadores podem estimular sua curiosidade e facilitar a compreensão de determinados assuntos e conceitos, aplicados em diversas áreas, como geografia, história, matemática e ciências.

Em vista disto, foi inaugurado no dia 30 de junho de 2022 o primeiro laboratório *Maker* em Santa Catarina, como parte de um projeto que prevê a instalação de 500 laboratórios nas escolas estaduais (LIMA, 2022). O laboratório proporcionará um ambiente propício para o desenvolvimento de um ensino alternativo, que visa estimular a criatividade e inovação, através de habilidades práticas como, como programação, robótica e impressão 3D. Apesar disso, a falta de preparo, entre muitos professores, é um desafio significativo nesse cenário. A falta de treinamento e conhecimento técnico dos professores pode limitar sua confiança e habilidade para integrar essa tecnologia em suas práticas de ensino. Sem um preparo efetivo, os professores podem enfrentar dificuldades em acompanhar e auxiliar os alunos adequadamente durante esse processo (SAMPAIO, 2013), o que pode levar a uma frustração e antipatia aos recursos tecnológicos.

Portanto, o protocolo guia atual foi elaborado com o propósito de iniciar uma discussão e reflexão sobre as oportunidades de aplicação da tecnologia de impressão 3D na área da educação. Além disso, busca apresentar caminhos para dar os primeiros passos no processo de modelagem e impressão 3D, com o objetivo de conscientizar sobre o potencial dessa ferramenta e estimular sua exploração em sala de aula. Ao oferecer diretrizes práticas, o protocolo visa proporcionar aos educadores uma base sólida para incorporar a impressão 3D como uma abordagem inovadora no ambiente educacional, promovendo uma experiência enriquecedora para os alunos e preparando-os para os desafios do futuro.

## 1.1 SOFTWARE DE MODELAGEM: BLENDER.

A maioria das impressões 3D são feitas a partir de modelos prontos disponibilizados pela comunidade de forma gratuita. No entanto, quando existe a necessidade de se produzir algum objeto com uma finalidade específica é necessário recorrer a algum software de modelagem 3D que permita a criação de modelos tridimensionais a partir de algum conjunto de ferramentas. Os softwares que permitem esse tipo de composição são variados e vão dos mais simples aos mais sofisticados, podendo ainda ser gratuitos ou pagos. O software que será utilizado para realizar os processos de modelagem deste trabalho será o Blender 3D, um programa de código aberto desenvolvido por vários usuários ao redor do mundo, e por isso, uma plataforma de uso acessível e gratuito.

É importante ressaltar que o Blender atualmente não oferece suporte para o idioma português, limitando-se ao inglês como a única opção de interface e documentação disponível. Portanto, é importante que os usuários tenham um conhecimento básico do idioma inglês para utilizar o Blender de forma eficiente e aproveitar todas as suas funcionalidades.

### **Instalando o Blender**

O Blender está disponível para download nos sistemas operacionais Windows, MacOS e Linux. O Blender tem um conjunto de requisitos mínimos e recomendados; portanto certifique-se de que estes sejam atendidos antes de tentar instalar o Blender. Existem várias maneiras de instalar o Blender. A maneira mais comum é instalar a versão atual e mais estável, possível de ser acessada através deste [link](#). Essa é a página oficial do Blender Foundation.

## 1.2 IMPRESSORA 3D

A tecnologia de impressão 3D ganhou popularidade significativa nos últimos anos, permitindo a criação de objetos tridimensionais através de camadas de materiais com base em um design digital. Esse interesse crescente pela tecnologia pode ser observado pela repercussão cada vez maior que essas impressoras têm recebido em canais de comunicação e sites de vendas ([VEJA, 2020](#)). Apesar disso, a técnica de fabricação por impressão 3D não é uma novidade, pois os primeiros modelos produzidos por essa tecnologia datam do final dos anos 80 ([HULL, 2012](#)). Existem vários tipos de impressoras 3D disponíveis no mercado, cada uma utilizando diferentes métodos e materiais para impressão. Entre esses tipos, os dois principais comumente encontrados são o Modelagem por Deposição Fundida (FDM) e o Estereolitografia (SLA).

As impressoras FDM são o tipo de impressoras 3D mais populares e amplamente utilizadas. Elas funcionam derretendo e extrudando um filamento de material termoplástico camada por camada para criar um objeto 3D. As impressoras FDM são conhecidas por sua acessibilidade, facilidade de uso e versatilidade, tornando-as adequadas para uma ampla gama de aplicações.

As impressoras SLA, por outro lado, utilizam uma abordagem diferente. Elas empregam um processo chamado fotopolimerização, onde uma resina líquida é seletivamente curada usando uma fonte de luz ultravioleta (UV), geralmente um laser ou um projetor. As

impressoras SLA podem produzir impressões altamente detalhadas e suaves com geometrias intrincadas ([HORVATH,2014](#)). Elas geralmente são preferidas para aplicações que exigem alta precisão, como joias, modelos dentários e miniaturas.

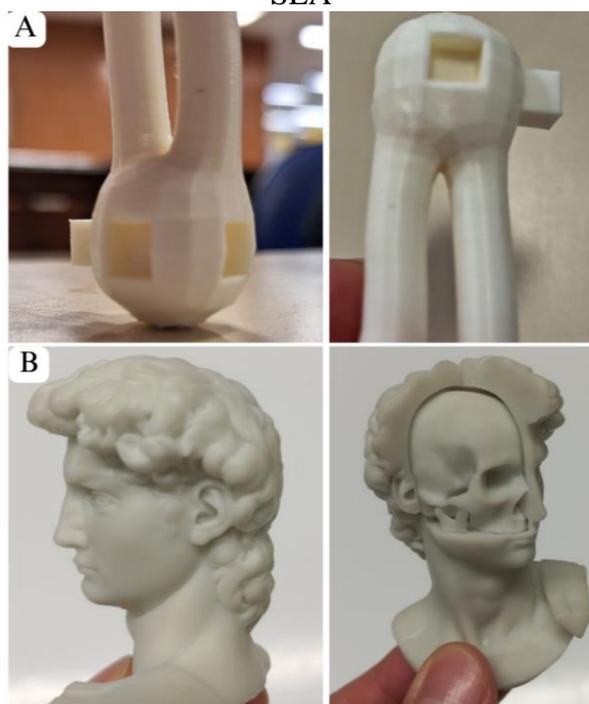
De maneira geral, as impressoras FDM e SLA possuem vantagens exclusivas e são adequadas para diferentes casos de uso. Portanto, podem apresentar vantagens e desvantagens dependendo dos objetivos específicos de impressão. Nesse sentido, as impressoras FDM são mais acessíveis, tornando-as populares entre iniciantes e amadores. Por outro lado, as impressoras SLA, embora mais caras, oferecem qualidade de impressão superior e são preferidas por profissionais e indústrias que exigem impressões de alta resolução (Quadro 1; Figura 1).

Quadro 1 - Prós e contras da impressão 3D por impressoras do tipo FDM e SLA

	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Modelagem por Deposição Fundida (FDM)</b>	Financeiramente acessível	Baixa resolução de impressão e precisão em comparação com o SLA
	Ampla gama de materiais compatíveis	Linhas de camada visíveis no objeto impresso
	Versátil e adequado para várias aplicações	Capacidade limitada de imprimir geometrias complexas
	Fácil de usar e fácil de operar	Pode exigir pós-processamento e lixamento
<b>Estereolitografia (SLA)</b>	Produz impressões suaves e com alta resolução	Equipamentos e materiais caros
	Ideal para designs complexos e detalhados	Tempos de impressão mais longos em comparação com FDM
	Ótimo acabamento	Requer manuseio adequado de resina líquida
	Oferece um detalhamento fino e preciso	Escolha limitada de materiais

Fonte: Baseado no trabalho comparativo de [ÖZDILLI, 2021](#)

Figura 1 - Imagem comparativa da qualidade de impressão entre impressoras do tipo FDM e SLA



Fonte: Elaborado pelo autor

### **ENDER 3 V2**

A impressora 3D que foi utilizada para impressão dos objetos modelados deste trabalho é a impressora *Ender 3 V2*, da marca *Creality*. A *Creality* é uma fabricante chinesa conhecida por ter sido uma das primeiras empresas a produzir impressoras 3D de qualidade e a preços acessíveis, tornando a impressão 3D disponível a um público mais amplo. A *Creality* possui uma ampla gama de impressoras 3D, desde modelos básicos, como a *Ender 3*, até máquinas mais avançadas como a *CR-10 Max*. Essas impressoras são populares entre amadores, e pequenas empresas profissionais devido a sua facilidade de uso e acessibilidade. A *Creality*, como a maioria das empresas, se mostra comprometida com a melhoria contínua de seus produtos, através de lançamentos atualizados que levam em consideração os feedbacks de seus usuários e incorporam essas melhorias nos novos produtos. Por exemplo, os modelos *Ender 3 Pro* e *Ender 3 V2* oferecem melhorias em relação à *Ender 3* original, incluindo recursos atualizados e melhor qualidade de impressão.

Quadro 2 - Preço comparativo médio das principais impressoras 3D do tipo FDM em três principais categorias (básico, intermediário e profissional) disponíveis no mercado em 2023

Categoria	Modelos	faixa de valores (R\$)
Básico	<a href="#">Creality Ender 3</a> , <a href="#">Ender 3 V2</a> , <a href="#">Anet A8</a> , <a href="#">Any Cubic I3 Mega S</a> ,	1.425,00
Intermediário	<a href="#">Sovol SV01</a> , <a href="#">Ender 3 S1</a> , <a href="#">Elegoo Neptune 3 pro</a>	2.250,00
Profissional	<a href="#">Sermoon D3</a> , <a href="#">Creality 3D CR-M4</a> , <a href="#">CORE A3V3 Raise 3D Pro 3</a>	11.675,00

Fonte: Elaborado pelo autor

## ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA ENDER 3 V2

Em relação às características do modelo *Ender 3 V2*, estão:

**Volume de impressão:** A Ender 3 V2 tem um volume de construção de 220 x 220 x 250 mm, o que permite imprimir objetos com até 220 mm de comprimento e largura e 250 mm de altura.

**Compatibilidade de filamentos:** O Ender 3 V2 suporta uma ampla gama de tipos de filamentos, incluindo PLA, ABS, TPU e PETG. Isso a torna uma impressora versátil que pode lidar com uma variedade de projetos de impressão.

**Interface de usuário atualizada:** A Ender 3 V2 apresenta uma interface de usuário atualizada com uma tela colorida de 4,3 polegadas que facilita a navegação pelas configurações e opções da impressora.

**Placa-mãe:** A Ender 3 V2 vem com uma placa-mãe silenciosa que reduz o nível de ruído da impressora, tornando-a uma ótima opção para uso doméstico ou no escritório.

**Função retomar impressão:** A Ender 3 V2 possui uma função retomar impressão que permite continuar imprimindo de onde parou em caso de queda de energia ou outra interrupção.

**Software de código aberto:** A Ender 3 V2 é compatível com software de código aberto como Cura e Prusak Slicer, que oferece maior controle sobre suas impressões e permite

que você personalize as configurações da impressora de acordo com suas necessidades específicas.

### 1.3 FILAMENTO

A impressora 3D utilizada para este trabalho é do tipo Modelagem por Deposição Fundida (FDM), ou seja, utiliza filamentos para criação de objetos tridimensionais através da deposição de camadas a camada fundidas. No mercado, há uma vasta variedade de filamentos disponíveis, e o tipo de material utilizado nas impressoras 3D depende bastante da aplicação e das propriedades desejadas do objeto impresso. Alguns dos materiais comumente utilizados e vendidos na internet são: PLA (ácido polilático), ABS (acrilonitrila butadieno estireno), PETG (Polietileno Tereftalato Glicol) e o TPU (Poliuretano Termoplástico).

O PLA é um dos materiais mais populares para impressoras 3D de filamentos devido a sua facilidade de impressão, baixa tendência de empenamento e características atóxicas. O ácido polilático é derivado de recursos renováveis, como amido de milho ou cana-de-açúcar, e por isso uma alternativa biodegradável. De maneira geral, o PLA oferece um bom acabamento superficial e por isso é comumente utilizado em protótipos, produtos de consumo e fins educacionais. Por esse motivo, optou-se por utilizar este material como alternativa para a fabricação dos objetos 3D.

O ABS é um termoplástico resistente e durável, ideal para peças de encaixe. Por esse motivo, é utilizado pela empresa LEGO para fabricação de seus brinquedos. Apesar disso, é um material que possui um ponto de fusão mais alto que o PLA, o que pode dificultar a impressão de algumas peças, já que tende a deformar com facilidade. Recomenda-se o uso de uma base de impressão aquecida e um invólucro para obter melhores resultados.

O PETG é um filamento popular conhecido por sua resistência, flexibilidade e facilidade de impressão. Diferente do ABS, possui menor propensão ao empenamento e oferece uma boa adesão entre camadas. É frequentemente utilizado para criar peças funcionais, componentes mecânicos e aplicações seguras para alimentos. Atualmente, existem diversas iniciativas e propostas que visam reutilizar o material plástico descartado de garrafas PET para fabricação caseira de filamentos compatíveis com impressoras 3D (WITEK-KROWIAK,

2020). Sendo essa uma alternativa sustentável para reaproveitar as embalagens de PET utilizadas para embalar bebidas e outros produtos de consumo.

O TPU é um material flexível e elástico amplamente utilizado na fabricação de objetos que demandam propriedades similares às da borracha. Ele possui excelente adesão entre camadas e é capaz de suportar dobras e esticamentos repetidos. O TPU é frequentemente empregado na produção de capas de telefone, solados de calçados e dispositivos vestíveis.

Esses são alguns dos principais materiais utilizados na impressão 3D por deposição de filamentos. Cada material possui suas vantagens e desvantagens de acordo com a finalidade que se deseja utilizar. Também existe uma ampla gama de outros materiais compatíveis com a impressão por filamento, e, que podem oferecer características especiais a um produto. Por exemplo, o Polipropileno (PP) é uma alternativa de material bastante interessante para ser utilizado em hospitais e laboratórios de pesquisa devido ao seu conjunto de características vantajosas como: resistência térmica e química, baixa absorção e adsorção, baixa afinidade com a água, durabilidade e resistência a impactos e transparência, permitindo um monitoramento visual de processos e reações( [VENTOLA, 2014](#)).

A oferta de cores de filamentos para impressão 3D é diversificada, permitindo aos usuários escolher entre uma ampla gama de cores. A variedade abrange desde cores primárias fundamentais até tonalidades exclusivas, além de incluir filamentos especiais, como os metálicos e de madeira. Além da cor, os filamentos também podem variar em brilho, indo de opacos a translúcidos ou mesmo transparentes. Vale ressaltar que a cor de um filamento pode afetar a qualidade da impressão, pois certas cores podem exigir ajustes nas configurações de impressão para garantir resultados ideais, como ajuste fino de temperatura, espessura da camada ou densidade de preenchimento ([TANG;SEEGER,2022](#)). Além disso, a cor do filamento também pode influenciar detalhes como adesão da camada e visibilidade de pequenos recursos, portanto, é necessário considerar cuidadosamente esses fatores para obter a qualidade de impressão desejada ([HANON; ZSIDAI, 2021](#)).

## **COMPARAÇÃO DE CUSTOS DOS PRINCIPAIS FILAMENTOS**

Os custos dos principais filamentos de impressão 3D podem variar dependendo do tipo de material escolhido. Em geral, os filamentos mais comuns, como ABS e PLA e , têm um custo médio de cerca de R\$60 a R\$90 e R\$80 a R\$120 por quilograma respectivamente. Para materiais como PETG e TPU, os custos médios variam de R\$90 a R\$120 e R\$150 a R\$200 por quilograma respectivamente. Já o filamento de polipropileno (PP), que possui propriedades

químicas e térmicas únicas, pode ter um custo médio um pouco mais elevado, variando de R\$180 a R\$250 por quilograma (Quadro 3). É importante lembrar que esses valores são estimativas e podem variar dependendo do fornecedor, da qualidade do filamento e de possíveis promoções ou descontos.

Quadro 3 - Comparação de custos dos principais filamento

Material	Custo Médio (por kg)
ABS	R\$60 - R\$90
PLA	R\$80 - R\$120
PETG	R\$90 - R\$120
TPU	R\$150 - R\$200
PP	R\$180 a R\$250

Fonte: [3D-Fila](#), [3D-LAB](#), [Voolt3D](#), [F3D](#).

Por fim, um fator importante de se mencionar, é que os valores apresentados não são os únicos parâmetros de preços a serem considerados quanto ao custo final de impressão. Por exemplo, o ABS é o filamento mais barato, mas ele demanda da máquina uma temperatura maior de impressão em comparação ao PLA, o que reflete diretamente em um custo maior, haja vista o gasto de energia elétrica empregado.

#### 1.4 COMPUTADOR

Um computador é uma ferramenta fundamental para o processo de impressão 3D. Ele desempenha um papel essencial ao ser utilizado para preparar e gerenciar os arquivos necessários para a impressão. Tanto um computador de mesa quanto um notebook podem ser empregados nesse processo, dependendo da preferência e das necessidades individuais.

No entanto, para começar com a impressão 3D não é necessário um computador caro ou sofisticado. Um computador com configurações básicas ou intermediárias (4 a 8 GB de RAM, processador de quatro núcleos (*quad-core*), HDD ou SSD, são suficientes para a maioria

das tarefas relacionadas à impressão 3D. À medida que se avança em projetos mais complexos, pode ser necessário considerar uma configuração mais avançada.

Por exemplo, ao criar objetos individuais específicos é necessário utilizar ferramentas de modelagem mais avançadas. Para atender a essas demandas, é essencial ter um computador adequado para esse tipo de trabalho. Recomenda-se um computador com um processador de alta performance, como Intel Core i5, i7 ou i9, ou um processador AMD *Ryzen* equivalente. Esses processadores são capazes de lidar com a complexidade dos modelos 3D e executar os softwares de modelagem de forma eficiente.

Além disso, é importante ter uma quantidade suficiente de memória RAM. Recomenda-se ter pelo menos 8 GB de RAM para lidar com os projetos de modelagem 3D. Uma placa de vídeo dedicada também é crucial para acelerar o processamento e visualização 3D. Recomenda-se uma placa de vídeo com 4 GB de memória como as da série NVIDIA GeForce GTX ou RTX. Essas placas de vídeo oferecem recursos gráficos essenciais para um fluxo de trabalho eficiente em modelagem 3D. Em termos de armazenamento é recomendado utilizar um SSD (Solid-State Drive). Os SSDs oferecem velocidades de leitura e gravação mais rápidas em comparação com os discos rígidos (HD) tradicionais, o que resulta em um carregamento mais rápido dos projetos e arquivos 3D (Quadro 4).

Quadro 4 - Quadro comparativo entre duas categorias de computadores

Configurações	Computador Básico	Computador Recomendado
Processador	Core2duo ou equivalente da AMD com tecnologia SSE2 Technology ou superior	Intel i5/i7/Xeon ou equivalente da AMD.
Memória RAM	4 GB	8 GB ou mais
Armazenamento	HDD (disco rígido)	SSD + HDD (opcional)
Placa de Vídeo	Integrada	Dedicada com 4 GB de memória ou mais

Fonte: Elaborado pelo autor

## 2. JUSTIFICATIVA

No atual cenário educacional, os educadores enfrentam desafios cada vez mais complexos para envolver os alunos. Especificamente no campo da biologia celular, o conhecimento específico tem caráter abstrato, devido à dimensão microscópica da maioria das células animais e vegetais. Esse cenário merece especial atenção, pois a biologia celular desempenha um papel crucial no currículo escolar ao superar a fragmentação entre diferentes áreas e conteúdo, permitindo uma abordagem abrangente e significativa da diversidade da vida (CICILLINI; VIGÁRIO,2019). Além disso, serve como uma conexão fundamental para compreender os fenômenos orgânicos dos seres vivos e sua interação com o ambiente, ao mesmo tempo em que promove uma compreensão perceptível e experiencial da biologia.

No contexto educacional atual, fica evidente a necessidade de ir além das aulas expositivas e do apoio em livros didáticos, buscando incorporar recursos pedagógicos adicionais que contribuam para o processo de ensino e aprendizagem de forma dinâmica e participativa. Nesse sentido, o uso constante de telas e tecnologias virtuais tem gerado fadiga e exaustão mental entre as pessoas, o que leva a uma busca por experiências mais autênticas e tangíveis. Nesse contexto, surge um interesse crescente por experiências multissensoriais, que possibilitem uma interação sensorial que vá além do mundo virtual. Essa procura está alinhada com a promessa transformadora da impressão 3D no contexto educacional, cuja tecnologia tem o potencial de criar objetos e experiências tangíveis à prática de ensino. No entanto, pesquisas indicam que os professores em serviço e em formação muitas vezes carecem de alfabetização digital e da confiança necessária para ensinar essa tecnologia emergente ([SONG, 2018](#)). Essa situação é atribuída, em grande parte, à falta de suporte e orientação adequados oferecidos a eles.

Neste sentido, este trabalho buscou apresentar um protocolo guia que explora as possibilidades da modelagem e impressão 3D, com ênfase no ensino de biologia celular, através do uso de ferramentas indispensáveis ao tema.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Fornecer um protocolo guia para a criação e impressão tridimensional utilizando o software de modelagem 3D Blender, visando sua aplicação como prática pedagógica no ensino de biologia celular.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Introduzir o "universo" da impressão 3D para educadores e discentes de forma a permitir que possam ter um primeiro contato e se interessar pelo assunto.
- Apresentar os principais recursos do software Blender necessários para criação de projetos para impressão 3D.
- Descrever as etapas necessárias para o desenvolvimento de fosfolípidios em um modelo tridimensional da bicamada lipídica.
- Demonstrar como incorporar proteínas na membrana plasmática modelada.
- Orientar sobre como preparar o modelo para a impressão 3D, considerando os requisitos técnicos e as especificações necessárias.
- Discutir aplicações e possíveis campos de estudo em que a modelagem e a impressão da membrana plasmática possam ser úteis.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho possui caráter qualitativo pois busca alcançar uma compreensão qualitativa da utilização de recursos de modelagem e impressão 3D na educação. Não é a intenção quantificar estatisticamente a relação, mas sim propor um modelo de trabalho inicial que possa ser complementado por pesquisas futuras ([MALHOTRA, 2006](#)). Essa abordagem enfatiza os processos e os significados atribuídos às experiências vivenciadas, buscando compreender como a experiência social é construída e adquire significado ([DENZIN, 2006, p. 23](#)). Ela se aprofunda no mundo dos significados e das relações humanas, explorando aspectos que não são perceptíveis e mensuráveis por meio de equações, médias e estatísticas ([MINAYO, 2002](#)).

### **Criação dos modelos 3D**

Com o intuito de estabelecer uma conexão entre o abstrato e o concreto no ensino de Biologia Celular, foram criados modelos 3D. Esses modelos tridimensionais de fosfolipídios e proteínas foram desenvolvidos utilizando-se o programa de modelagem 3D Blender. Vale destacar que o Blender é uma ferramenta gratuita que oferece uma ampla gama de recursos aos seus usuários.

### **Impressão dos modelos**

Para a impressão 3D dos modelos foi utilizado a impressora *Creality Enter 3 v2*. Essa impressora utiliza o método de fabricação com filamento fundido (FFF) no qual o filamento é derretido e depositado em camadas até formar a estrutura tridimensional desejada.

No processo de impressão, o filamento de ácido polilático (PLA, do inglês *Polylactic Acid*) foi utilizado como material. A seleção desse material foi baseada principalmente em sua facilidade de impressão e por ser uma opção biodegradável que tem menor impacto ambiental, sendo menos agressivo ao meio ambiente. Além disso, é um material seguro de ser utilizado, por ter propriedades atóxicas à saúde.

Para imprimir um modelo 3D, é necessário converter o arquivo gerado (.STL) em um formato que contenha as instruções para a impressora criar o objeto desejado. Esse processo,

conhecido como fatiamento, foi realizado utilizando o software gratuito *Ultimaker Cura*. Os parâmetros de impressão utilizados foram, em sua maioria, os padrões fornecidos pelo software para a impressora *Ender 3 v2*. Alguns parâmetros relevantes incluem a espessura da camada, porcentagem de preenchimento e a necessidade de suporte. No quadro 5, estão apresentados os dados de impressão dos modelos tridimensionais.

Quadro 5 - Dados de impressão dos modelos tridimensionais

<b>Objetos</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Tempo de impressão</b>	<b>Suporte</b>	<b>Preenchimento (%)</b>
Sistema de bicamada	51	49	10 h 36 min	Não	35
Fosfolípido individual	8	60	1 h 17 min	Sim	50
Proteína individual	30	126	3 h 31 min	Sim	50

Fonte: Elaborado pelo autor

### **Execução dos programas**

Todos os softwares e programas foram executados em um Notebook com processador *AMD Ryzen 7* e uma placa de vídeo *GeForce GTX*. Além disso, o computador contava com uma memória RAM de 8GB e uma capacidade de armazenamento em SSD.

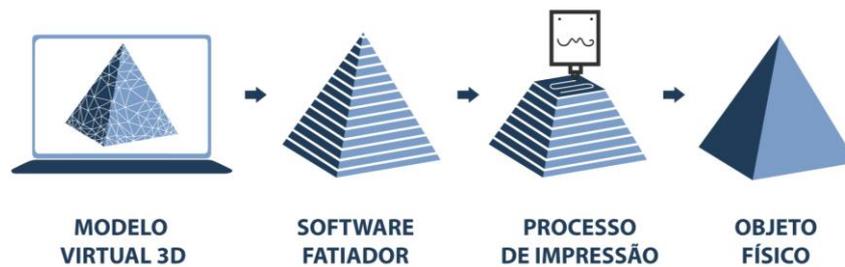
## 5. RESULTADO

Para os iniciantes na impressão 3D, o Blender pode parecer uma plataforma muito desafiadora. Seria lastimável que educadores e alunos não pudessem usufruir das maravilhas e potencialidades educativas da impressão 3D em função do desconhecimento dessa plataforma. Desta forma, um dos objetivos do presente trabalho é justamente o de fornecer noções básicas deste software que permitam que docentes e discentes interessados em desenvolver artefatos pedagógicos possam usufruir dessa tecnologia.

### 5.1 EXPLORANDO A IMPRESSÃO 3D

Os processos relacionados à impressão 3D abrangem diferentes etapas, desde a modelagem em softwares especializados até a impressão final dos objetos em uma impressora 3D. Resumidamente, o processo de criação de modelos tridimensionais envolve a utilização de um software de Desenho Assistido por Computador (CAD), por meio do qual é possível realizar a modelagem precisa do objeto desejado. Nesse processo, são projetados detalhes como a forma, estrutura e dimensões do objeto, garantindo uma representação digital fiel ao objeto físico que se pretende imprimir em 3D. Depois que o modelo é concluído, ele é preparado para impressão 3D por meio de um processo conhecido como fatiamento. O software de fatiamento pega o modelo 3D e o divide em finas camadas horizontais, que são então convertidas em instruções para a impressora 3D. Essas instruções incluem parâmetros como altura da camada, velocidade de impressão e tipo de material. O arquivo fatiado é então transferido para a impressora 3D, onde ocorre o processo de impressão real. A impressora segue as instruções e constrói o objeto camada por camada, depositando o material escolhido e deixando-o solidificar. O tempo de impressão depende da complexidade e tamanho do objeto. Terminada a impressão, o objeto pode exigir pós-processamento, como a remoção de estruturas de suporte ou a aplicação de acabamentos de superfície. Isso pode envolver intervenção manual ou o uso de ferramentas e técnicas adicionais. Finalmente, o objeto está pronto para uso, mostrando a incrível jornada que começa no digital e finaliza no real (Figura 2).

Figura 2 - Processos relacionados à impressão 3D



Fonte: [Mousta](#)

## 5.2 SOFTWARE DE MODELAGEM

Basicamente existem duas maneiras de se obter objetos tridimensionais. A primeira é através de modelos prontos disponibilizados em sites que oferecem esse tipo de conteúdo. A segunda forma é através da criação e modelagem de objetos 3D utilizando softwares que permitem a produção desses recursos.

Existem vários sites na internet que oferecem modelos de objetos 3D. Esses modelos são criados por indivíduos e compartilhados online para uso de outras pessoas. Eles cobrem uma ampla gama de objetos, desde brinquedos simples até peças com finalidade mecânica.

Além disso, em certos casos em que um objeto específico precisa ser produzido para uma finalidade ou projeto específico, o uso de um software de modelagem 3D se torna necessário. No entanto, em determinadas situações em que é necessário produzir um objeto específico para um propósito ou projeto particular, o uso de um software de modelagem 3D torna-se indispensável.

O software de modelagem 3D permite que os usuários criem seus próprios modelos tridimensionais exclusivos a partir do zero ou modifiquem os modelos existentes de acordo com suas necessidades. Essas ferramentas de software fornecem uma ampla gama de recursos e ferramentas para projetar e manipular objetos em um espaço 3D virtual. Existem várias opções de software de modelagem 3D disponíveis, que variam em complexidade e atendem a diferentes níveis de habilidade e requisitos. Alguns são simples e adequados para iniciantes, enquanto outros são mais avançados para profissionais. Além disso, existem opções gratuitas e de código aberto, como o Blender 3D, que é amplamente utilizado na indústria e oferece

recursos poderosos para modelagem, animação e renderização 3D. O software de modelagem utilizado neste trabalho foi o Blender.

### 5.3 BLENDER

O Blender é um software de modelagem 3D de código aberto que oferece ao usuário a capacidade de criar animações de alta qualidade, modelos tridimensionais e visualizações científicas. É amplamente utilizado nas indústrias de vídeo games e entretenimento devido às suas poderosas funcionalidades. Além disso, o Blender é uma ferramenta extremamente útil para a geração de visualizações científicas de alta qualidade.

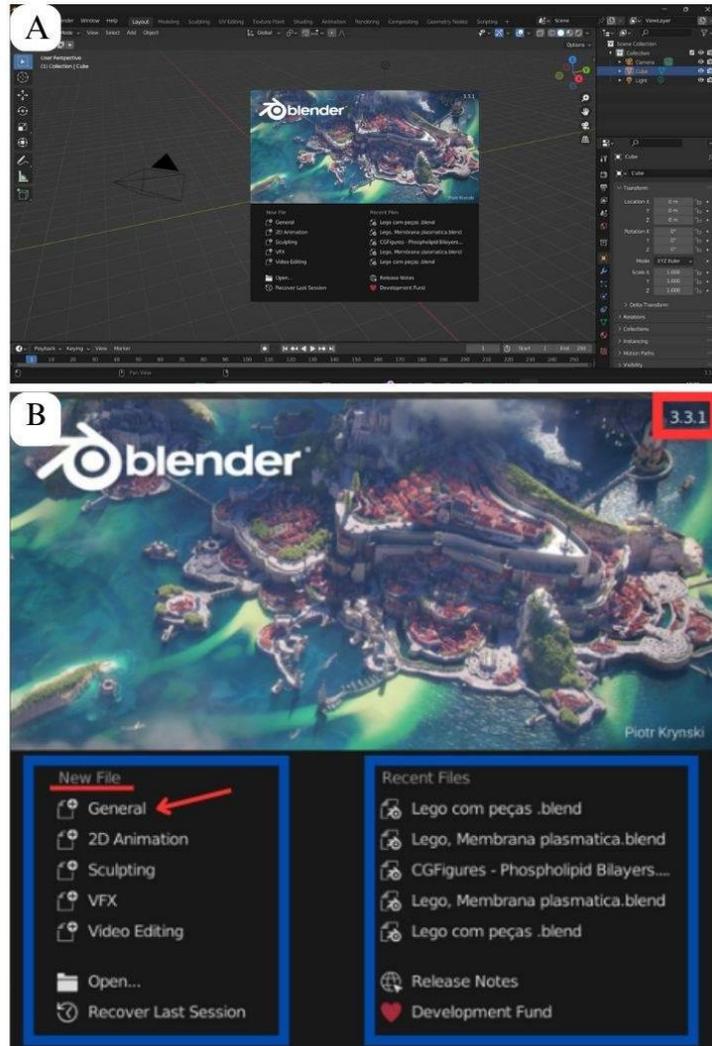
Uma característica destacável do Blender é a sua interface bem organizada, o que permite ao usuário carregar dados e personalizar o software de acordo com suas necessidades. Essa flexibilidade é especialmente valiosa quando se deseja controlar o ângulo da câmera, o campo de visão e outros aspectos do projeto final.

O potencial do Blender fica evidente quando se desenvolve uma autonomia sobre os aspectos da criação, permitindo ao usuário produzir objetos e animações de alta qualidade visual e detalhamento.

#### 5.3.1 Navegando pela interface do Blender

Assim que o programa é iniciado, aparece um quadro de abertura (Figura 3A) com uma figura informando a versão do programa no canto superior direito (Figura 3B, quadrado vermelho), e algumas opções de arquivo em duas colunas *new file* e *recente files* (Figura 3B, quadrado azul).

Figura 3 - Visão inicial da interface do Blender. A - Interface ampliada. B - Figura central informando a versão e opções de arquivos

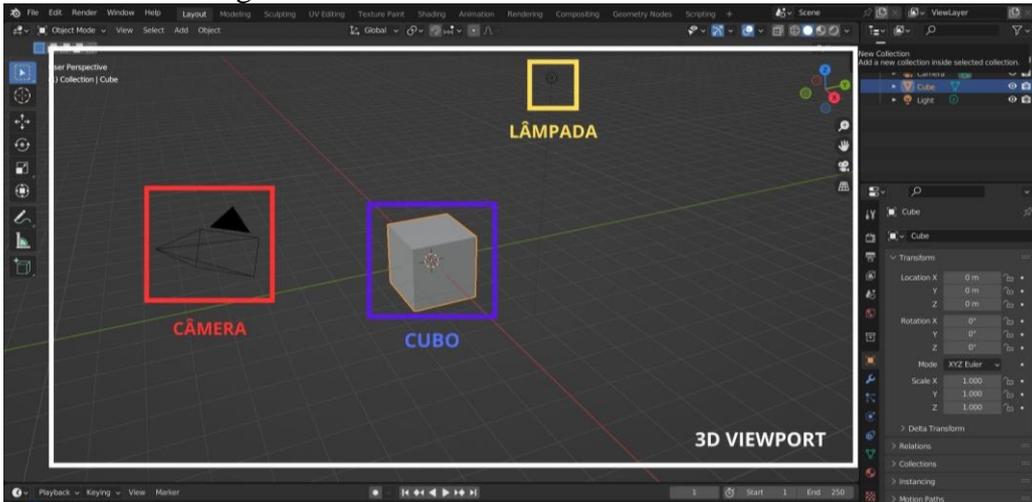


Fonte: Elaborado pelo autor

Clique na opção *general* (Figura 3B, seta vermelha,), localizada na primeira coluna, pois esta é a área de trabalho mais utilizada na modelagem 3D e a partir dela é possível ver a interface do Blender (Figura 3).

A interface padrão do programa é uma área denominada de *3D viewport* (Figura 4, quadrado branco). Trata-se de uma espécie de plano cartesiano com três eixos que delimitam o espaço tridimensional. A *3D viewport* é o local onde todos os modelos 3D são visíveis. Ela é composta inicialmente por um cubo (Figura 4, quadrado azul), uma câmera (Figura 4, quadrado vermelho) e uma lâmpada (Figura 4, quadrado amarelo).

Figura 4 - Detalhamento da interface do Blender

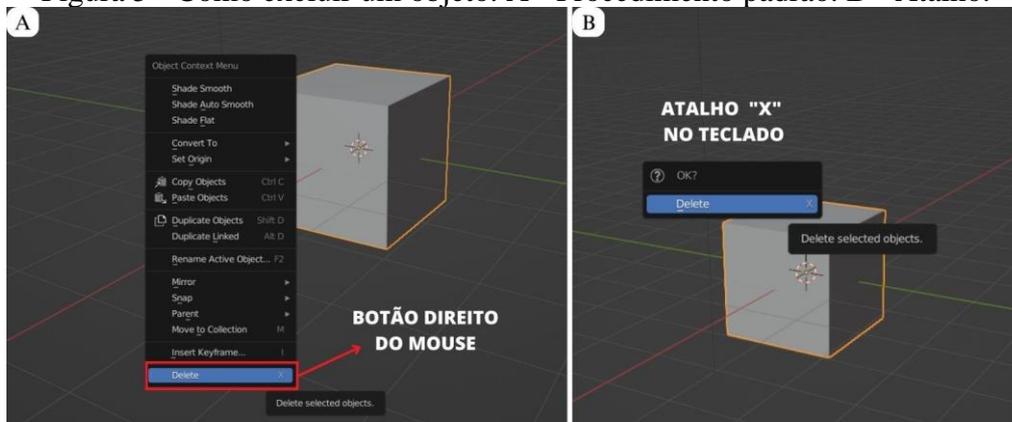


Fonte: Elaborado pelo autor

Para modelagem com o intuito de impressão 3D, a câmera e a lâmpada não têm grande importância, pois são ferramentas mais comumente utilizadas por desenvolvedores de jogos ou animações em vídeo.

O componente principal de qualquer projeto para impressão 3D é o objeto desenvolvido na 3D *viewport*. Nesse sentido, o “cubo padrão”, que sempre aparece quando um novo projeto é iniciado, é apenas uma sugestão de ponto de partida para começar a modelar, pois normalmente todo esboço de um modelo 3D inicia a partir de formas geométricas básicas, como esfera, cone, pirâmide, paralelepípedo ou mesmo um cubo. No caso de não haver necessidade em utilizar o cubo padrão é possível excluí-lo clicando com o botão direito do mouse em cima do objeto e depois em *delete* (Figura 5A), ou através do atalho desta ação clicando no objeto com o botão esquerdo e depois selecionando a tecla “X” do teclado (Figura 5B).

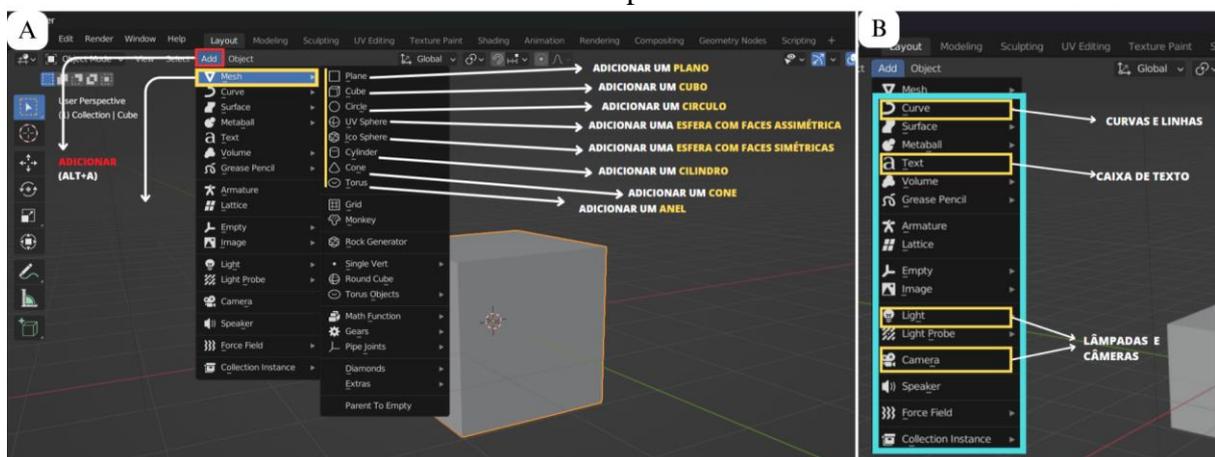
Figura 5 - Como excluir um objeto. A - Procedimento padrão. B - Atalho.



Fonte: Elaborado pelo autor

Normalmente os objetos físicos da *viewport* são chamados de malha (do inglês *mesh*). Novas malhas/objetos, podem ser adicionados na interface através do cabeçalho clicando em *add* (Figura 6A, quadrado vermelho) > *mesh* (Figura 6A, retângulo amarelo) e depois clicando na opção desejada. O atalho para adicionar novas malhas pode ser realizado clicando simultaneamente as teclas “Alt + A”. Além das malhas, também é possível adicionar outros elementos que podem vir a ser úteis dependendo do projeto que está sendo desenvolvido, como linhas e curvas, uma caixa de texto para adicionar palavras e frases, e ainda uma maior quantidade de lâmpadas e câmeras (Figura 6B).

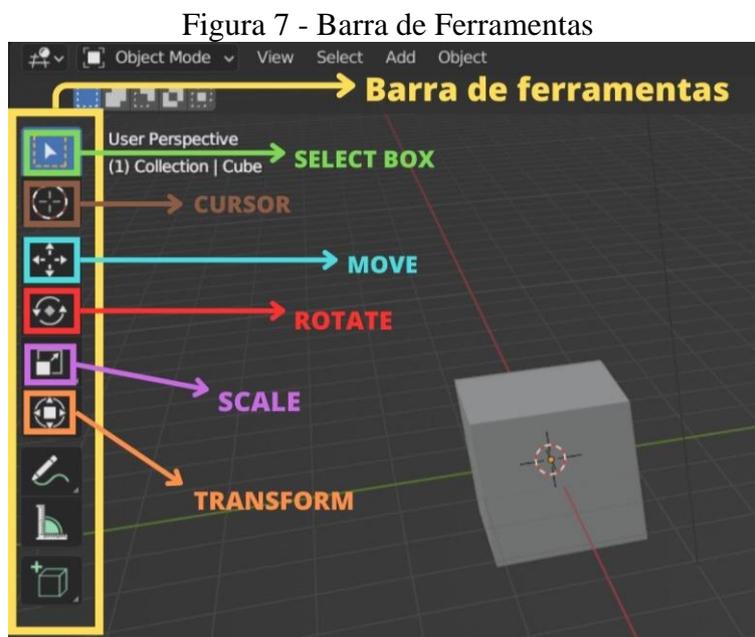
Figura 6 - Adicionando novos elementos. A - Adicionando novas malhas. B - Adicionando outros componentes



Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.3.2 Barra de ferramentas

A maioria dos projetos de modelagem no Blender inicia através do uso da barra de ferramentas localizada à esquerda da janela principal (Figura 7). Nesta sessão é possível encontrar recursos para selecionar, movimentar e rotacionar objetos, além de outras funções que serão abordadas na sequência. Os menus e ícones são intuitivos e bem organizados, facilitando a navegação e o uso eficiente do Blender. Além disso, muitas ferramentas têm atalhos de teclado associados, o que permite uma interação ágil e fluida com o software.



Fonte: Elaborado pelo autor

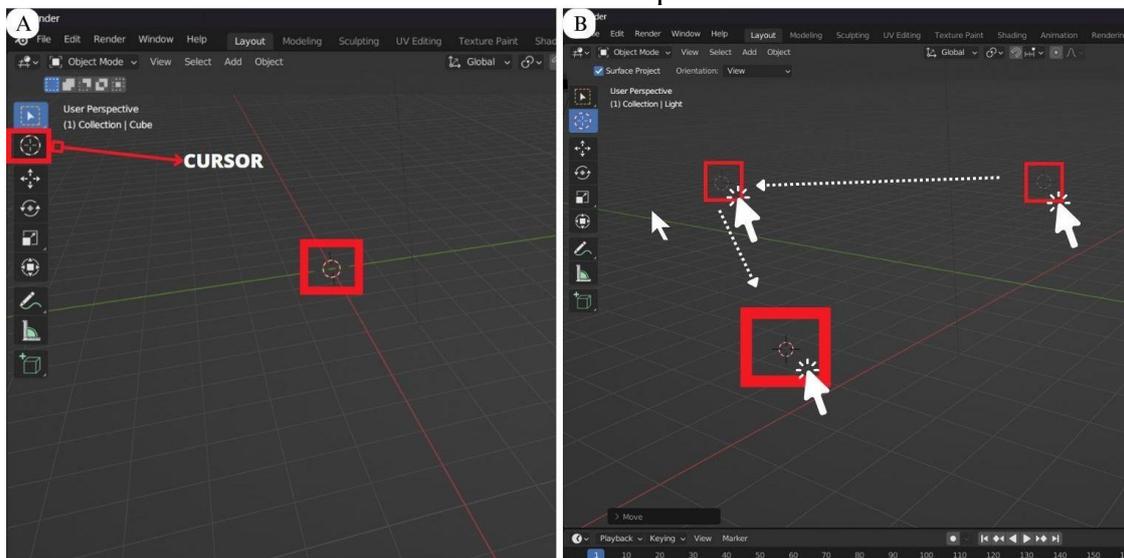
#### ***Select box***

A primeira ferramenta é denominada de *select box* (Figura 7, quadrado verde), ou caixa de seleção, com ela é possível selecionar os objetos da *viewport* utilizando o botão esquerdo do mouse. Esta ferramenta também permite clicar em vários objetos ao mesmo tempo ao criar uma caixa de seleção pressionando e arrastando o mouse ao longo dos itens que deseja escolher, assim como acontece na área de trabalho do computador. Por padrão, a *select box* está sempre pré-selecionada. Caso o objetivo não seja utilizar algum dos outros itens de barra de ferramenta, é importante que esteja selecionado.

## ***Cursor***

Logo abaixo é possível encontrar a ferramenta de cursor (Figura 8). O cursor 3D é um pequeno ícone de mira que representa um ponto no espaço 3D. Tal ponto pode ser usado para diversas finalidades, como definir a localização de novos objetos. Em um novo projeto, ele estará localizado na origem do plano cartesiano, mas é possível acessar a ferramenta de cursor pressionando o botão esquerdo do mouse enquanto mantém pressionada a tecla “Shift”. Se um novo objeto for adicionado, como um cubo ou esfera, ele aparecerá onde está o cursor 3D.

Figura 8 - Ferramenta Cursor. A - Posição padrão do cursor. B - Movimentando o cursor ao redor da 3D Viewport



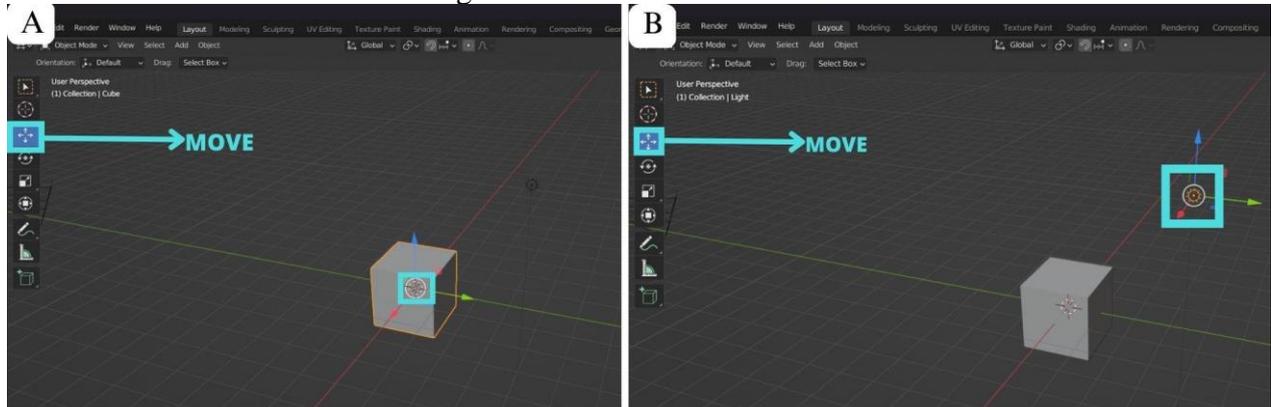
Fonte: Elaborado pelo autor

## ***Move***

A próxima ferramenta é denominada *move* (Figura 9), é uma ferramenta que permite mover os objetos nos 3 eixos do plano cartesiano. Nesse modo, ao selecionar o objeto, algumas setas coloridas aparecem para orientar o movimento ao longo de algum eixo específico. A seta vermelha é o eixo X, verde é o eixo Y e azul é o eixo Z (Figura 9A). Também é possível movimentar em mais de um eixo ao clicar no círculo central branco que aparece no objeto selecionado. O atalho para esta ferramenta é a tecla “G” no teclado do computador. Desse modo, com o objeto e a tecla “G” selecionadas é possível alterar sua posição no espaço utilizando o cursor do mouse. Se quiser alterar a posição em torno de um eixo específico utilizando o atalho, pressione primeiro "G" e depois "X", "Y" ou "Z", cada letra corresponde ao eixo que deseja movimentar. Observe que qualquer item em nossa *viewport* pode ser movimentada utilizando esse recurso, incluindo a câmera e a lâmpada presente na interface.

Assim como acontece com o cubo, setas coloridas aparecem quando a lâmpada é selecionada e podem auxiliar o movimento deste item na *viewport* (Figura 9B).

Figura 9 - Ferramenta Move

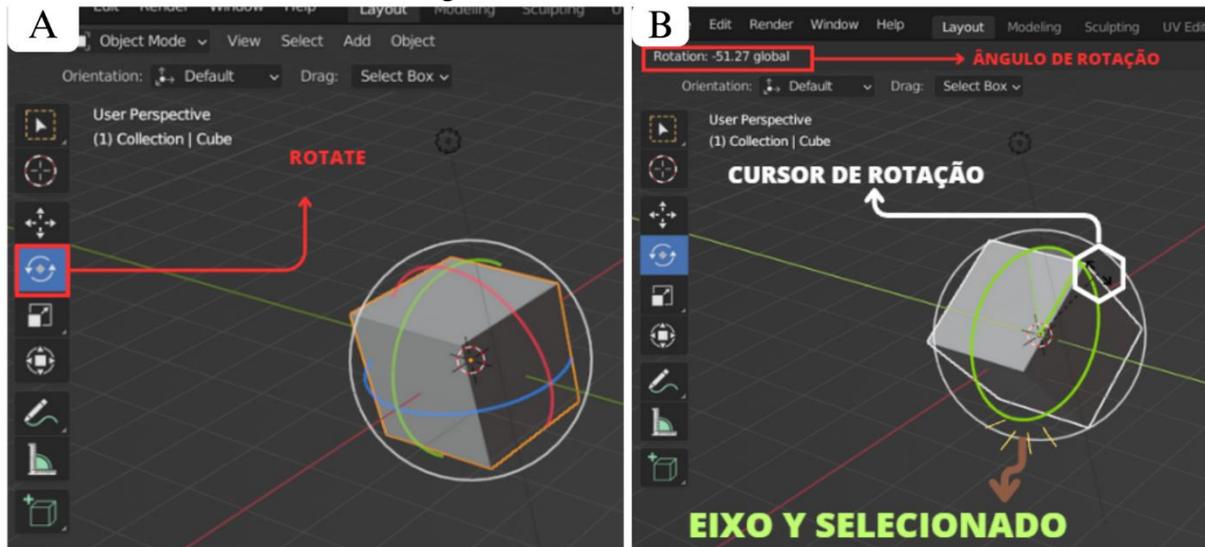


Fonte: Elaborado pelo autor

### ***Rotate***

A próxima ferramenta é a *rotate* (Figura 10), ferramenta de rotação do objeto. É possível rotacionar o item ao longo de seus três eixos e no intervalo de 360° de amplitude. Clicando nesta opção e selecionando o objeto, alguns círculos coloridos aparecem no item para orientar este movimento ao longo de algum eixo específico, o círculo vermelho é o eixo X, verde é o eixo Y e azul é o eixo Z (Figura 10A). Também é possível movimentar em mais de um eixo pressionando no ponto laranja que aparece no centro do objeto selecionado. O atalho para esta ferramenta é a tecla “R” no teclado do computador. Com o objeto e a tecla “R” selecionados é possível alterar sua orientação no espaço utilizando o cursor do mouse. Se quiser alterar a rotação em torno de um eixo específico utilizando o atalho, pressione primeiro "R" e depois "X", "Y" ou "Z", cada letra corresponde ao eixo que deseja movimentar. Qualquer item na *viewport* pode ser rotacionado utilizando este recurso, incluindo a câmera e a lâmpada presente na interface. Observe que ao selecionar um eixo e o movimentar com o mouse, a amplitude do ângulo de rotação é informada na barra superior da tela (Figura 10B, retângulo vermelho).

Figura 10 - Ferramenta Rotate

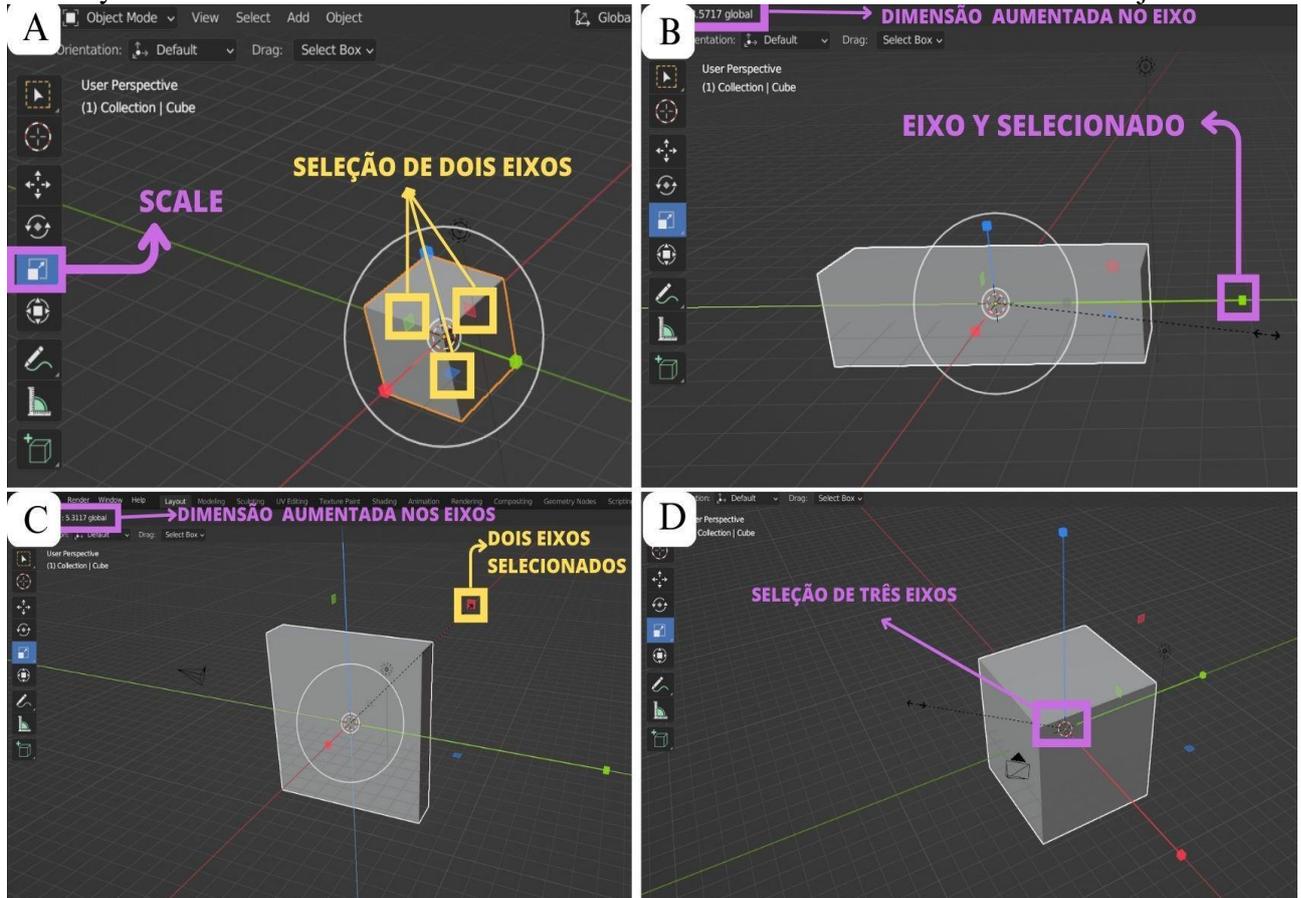


Fonte: Elaborado pelo autor

### *Scale*

Logo abaixo do item *Rotate*, encontra-se a ferramenta *Scale* (Figura 11), que apesar do nome não serve apenas para alterar a escala do objeto, mas sim realizar diferentes modificações em sua forma. No Blender, a ferramenta *scale* é uma ferramenta de transformação, ou seja, permite redimensionar e modificar a forma de objetos, malhas e de outros componentes da 3D viewport. Ao ativar esta função, aparecem três setas coloridas que correspondem aos eixos X, Y e Z (Figura 11A), pois a ferramenta funciona dimensionando o item ao longo de um, ou mais de seus eixos. Além disso, também aparecem três pequenos cubos coloridos ao redor do objeto, estes cubos indicam pontos para alterar a dimensão de dois eixos combinados (Figura 11B-C). Por fim, também é possível alterar propriamente a escala do objeto como um todo sem causar-lhe deformações. Para isso, basta pressionar o círculo branco que aparece no centro do objeto e arrastá-lo com o cursor do mouse (Figura 11D). O atalho para esta ferramenta é a tecla "S": no teclado do computador com o objeto e a tecla "S" selecionados é possível utilizar o cursor do mouse para alterar sua escala. Se quiser alterar a forma do objeto ao longo de um eixo específico também há um atalho para isso, pressione primeiro "S" e depois "X", "Y" ou "Z", cada letra corresponde ao eixo que deseja dimensionar.

Figura 11 - Ferramenta scale. A - Eixos de deformação. B - Deformando a face voltada ao eixo y. C - Alterando a forma de dois eixos combinados. D - Alterando a escala do objeto

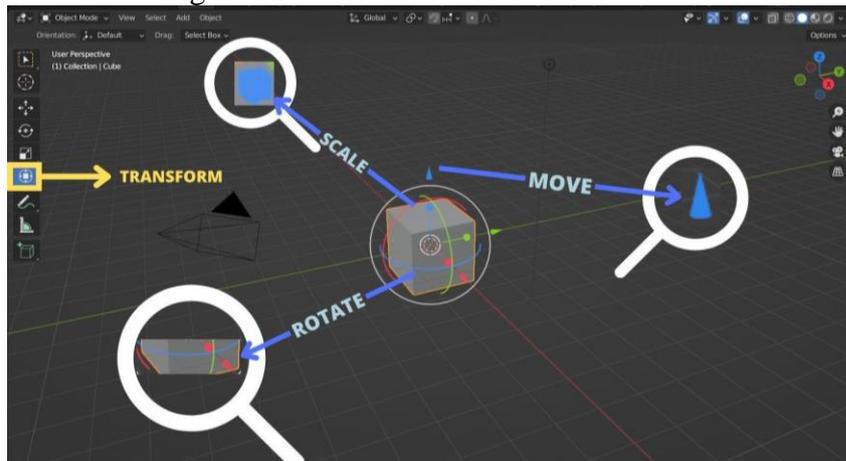


Fonte: Elaborado pelo autor

### ***Transform***

Por fim, a última ferramenta é a *Transform*, ou seja, transformação (Figura 12). Esta é uma ferramenta que combina as três últimas funções especificadas, de modo que quando esta ferramenta estiver sendo usada é possível alterar sua dimensão ao mesmo tempo que movimenta o objeto ou muda sua rotação. A ferramenta de transformação é muito útil quando é necessário realizar modificações pontuais e de forma rápida.

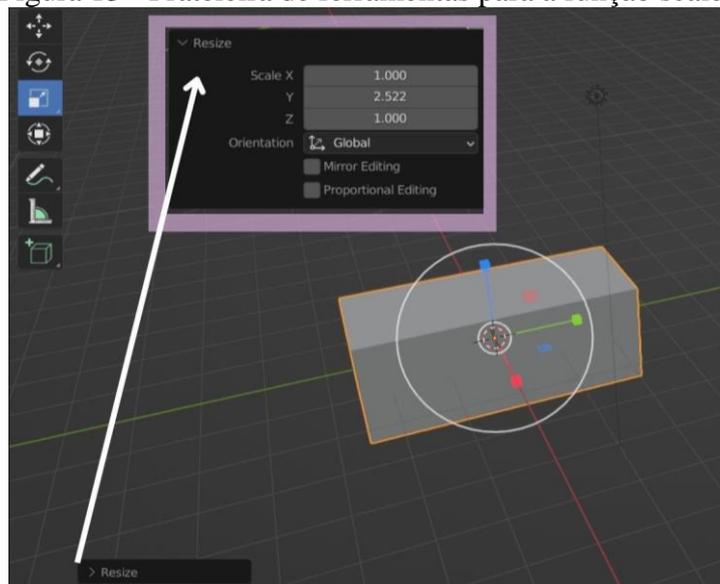
Figura 12 - Ferramenta Transform



Fonte: Elaborado pelo autor

Um detalhe importante de se perceber é que, toda vez que uma ferramenta de modificação estiver sendo utilizada, aparecerá uma guia de configuração, no canto inferior esquerdo chamada de "Prateleira de ferramentas" ou "Editor de propriedades". A prateleira de ferramentas contém várias configurações e opções relacionadas a ferramenta que está sendo utilizada. O nome exato e o layout dessas guias podem variar dependendo da versão do Blender e da ferramenta ou operação específica que está sendo executada. Por exemplo, quando a ferramenta *scale* estiver sendo utilizada, a prateleira de ferramentas aparecerá com o nome *resize* na forma de uma barra discreta no canto inferior esquerdo. Ao clicar na barra ela amplia e é possível realizar modificações relacionadas a ferramenta utilizada (Figura 13).

Figura 13 - Prateleira de ferramentas para a função scale



Fonte: Elaborado pelo autor

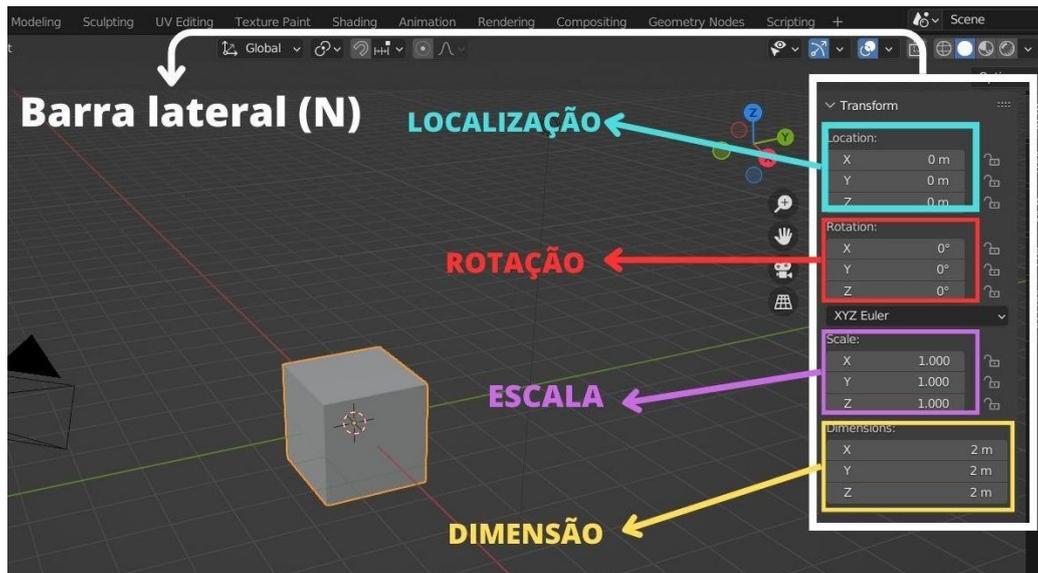
Quando algumas dessas ferramentas explanadas não estiverem sendo utilizadas, é importante deixar a opção *select box* sempre marcada na barra de ferramentas, pois ela ajuda a evitar a seleção e modificação acidental de objetos na *3D viewport*. Se esta opção estiver desmarcada, o Blender permitirá que você realize alterações de localização, rotação ou escala do objeto, o que pode ser confuso e frustrante ao tentar selecionar partes específicas de seu modelo. Além disso, deixar a opção *select box* marcada pode ajudar a melhorar o desempenho do Blender, reduzindo a quantidade de dados que precisam ser processados. Isso pode ser especialmente importante ao trabalhar com modelos complexos ou cenas que contêm muitos componentes.

### 5.3.3 Barra lateral

Informações em relação ao local no espaço, rotação e a escala do objeto podem ser consultadas através da barra lateral da *3D viewport* (Figura 14). Por padrão a barra lateral fica oculta, mas aparece quando a tecla “N” do teclado é pressionada. Em todo novo projeto, o cubo padrão terá a localização fixada na origem, rotação em 0° e a escala de 1,00 unidades. Qualquer alteração na escala, rotação ou posição do objeto, utilizando a barra de ferramentas, aparecerão neste painel lateral. A barra lateral também pode ser utilizada justamente para alterar essas informações caso necessário. Ou seja, mudar a escala, rotação ou posição diretamente através das caixinhas que aparecem na barra lateral, sem utilizar a barra de ferramentas para isso. Por exemplo, se o objetivo é mover o cubo 10 metros ao longo do eixo Z, então é necessário clicar na caixa denominada *location* (Figura 14, caixa azul) e digitar 10 na linha Z, pois a unidade já está em metros.

Além da localização, rotação e escala, a barra lateral informa a dimensão (Figura 14, quadrado amarelo) do objeto em relação ao mundo real. O cubo padrão, por exemplo, aparecerá com 2 metros de aresta, isso significa que se esse cubo fosse impresso em uma impressora 3D, teria um tamanho aproximado de 10 vezes a capacidade de uma impressora 3D padrão (220X220X270mm). Portanto, essas informações são importantes para definir as dimensões reais dos objetos que se deseja imprimir.

Figura 14 - Barra lateral ativada através da tecla “N”



Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.3.4 Navegação na janela de visualização (*viewport*)

Por se tratar de um programa 3D é necessário muitas vezes conseguir visualizar as diferentes faces de um objeto ao longo de seus 3 eixos. Os eixos de visualização no Blender se referem ao sistema de coordenadas tridimensionais usado para posicionar e orientar objetos dentro de uma cena. Os três eixos são o eixo X, eixo Y e eixo Z, cada um dos quais representa uma direção perpendicular no espaço 3D. O eixo X é representado pela cor vermelha, o eixo Y, por verde e o eixo Z por azul. Por padrão, os eixos são exibidos como três linhas que se cruzam na origem da cena, que é o ponto (0,0,0) no espaço 3D onde todos os três eixos se encontram.

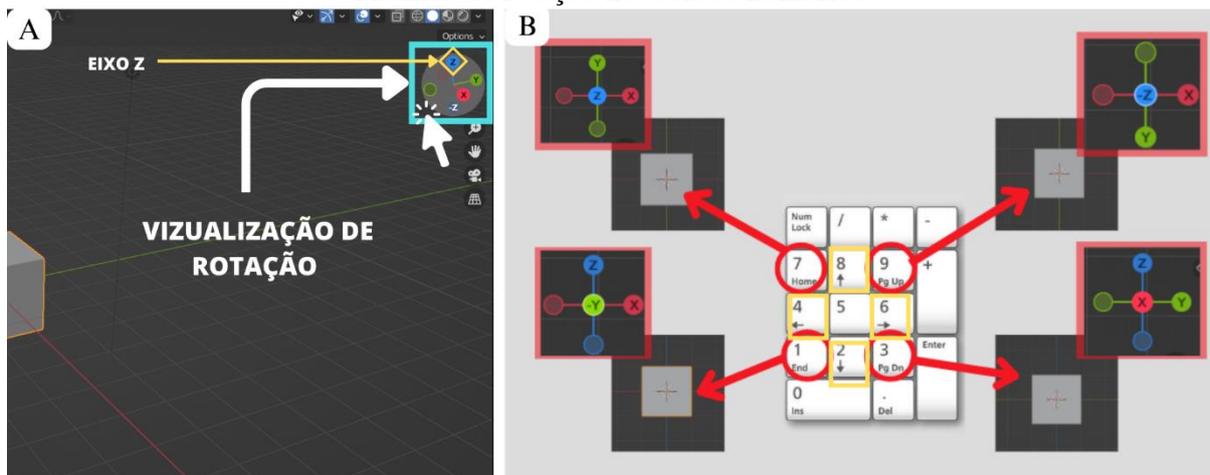
Os eixos de visualização são usados no Blender para ajudar os usuários a orientar os objetos em uma cena e manipulá-los usando a ferramenta de transformação. Por exemplo, ao mover um objeto, os eixos podem ser usados para especificar a direção na qual o objeto deve ser movido. Da mesma forma, ao girar um objeto, os eixos podem ser usados para especificar o eixo de rotação.

Além de ajudar a posicionar e manipular objetos, os eixos de visualização também podem ser usados para ajudar os usuários a entender as relações espaciais entre vários objetos

na *viewport* . Ao visualizar os eixos, os usuários podem identificar rapidamente para qual direção um objeto está voltado e como ele está posicionado em relação a outros objetos na interface.

Desse modo, é possível alterar a visualização dos objetos na 3D *viewport* utilizando a janela de rotação dos três eixos, localizado no canto superior direito da interface (Figura 15A). Para isso, basta clicar e segurar com o botão esquerdo do mouse movimentando no sentido que desejar. Caso deseje definir um eixo de visualização específica, como por exemplo o eixo Z, clique uma vez nesta opção com o botão esquerdo do mouse. Como alternativa, também existem alguns atalhos que podem ser utilizados no teclado numérico. As teclas “2”, “4”, “6” e “8” do teclado numérico são usadas para girar a exibição para cima, esquerda, direita e baixo, respectivamente. As teclas “1”, “3” e “7” podem ser usadas para alternar entre as visualizações frontal, lateral e superior respectivamente (Figura 15B). A tecla de número “9” proporciona uma visualização sempre oposta a atual, ou seja, se o objeto estiver em vista anterior (Y), é possível mudar para vista posterior clicando em “9” (-Y). Do mesmo modo, se estiver em vista superior (Z), a tecla nove proporcionará uma visão inferior do objeto (-Z). A tecla “Ctrl” também pode ser usada em combinação com essas teclas para girar a visualização em incrementos menores.

Figura 15 - Navegação na janela de visualização. A- Janela de visualização de rotação. B- Atalhos de rotação no teclado numérico

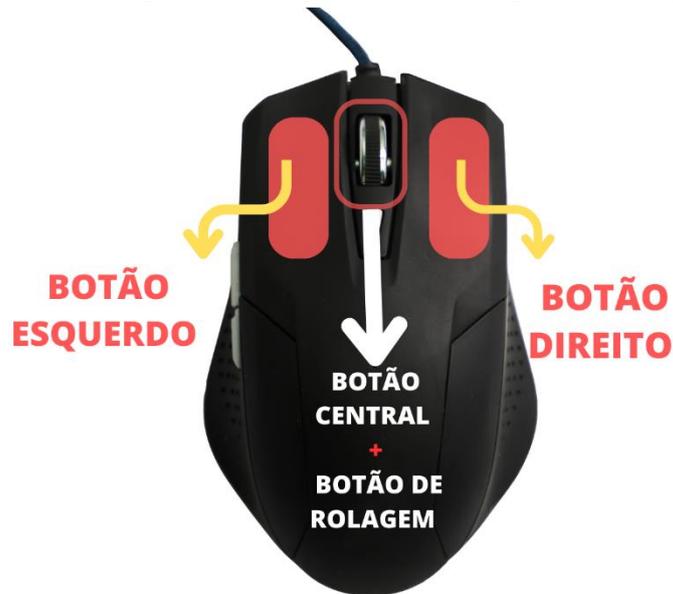


Fonte: Elaborado pelo autor

Além da janela de visualização 3D e o teclado numérico, também é possível alterar a visualização da interface 3D utilizando o mouse para girar em torno de um objeto. Para isso, a

utilização de um cursor com três botões é um elemento essencial na modelagem 3D (Figura 16).

Figura 16 - Exemplo de mouse a ser utilizado para modelagem 3D



Fonte: Canva

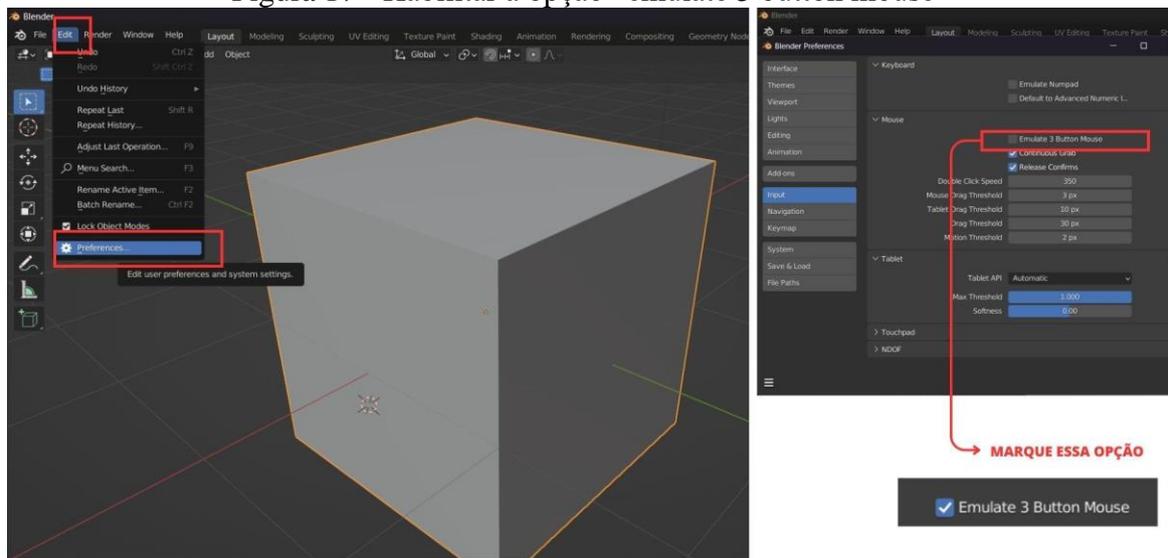
Ao pressionar o botão do meio do mouse e mover o cursor você notará que a janela de visualização está girando em torno do modelo, possibilitando uma visão sob diferentes ângulos do objeto na 3D *viewport*. Além disso, é possível ampliar um dado objeto, ou seja, dar um *zoom*. Para fazer isso, você pode utilizar o botão de rolagem do mouse para aumentar ou diminuir o *zoom*.

Para selecionar um objeto, clique com o botão esquerdo do mouse, para cancelar a seleção, clique com o botão esquerdo fora do objeto. Para selecionar vários objetos crie um caixa de seleção conforme discutido no tópico *select box*, ou segure "SHIFT" e selecione os objetos sequencialmente. Observe que quando você selecionar algo, ele ficará destacado em laranja.

Caso você não tenha um mouse de 3 botões ou esteja utilizando um notebook, é possível emular este botão utilizando o teclado através de uma alteração nas configurações do Blender. Para isso vá em "Edit > Preferences > Input" e habilite a opção "emulate 3 button mouse". Feche a janela de preferências após isso (Figura 17).

Agora, é possível girar mantendo pressionada a tecla “Alt” e o botão esquerdo do mouse. O zoom pode ser feito segurando “Ctrl+Alt” e o botão esquerdo do mouse e movendo o cursor.

Figura 17 - Habilitar a opção “emulate 3 button mouse”



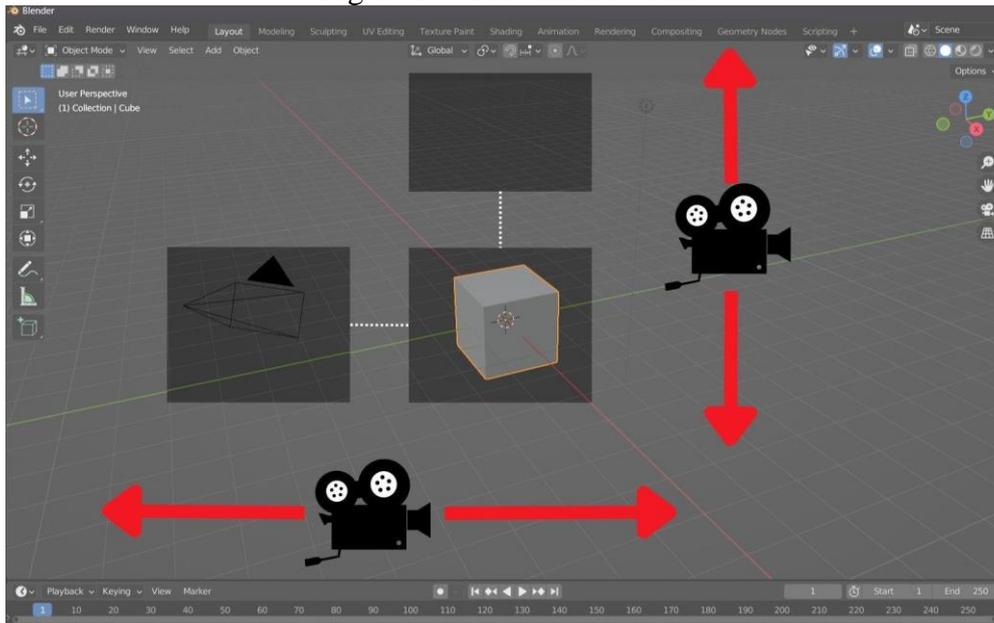
Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, um movimento bastante importante e utilizado na maioria dos programas 3D, é o movimento denominado “pan”, de panorâmico. A movimentação panorâmica em um programa 3D se refere ao movimento de visualização nas direções horizontal e vertical, sem alterar a orientação do ponto de vista. É uma forma de navegar pela cena e explorá-la de diferentes ângulos sem alterar a posição ou orientação da câmera (Figura 18). Ou seja, é um movimento de **deslocamento do ambiente da tela em um mesmo eixo.**

Para executar um movimento panorâmico no Blender, clique com o botão do meio do mouse junto com a tecla “shift” e mova o cursor na direção que deseja deslocar o ambiente.

A visão panorâmica é particularmente útil quando é necessário focar em uma área específica da cena sem alterar a orientação ou posição da câmera. Por exemplo, se estiver trabalhando em uma área detalhada de um modelo 3D e precisar aumentar o zoom, você pode deslocar a visualização para focar nessa área sem alterar a orientação da câmera.

Figura 18 - Movimento “Pan”



Fonte: Elaborado pelo autor

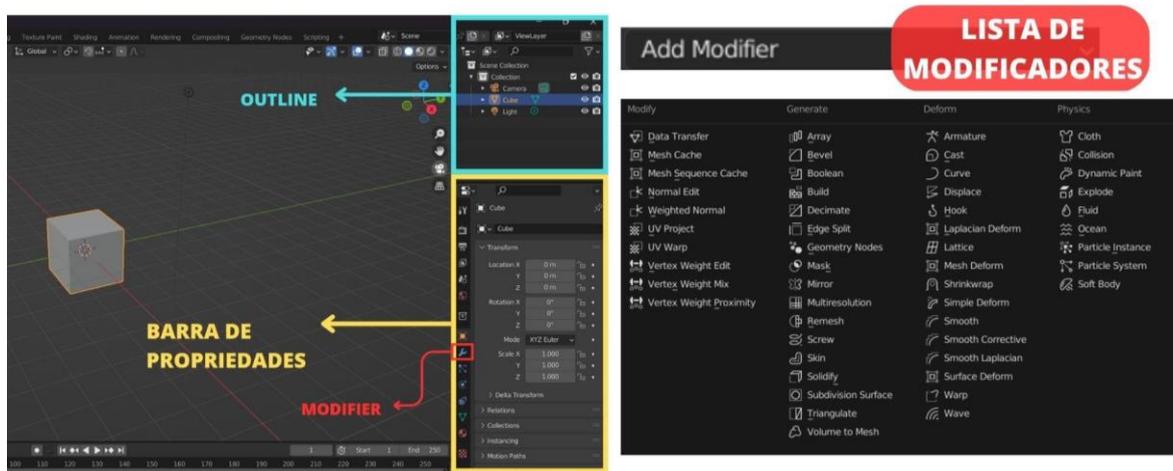
### 5.3.5 Outline e barra de propriedades

A **outline** é uma janela da interface localizada no canto superior direito, nela é possível consultar todos os objetos presentes na 3D *viewport*. Na medida em que se for criando novos objetos, é na *outline* que será possível criar e organizar os itens. Desse modo a *outline* é uma espécie de central de arquivos do Blender (Figura 19, quadrado azul).

Logo abaixo à **outline**, é possível encontrar a **barra de propriedades** (Figura 19, quadrado amarelo). É nessa janela que muitas vezes a “mágica” acontece, pois essa área reúne uma série de configurações que permitem realizar diferentes alterações no objeto modelado. Uma das principais propriedades desta barra lateral é a propriedade *Modifier*, identificada como uma chave de boca em azul (Figura 19, quadrado vermelho). Ao clicar em *Modifier > add modifier*, uma lista de modificadores é apresentada em quatro colunas diferentes. Mais adiante será discutida a funcionalidade de alguns desses modificadores. Importante ressaltar que algumas das propriedades disponíveis são transitórias dependendo do que esteja selecionado na *viewport*. Por exemplo, se o cubo estiver selecionado (Figura 20A), é apresentado um conjunto de propriedades diferentes de quando uma câmera (Figura 20B), um texto (Figura

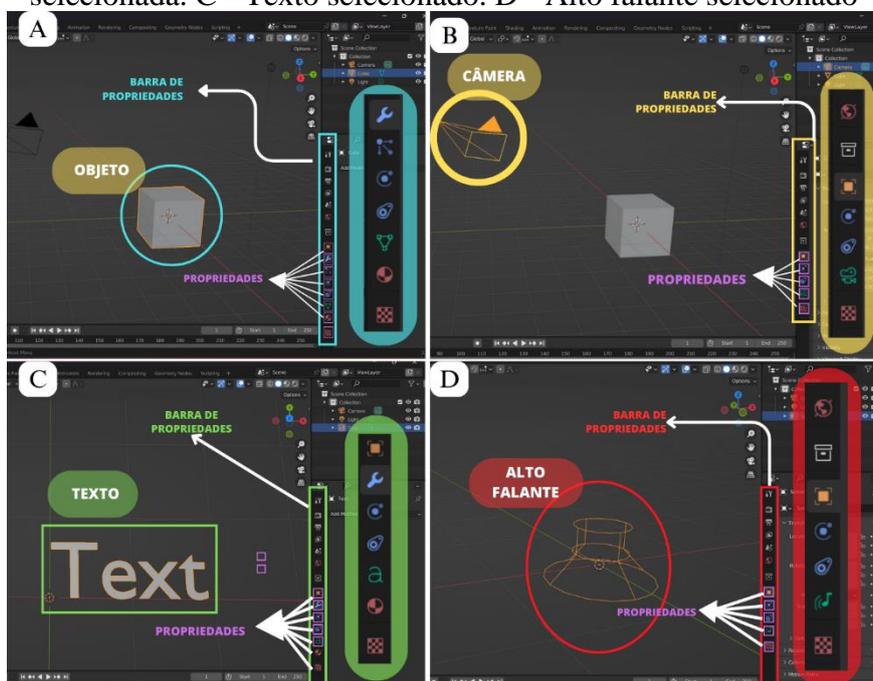
20C) ou um alto falante (Figura 20D) estão selecionadas. Isso acontece, pois, as propriedades são relativas ao objeto que está sendo modelado e modificado.

Figura 19 - Outline, Barra de propriedade e lista de modificadores



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20 - Barra de propriedades em diferentes casos. A - Objeto selecionado. B - Câmera selecionada. C - Texto selecionado. D - Alto falante selecionado



Fonte: Elaborado pelo autor

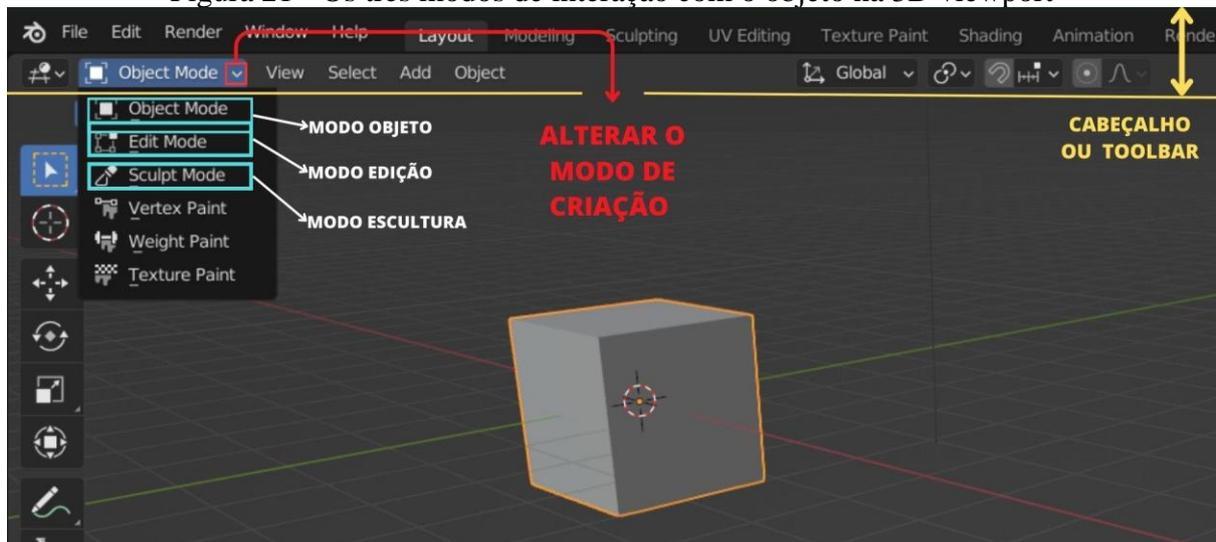
### 5.3.6 Noções básicas de modelagem

#### Toolbar e modo criação

A janela de visualização 3D possui três modos principais que permitem a criação, edição e manipulação dos modelos presentes na 3D *viewport* (Figura 21). São eles o modo objeto (*object mode*), modo edição (*edit mode*) e modo escultura (*sculpt mode*). Cada um dos três modos possui uma diversidade de ferramentas que permitem editar diferentes aspectos do objeto.

É possível alterar o modo de criação através da aba presente no cabeçalho da 3D *viewport*, conhecida como *Toolbar* (Figura 21, quadrado vermelho e linha amarela respectivamente). É importante ressaltar que tanto a barra de ferramentas quanto a toolbar terá suas opções de ferramentas e itens alterados dependendo do modo de criação que esteja selecionado (Figura 22).

Figura 21 - Os três modos de interação com o objeto na 3D viewport



Fonte: Elaborado pelo autor

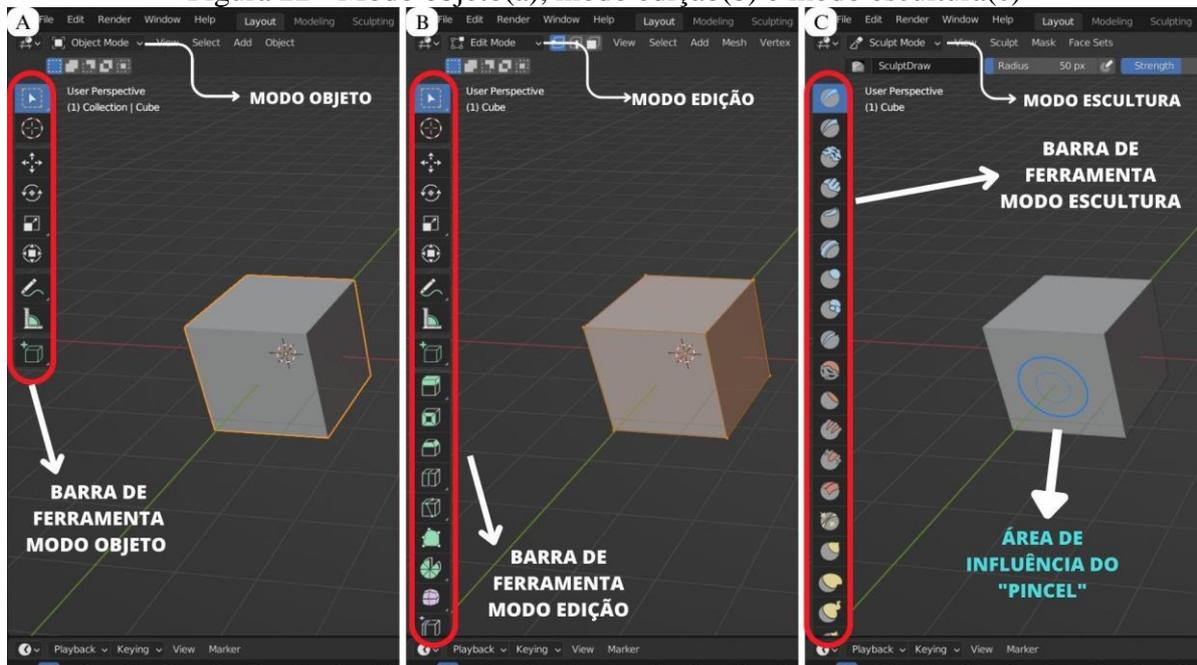
Por padrão, quando o programa é iniciado, a janela de visualização 3D estará sempre no Modo Objeto (Figura 22A). Este modo permite posicionar, girar e dimensionar, entre outras coisas, os objetos através do conjunto de ferramentas discutidos no tópico [barra de ferramentas](#).

O Modo Edição (Figura 22B), por sua vez, permite alterar a geometria do objeto. Neste modo, todo objeto é composto por pontos (vértices), linhas (arestas) e faces. Por isso é importante determinar exatamente o que deseja alterar no objeto, para então selecionar a opção

pretendida no cabeçalho (Figura 23). De maneira geral, vértice, ou *vertex* do inglês, são pontos no espaço 3D; arestas, ou *edge*, são linhas que “conectam os pontos” e faces preenchem os espaços entre arestas e vértices (Figura 23).

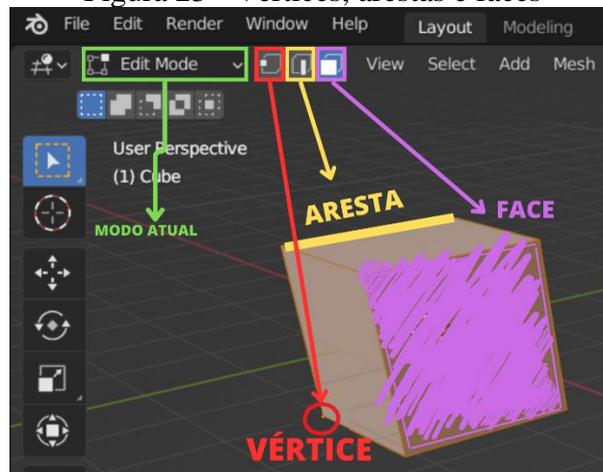
Por fim, o modo escultura (Figura 22C) também permite editar a geometria e a forma do objeto. Este modo utiliza ferramentas diferentes, ao invés de lidar com elementos individuais como vértices, arestas ou faces. O objeto é alterado em regiões cuja área de influência do “pincel”, cursor do mouse, está posicionado.

Figura 22 - Modo objeto(a), modo edição(b) e modo escultura(c)



Fonte: Elaborado pelo autor

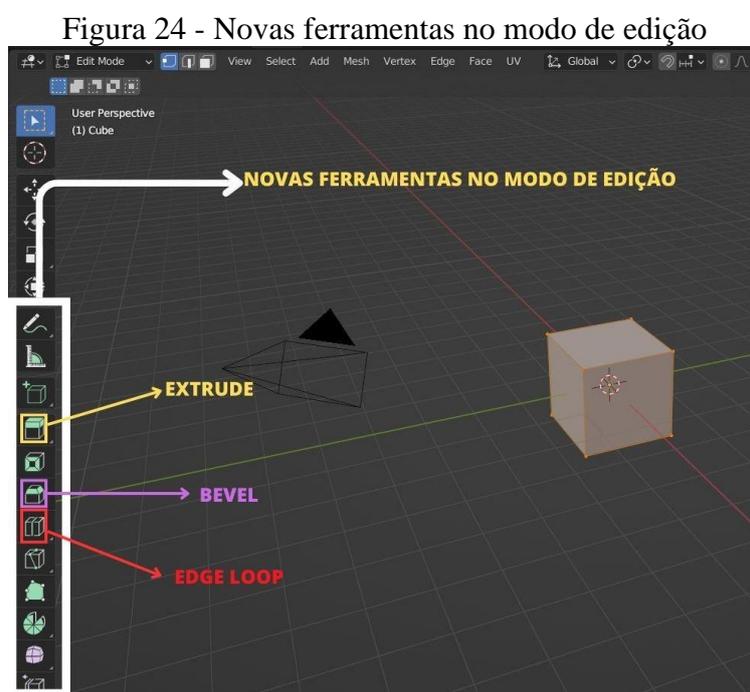
Figura 23 - Vértices, arestas e faces



Fonte: Elaborado pelo autor

## Extruding, Beveling e Edge loop

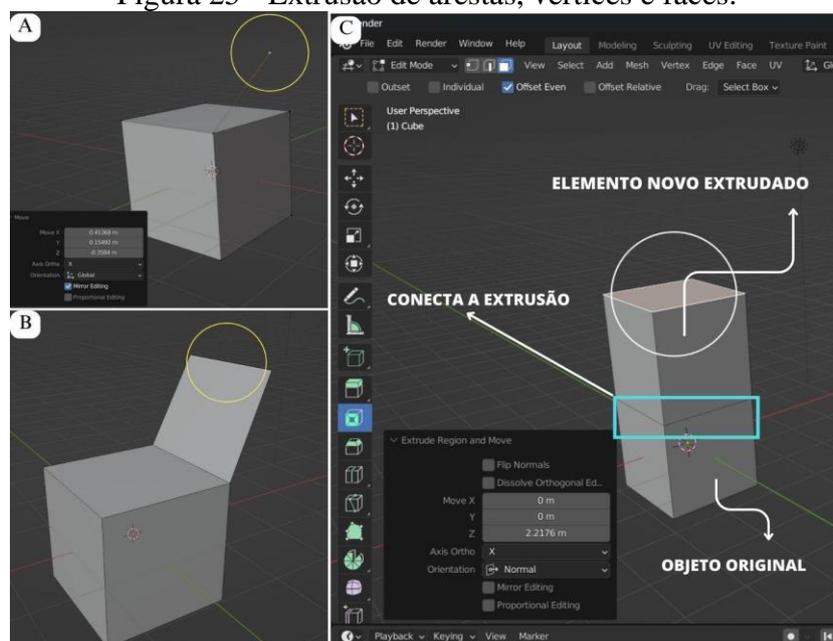
Apesar de o Modo Escultura ser bastante útil, os dois modos que serão majoritariamente utilizados serão o modo objeto e o modo edição. Conforme mencionado, cada um destes modos proporciona uma barra de ferramentas e um toolbar exclusivo. Um ponto importante de notar é que ao ativar o modo edição, a barra de ferramentas lateral se amplia mostrando novos recursos que podem ser aplicados ao modelo, atribuindo novas alterações úteis ao projeto final. Entre essas, as mais utilizadas são as ferramentas *extrude*, *bevel*, e *edge loop* (Figura 24).



Fonte: Elaborado pelo autor

O primeiro recurso que aparece na nova composição da barra de ferramentas, é o recurso de extrusão (*extrude*). Esta ferramenta é de suma importância para a criação de novas geometrias. Ela permite, por exemplo, criar paralelepípedos a partir de retângulos, e cilindros a partir de círculos. De forma geral a ferramenta de extrusão duplica vértices, arestas e faces, de modo que vértices são transformados em arestas, arestas são transformadas em faces e faces dão lugar a novos sólidos (Figura 25). A nova geometria de um objeto que sofreu extrusão se diferencia da geometria anterior através do modo como ela é conectada em si mesma (Figura 25C, retângulo azul). O atalho para utilizar esta ferramenta é a tecla “E”, para isso selecione o que deseja extrudar e com a tecla “E” pressionada mova o cursor do mouse.

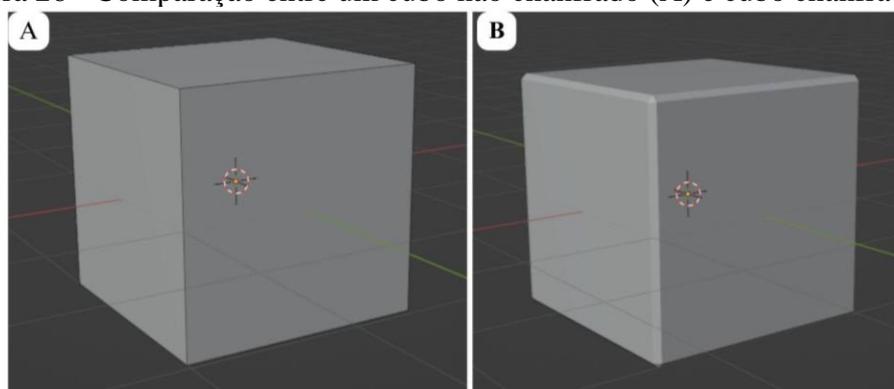
Figura 25 - Extrusão de arestas, vértices e faces.



Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida, há o recurso conhecido como *bevel*. A ferramenta *bevel* permite criar cantos chanfrados ou arredondados na geometria. Um chanfro é um efeito que suaviza bordas e cantos. As arestas no mundo real raramente são exatamente retas. A maioria das arestas inclusive são intencionalmente chanfradas por razões mecânicas, práticas e de segurança. Além disso, os chanfros são úteis para dar realismo aos modelos, uma vez que arestas biseladas captam a luz e alteram o sombreado no objeto. Assim, objetos não chanfrados normalmente parecem demasiadamente "perfeitos" conferindo-lhes um "aspecto artificial" (Figura 26A), ao contrário objetos chanfrados de aparência sólida e mais realista (Figura 26B).

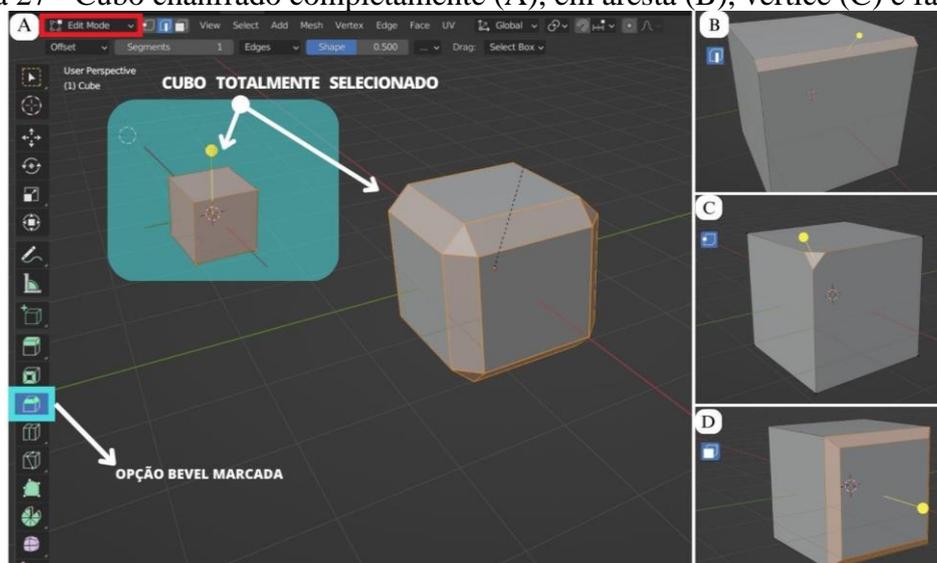
Figura 26 - Comparação entre um cubo não chanfrado (A) e cubo chanfrado (B)



Fonte: Elaborado pelo autor

É possível utilizar essa ferramenta em arestas (Figura 27B), em vértices (Figura 27C), e faces (Figura 27D). A ferramenta bevel irá suavizar as arestas ou vértices, substituindo-os por faces e criando perfis suaves. Para isso, em modo edição, basta selecionar a opção *bevel* na barra de ferramentas (Figura 27A) e, com o alfinete amarelo pressionado, arrastar para fora o cursor do mouse. Isso imediatamente criará um bisel em toda extensão do cubo previamente selecionado. Para aplicar essa ferramenta em um vértice, aresta ou face é importante primeiramente determinar a opção de seleção no cabeçalho, ou utilizando os atalhos “1”, “2”, ou “3” respectivamente no teclado numérico.

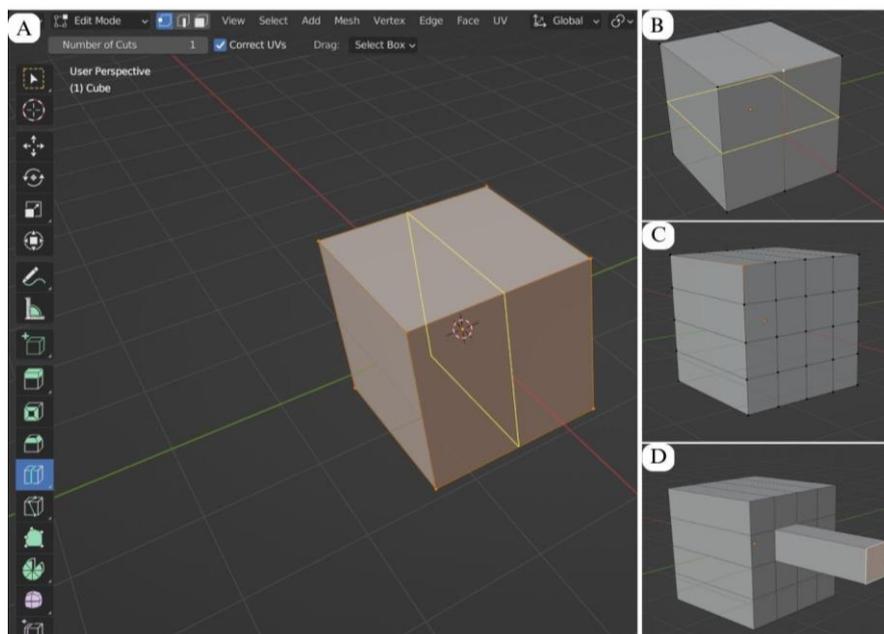
Figura 27 - Cubo chanfrado completamente (A), em aresta (B), vértice (C) e face (D).



Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, há o recurso *Edge Loop*, que está relacionado à capacidade de adicionar bordas ao objeto, formando uma espécie de anel ao longo de algum eixo (Figura 28). Nesse sentido um loop de arestas (*edge*), em computação gráfica, geralmente se refere a um conjunto de arestas conectadas em uma superfície qualquer. Esse sistema de arestas é fundamental para qualquer tipo de modelagem, pois permite adicionar subdivisões em faces, criando um conjunto de novas faces possíveis de serem modificadas individualmente através daquele conjunto de ferramentas já discutido. O atalho para esta ação pode ser realizado pressionando conjuntamente as teclas "Ctrl" + "R" no modo de edição.

Figura 28 - A - Edge loop longitudinal adicionado paralelo ao eixo x. B - Edge loop transversal adicionado paralelo ao eixo y. C - Sucessivas edge loops longitudinalmente e transversalmente adicionadas. D - Extrusão de uma face criada



Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.3.7 Modificadores

A barra de ferramentas oferece uma série de recursos capazes de alterar a geometria de um objeto até a forma desejada, no entanto algumas vezes é necessário fazer alterações na aparência do modelo sem alterar sua geometria básica, e para isso a operação *Modificar* é de suma importância na modelagem 3D. Os *Modifiers*, ou modificadores do Blender, são um conjunto de instrumentos que permitem alterar a aparência ou o comportamento de um objeto de maneira não destrutiva, ou seja, sem alterar seu conjunto de vértices, arestas ou faces. Os modificadores são aplicados a um objeto e podem ser ajustados ou removidos a qualquer momento, sem afetar a geometria do objeto original. Nesse sentido, as ferramentas discutidas anteriormente concretizam o formato básico dos objetos através de elementos sólidos, e por isso são indispensáveis no começo de qualquer projeto. Já os modificadores atribuem novos aspectos de conformação, como a pele por cima do esqueleto. A lista de modificadores pode ser acessada através da barra de propriedades, conforme já mencionado (Figura 19). Alguns

dos modificadores mais comuns e utilizados no Blender estão listados abaixo e representados na Figura 29:

#### **Subdivision Surface Modifier**

Este modificador subdivide a malha para criar uma superfície mais suave. As propriedades desse modificador incluem o número de subdivisões e o método de subdivisão.

#### **Modificador Mirror:**

Este modificador espelha a malha ao longo de um eixo. As propriedades desse modificador incluem o eixo de espelhamento e a distância de mesclagem, que determina o quão próximos os vértices precisam estar para serem mesclados.

#### **Modificador Bevel:**

Este modificador adiciona um chanfro às arestas da malha, criando arestas arredondadas. As propriedades desse modificador incluem a largura do chanfro, o número de segmentos e o tipo de chanfro (ângulo, peso ou perfil).

#### **Modificador Boolean:**

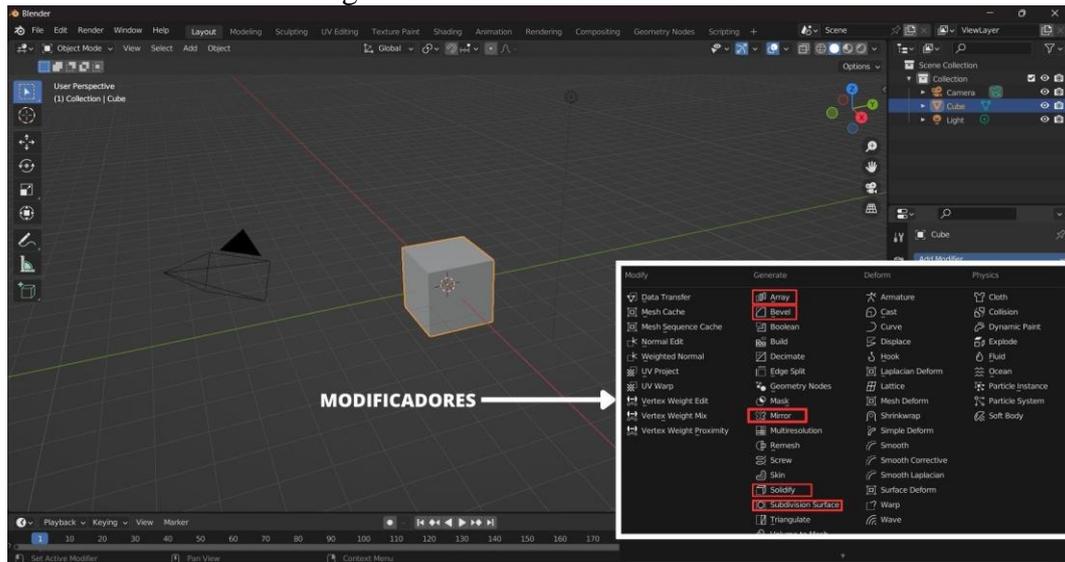
Este modificador permite combinar duas malhas usando operações booleanas (união, diferença ou interseção). As propriedades desse modificador incluem o objeto a ser usado como alvo, o tipo de operação e o tipo de solucionador.

#### **Modificador Array:**

Este modificador cria uma série de cópias do objeto ao longo de um eixo. As propriedades desse modificador incluem o número de cópias, a distância entre elas e o eixo de duplicação.

Estes são apenas alguns exemplos dos muitos modificadores disponíveis no Blender. Usando modificadores, é possível criar modelos complexos e detalhados com facilidade.

Figura 29 - Lista de Modificadores



Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.3.8 Complementos (add-ons)

Uma outra funcionalidade importante do Blender, está relacionada ao fato deste software ser um programa de código aberto. Desse modo, o código-fonte do programa é disponibilizado gratuitamente e pode ser modificado e redistribuído por qualquer pessoa. Isso significa que qualquer desenvolvedor que entende o mínimo do assunto pode estudar, modificar e melhorar uma versão própria do Programa.

Neste contexto, surgem os complementos, ou *add-ons* do inglês. Os Complementos são trechos de código que podem ser adicionados ao Blender para adicionar novas funcionalidades ou modificar recursos existentes. Eles podem ser criados por qualquer pessoa com conhecimento de programação, como uma forma de extensão do programa, e muitas vezes são disponibilizados gratuitamente para comunidade, ou mesmo vendidos com fins comerciais.

Os complementos podem adicionar novas ferramentas, modificar a interface do usuário, automatizar tarefas repetitivas ou integrar-se a software externo. Entre os complementos mais populares do software, encontram-se:

**Node Wrangler:** Uma ferramenta para criar e manipular nós no editor de sombreamento, facilitando a criação de materiais e texturas complexos.

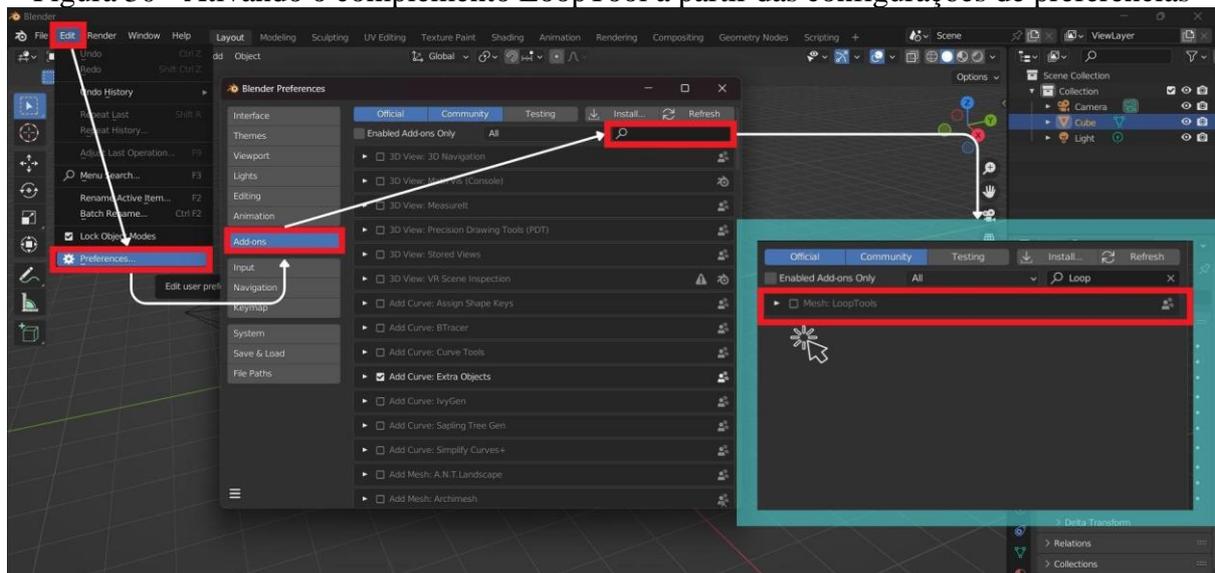
**BoolTools:** Um conjunto de ferramentas para trabalhar com operações booleanas, como união, interseção e diferença, para criar formas mais complexas.

**Hard Ops / BoxCutter:** São ferramentas de modelagem que permitem a criação mais rápida e eficiente de objetos e formas complexas.

**Decal Machine:** Uma ferramenta para criar e aplicar decalques em superfícies em uma cena, que pode adicionar detalhes e textura aos modelos.

Estes são apenas alguns exemplos dos muitos complementos disponíveis para o Blender. A grande maioria dos Add-Ons são de uso gratuito e podem ser adicionados facilmente ao programa. Para exemplificar este processo será utilizado o complemento *LoopTools*. Para isso, na guia de cabeçalho, clique em *Edit > preferences > add-ons*. Na barra de pesquisa, digite *LoopTools* e clique na caixa de seleção que aparece como resultado (Figura 30). Pronto, um novo complemento foi adicionado ao seu Blender. O complemento *LoopTools* é um conjunto de ferramentas que permite realizar operações de modelagem de forma mais eficiente e precisa. Depois de ativado, essa funcionalidade pode ser acessada por meio da interface do programa. Mais adiante esse complemento será necessário no processo de modelagem da membrana plasmática.

Figura 30 - Ativando o complemento LoopTool a partir das configurações de preferências



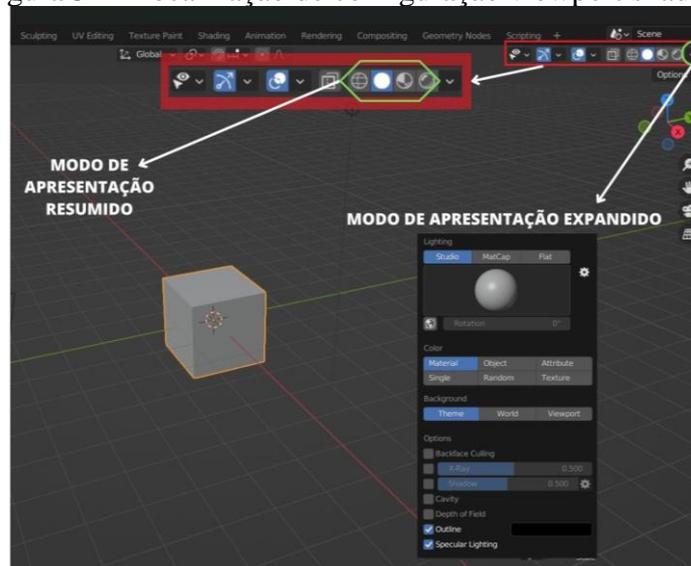
Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.3.9 Viewport Shading

O *Viewport Shading*, ou sombreamento da *viewport* no Blender, refere-se às diferentes maneiras pelas quais a visualização 3D da interface pode ser exibida. Esta ferramenta permite que os usuários visualizem seus modelos em uma variedade de modos diferentes, variando de estilos de apresentação que vão desde fotorrealísticas até modelos simplificados. Essa é uma função que pode ser bastante útil no processo de modelagem para impressão 3D, mas que, no entanto, acaba sendo um aspecto mais crucial no processo criativo para animação, pois ajuda a entender melhor a iluminação, a textura e a aparência geral dos modelos para fins cinematográficos.

As configurações da *Viewport shading* estão localizadas no canto direito do cabeçalho da interface, e podem ser dispostas de duas maneiras: 1) de uma forma resumida, através dos principais modos de apresentação do programa; 2) em forma expandida, que pode ser acessada através da seta mais à direita do cabeçalho (Figura 31).

Figura 31 - Localização de configuração viewport shading



Fonte: Elaborado pelo autor

O Blender fornece vários modos de sombreamento da *viewport*, no entanto, alguns acabam sendo mais comumente utilizados, e, por isso, ficam destacados no cabeçalho. São eles:

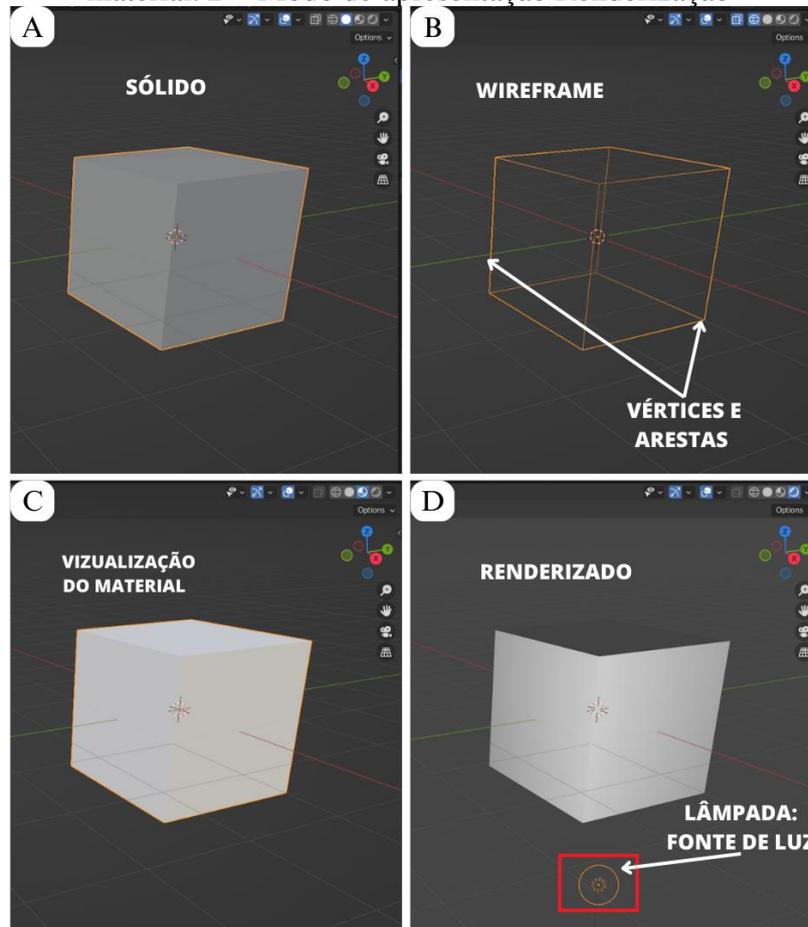
**Sólido:** Este modo exibe os modelos 3D em uma cor sólida, sem aplicar texturas ou efeitos de iluminação. É útil para visualizar a forma básica do sólido (Figura 32A).

**Wireframe:** Este modo exibe apenas as arestas e vértices dos modelos 3D, facilitando a visualização da geometria da cena sem a aplicação de texturas ou materiais. Sem dúvida, umas das apresentações mais utilizadas na modelagem 3D, pois no processo edição e criação, permite selecionar tanto os vértices, arestas e faces que estão na porção anterior do objeto quanto as que estão na parte posterior (Figura 32B).

**Visualização do material:** este modo exibe os modelos 3D com suas texturas e materiais aplicados, permitindo que os usuários visualizem como seus materiais ficarão no projeto final (Figura 32C).

**Renderizado:** Este modo exibe os modelos 3D com a iluminação completa e efeitos de material aplicados, dando uma visualização fotorrealista da renderização final. De maneira geral, a renderização é um processo de criação muito utilizado na criação de vídeos animados realistas. Desse modo, a partir de uma imagem ou um modelo 2D, a renderização gera um resultado tridimensional, a partir de um processo que calcula a aparência de cada objeto no cenário, levando em consideração fatores como iluminação, texturas, materiais e posição da câmera. Esse modo de apresentação pode ser mais lento para atualizar, pois, muitas vezes exige um alto processamento de dados, mas fornece a representação mais precisa do resultado (Figura 32D).

Figura 32 - Modos de sombreamento viewport shading. A - Modo de apresentação em sólido. B - Modo de apresentação em Wireframe. C - Modo de apresentação em visualização do material. D - Modo de apresentação Renderização



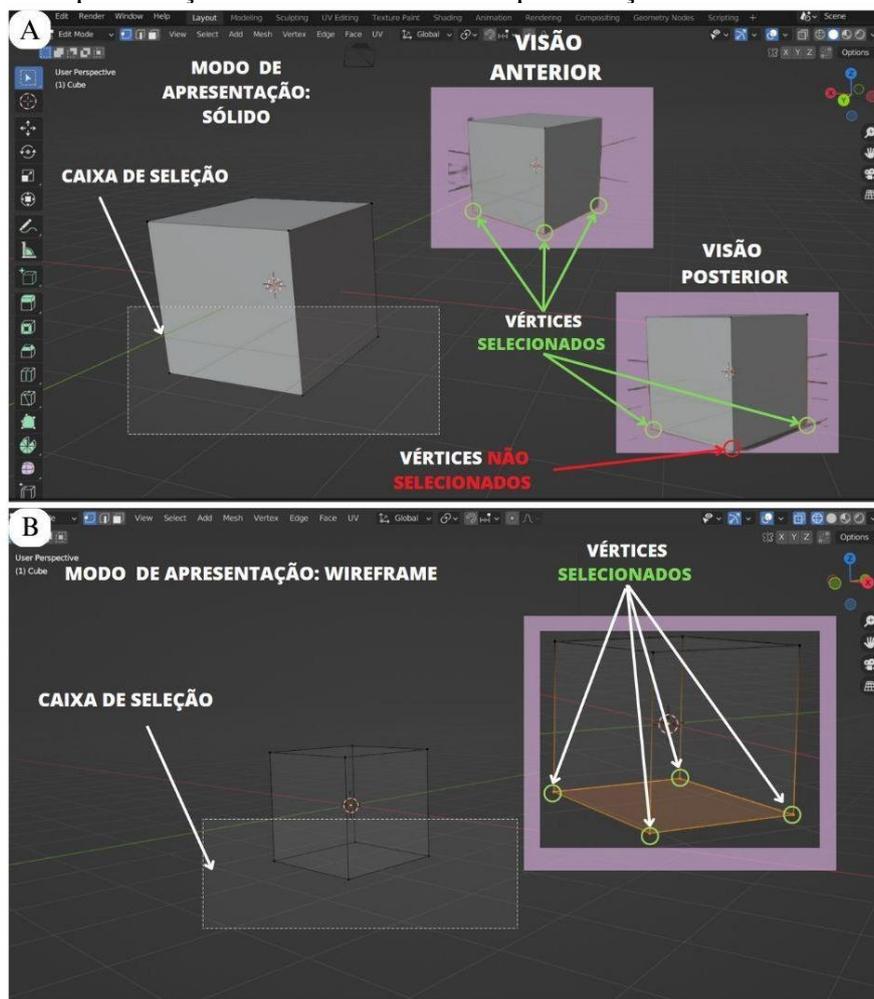
Fonte: Elaborado pelo autor

O sombreamento da *viewport* no Blender é uma ferramenta essencial para artistas e designers visualizarem seu trabalho antes de renderizá-lo, ajudando a identificar quaisquer problemas ou erros antes que se tornem permanentes. Ao permitir que os usuários vejam seu trabalho em modos diferentes, o sombreamento da janela de visualização torna mais fácil fazer alterações no projeto de forma rápida e eficiente. Para fins de impressão 3D, o modo de apresentação *wireframe* é sem dúvida o mais utilizado, fornecendo uma visão clara e desobstruída da geometria contida no modelo. Nesta visualização, é possível ver as arestas e vértices que compõem o modelo sem nenhuma distração, como texturas ou materiais. Essa exibição é particularmente útil para criar e modificar a topologia de um modelo, ou seja, para alterar a maneira como os vértices, arestas e faces do modelo são conectados.

Por exemplo, se estiver tentando selecionar todos os vértices de uma face de determinado objeto, pode encontrar dificuldades ao fazer isso no modo sólido de apresentação,

especialmente se os vértices estiverem em uma visão posterior (Figura 33 A). Já no modo de apresentação *wireframe*, devido ao objeto ser constituído apenas por vértices e arestas, os pontos mais distantes podem ser facilmente selecionados (Figura 33 B). No entanto, existem casos que o objetivo é somente selecionar vértices e arestas localizados em uma vista frontal e por esse motivo o modo de apresentação em sólido também é necessário. Desse modo, é comum em um projeto de modelagem estar constantemente alternando entre os modos de apresentação sólido e *wireframe*.

Figura 33 - Seleção de vértices em diferentes modos de apresentação. A - Modo de apresentação sólido. B - Modo de apresentação *wireframe*.

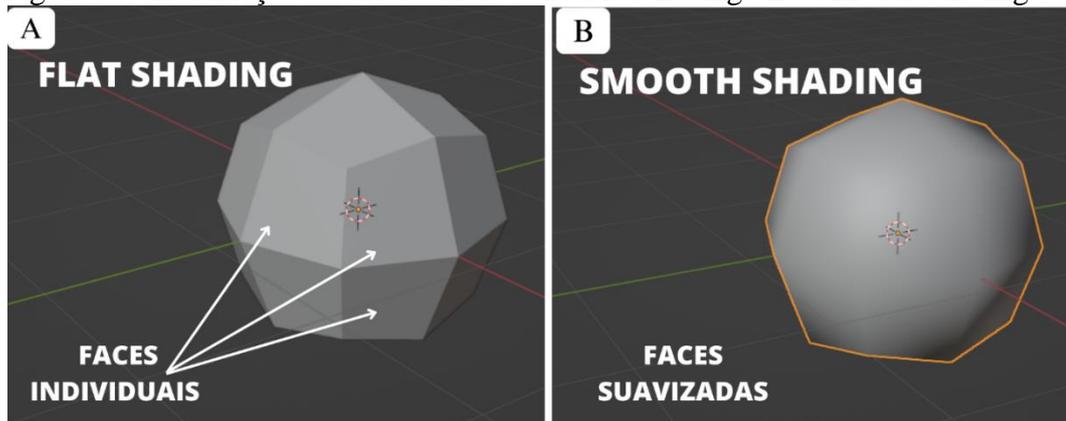


Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.3.10 Smooth shading

Todo objeto 3D é feito de polígonos, esses polígonos são feitos de vértices, que por sua vez são feitos de linhas, e, por fim, faces. O *smooth shading* é uma forma artificial que os softwares 3D em geral possuem para suavizar superfícies sem aumentar a quantidade de polígonos de um objeto. Em programas de modelagem 3D, são aplicados um modelo de iluminação aos objetos presentes na interface, de modo que os objetos sofrem um processo de sombreamento (*shading*). Por padrão no Blender, todo objeto é apresentado em um modo de iluminação chamado *flat shading*, o que significa que não há variações ao longo do polígono. Desse modo, cada face é interpretada de maneira literal e pode ser percebida individualmente, o que gera uma sensação pouco realista do objeto (Figura 34A).

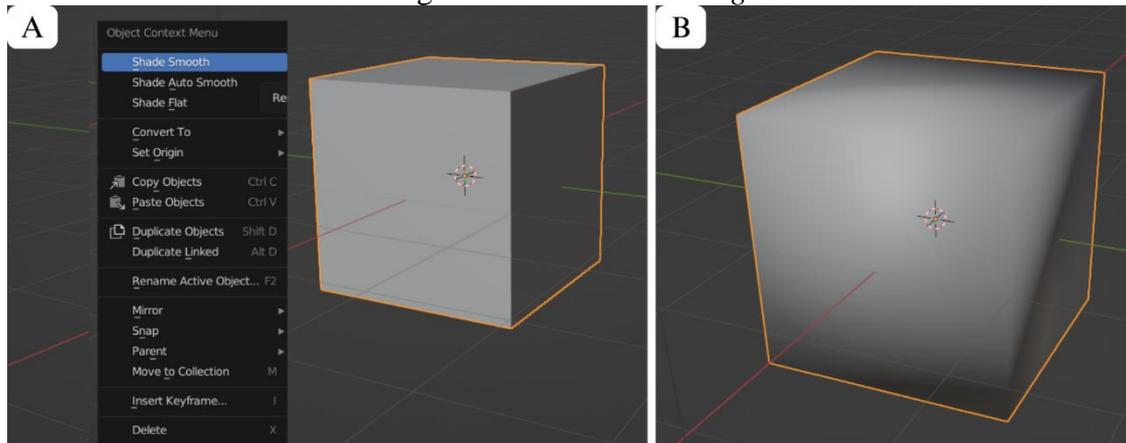
Figura 34 - Iluminação e sombreamento. A - Flat shading . B - Smooth Shading



Fonte: Elaborado pelo autor

Para utilizar esse recurso clique com o botão direito do mouse, em cima do objeto, e depois, na aba que surgir, clique em *Shade smooth* com o botão esquerdo (Figura 35A). Ao fazer isso, o programa automaticamente irá suavizar a sombra (*shading*) e iluminação do modelo, de modo que pareça um pouco mais realista quando comparado com o modelo em *flat shading* (Figura 35B) Assim, o *smooth shading* permite a visualização de um objeto *low-poly*, ou seja com uma baixa quantidade de polígonos, e ao mesmo tempo muito suavizado e realista.

Figura 35 - *Smooth shading*



Fonte: Elaborado pelo autor

Entretanto, esta ferramenta por si só não corrige os ângulos lineares que aparecem no lado de fora do objeto, de modo que seu contorno não fica realmente suavizado (Figura 34B). O *smooth shading* apenas altera a percepção de profundidade através da variação de níveis de sombra o que permite suavizar o interior, mas não o exterior. Nesse caso, para que seja possível alcançar um melhor resultado será necessário utilizar alguns modificadores, tal como o *Subdivision Surface* já mencionado (Figura 29).

### 5.3.11 Modelando uma Cadeira

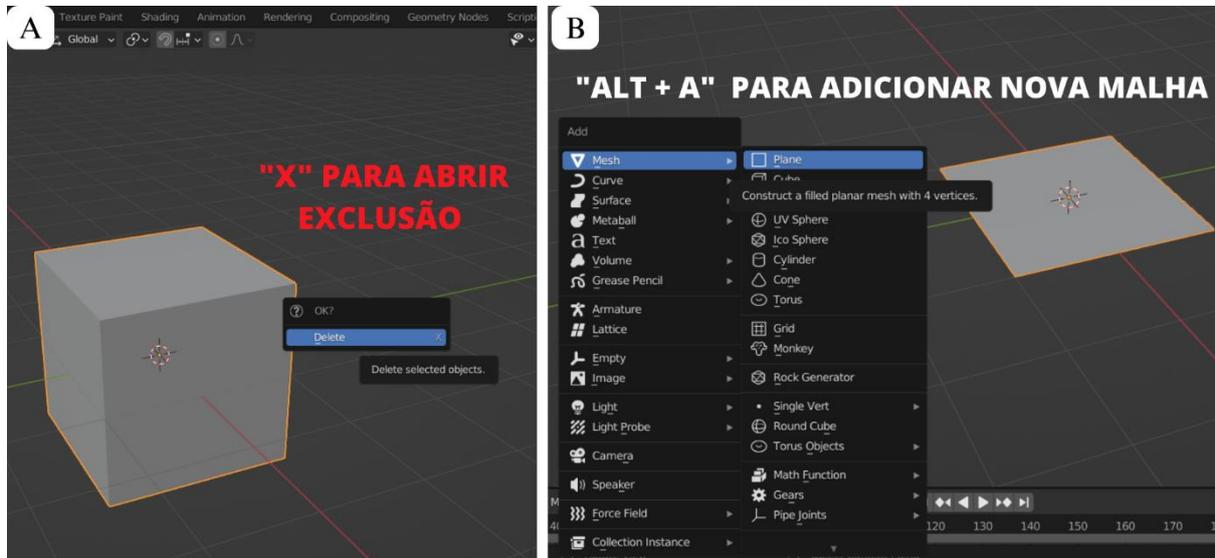
Com a finalidade de sintetizar vários dos tópicos abordados anteriormente e para que o leitor possa colocar em prática os conhecimentos até aqui adquiridos será proposta uma sequência do passo-a-passo de como modelar uma cadeira no Blender. Recomenda-se que os professores e alunos interessados em modelização 3D realizem este passo-a-passo como uma forma de exercício que permita familiarizar-se com a utilização do Blender.

Etapa 1: Crie um arquivo no Blender.

Etapa 2: Exclua o cubo padrão. Selecionando-o e pressionando a tecla "X", escolha "Excluir" (Figura 36A)

Etapa 3: Adicione um novo plano pressionando "Shift + A" e selecionando "Malha > Plano". Esta será a base da cadeira (Figura 36B).

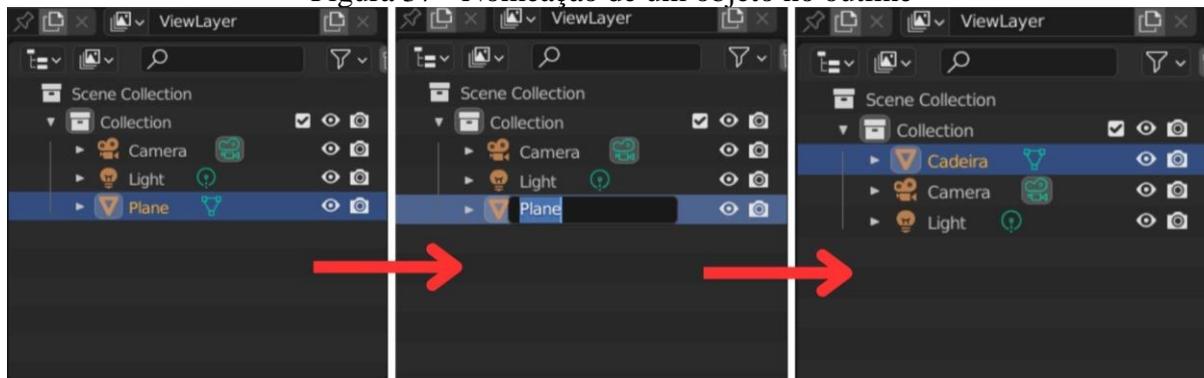
Figura 36 - Modelando uma cadeira. A - Excluindo o cubo padrão. B - Adicionando uma nova malha



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 4: Na guia *Outline*, renomeie o plano para "Cadeira". É importante desenvolver o hábito de nomear todos os objetos como forma de criar uma organização na interface. Perceba que após renomear o objeto para cadeira, sua posição na central de arquivos é alterada com base em uma ordem alfabética (Figura 37).

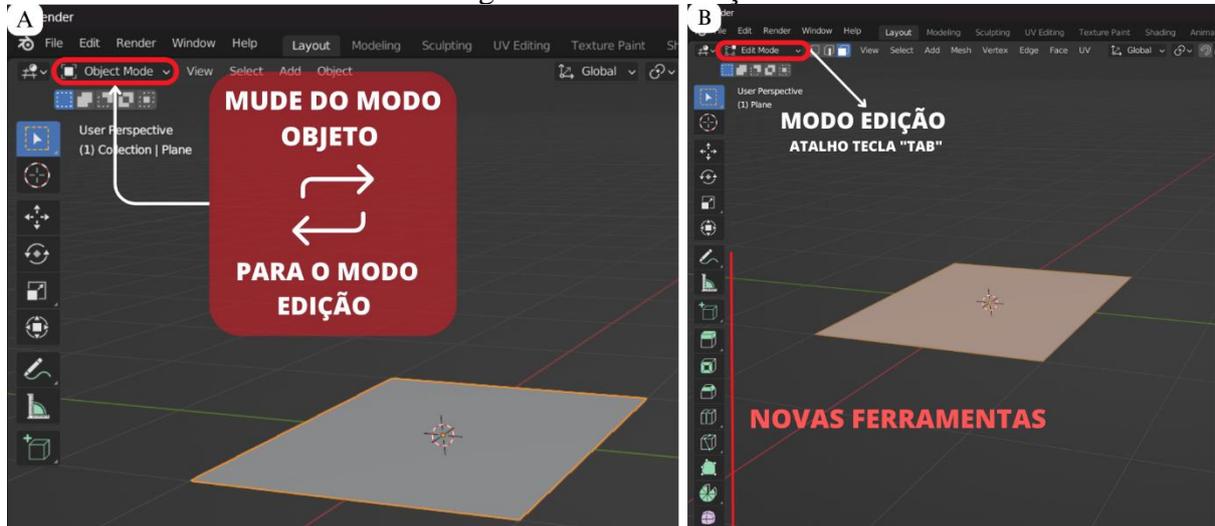
Figura 37 - Nomeação de um objeto no outline



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 5: Mude para o modo edição pressionando a tecla "TAB" ou clicando no botão "Modo de edição" no canto superior esquerdo da janela de visualização 3D (Figura 38).

Figura 38 - Modo edição

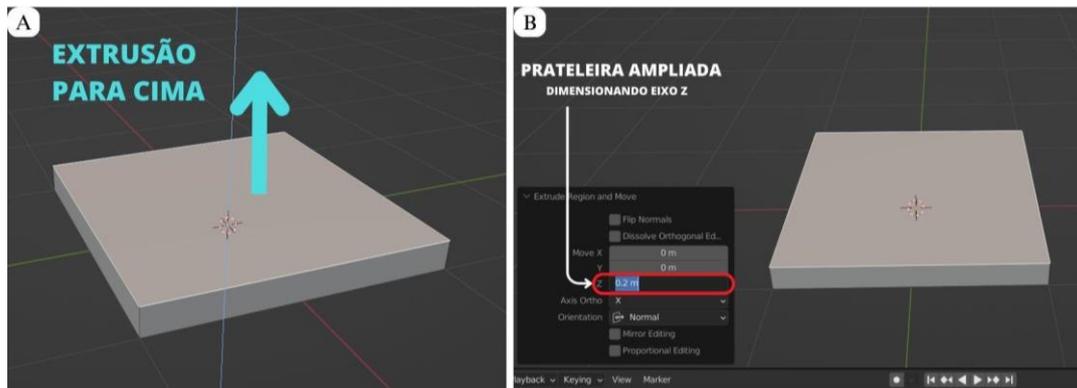


Fonte: Elaborado pelo autor

Passo 6: Selecione a face superior do plano clicando com o botão esquerdo. Certifique-se que esteja selecionando faces e não vértices ou arestas.

Etapa 7: Faça a extrusão da face para cima pressionando a tecla "E" e movendo o cursor neste sentido até que o assento esteja na altura desejada (Figura 39A). Também é possível adicionar espessura ao assento utilizando a ferramenta *scale* ao longo do eixo Z. Para fazer isso, pressione "S" e depois "Z" para restringir a escala ao eixo Z e, em seguida, mova o mouse para ajustar a espessura. Ainda, se desejar obter uma espessura específica da cadeira, é possível digitar um valor preciso na prateleira de ferramentas que aparece na parte inferior da interface 3D logo após fazer a extrusão (Figura 39B).

Figura 39 - Extrusão do plano. A - Extrusão ao longo do eixo Z. B - Extrusão utilizando a prateleira de ferramentas



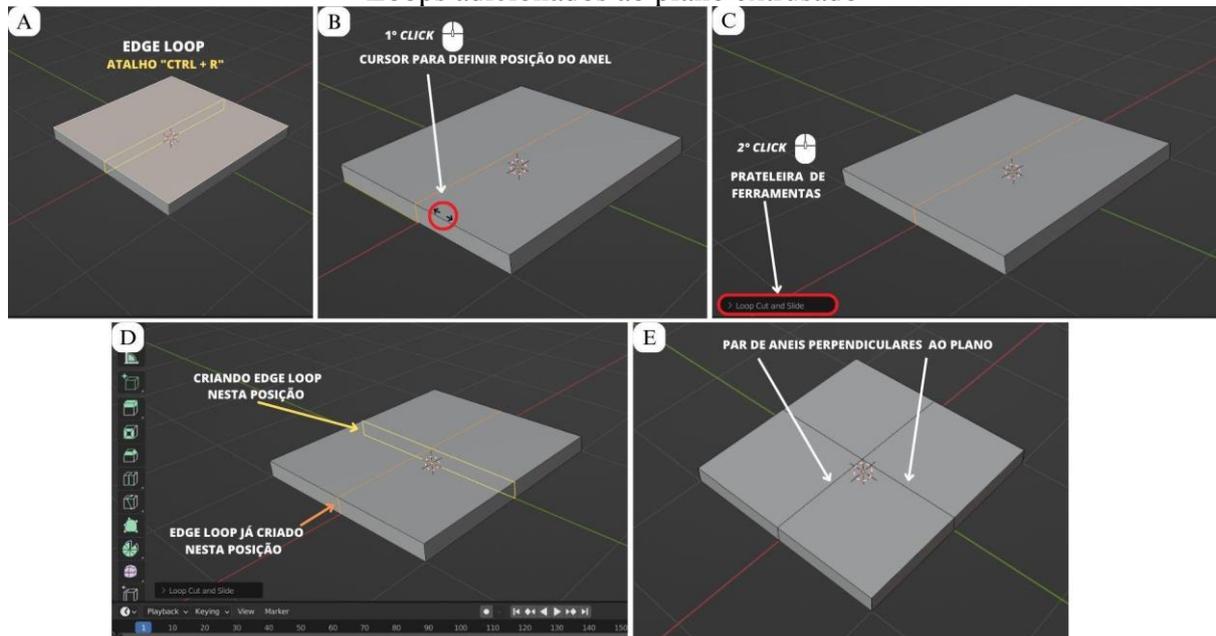
Fonte: Elaborado pelo autor

O próximo passo consiste em adicionar um *edge loop* à malha de assento utilizando as teclas de atalho "Ctrl + R" (Figura 40). Conforme discutido, o *edge loop* poderá criar um anel na porção esquerda, direita ou central (dependendo de onde o cursor do mouse estiver quando o "Ctrl + R" for pressionado). Isso ajudará a definir o formato da cadeira, pois a partir desses anéis surgirão novas faces no plano, e tornará mais fácil a missão de criar o encosto e as pernas desse objeto. Logo, será adicionado nesse plano dois anéis que se cruzam perpendicularmente. Para isso, escolha inicialmente um lado para adicionar o primeiro *Edge Loop*.

Etapa 8: Adicione dois *edge loop* perpendiculares ao plano extrusado. Utilizando as teclas de atalho "Ctrl + R", adicione o primeiro *edge loop*. Clique uma vez com o botão esquerdo do mouse para confirmar que deseja criar o anel naquela orientação da borda (Figura 40A). O primeiro clique irá habilitar a opção de alterar a posição do anel ao longo da orientação escolhida utilizando o mouse (Figura 40B). Sem mover o cursor, clique mais uma vez para confirmar a posição do anel, de modo que este permaneça na posição central do plano. O segundo clique irá tornar visível a prateleira de ferramentas do *edge loop* (Figura 40C).

Etapa 9: Repita o procedimento anterior, no entanto posicione o cursor do mouse no outro lado para definir um par de *edge loops* perpendiculares (Figura 40D). Ao final desse processo, terá sido criado um par de anéis que se cruzam na origem do plano extrusado (Figura 40E).

Figura 40 - A - Definindo a orientação do primeiro Edge Loop. B - Edge loop adicionado. C - Prateleira de ferramentas. D - Definindo a orientação do segundo Edge Loop. E - Par de Edge Loops adicionados ao plano extrusado

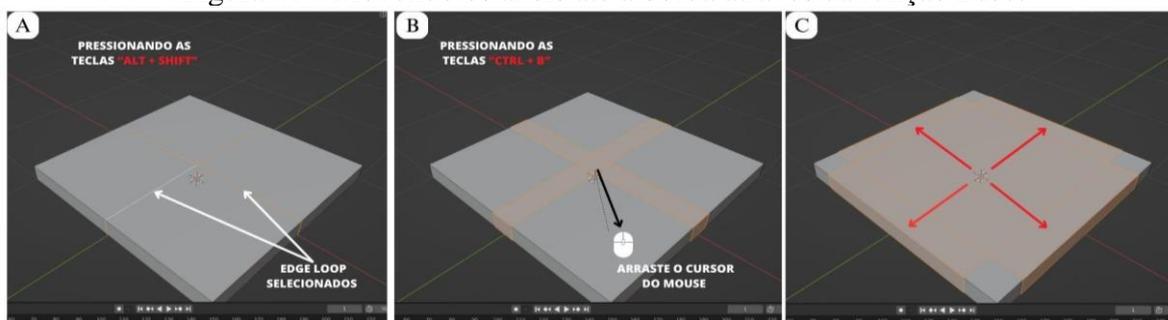


Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 10: Uma vez criados os anéis, será possível utilizá-los como base para gerar as novas faces que irão compor os componentes da cadeira. Para isso, pressione as teclas “Alt + Shift” para selecionar os dois *Edge Loops* utilizando o botão esquerdo do mouse (Figura 41A).

Etapa 11: Com ambos os *Edge Loops* selecionados, pressione “Ctrl + B” para mover os anéis até as bordas do objeto usando o cursor para regular a distância da borda (Figura 41B-C). Clique com o botão esquerdo para confirmar a ação. Pressionar "Shift + B" no Blender ativa a ferramenta *Border Select*, que permite desenhar uma borda retangular ao redor dos objetos selecionados utilizando o mouse.

Figura 41 - Movendo os anéis até a borda através da função *Bevel*



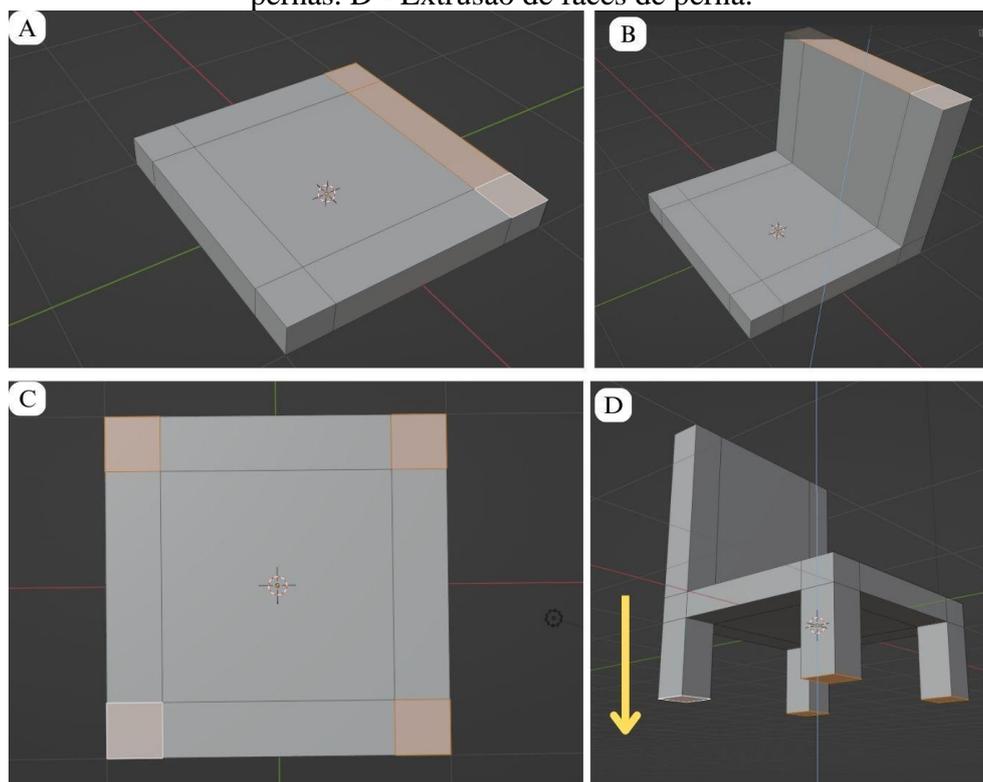
Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 12: Utilizando a opção de seleção de “face”, selecione simultaneamente as três faces de uma das extremidades do assento, a fim de produzir o encosto da cadeira (Figura 42A). A partir disso, faça a extrusão até a altura desejada (Figura 42B). Clique com o botão esquerdo para confirmar a ação de extrusão.

Etapa 13: Segurando o botão do meio do mouse e movendo-o navegue pela *viewport* para que seja possível ver abaixo do modelo (Figura 42C).

Etapa 14: Para compor as pernas da cadeira, na face inferior, selecione as 4 faces menores de cada extremidade e faça a extrusão pressionando a tecla “E” e movendo o cursor para baixo (Figura 42C-D).

Figura 42 - A - Seleção de faces de encosto. B - Extrusão de faces. C - Seleção de faces de pernas. D - Extrusão de faces de perna.



Fonte: Elaborado pelo autor

Finalizada essa última etapa, já é possível identificar o formato básico de um modelo de cadeira. Este passo-a-passo reúne as ferramentas e princípios básicos que continuarão sendo utilizados mesmo em modelos mais complexos e elaborados. Por essa razão optou-se por

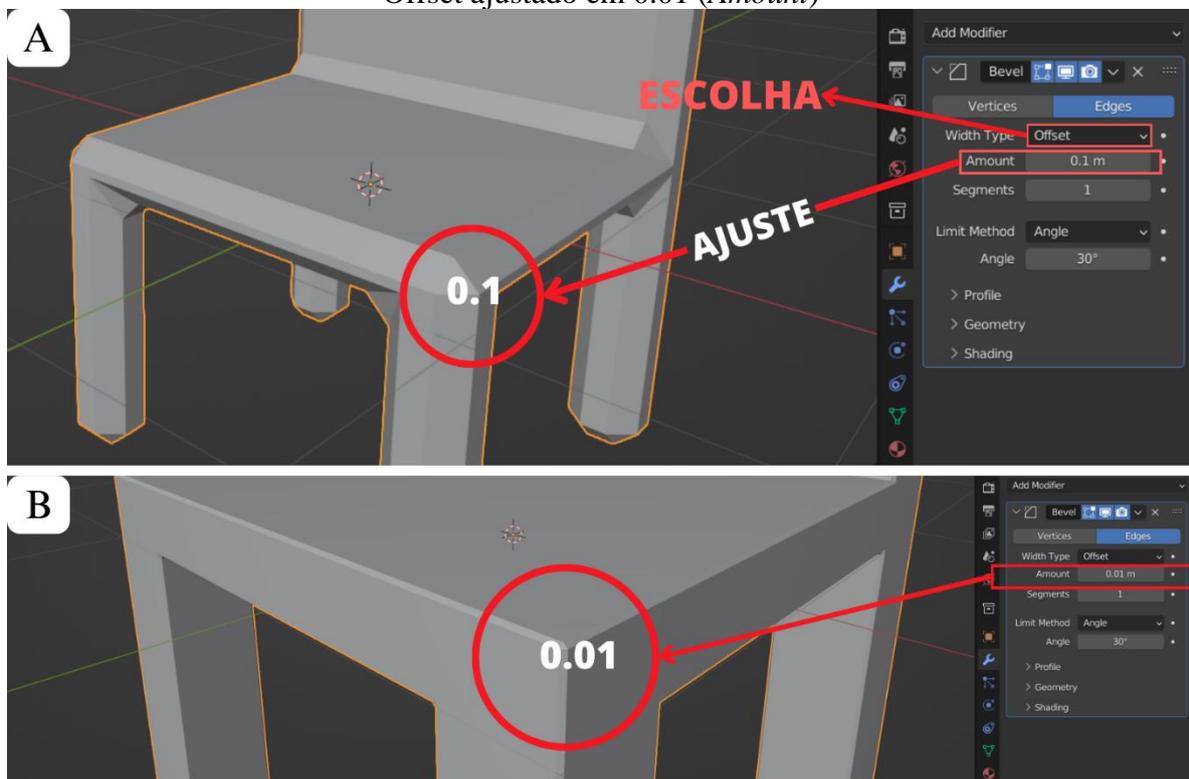
ênfatizar os comandos de atalho do teclado ao invés de simplesmente utilizar o menu ferramentas a fim de obter um uso mais prático e fluido no programa.

O passo seguinte é atribuir algumas características que tornem o modelo um pouco mais realista. Para isso existem algumas alternativas que podem ser usadas em conjunto. A primeira delas já foi discutida no tópicó *Bevel* (Figura 27). Esta ferramenta permite adicionar chanfros nas bordas de qualquer objeto de modo que fique mais orgânico e natural. Para isso, como o objetivo é adicionar chanfros em toda extensão da cadeira será utilizado o modificador *Bevel*, ao invés da ferramenta da barra de ferramentas ou de seu atalho (“Ctrl +B”).

Etapa 14: Na guia de modificadores (*Modifier*), ícone azul em forma de chave inglesa, clique em “Add Modifier” e escolha “Bevel”. Certifique-se de estar no modo Objeto com a cadeira selecionada (Figura 29).

Etapa 15: O *Bevel* provavelmente será muito forte, então será necessário diminuir o valor do parâmetro “Offset” para uma quantidade (*Amount*) em torno de 0,01 (Figura 43).

Figura 43 - Configuração do modificador *Bevel*. A - Offset ajustado em 0.1 (*Amount*). B - Offset ajustado em 0.01 (*Amount*)



Fonte: Elaborado pelo autor

Perceba que a partir de um *Offset* de 0.1 a cadeira adquire um formato mais arredondado com chanfros mais proeminentes (Figura 43A). Talvez essa opção seja interessante em algum projeto que necessite de cantos mais oblíquos. No entanto, para a modelagem de uma cadeira um *Offset* de 0.01 é o suficiente para tornar o objeto mais realista (Figura 43B).

A partir desse passo-a-passo, é importante perceber que a criação de um projeto para impressão 3D no Blender requer bastante atenção aos detalhes de cada etapa. Basicamente uma impressão bem-sucedida envolve vários processos, mas o principal deles está na modelagem 3D. Desse modo, é preciso ter clareza sobre o que se deseja modelar e a partir disso dominar as ferramentas e recursos necessários para o processo de criação. No Blender existem várias maneiras de se modelar um objeto. Muitas vezes ferramentas distintas podem chegar a resultados similares e o que vai definir qual deve ser usada no projeto em andamento é a experiência da pessoa.

## 5.4 MEMBRANA PLASMÁTICA

A membrana plasmática é uma camada fina, flexível e com permeabilidade seletiva que delimita a célula. É um dos componentes mais importantes de uma célula, pois regula a passagem de substâncias entre o meio interno e externo, mantém o formato celular e fornece proteção e suporte.

A plena compreensão da função de uma membrana plasmática está diretamente ligada ao entendimento de sua estrutura físico-química. Nesse sentido, produzir uma bicamada lipídica em uma impressora 3D pode constituir uma importante ferramenta pedagógica para atingir este objetivo.

### 5.4.1 Estrutura e função da Membrana Plasmática:

A membrana plasmática é composta por uma bicamada lipídica, que é composta por duas camadas de fosfolipídios. Cada molécula de fosfolipídio é constituída por duas partes principais. Uma cabeça hidrofílica (possui afinidade pela molécula da água, polar) e uma cauda

hidrofóbica (que repele a molécula da água, e, portanto, apolar). As cabeças hidrofílicas estão voltadas para fora e para dentro da célula, enquanto as caudas hidrofóbicas estão voltadas uma para a outra no meio da bicamada. Esse arranjo de fosfolipídios cria uma barreira que impede que substâncias de grande tamanho e, sobretudo, com carga elétrica (polares) passem pela membrana.

A bicamada lipídica é conhecida como sendo um mosaico fluído. Esse mosaico é formado pelos já mencionados lipídios e por várias proteínas. Muitas dessas proteínas podem atravessar toda a bicamada lipídica, sendo por isso chamadas de proteínas transmembranares. Algumas delas inclusive formam canais que permitem a passagem de substâncias específicas através da membrana, tais como canais para passagens de íons, os chamados canais iônicos ou ainda estruturas maiores e mais complexas como as aquaporinas, proteínas que permitem a passagem de moléculas de água. Muitas das proteínas da bicamada atuam ainda como receptores de hormônios, neurotransmissores ou outras moléculas de sinalização.

Além de ser um mosaico de diferentes lipídios e proteínas, esse mosaico é fluído. A fluidez é conferida por características físico-químicas da membrana, como a presença de colesterol (que enrijece a membrana no caso das células animais); o tamanho das caudas dos fosfolipídios (quanto menores, mais fluídas as membranas) e pela quantidade de insaturações nas caudas (quanto mais insaturações, mais fluídas as membranas). Essa fluidez confere propriedades importantíssimas às membranas, como a possibilidade de serem separadas, durante as divisões celulares, de liberar vesículas contendo neurotransmissores, e outras substâncias importantes.

#### **5.4.2 Modelagem e visualização de estruturas celulares para o ensino de ciências**

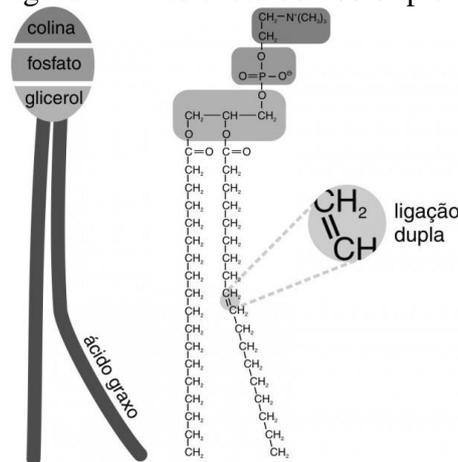
Conforme apontado anteriormente, a impressão 3D de estruturas celulares para o ensino de ciências tem como objetivo servir de ferramenta para facilitar e/ou melhorar a capacidade de compreensão dos alunos acerca de conceitos científicos abstratos. Neste sentido, além de apresentar o software Blender para docentes e discentes da área de Biologia interessados em impressão 3D, este trabalho tem como objetivo exemplificar na prática como os modelos 3D podem facilitar abordagens pedagógicas que permitam que os alunos visualizem e interajam com as estruturas celulares e desta forma compreendam características e processos complexos

subjacentes à estrutura celular. Desse modo, buscou-se desenvolver um protocolo de modelagem e impressão 3D dos componentes principais de uma membrana plasmática, bem como sua estrutura integral em um contexto de uma bicamada fosfolipídica.

#### 5.4.2.1 A molécula fosfolipídica no Blender

Vamos começar modelando um dos componentes que farão parte das bicamadas lipídicas. o fosfolipídio é uma molécula que lembra um palito de fósforo, com uma cabeça eletricamente carregada (polar) e uma haste sem carga elétrica (apolar) constituída por duas “caudas” de ácido graxo (Figura 44).

Figura 44 - Molécula de Fosfolipídio



Fonte: [Passei direto](#)

Para produzir uma membrana plasmática primeiro será necessário criar uma molécula fosfolipídica. Para isso, é importante ressaltar que existem diversas maneiras de se chegar a esse resultado, e, portanto, não há apenas uma maneira de se produzir um fosfolipídio. De todo modo, certifique-se de ter o complemento *Loop Tools* ativado antes de começar este passo-a-passo.

Antes de iniciar é válido ressaltar a importância de se ter referências no processo de modelagem ao criar modelos 3D. Referências, como imagens, esboços ou até mesmo objetos físicos, servem como um guia para o modelador garantir que as proporções, formas e detalhes sejam representados corretamente. Sem referências, pode ser difícil alcançar o resultado

desejado, e o modelo final pode parecer distorcido ou impreciso. Para este trabalho foi utilizado como referência uma figura de fosfolipídio retirada da internet. De modo geral, este trabalho partirá de uma abordagem simples e objetiva.

### **Passo-a-Passo: modelando a molécula lipídica.**

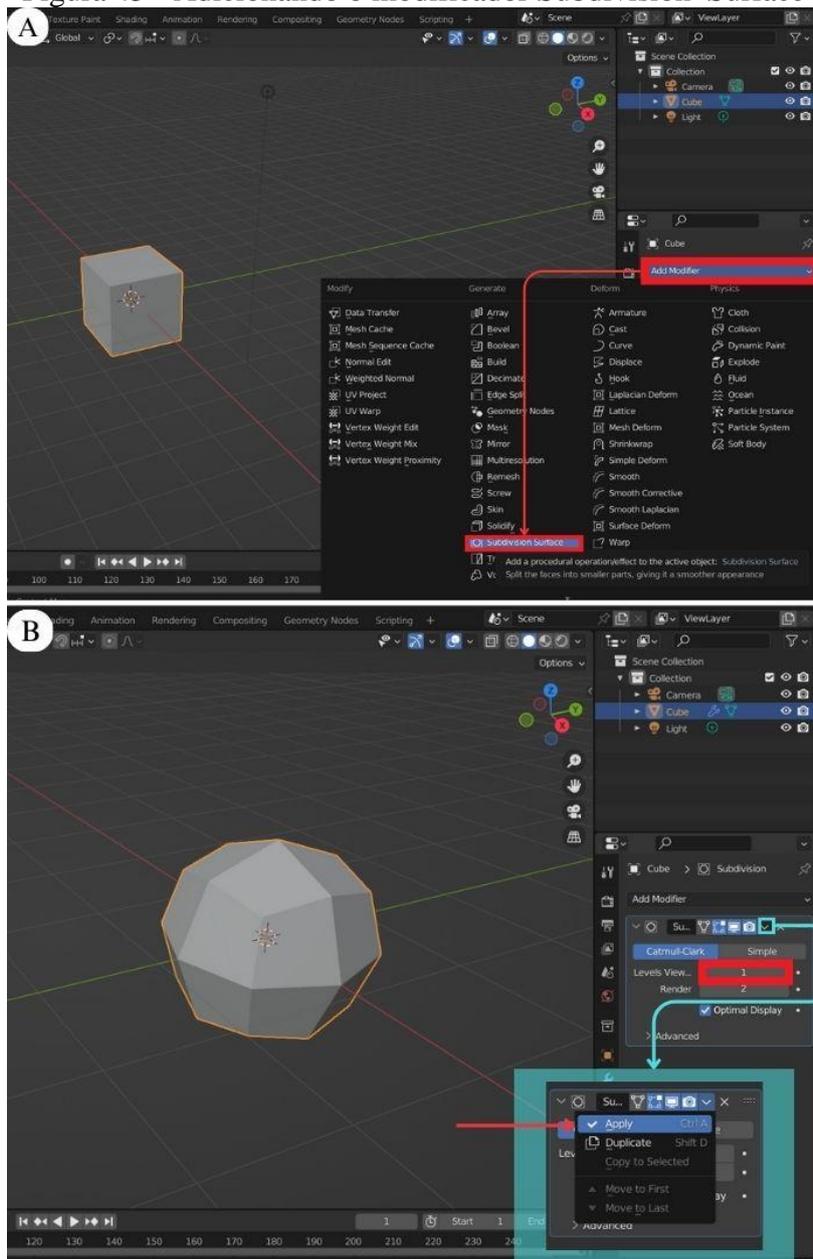
Etapa 1: Comece criando um arquivo no Blender.

Etapa 2: O cubo padrão que aparece no começo de todo novo projeto será utilizado. Caso não esteja aparecendo, você poderá criar o cubo clicando na opção “*add*” disponível na aba superior, ou utilizando o atalho “Alt + A” e depois em *mesh > cube* (Figura 45A).

Etapa 3: Adicione um modificador ao cubo. No painel de propriedades, à direita, selecione a figura em forma de chave de boca em azul e depois clique em *add modifier > subdivision surface*. Este modificador é um dos mais utilizados no programa, pois permite aumentar a quantidade de subdivisões e arredondar as faces de um objeto, suavizando a malha e criando geometrias com mais polos.

Etapa 4: Mantenha em 1 o número de subdivisões e clique na opção *apply*, disponível na seta apontada para baixo do painel de propriedades. Desse modo, a modificação ficará permanente no projeto (Figura 45B).

Figura 45 - Adicionando o modificador Subdivision Surface

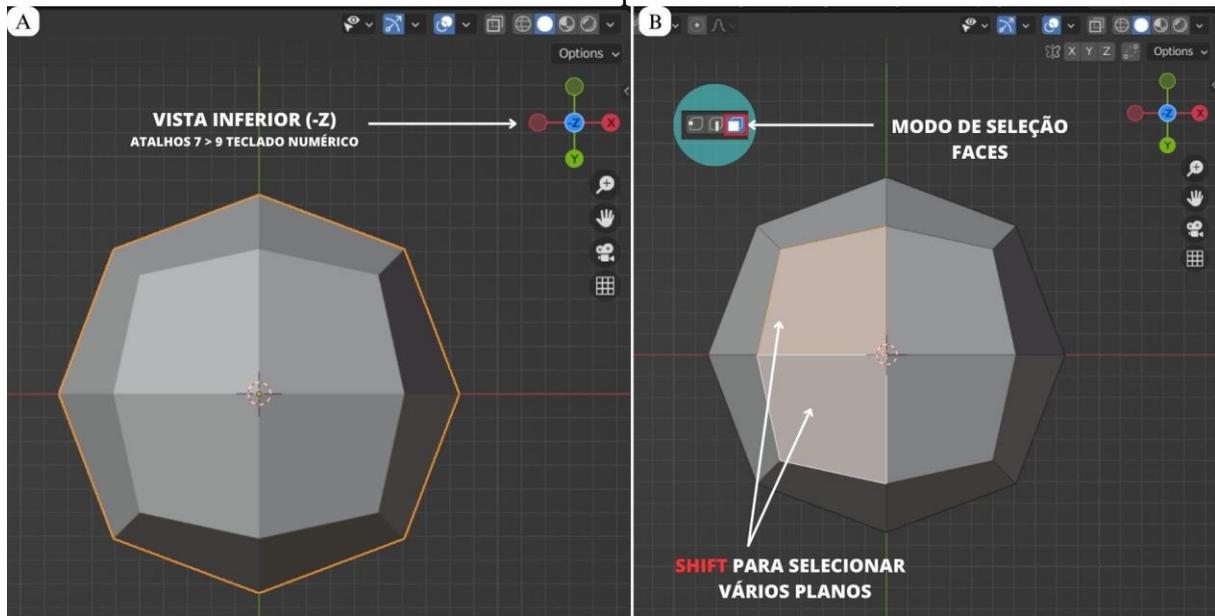


Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 5: Pressione a tecla “7” e depois “9” do teclado numérico para obter uma visão inferior do objeto (Figura 46A).

Etapa 6: No modo edição, selecione simultaneamente duas faces adjacentes ao eixo Y.

Figura 46 - A - Objeto em vista inferior. B - Selecionando faces para compor as caudas do fosfolipídio



Fonte: Elaborado pelo autor

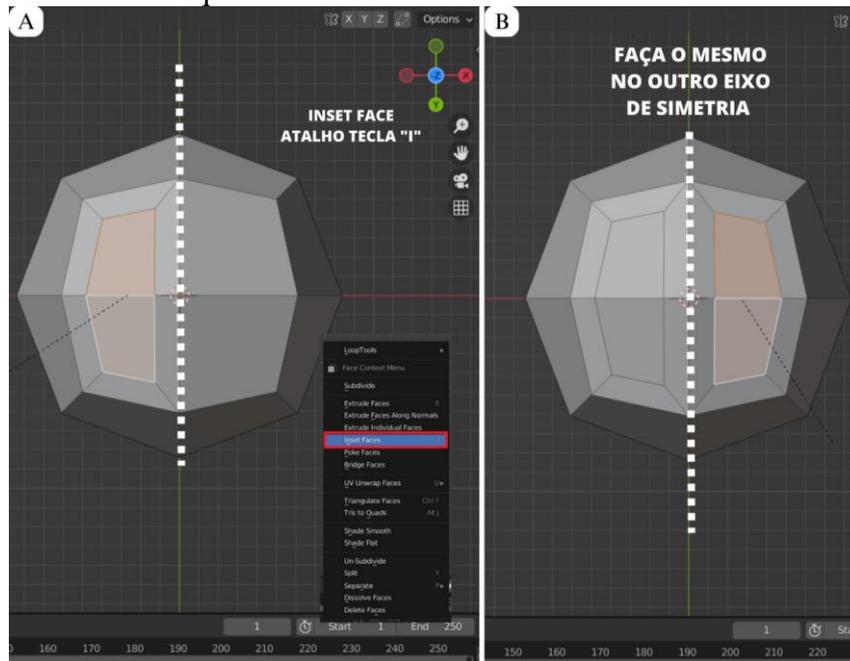
Para isso, certifique-se inicialmente que não esteja com objeto pré-selecionado, você pode clicar em qualquer lugar da tela para desmarcar o objeto. Além disso, tenha certeza de que o modo de seleção do objeto esteja definido em planos, ao invés de vértices ou arestas (Figura 22). Lembre-se que para selecionar múltiplas faces ao mesmo tempo, é necessário pressionar a tecla “Shift” ao mesmo tempo que clica com o botão esquerdo nas faces.

Etapa 7: Adicione uma nova face aos planos que foram selecionados, através da ferramenta *Inset face*. Essa nova face irá compor a primeira cauda do fosfolipídio. Clique com o botão direito do mouse sob o objeto e em seguida em *Inset face*, ou utilize o atalho “I” do teclado clicando uma vez (Figura 47A).

Etapa 8: Faça o mesmo com o outro par de faces de modo simétrico (Figura 47B).

A nova face precisa ser dimensionada de forma a deslocar-se para o centro, criando uma moldura delicada ao seu redor. O tamanho dessa nova face será responsável por determinar a espessura da cauda do fosfolipídio.

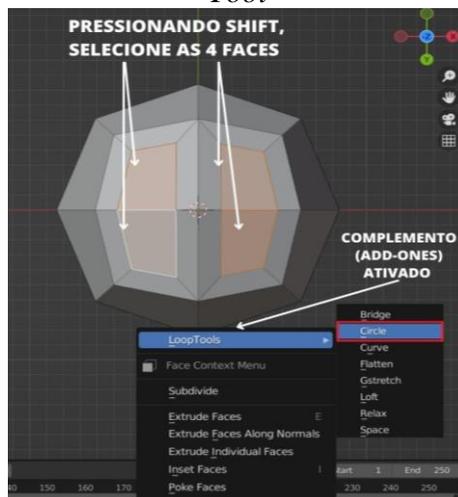
Figura 47 - Criando faces a partir da ferramenta *Inset face*. A - Inserindo nova face à esquerda. B- Inserindo nova face à direita



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 9: A etapa seguinte envolve o arredondamento dos dois conjuntos de faces criados utilizando a ferramenta *Loop Tool*. Para isso, você pode selecionar as quatro novas faces e, em seguida, clicar com o botão direito do mouse na opção "*Loop Tool > Circle*" (Figura 47C). Essa ação irá arredondar as faces, conferindo a forma de cauda posteriormente. Lembre-se de ativar essa ferramenta nas configurações de preferências, conforme mencionado no início.

Figura 48 - Selecionando as quatro novas faces e arredondando a partir da ferramenta *Loop Tool*



Fonte: Elaborado pelo autor

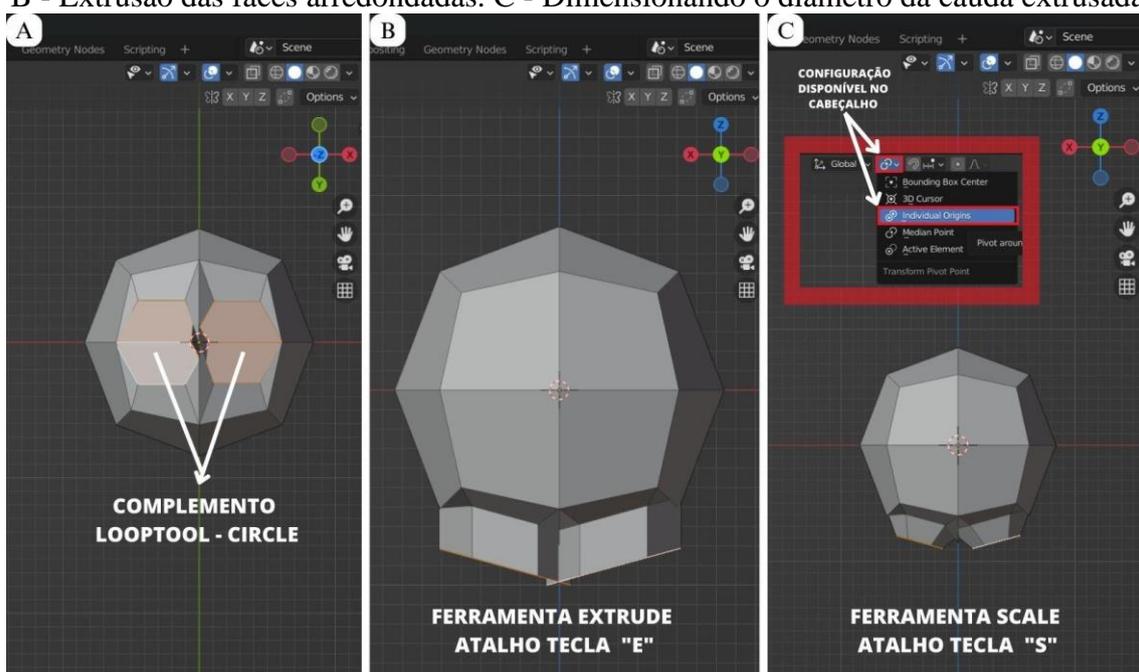
Etapa 10: Em seguida, proceda selecionando as quatro faces poligonais simultaneamente (Figura 49A) e, a partir de uma visão frontal (eixo Y), realize um movimento de extrusão pressionando a tecla "E" e movendo o cursor ligeiramente para baixo. Neste estágio inicial, faça uma extrusão curta o bastante para que dois cilindros possam ser observados projetando-se a partir da cabeça fosfolipídica (Figura 49B).

Observe que os dois cilindros extrudados aparecem fundidos, isso ocorre porque eles compartilham a mesma origem geométrica (Figura 49B). Para corrigir isso, é necessário individualizar as origens de cada cilindro. Para isso:

Etapa 10: clique em *Pivot Point* e, em seguida, selecione *Individual Origins*. Isso garante que a origem de cada cilindro permaneça no lugar e permite dimensioná-los em torno de suas próprias origens (Figura 49C).

Etapa 11: O próximo passo consiste em separar os cilindros para que se tornem individuais. Para fazer isso, diminua o diâmetro de cada um deles pressionando a tecla "S" e movendo o cursor para dentro (Figura 49C). Dessa forma, você irá ajustar o tamanho de cada cilindro de forma independente.

Figura 49 - Modelagem inicial das caudas fosfolipídicas. A - Seleção das faces arredondadas. B - Extrusão das faces arredondadas. C - Dimensionando o diâmetro da cauda extrusada

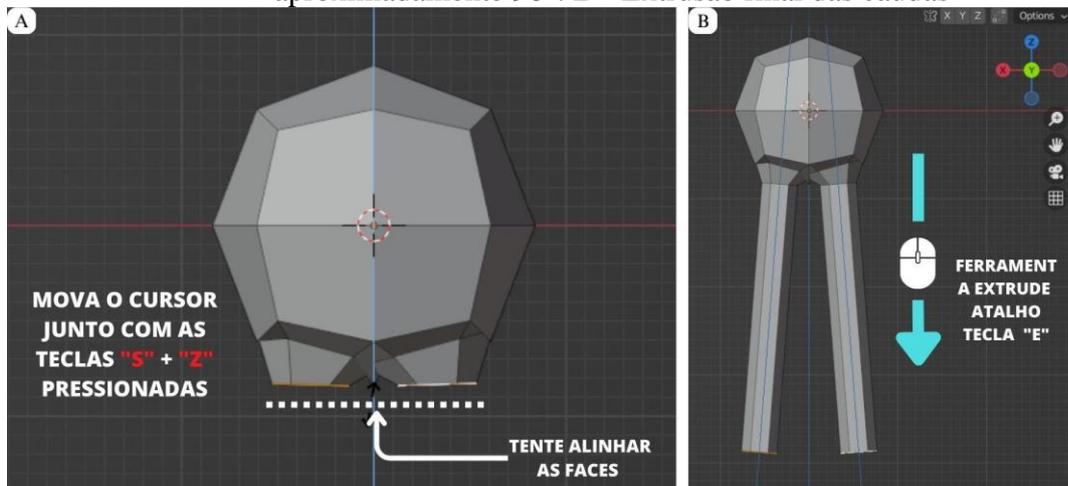


Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 12: Antes de aumentar o comprimento das "caudas" do fosfolipídio, o último passo é alinhar a orientação da face inferior de cada polígono (Figura 50A). Para fazer isso, na vista frontal anterior (eixo Y), pressione "S" + "Z" e mova o cursor levemente até perceber que as faces de cada cilindro estão paralelas ao eixo X. Esse processo garantirá que as faces inferiores dos cilindros estejam devidamente alinhadas.

Etapa 13: Agora, pressione novamente a tecla "E" para realizar a extrusão das caudas. O comprimento de uma cauda fosfolipídica pode variar dependendo do tipo específico de fosfolipídio e da célula em questão. Geralmente, as caudas dos fosfolipídios consistem em duas cadeias de ácidos graxos, cada uma contendo tipicamente entre 14 e 24 átomos de carbono. O comprimento das cadeias de ácidos graxos pode influenciar a fluidez e a flexibilidade da membrana celular. Portanto, é importante utilizar uma figura de referência para facilitar o processo de modelagem (Figura 50B).

Figura 50 - Modelagem inicial das caudas. A - Alinhamento das faces da cauda em aproximadamente 90°. B - Extrusão final das caudas



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao observar o modelo, você notará que, diferentemente da realidade, a cauda extrudada possui um comprimento linear com pouca ou nenhuma variação em seu sentido. No entanto, considerando que a cauda fosfolipídica é formada por ácidos graxos conectados por ligações covalentes, é natural supor que ocorra uma ligação dupla em determinados segmentos dessa cadeia de carbono.

Em geral, uma ligação dupla na cauda de um ácido graxo pode ter vários efeitos, dependendo de sua localização e configuração eletrônica. Um dos principais efeitos de uma

ligação dupla em um fosfolipídio é a indução de torção ou dobra, o que, por sua vez, afeta a forma geral da molécula de fosfolipídio. Para simular esse efeito, a ferramenta "Edge Loop" será utilizada para criar segmentos de anéis ao longo de cada cauda fosfolipídica. Esses anéis, posteriormente, servirão como pontos de apoio para realizar as dobras utilizando a ferramenta "Move".

Etapa 14: Em uma visão frontal completa do fosfolipídio (eixo Y), acesse o modo de edição e selecione uma das caudas para destacar todas as faces que compõem esse segmento, marcando-as em laranja. Para obter um melhor resultado, é recomendado realizar esse procedimento no modo de apresentação *wireframe* (Figura 51A).

Etapa 15: Com as faces que compõem a cauda selecionadas, utilize a ferramenta *edge loop* para criar um anel em torno da cauda. Faça isso utilizando a barra ferramenta lateral pressionando o atalho *Ctrl + R*. Clique duas vezes com o botão esquerdo do mouse para confirmar a ação (Figura 51B).

Etapa 16: Clique na prateleira de ferramentas, intitulada *loop Cut and slide* (Figura 51B).

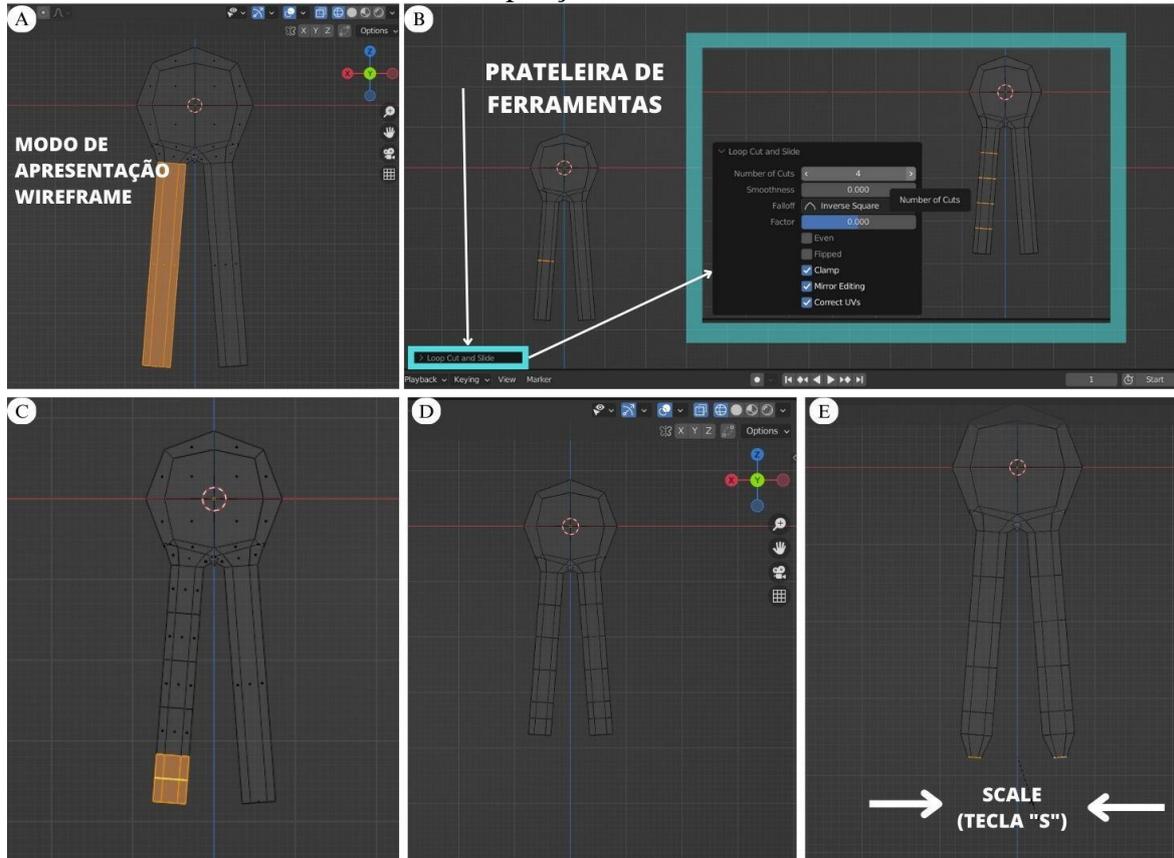
Etapa 17: Quando o layout abrir, defina o número de subdivisões em 4, e depois clique em qualquer canto da tela com o botão esquerdo para confirmar a ação. Desse modo teremos uma cauda dividida em 4 segmentos de tamanhos iguais (Figura 51B).

Etapa 18: Adicione outro *edge loop* no segmento mais externo da cauda. Este último segmento será importante para definir um acabamento na cauda do glicerídeo (Figura 51C).

Etapa 19: Faça o mesmo procedimento no outro eixo de simetria (Figura 51D).

Etapa 20: Diminua o diâmetro das faces deste último segmento, para mais ou menos um quarto do diâmetro do cilindro maior, utilizando a ferramenta *Scale* ou o atalho "S" para dimensionar sua escala (Figura 51E).

Figura 51 - A - Seleção de uma das caudas. B - Multiplicando Edge Loop. C - Edge loop extra na extremidade da cauda. D - Repetição na outra cauda. E - Acabamento das caudas.

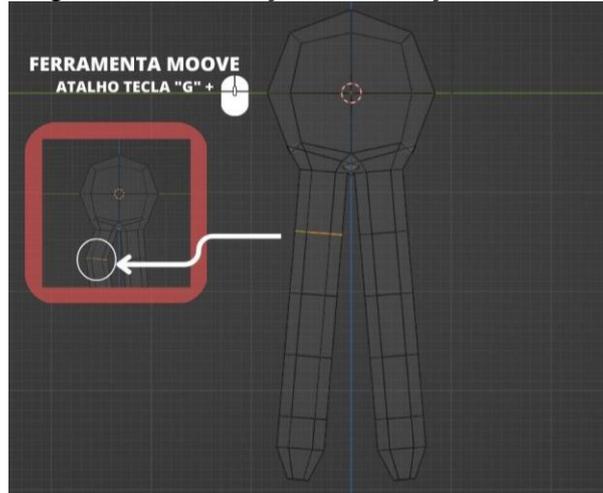


Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez criados os segmentos de arestas, já é possível incorporar as dobras de dupla ligação na cauda fosfolipídica. Para isso:

Etapa 21: Coloque o objeto em vista ortográfica frontal. A partir disso, no modo de edição, mude a orientação de um segmento de cauda selecionando-o e pressionando a tecla G ao mesmo tempo que move o cursor na mesma orientação (Figura 52).

Figura 52 - Mudança de orientação de aresta.

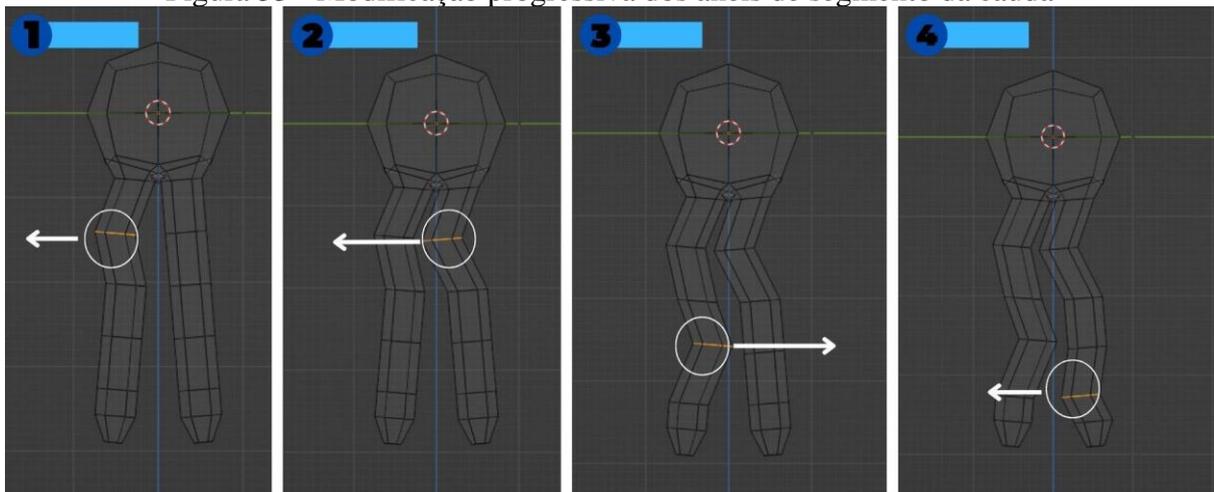


Fonte: Elaborado pelo autor

Certifique-se que o modo de seleção esteja definido em arestas, ao invés de vértices ou planos. Além disso, será necessário utilizar o recurso de visão *wireframe* para conseguir selecionar as arestas através de geometria da cauda. Do contrário, em visão Solid, não será possível selecionar o que está atrás, e desse modo, a modificação será realizada na metade visível da cauda.

Etapa 22 - Repita o procedimento da etapa 21 quantas vezes forem necessárias, de modo que o modelo se assemelhe à referência utilizada para o projeto (Figura 53).

Figura 53 - Modificação progressiva dos anéis de segmento da cauda

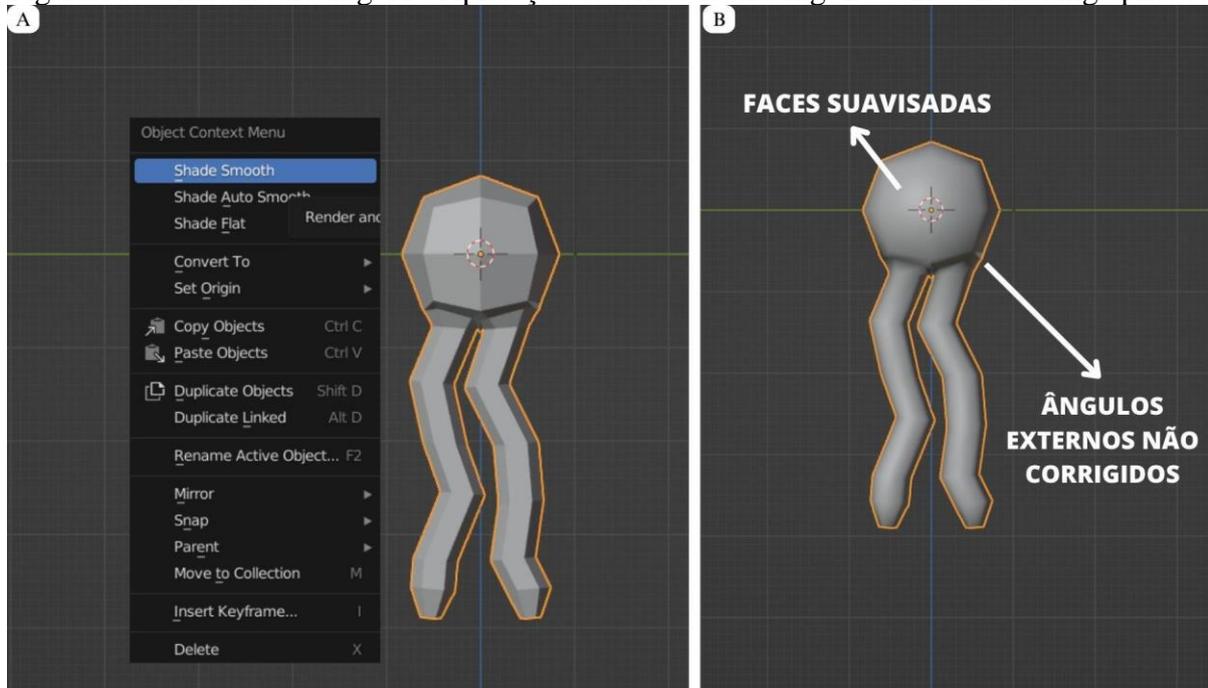


Fonte: Elaborado pelo autor

Ao fim dessa etapa, o fosfolipídio está quase pronto para constituir a camada fosfolipídica. O último passo é suavizar todos os ângulos deste objeto de modo que fique mais realista. Para isso, existem dois recursos indispensáveis no processo de modelagem de qualquer objeto: o *Smooth shading* e *Subdivision Surface*.

Etapa 23: Primeiro adicione o *Smooth shading*. Para isso, clique com o botão direito do mouse em cima do objeto, e depois em *Shade smooth* (Figura 54A). Desse modo o *Smooth shading* será aplicado e permitirá a visualização de um objeto *Low-poly*, ou seja, com uma baixa quantidade de polígonos, mas que ao mesmo tempo pareça suavizado e muito realista.

Figura 54 - Smooth Shading. A - Aplicação do Smooth shading. B - Smooth shading aplicado

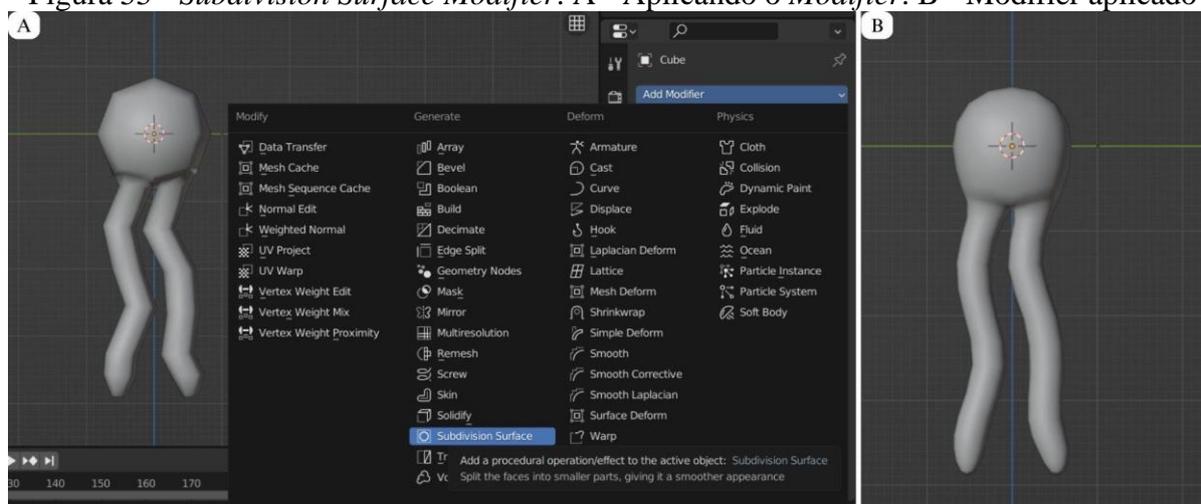


Fonte: Elaborado pelo autor

O *Smooth Shading* não corrige todos os ângulos lineares que aparecem, especialmente os do lado de fora do objeto (Figura 54B). Para que seja possível alcançar um melhor resultado, utilize o modificador *Subdivision surface* (Figura 55).

Etapa 24: Selecione o objeto e vá para o painel de propriedades à direita. Clique em *modifier propertie > add modifier> subdivision surface* (Figura 55A). Imediatamente será possível perceber a diferença, pois os ângulos externos que moldam o objeto estão mais suaves (Figura 55B).

Figura 55 - *Subdivision Surface Modifier*. A - Aplicando o *Modifier*. B - *Modifier* aplicado



Fonte: Elaborado pelo autor

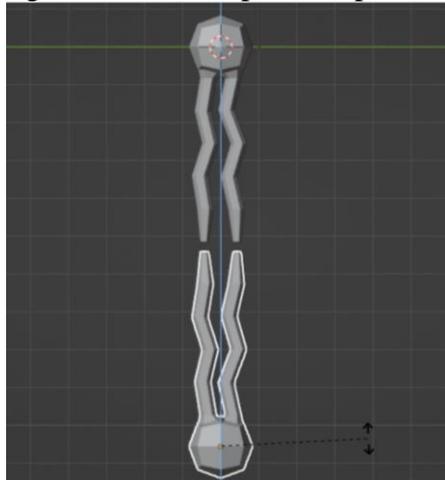
Pronto! Um fosfolipídio foi criado. Agora, se o objetivo é tornar este elemento parte de um sistema de bicamada será necessário replicá-lo algumas vezes.

### 5.4.3 Tornando o fosfolipídio parte de um sistema de bicamada

Uma vez que o fosfolipídio padrão tenha sido modelado, ele pode ser utilizado como modelo base para construir uma bicamada fosfolipídica. Além disso, é possível adicionar outros componentes constituintes dessa membrana, como proteínas e glicoproteínas. A seguir, é apresentada uma sequência de etapas com o objetivo de sugerir uma entre várias maneiras de modelar uma bicamada fosfolipídica, integrada por uma proteína transmembranar que conecta as duas camadas da membrana.

O primeiro passo para tornar o fosfolipídio parte de um sistema de bicamada é definir a unidade básica que irá compor a membrana. Por se tratar de uma bicamada, a unidade formadora do sistema será composta por dois fosfolipídios opostamente espelhados (Figura 56). Para chegar a esse resultado será necessário utilizar o fosfolipídio modelado e duplicá-lo. É recomendado utilizar o objeto modelo sem nenhum modificador ou efeito de suavização, pois isso facilitará as alterações necessárias. Siga as etapas a seguir:

Figura 56 - Fosfolipídios espelhados



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 1: Na interface, selecione o objeto que deseja duplicar clicando com o botão esquerdo do mouse.

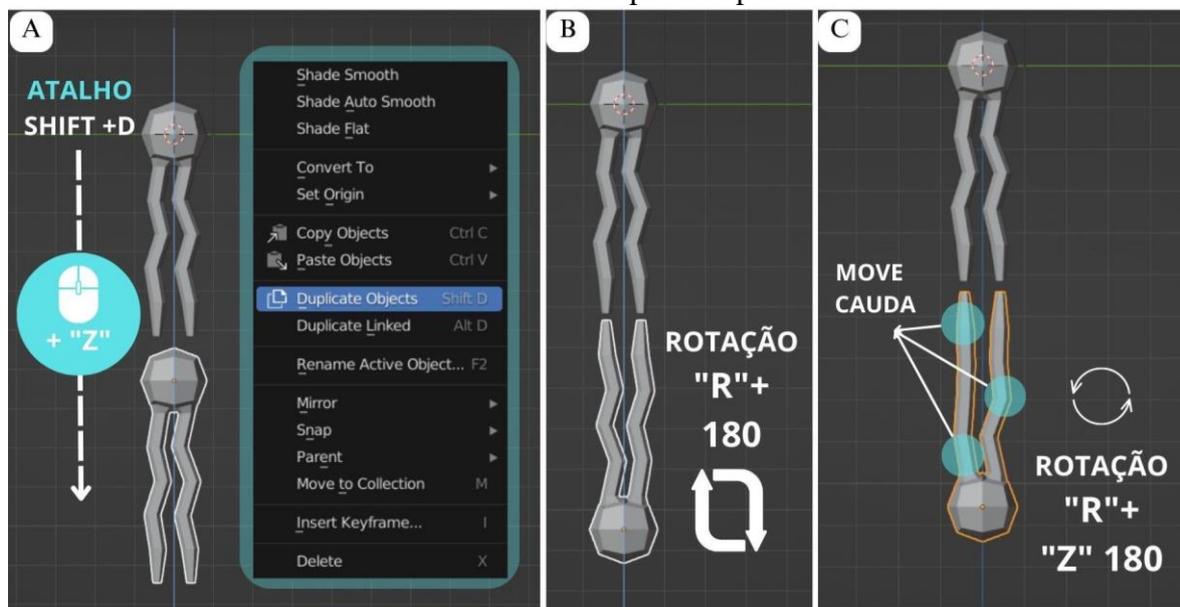
Etapa 2: Depois clique com o botão direito do mouse para abrir a aba de propriedades, e em seguida clique em *duplicate objects*. Também é possível utilizar o atalho pressionando Shift + D (Figura 57A).

Etapa 3: Ao realizar a duplicação, o mouse assumirá imediatamente a função de deslocamento da nova cópia. Utilize a tecla "Z" para definir o eixo de deslocamento e mova o objeto duplicado para uma nova posição logo abaixo do objeto original. Isso pode ser feito clicando e arrastando o objeto com o cursor do mouse ou utilizando as setas do teclado (Figura 57A).

Etapa 4: O próximo passo é mudar a orientação do novo fosfolipídio, de modo que ele fique em posição oposta ao original. Para isso, selecione o objeto, pressione a tecla "R" e digite o número 180 no teclado numérico (Figura 57B). Isso irá ativar a ferramenta de rotação e girar o objeto em um ângulo de 180°.

Etapa 5: A partir disso, é possível atribuir algumas características ao novo fosfolipídio que o diferencie do objeto original. Uma solução simples é rotacionar o objeto ao longo do eixo z pressionando as teclas "R" + "Z" e digitando 180 no teclado numérico. Além disso, também é possível realizar alterações na malha do novo objeto utilizando as ferramentas *move* para mover as caudas em direções diferentes (Figura 57C).

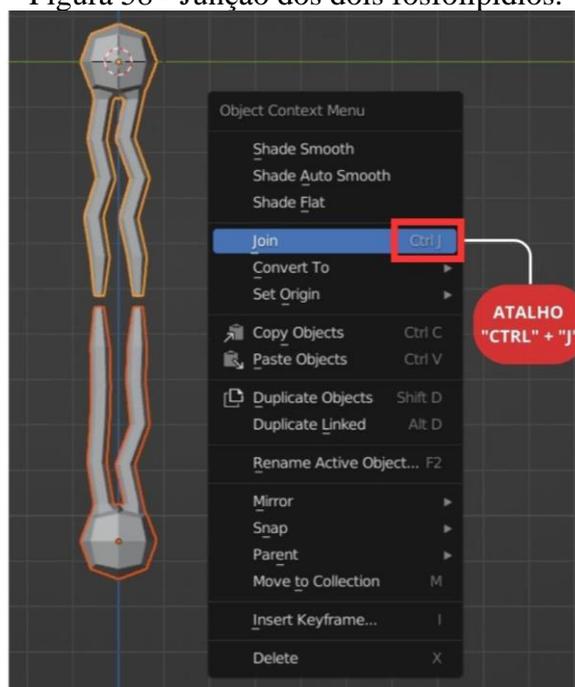
Figura 57 - A - Fosfolipídio duplicado. B - Rotação de 180° do objeto. C - Novas características no Lipídio duplicado



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 6: Agora é necessário fazer a junção dos dois objetos para tornar-se um só. Para isso selecione os dois objetos, e com o botão direito do mouse escolha a opção *join*, ou utilize o atalho "Ctrl" + "J" (Figura 58).

Figura 58 - Junção dos dois fosfolipídios.



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 7: Por fim, já é possível suavizar todos os ângulos do objeto utilizando o *Shade smooth* (Figura 34) e o modificador subdivision *surface* (Figura: 29).

Após concluir a etapa anterior, é necessário transformar o par de fosfolipídios em uma estrutura laminar, ou seja, criar várias cópias dessa unidade e alinhá-las para representar uma bicamada lipídica. Existem diferentes métodos para alcançar esse resultado, e eles variam de acordo com as necessidades e requisitos específicos de cada projeto. Para essa tarefa, será utilizado o recurso de instâncias, conhecido como *Instance* em inglês.

No Blender, as instâncias são um recurso poderoso que permite criar várias cópias de um objeto de forma integrada. Ao criar uma instância de um objeto, essa cópia não é separada dos dados do objeto original. Em vez disso, as instâncias estão vinculadas aos dados da malha do objeto original, o que significa que qualquer alteração feita no objeto original será refletida em todas as suas instâncias. É como se fosse uma imagem repetida várias vezes.

É importante ressaltar que todas as instâncias, ou cópias, estão emparelhadas com o objeto original e também com um objeto base para a projeção de suas cópias. Esse objeto pode ser sólido ou plano. Além disso, posteriormente, essas instâncias podem ser convertidas em objetos reais para atribuir características distintas a cada objeto.

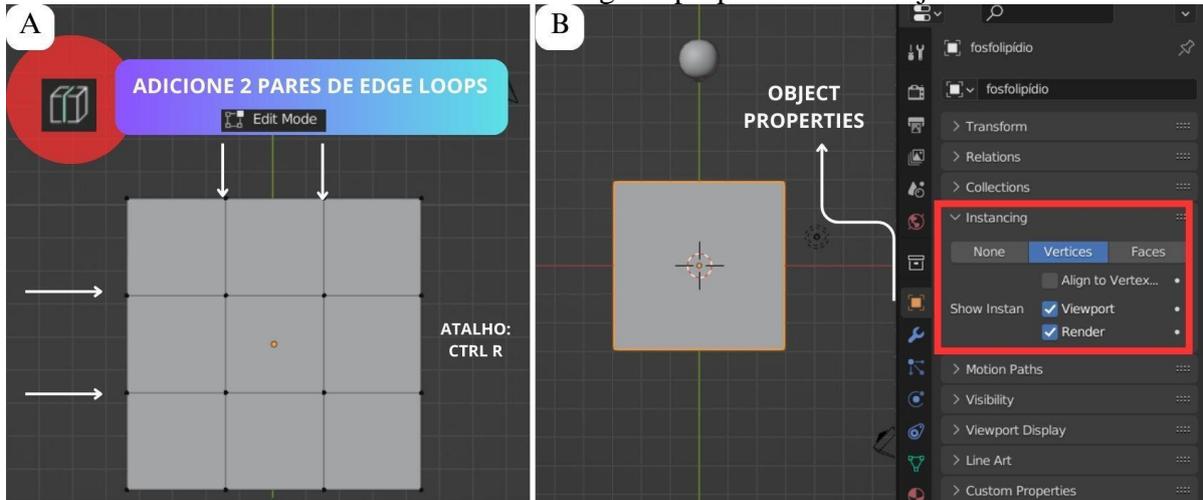
Nesse sentido, para criar uma bicamada fosfolipídica utilizando os recursos de instâncias, seguites as seguintes etapas:

Etapa 1: Adicione um plano à interface. Isso será útil para a projeção das novas instâncias.

Etapa 2: Em uma visão superior do novo plano, adicione dois pares de *Edge loops* à malha de modo a criar subdivisões na face (Figura 59A). Certifique-se de estar no modo edição para utilizar esta ferramenta.

Etapa 3: Ao retornar ao modo objeto, na barra de propriedades, busque pela opção de *instancing* no item *Object Properties*. Com o plano selecionado, defina a opção *Vertex* para determinar onde as novas instâncias serão geradas com base nos vértices desse plano.

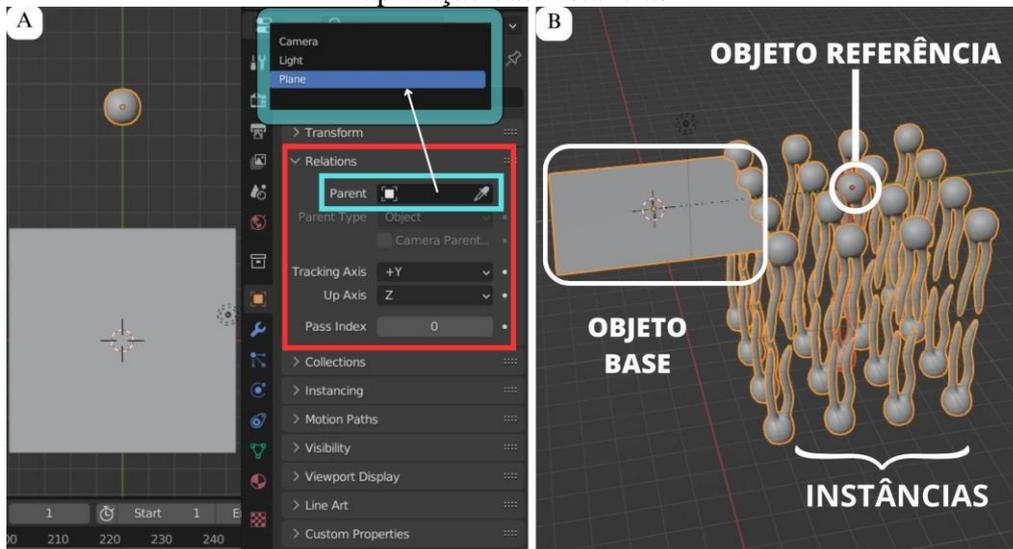
Figura 59 - A - Adição de dois pares de Edge Loops ao plano da interface. B - Definição de vértices na sessão instancing das propriedades de objeto



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 4: Com o fosfolípido selecionado, o próximo passo é clicar na opção *Relations*, localizada logo acima de *Instancing*, e depois na opção *Parent*. Isso abrirá a seção que permite relacionar e emparelhar o objeto original com a base de referência. Na caixa de seleção do item *Parent*, procure pela opção Plano (Figura 60).

Figura 60 - A- Definindo o plano como objeto para pareamento. B- Interface do Blender após aplicação das instâncias



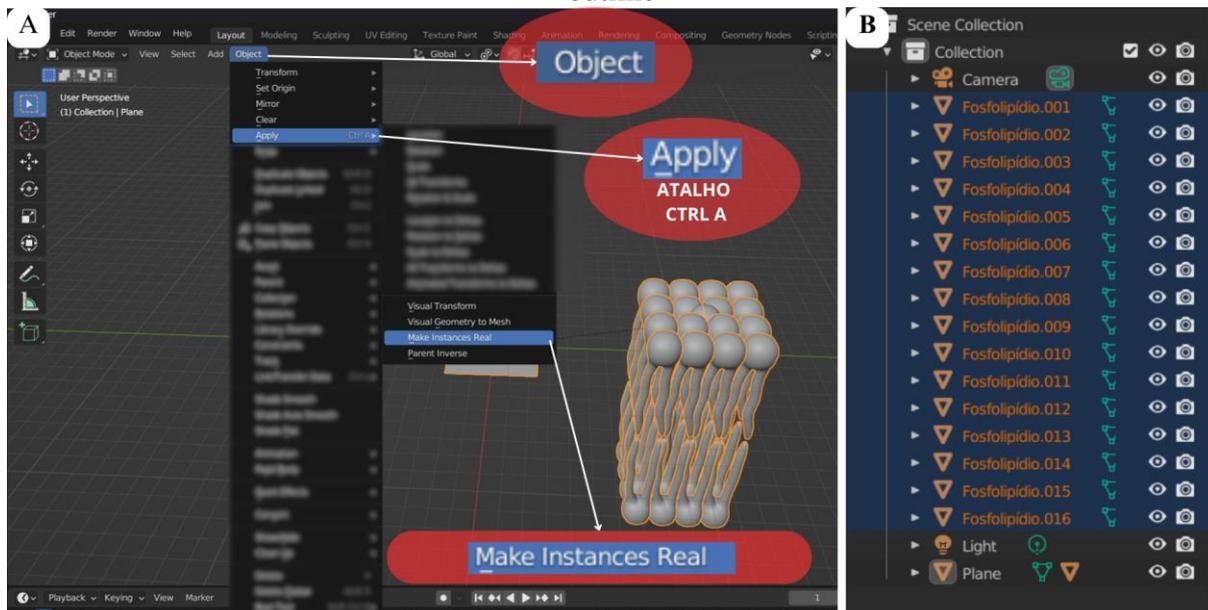
Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 5: Ao fazer isso, a interface apresentará os três elementos principais dessa cena: o objeto base, objeto referência e as instâncias (Figura 60B). É provável que em um primeiro momento

estes estejam emaranhados na interface, então, para organizá-los clique no objeto referência e mova-o de lugar na *viewport*. Também com o objeto original selecionado é possível aumentar a escala de modo que as instâncias fiquem mais juntas e conectadas como em uma membrana plasmática. Ao fazer isso, é possível que o fosfolípido referência esteja interferindo na organização da membrana plasmática, no entanto não é possível excluí-lo da interface. Deletar o objeto referência, ou o plano base para as instâncias, acarretará no desaparecimento da bicamada lipídica, pois as instâncias que constituem a membrana são feitas a partir do objeto original e, portanto, não são interpretadas como um objeto real pelo software.

Etapa 6: Para tornar as instâncias objetos reais e modificáveis, clique na opção *Object* do cabeçalho e depois em *apply*. Por fim, clique em *Make Instances Real* (Figura 61A). Certifique-se de estar no modo objeto e com as instâncias selecionadas. Imediatamente a *outline* exibirá os novos objetos criados a partir de cada instância nos vértices do plano base (Figura 61B).

Figura 61 - A - Tornando as instâncias objetos reais. B - Aparecimento dos novos objetos na outline



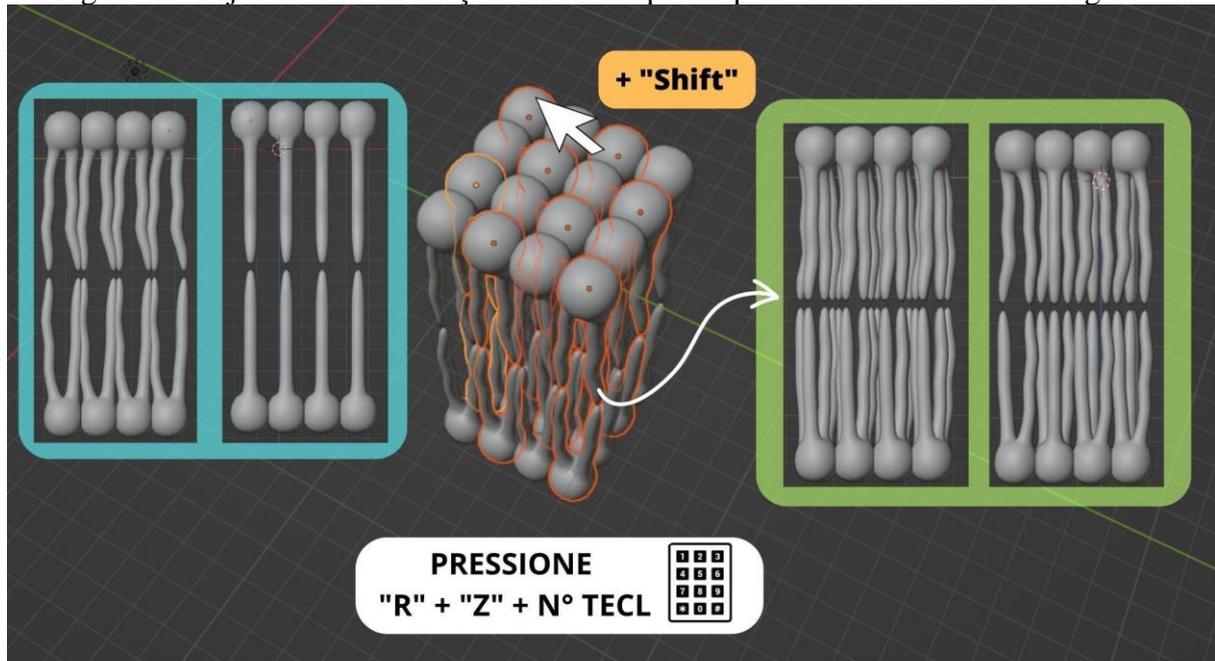
Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 7: A partir desse momento, já é possível excluir da interface o objeto original e o plano criado. Clique em cada item com o botão esquerdo e pressione a tecla X para excluí-los.

Etapa 8: Uma bicamada fosfolipídica simplificada será exibida na interface. No entanto, ela ainda parece muito padronizada e alinhada. Para tornar esse modelo um pouco mais orgânico,

podemos alterar a orientação de alguns fosfolipídios ao longo do eixo Z. Para fazer isso, você pode selecionar aleatoriamente alguns fosfolipídios da membrana, pressionando a tecla Shift para selecionar vários de uma vez. Em seguida, pressione a tecla R para iniciar a rotação, junto com a tecla Z para restringir o movimento ao longo desse eixo, e defina alguns ângulos de rotação usando o teclado numérico (Figura 62).

Figura 62 - Ajustando a orientação dos fosfolipídios para criar uma bicamada orgânica

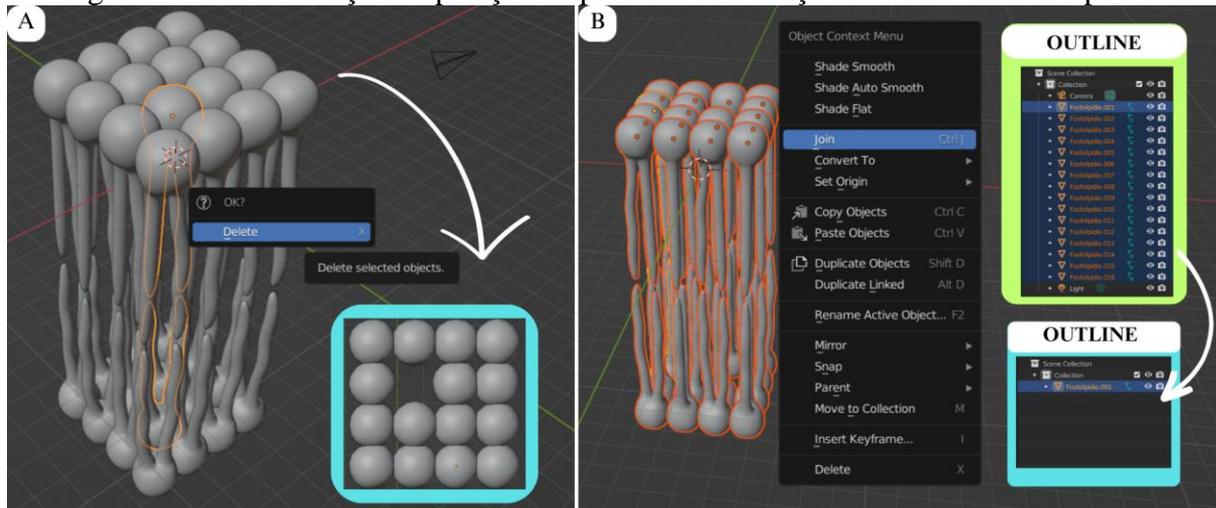


Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 9: O próximo passo é definir o local em que se pretende posicionar uma proteína transmembranar. A proteína ocupará o local de algum par de fosfolipídios, e, por essa razão, é necessário excluir esse objeto da membrana.

Etapa 10: Após essa etapa, o passo subsequente envolve reagrupar os fosfolipídios da de interface a fim de facilitar o processo de modelagem. Nesse sentido, comece selecionando todos os fosfolipídios da interface e clique com o botão direito sobre os objetos. Em seguida, procure pela opção *Join* no menu, a fim de uni-los em um único objeto.

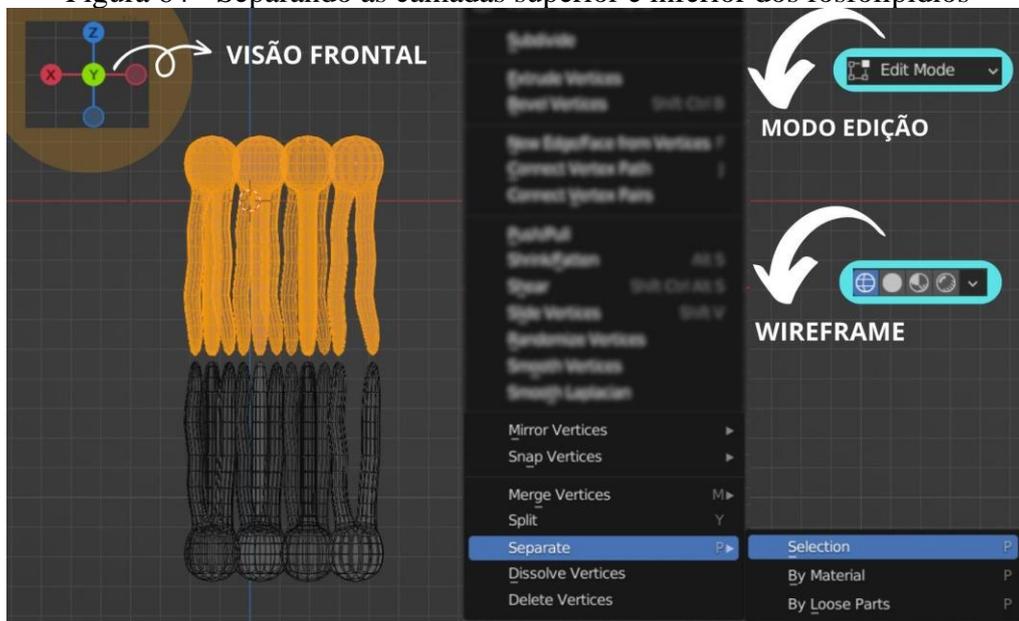
Figura 63 - A - Definição da posição da proteína. B - Junção de todos os fosfolipídios



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 11: Agora, selecione todos os fosfolipídios da camada superior e, ao pressionar o botão direito do mouse, escolha a opção *Separate* > *Selection* (Figura 64). Isso irá separar a camada superior da camada inferior, tornando a edição e a impressão desses objetos mais fáceis posteriormente. Renomeie e identifique os dois novos objetos gerados no layout.

Figura 64 - Separando as camadas superior e inferior dos fosfolipídios

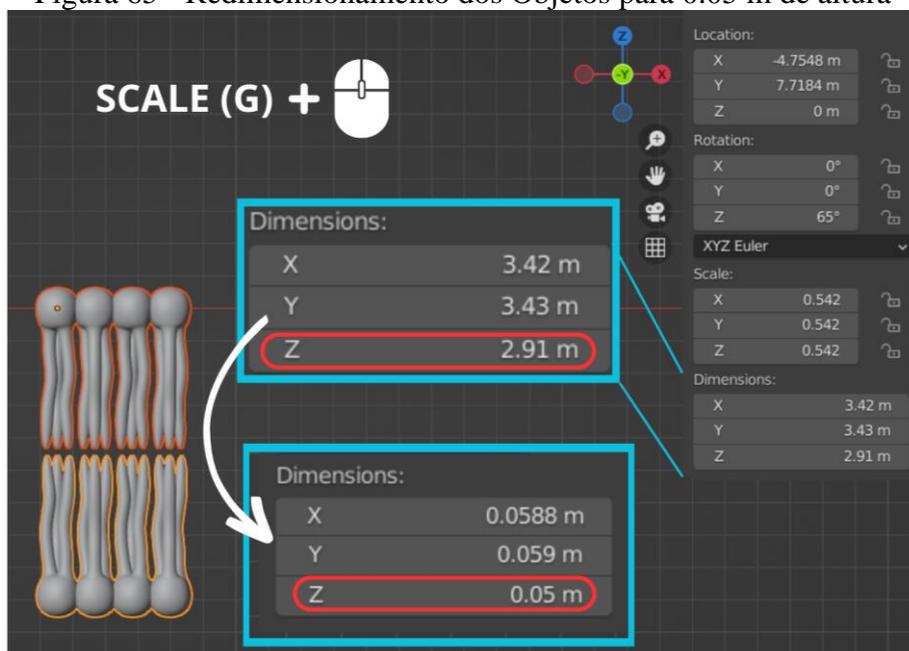


Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 12: Nesse momento é necessário definir o tamanho real que o objeto terá depois de passar pela impressão 3D. Neste exemplo, o tamanho final da bicamada lipídica deverá ter em torno de 10 ou 11 cm de altura. Para isso, ative o painel de propriedades pressionando a tecla “N” e selecione as duas camadas simultaneamente utilizando a tecla “Ctrl”.

Etapa 13: Com os dois objetos selecionados, diminua a dimensão dos objetos utilizando a ferramenta *scale* até atingir o valor de 0,05 m no eixo Z, ou 5 cm em cada uma das camadas de membrana.

Figura 65 - Redimensionamento dos Objetos para 0.05 m de altura

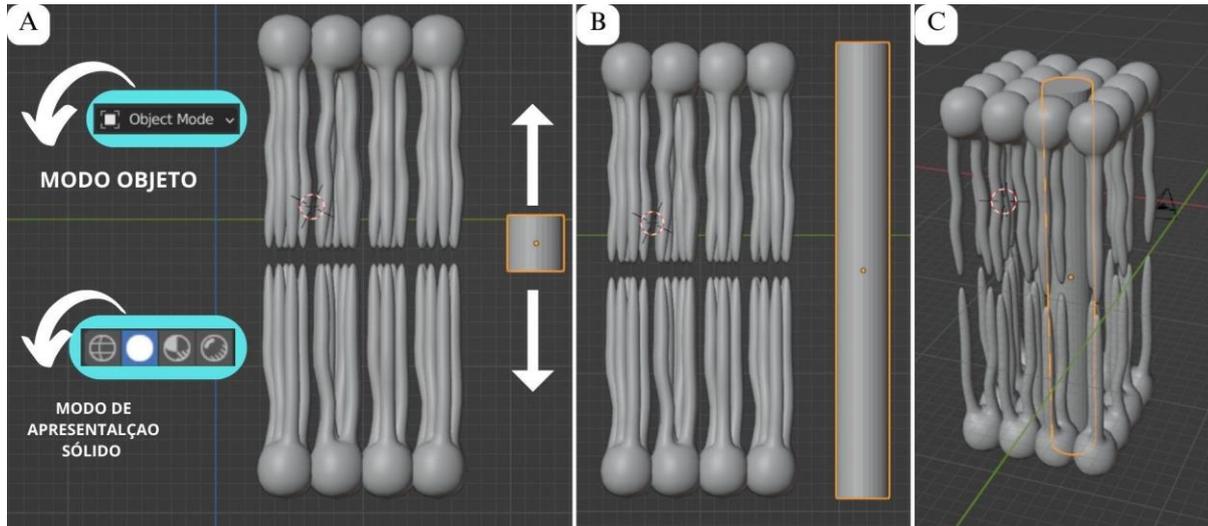


Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 14: Nesse momento, será adicionado a proteína transmembranar capaz de realizar a conexão entre as duas camadas lipídicas. Este trabalho utilizará um modelo de proteína simples em formato de cilindro. Nesse sentido, ative o modo de apresentação sólido e adicione um cilindro à interface. Certifique-se de estar no modo objeto (Figura 66A).

Etapa 15: Altere a escala e a dimensão do cilindro, de modo que este encaixe perfeitamente no espaço deixado pelo par de fosfolipídio (figura 66B-C). Utilize o recurso de vista da janela de visualização para facilitar essa tarefa (Figura 15A).

Figura 66 - A- Adicionando um cilindro. B - Dimensionado o cilindro. C - Posicionando o cilindro



Fonte: Elaborado pelo autor

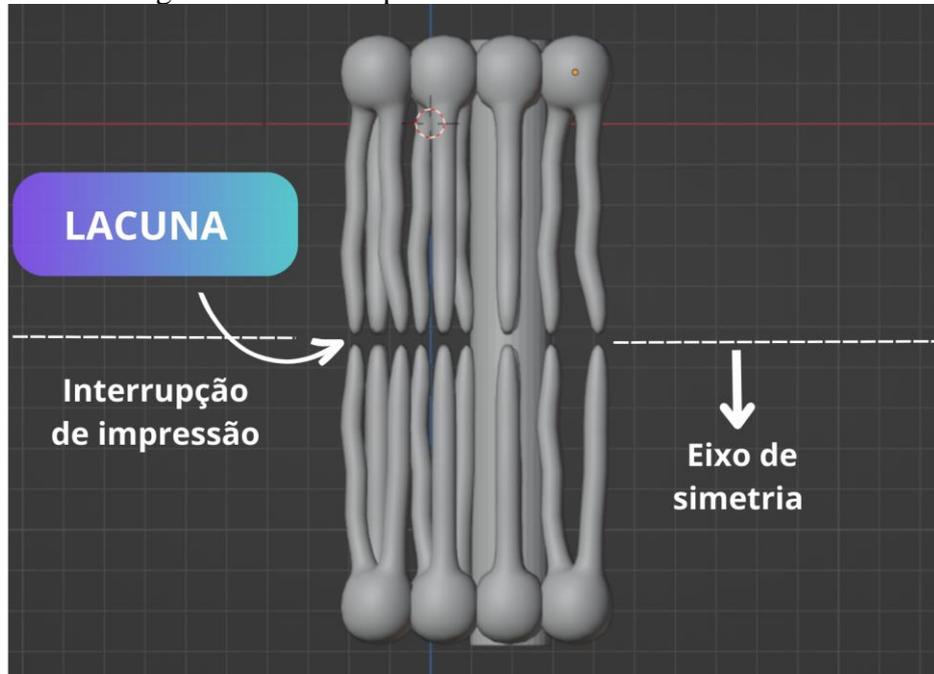
Finalizada essa última etapa, é necessário preparar a bicamada lipídica para ser impressa em uma impressora de filamento 3D. Isso significa, facilitar a materialização do objeto, de modo que não haja furos e lacunas que possam prejudicar a sua impressão.

É importante ressaltar que a bicamada lipídica é uma estrutura dinâmica em que as caudas hidrofóbicas dos fosfolipídios se agrupam no interior da bicamada, enquanto as cabeças hidrofílicas interagem com o ambiente aquoso em ambos os lados da membrana. No entanto, enquanto as cabeças polares dos fosfolipídios mantêm contato entre si através de ligações fosfodiéster, as caudas dos fosfolipídios não encostam ou tocam diretamente as caudas dos fosfolipídios opostos em uma membrana celular. Desse modo, fisicamente é necessário utilizar algum elemento que conecte as duas camadas durante e após a impressão, por esse motivo optou-se por definir uma proteína transmembranar para desempenhar essa função. Essa proteína será posicionada na região central da membrana, oferecendo suporte ao sistema.

No entanto, ainda existem muitos espaços vazios entre as caudas dos fosfolipídios. Esse fato pode causar problemas durante a impressão da peça, pois a impressão 3D não pode ocorrer "no ar". Essas lacunas na geometria da bicamada (Figura 67) precisam ser corrigidas antes de submeter o objeto à impressão. Uma solução possível é dividir o objeto em duas partes que se encaixam posteriormente. Para alcançar esse objetivo, neste trabalho foi desenvolvido um sistema de encaixe que envolve o uso de uma projeção paralelepípedo e um recesso complementar nas posições correspondentes. Neste caso, o cilindro será dividido em seu eixo

de simetria a fim de incorporar os elementos de encaixes (Figura 67). Para isso, prossiga com a etapa seguinte:

Figura 67 - Lacuna presente na membrana da bicamada



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 16: Desative a visualização das duas camadas da membrana. No modo edição e em *Wireframe* utilize a ferramenta *edge loop* para criar um anel transversal na porção central do cilindro (Figura 68).

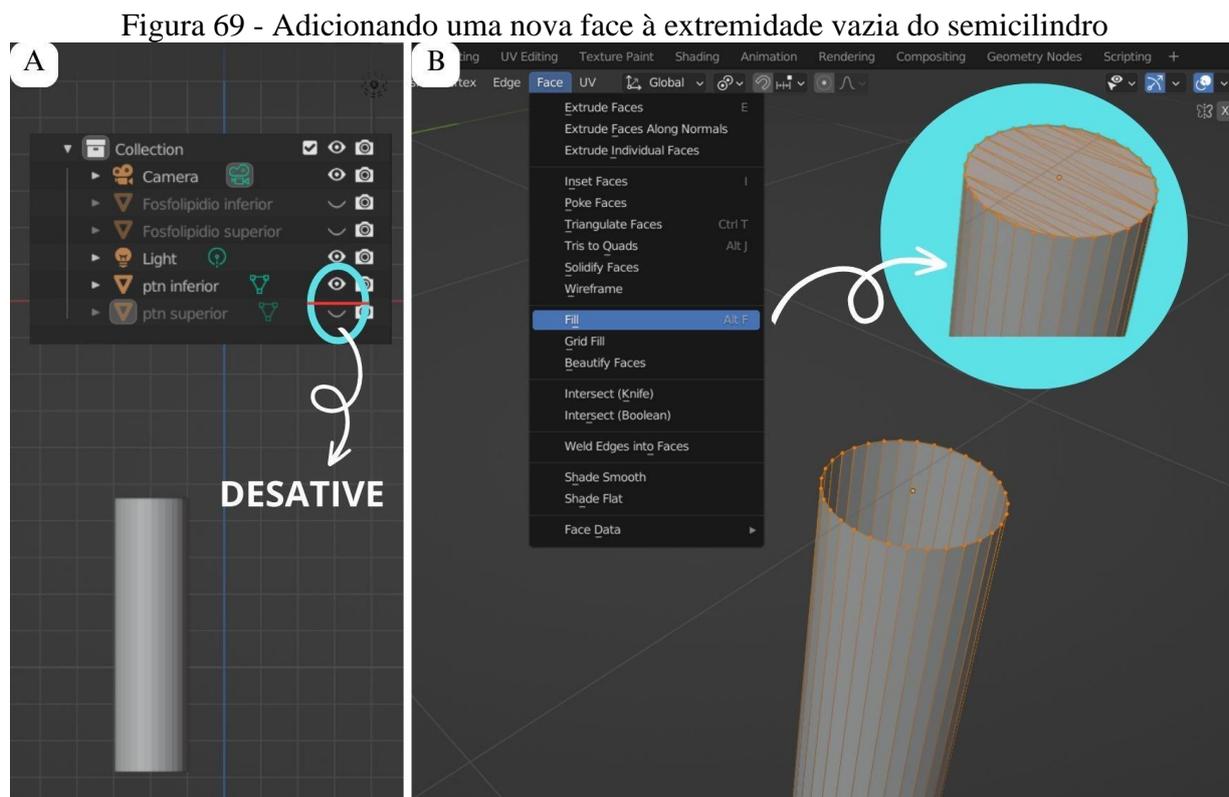
Figura 68 - Edge loop Adicionado ao cilindro



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 15: Na configuração de apresentação atual, selecione uma das metades do cilindro e, através do mesmo recurso utilizado para separar as duas membranas (Figura 64), desagrupe as duas partes do cilindro, identificando-as adequadamente no *layout*.

Etapa 16: Na sequência, desativando a visualização de uma metade do cilindro é possível notar que a geometria interna desse objeto não está preenchida. Isso é uma ocorrência comum quando um objeto é cortado no Blender. Para corrigir isso, selecione todos os vértices que compõem a extremidade vazia do semicilindro, e, no cabeçalho, clique em *face>fill*. Isso irá adicionar uma nova face ao cilindro de modo que quando for lido no programa de impressão será interpretado como um objeto sólido (Figura 69).



Fonte: Elaborado pelo autor

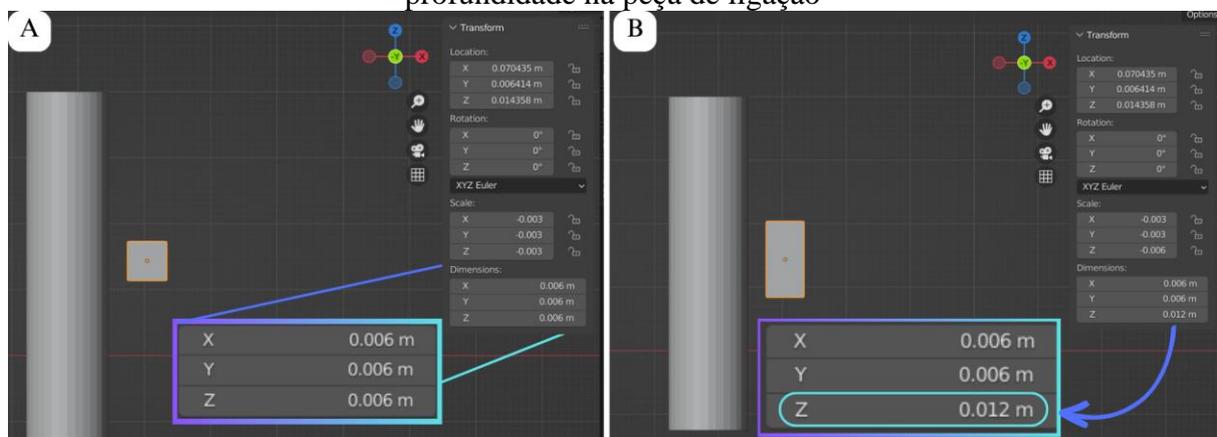
Etapa 17: Repita o procedimento anterior na outra metade do cilindro.

Etapa 18: Agora, é necessário criar os encaixes entre as duas partes do cilindro. Para isso, em vista frontal e no modo objeto, adicione uma nova malha à interface com o formato que deseja

criar o intertravamento. Neste trabalho, o cubo será utilizado para o encaixe das duas peças (Figura 70A).

Etapa 20: Desative a visualização da parte superior do cilindro. Redimensione e alinhe o cubo sobre o corte. Recomenda-se fazer uma alteração na dimensão do eixo de profundidade da peça. A fim de assegurar uma ancoragem eficiente entre as duas partes do cilindro, modificou-se a proporção do eixo Z da peça, ajustando-a para uma relação de 2:1, ou seja, de 0.006 m para 0.012 m (Figura 70B). Essa alteração proporciona uma maior consistência entre as duas peças.

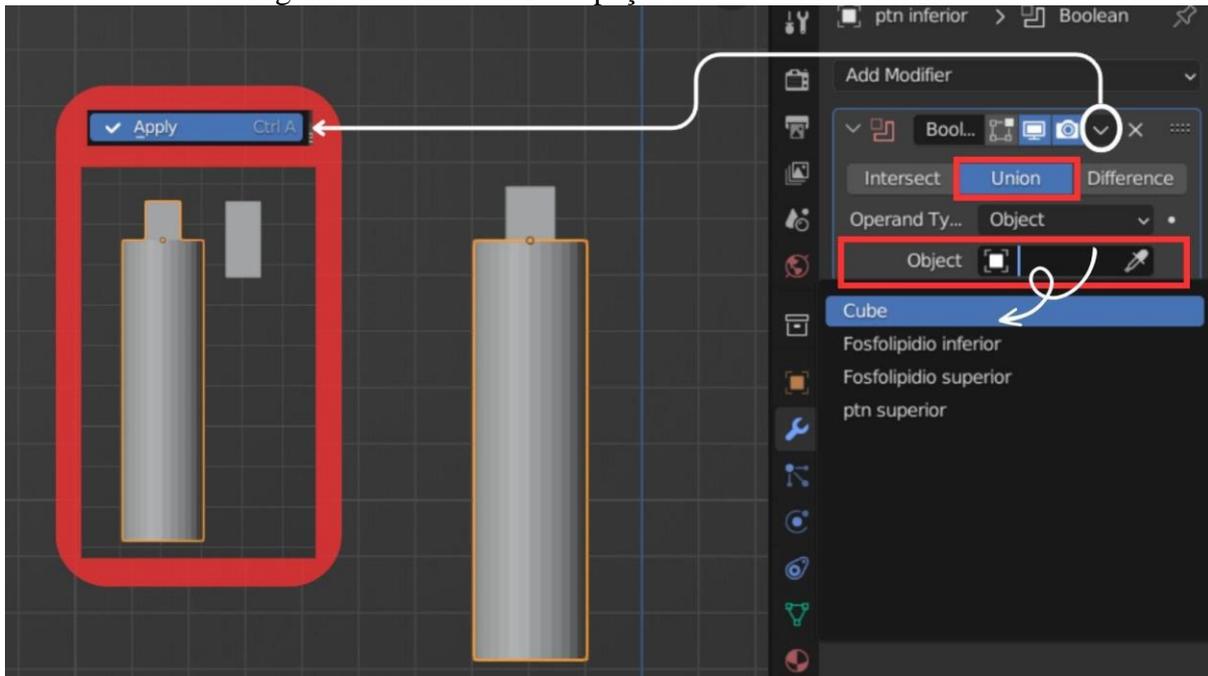
Figura 70 - A - Adição e dimensionamento do objeto de encaixe B - Alteração no eixo de profundidade na peça de ligação



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 21: Após alinhar e dimensionar a peça, é hora de utilizar o *Modifier Boolean* para unir o cubo ao cilindro inferior. Comece selecionando o cilindro e vá até a propriedade *Modifier* no painel de configurações. Clique em *Add Modifier* e escolha *Boolean*. Na seção do modificador, selecione a opção *Union* e, na aba *Object*, escolha o objeto cubo (Figura 71). Ao aplicar essa modificação, o cubo será integrado ao cilindro como parte desse objeto. Vale ressaltar que o cubo original continuará existindo como um objeto independente. Após realizar a união entre as duas partes, desative a visualização do cilindro inferior e ative a visualização do cilindro superior, pois na sequência será realizado um procedimento inverso para esse objeto.

Figura 71 - União entre as peças cubo e cilindro inferior



Fonte: Elaborado pelo autor

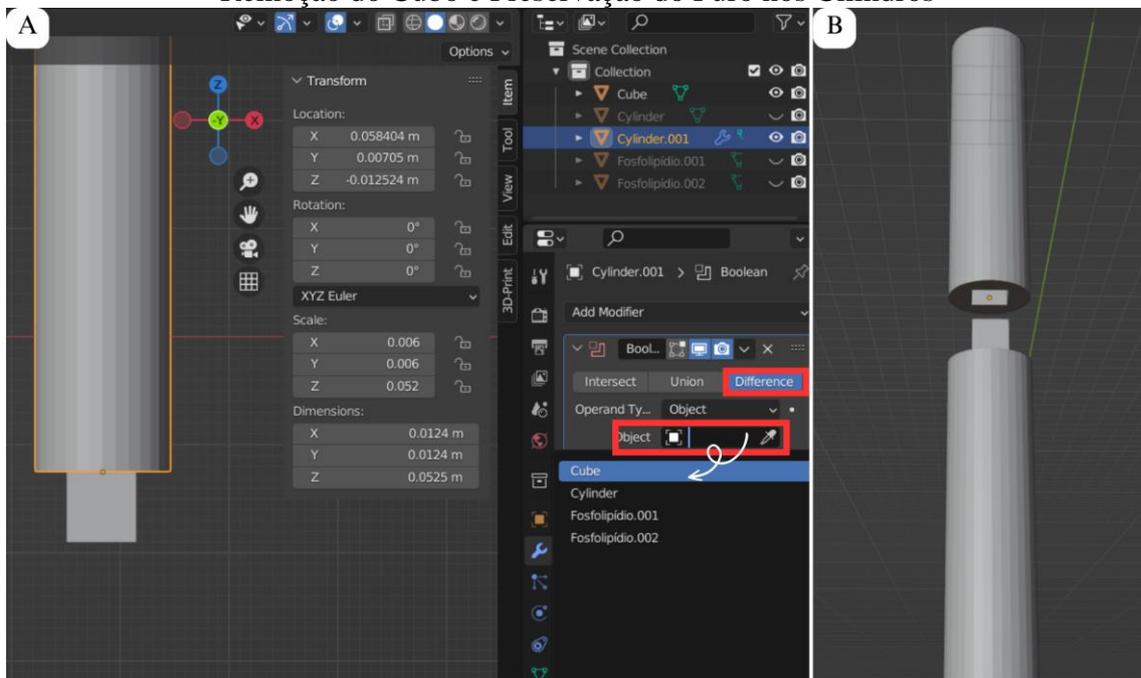
Etapa 22: Antes de prosseguir com a operação, é importante garantir que exista uma folga adequada entre as peças de encaixe, de modo que o furo tenha uma dimensão ligeiramente maior do que a projeção que irá conectar o cilindro. Para realizar esse ajuste comece selecionando o cubo e, em seguida, altere suas dimensões no eixo X e Y utilizando a barra lateral ou as ferramentas de dimensionamento disponíveis no software. Recomenda-se adicionar uma folga de quatro milímetro entre as paredes do objeto de encaixe. Isso permitirá que o furo seja ligeiramente maior do que a projeção do cilindro, proporcionando uma margem de folga adequada para o encaixe. Certifique-se de que as dimensões do cubo foram ajustadas corretamente antes de prosseguir com a operação de união ou subtração das peças. Essa etapa garantirá uma conexão adequada entre o cilindro e o objeto de encaixe, considerando a folga necessária para uma montagem precisa.

Etapa 23: Nesse momento, ao invés de unir as duas partes, o cubo agora funcionará como um molde para criar um furo no cilindro superior. Utilize novamente o *Modifier Boolean*, selecionando o cilindro superior desta vez, e repita o processo descrito anteriormente, mas desta vez escolhendo a opção *Difference*, em vez de *Union*. Na aba *object*, selecione o objeto *cube*. Assim, o cubo será usado para criar um furo no cilindro superior, resultando na forma desejada para o objeto (Figura 72A). Dessa forma, por meio do *Modifier Boolean*, é possível realizar as

operações de união e subtração entre as partes, garantindo uma integração adequada entre o cubo e os cilindros inferiores e superiores, respectivamente.

Etapa 24: Com a última modificação aplicada, agora é possível remover o cubo que foi utilizado para criar os encaixes. Após verificar que o furo e o encaixe estão presentes nos dois cilindros, é seguro proceder com a exclusão do cubo. Ao remover o cubo, é importante observar que o furo e o encaixe permanecerão intactos nos dois cilindros (Figura 72B). Essa etapa conclui com sucesso o processo de criação dos encaixes nos cilindros, resultando em uma conexão precisa e adequada entre as peças.

Figura 72 - A - Criação de Furo no Cilindro Superior Utilizando o Cubo como Molde. B - Remoção do Cubo e Preservação do Furo nos Cilindros

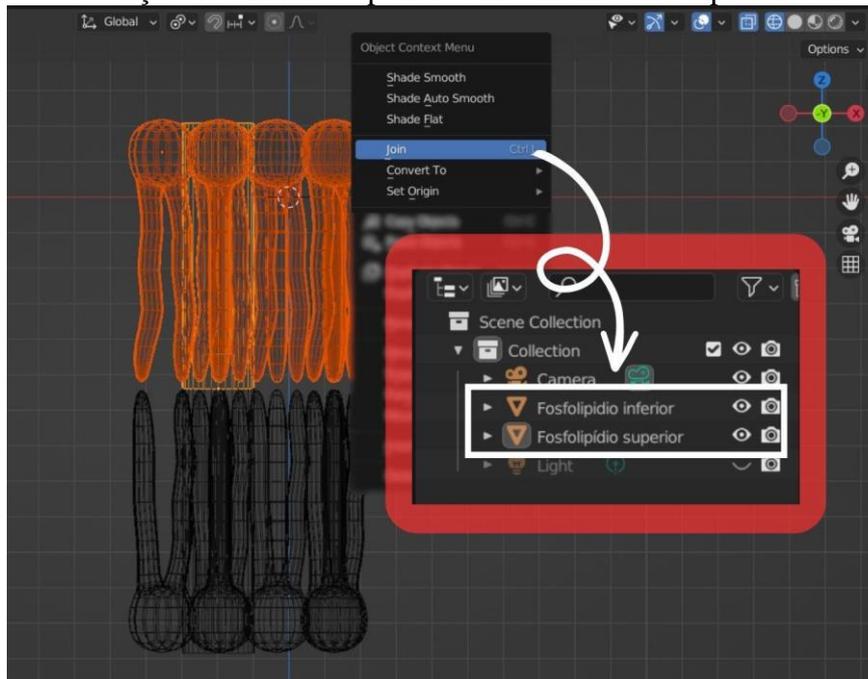


Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 25: Ative a visualização de todos os objetos de interface.

Etapa 26: No modo edição em *wireframe*, faça a junção de todos os objetos da membrana superior e, em seguida, faça o mesmo para os objetos da membrana inferior, seguindo o procedimento especificado na etapa 10 (Figura 73).

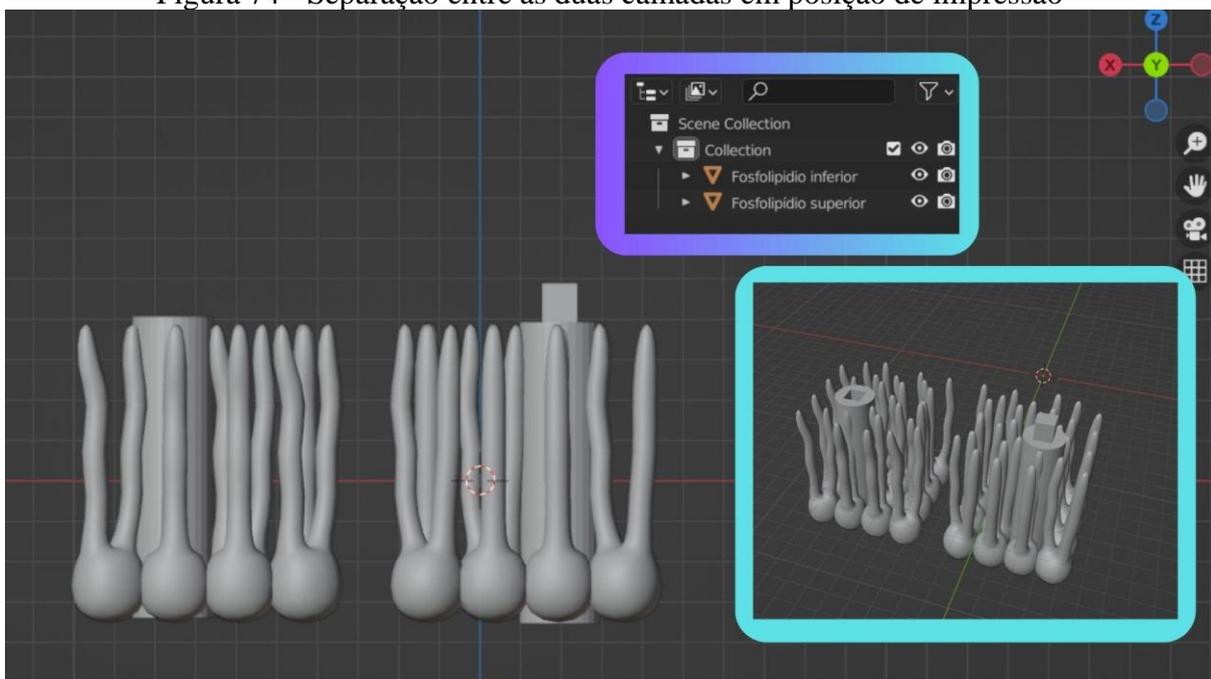
Figura 73 - Junção do cilindro superior com a membrana superior e vice-versa



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 27: Após a conclusão desta última etapa, agora você pode mover livremente os objetos e posicioná-los de forma alinhada, buscando uma disposição adequada para a impressão final (Figura 74).

Figura 74 - Separação entre as duas camadas em posição de impressão



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 5.4.4 Tornando o fosfolipídio peças individualmente encaixáveis

Outro modo de aproveitar os recursos oferecidos pelo Blender para impressão dos fosfolipídios é por meio da transformação dessas moléculas em peças individualmente encaixáveis através das ferramentas de modificação do Blender. Essa abordagem abre um leque de possibilidades no desenvolvimento didático de características e propriedades da membrana celular, estimulando uma interação dinâmica e ativa entre os principais componentes da bicamada.

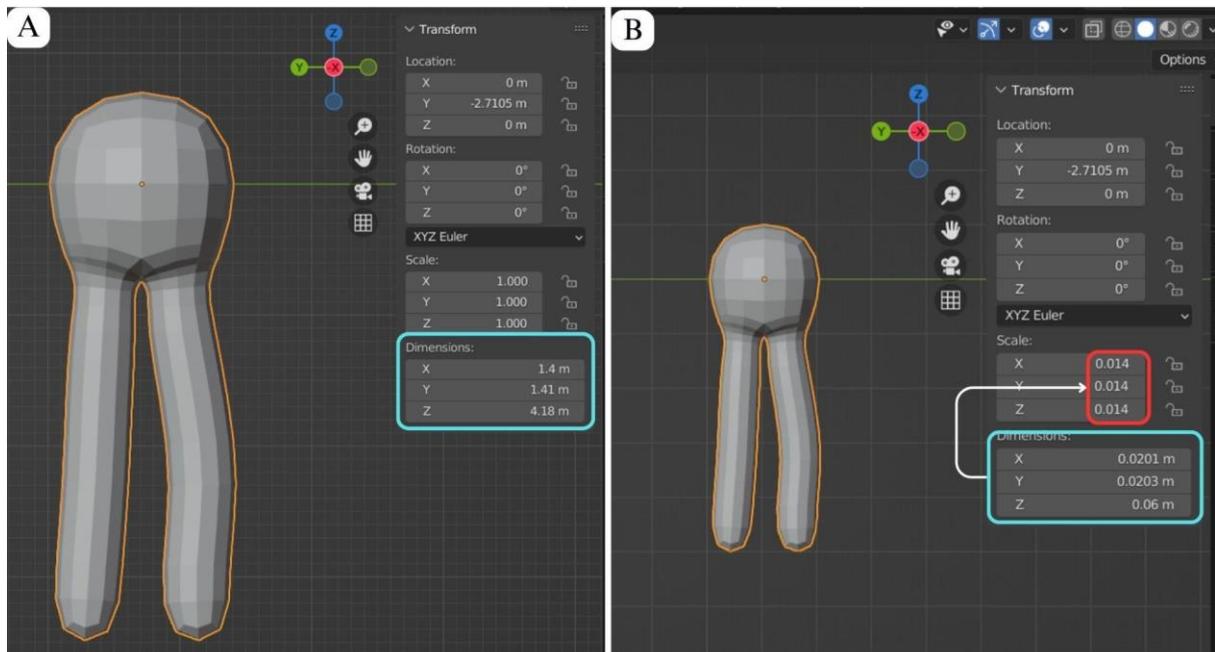
O primeiro passo para tornar os fosfolipídios peças que se encaixam fisicamente em um sistema de membrana é garantir que o objeto tenha uma escala adequada. O Blender, como muitos outros softwares de modelagem 3D, geralmente começa com uma escala desproporcional por padrão. Isso significa que o tamanho dos objetos ou modelos importados para o Blender pode não ser representado com precisão em relação às medições do mundo real. Para lidar com a escala desproporcional do Blender, é importante estabelecer uma escala consistente e apropriada para o objeto.

Para isso, é necessário, em primeiro lugar, estabelecer o tamanho real desejado para o objeto após a impressão. Neste trabalho, para fabricação dos fosfolipídios individualmente encaixáveis, foi estabelecido um tamanho real de 6 cm de altura, ou 0,06m no eixo Z. Por isso, antes de iniciar a modificação do modelo, é necessário ajustar a escala do modelo no software. Nesse sentido:

Etapa 1: No Blender, vá até o painel *Properties* (ativado ao pressionar a tecla "N" no *3D Viewport*) e verifique a dimensão efetiva do objeto (Figura 75A).

Etapa 2: Com o botão esquerdo do mouse, selecione o objeto e utilize a ferramenta *scale* para diminuir gradativamente sua dimensão, até chegar ao resultado desejado. Ao comparar com sua versão anterior, é possível perceber que a escala do objeto foi proporcionalmente alterada com sua dimensão. Por padrão é fundamental manter a escala dos objetos sempre em "1", pois isso garante uma precisão e consistência ao operar com outros objetos (Figura 75B).

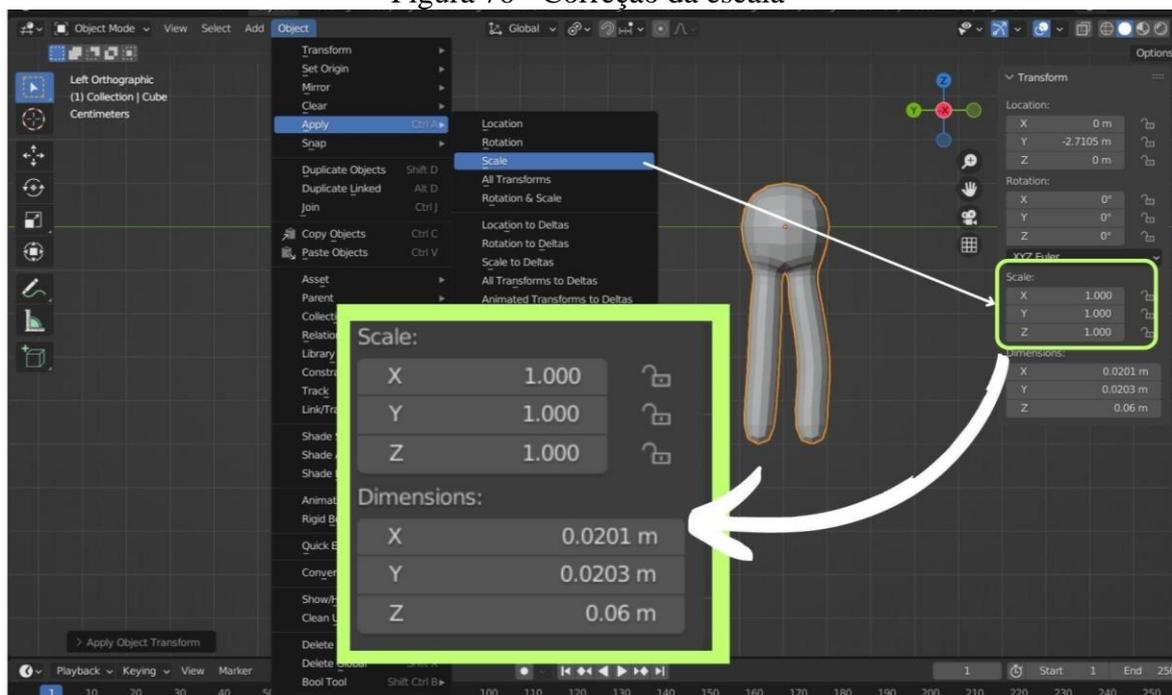
Figura 75 - Dimensão do objeto. A – Dimensão inicial. B – Ajuste dimensional e efeito sobre a escala.



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 3: Para definir esta dimensão como a nova referência de escala para a interface, selecione a aba *object* do cabeçalho e em seguida clique em *apply>scale* (Figura 76).

Figura 76 - Correção da escala



Fonte: Elaborado pelo autor

Este procedimento garante que as peças de encaixe que compõem a membrana fosfolipídica possuam dimensões e escala apropriadas. Além disso, após a conclusão da modelagem e a transferência do objeto para um software de impressão, ele estará pronto para ser fatiado e encaminhado à impressora. Com as dimensões corretas, será viável efetuar quaisquer modificações necessárias para a integração desse objeto em um sistema.

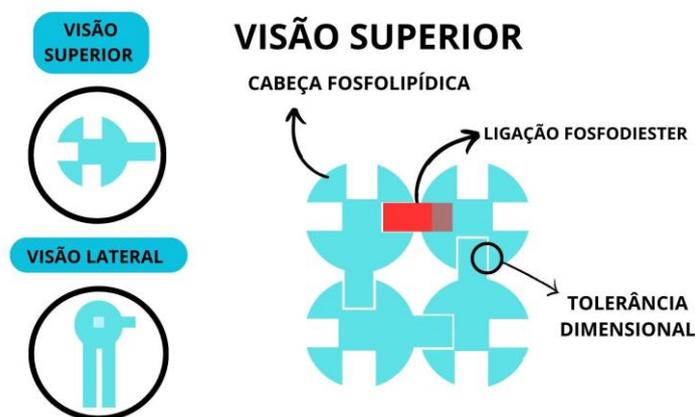
### Sistema de Encaixe

A etapa seguinte consiste em estabelecer um sistema de encaixe que permita a formação de uma bicamada fosfolipídica. Para alcançar esse objetivo, neste trabalho foi desenvolvido um sistema de encaixe que envolve o uso de uma projeção paralelepípeda e três recessos complementares localizados em posições correspondentes para o ajuste e formação da camada lipídica.

A projeção e os recessos estão localizados na cabeça polar do objeto. A projeção atua como um ponto de ancoragem e alinhamento das peças, enquanto os três recessos adjacentes são projetados para se encaixarem perfeitamente com as partes complementares de outros fosfolipídios, garantindo um ajuste preciso e seguro. A presença de um maior número de recessos em relação à projeção proporciona uma maior variedade de combinações possíveis para o encaixe (Figura 77).

Durante o processo de modelagem, é essencial considerar a tolerância dimensional nos recessos da peça. Recomenda-se uma tolerância de 0,4 mm para acomodar pequenas variações dimensionais, garantindo uma montagem suave e mais precisa entre as peças. Isso é fundamental para obter uma estrutura coesa e funcional.

Figura 77 - Sistema de encaixe entre fosfolipídios

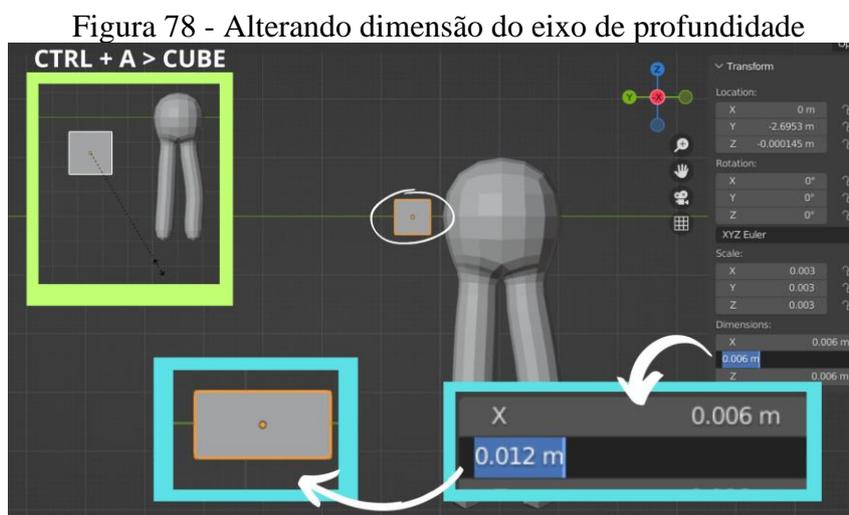


Fonte: Elaborado pelo autor

Para incorporar essas projeções e recessos no fosfolipídio modelado, siga as seguintes etapas:

Etapa 1: Adicione um cubo à interface. Dimensione-o até assumir um tamanho que julgue adequado para servir como uma projeção de encaixe. Os valores utilizados nesse exemplo foram de seis milímetros de aresta, ou seja, 0.006 m x 0.006 m x 0.006 m.

Etapa 2: Faça uma alteração na dimensão do eixo de profundidade da peça. A fim de assegurar uma ancoragem eficiente entre os fosfolipídios, modificou-se a proporção do eixo y de peça, ajustando-o para uma relação de 2:1, ou seja, de 0.006 m para 0.012 m (Figura 78). Essa alteração proporciona uma maior consistência entre as duas peças.

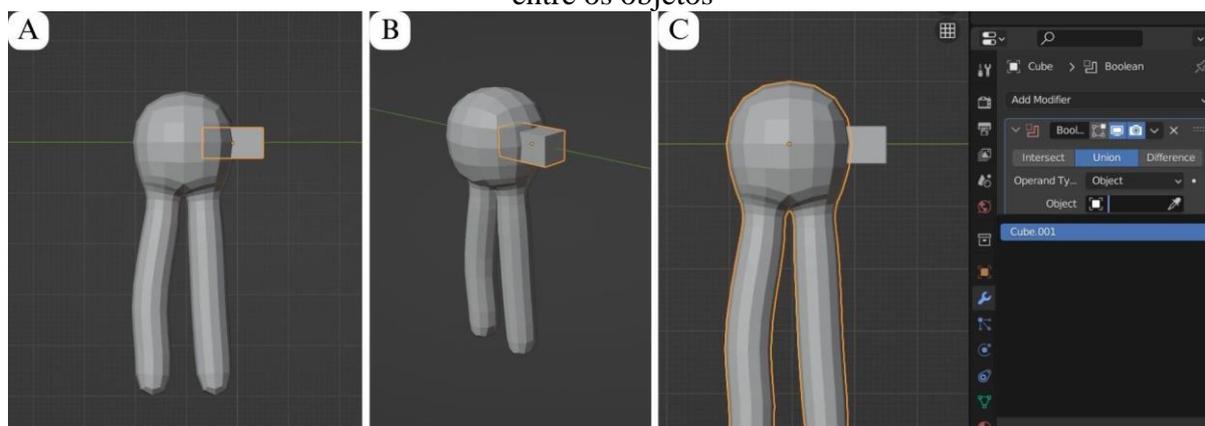


Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 3: Alinhe o paralelepípedo simetricamente na porção lateral da cabeça polar do fosfolipídio.

Etapa 4: Uma vez alinhado e dimensionado o paralelepípedo, utilize o *Modifier Boolean* para fazer a união entre o paralelepípedo e o objeto. Com o fosfolipídio selecionado, vá até a propriedade *modifier* e clique em *add modifier > Boolean*. Nessa sessão, clique na opção *Union*, e, na aba *object*, selecione o objeto *cube* (Figura 79). Após ter feito a união entre as duas partes, será necessário produzir o furo de encaixe utilizando a mesma ferramenta e o paralelepípedo na porção contrário do lipídio.

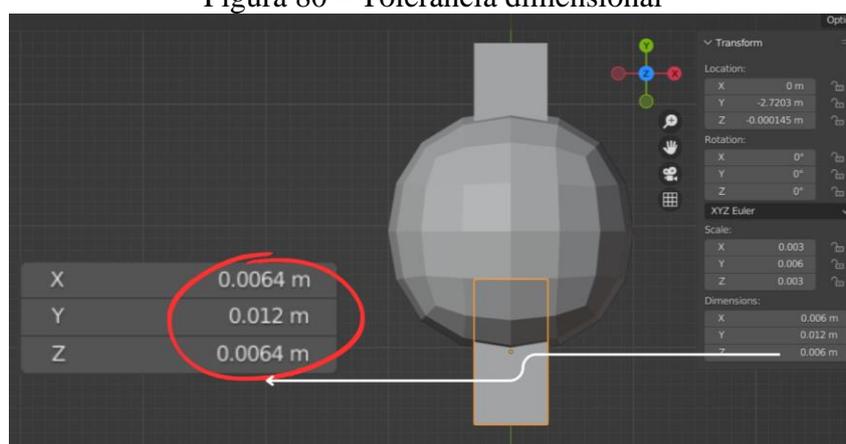
Figura 79 - A - Alinhamento da projeção. B - Vista ortogonal do alinhamento. C - União entre os objetos



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 5: No entanto, antes de prosseguir, é essencial assegurar a presença de uma folga entre as peças de encaixe, permitindo que o recesso tenha uma dimensão ligeiramente maior do que a projeção que conectará os dois fosfolipídios. Para realizar isso, clique no paralelepípedo e ajuste suas dimensões nos eixos X e Y utilizando a barra lateral. Uma tolerância dimensional de 0,4 mm será empregada entre as paredes do objeto de encaixe. Neste momento, o paralelepípedo servirá como base para a criação do recesso, portanto, aumente suas dimensões em 0,004 metros nos eixos X e Y (Figura 80).

Figura 80 – Tolerância dimensional



Fonte: Elaborado pelo autor

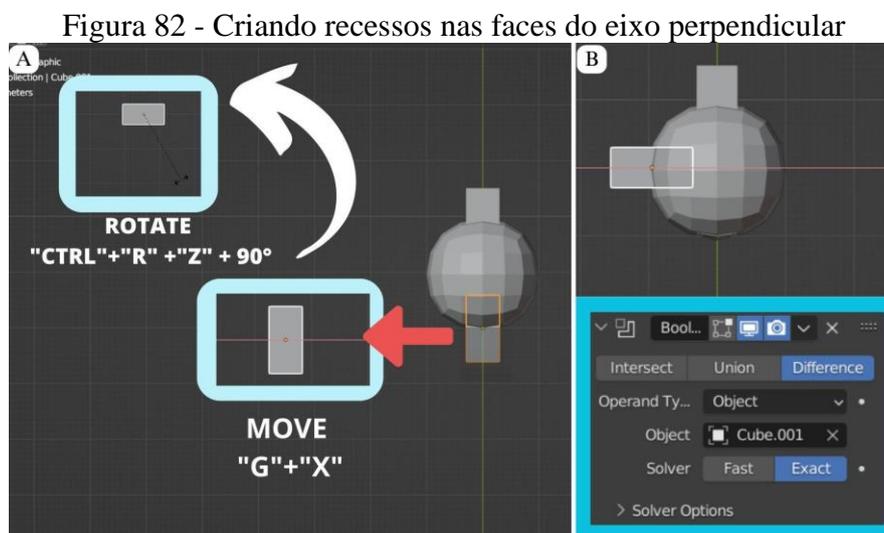
Etapa 6: Desse modo, alinhe o novo paralelepípedo na porção oposta da projeção criada. Se necessário, fixe o movimento no eixo de deslocamento para garantir maior precisão. (Figura 81A). Com o fosfolipídio selecionado e na propriedade *modifier*, clique em *add*

*modifier>Boolean*. Nessa sessão, clique na opção *Difference* e, na aba *object*, selecione o objeto *cube* (Figura 81B).



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 7: Agora, é necessário criar os recessos nas faces do eixo perpendicular. Para fazer isso, selecione o paralelepípedo e realize uma rotação de 90° ao longo do eixo Z, de modo que as faces estejam posicionadas corretamente (Figura 82A). Em seguida, siga o mesmo procedimento realizado na etapa anterior para criar os recessos nessas faces (Figura 82B).



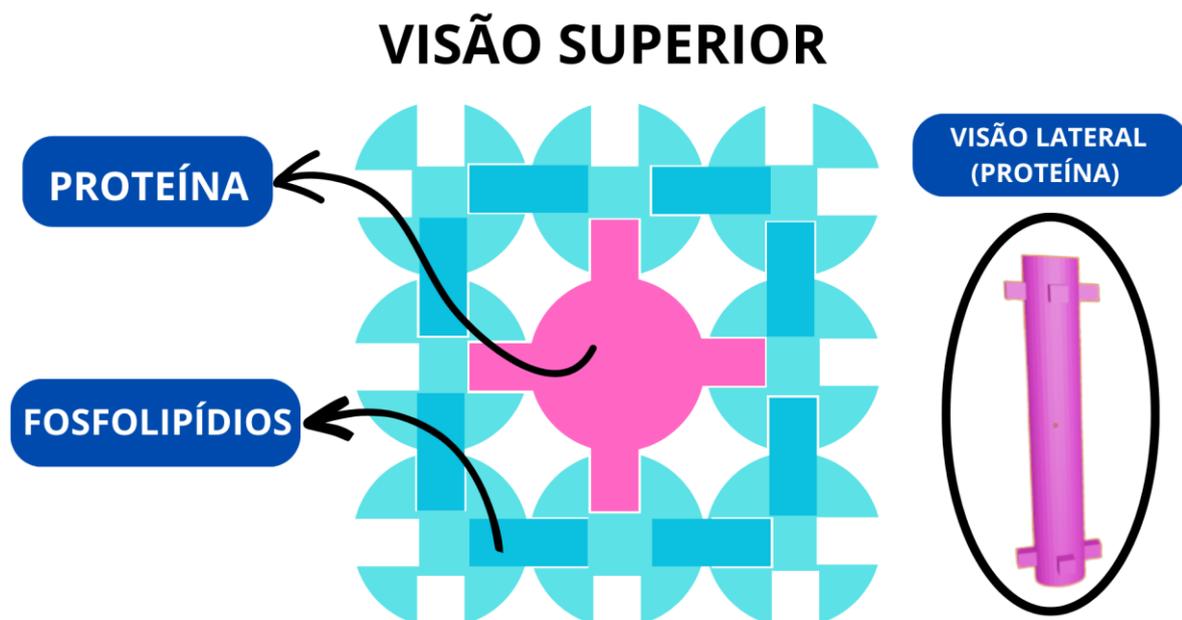
Fonte: Elaborado pelo autor

#### 5.4.4.1 Adicionando proteínas ao sistema

Finalizada essa última etapa, o fosfolipídio modelado contará com uma projeção e três recessos interconectáveis. Esse componente é fundamental e pode ser reproduzido em várias cópias para formar uma camada lipídica. No entanto, uma vez que a membrana plasmática é formada por uma bicamada fosfolipídica é necessário criar um objeto capaz de conectar essas duas partes, haja visto que não há contato direto entre as caudas fosfolipídicas imediatamente opostas. Esse objeto de conexão pode ser uma proteína transmembranar capaz de se ligar aos fosfolipídios de cada extremidade da membrana.

Existem diferentes maneiras de se modelar uma proteína, neste trabalho será utilizado um modelo simples, porém capaz de desempenhar a função de conexão necessária. A proteína será modelada em um formato cilíndrico, com um diâmetro próximo ao de uma unidade fosfolipídica e um comprimento um pouco maior que o de dois fosfolipídios, a fim de garantir a presença de um espaço lacunar entre as caudas dos fosfolipídios. O sistema de encaixe da proteína se estabelece através de quatro projeções em cada extremidade do cilindro, de modo a conectar os fosfolipídios em duas camadas separadas. Para realizar essa tarefa, siga as seguintes etapas:

Figura 83 - Sistema de encaixe entre proteína e fosfolipídios

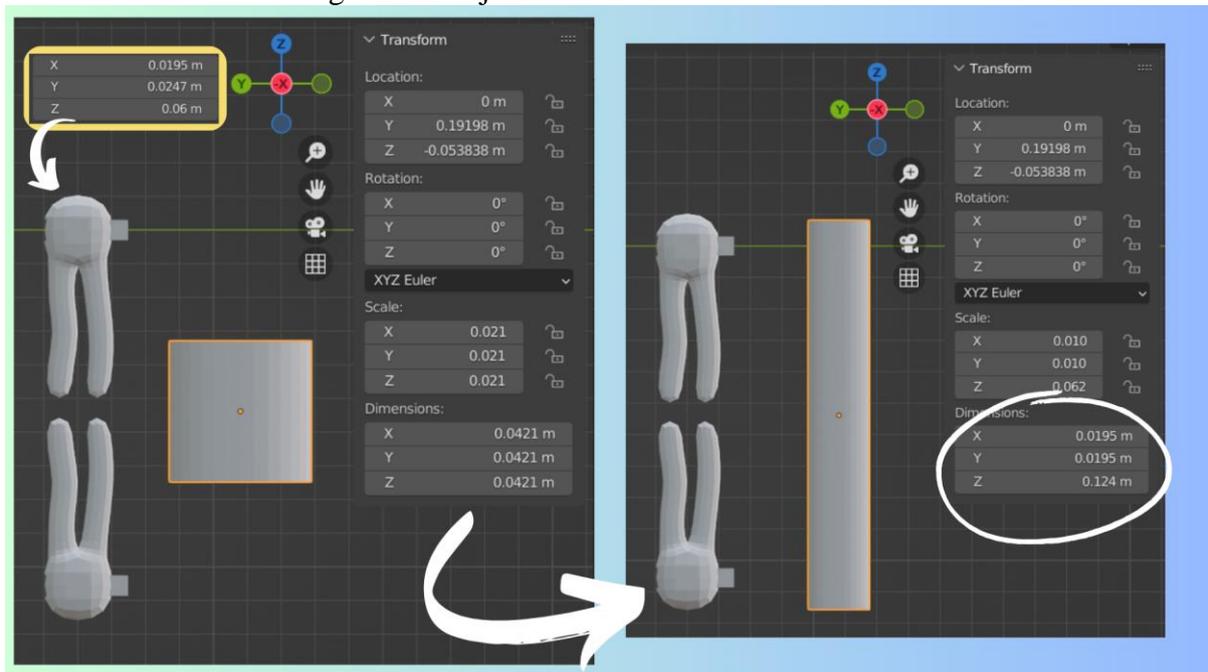


Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 1: Adicione uma nova malha no formato de um cilindro à interface.

Etapa 2: Acesse o painel de Propriedades (ativado ao pressionar a tecla "N" na 3D viewport) e ajuste as dimensões do cilindro para ter um diâmetro (nas direções X e Y) próximo ao de uma unidade fosfolipídica e um comprimento ligeiramente maior que o de dois fosfolipídios (eixo Z). Caso necessário, duplique o fosfolipídio de interface e posicione-o logo abaixo deste, para ter uma referência de comprimento (Figura 84).

Figura 84 – Ajustando as dimensões do cilindro



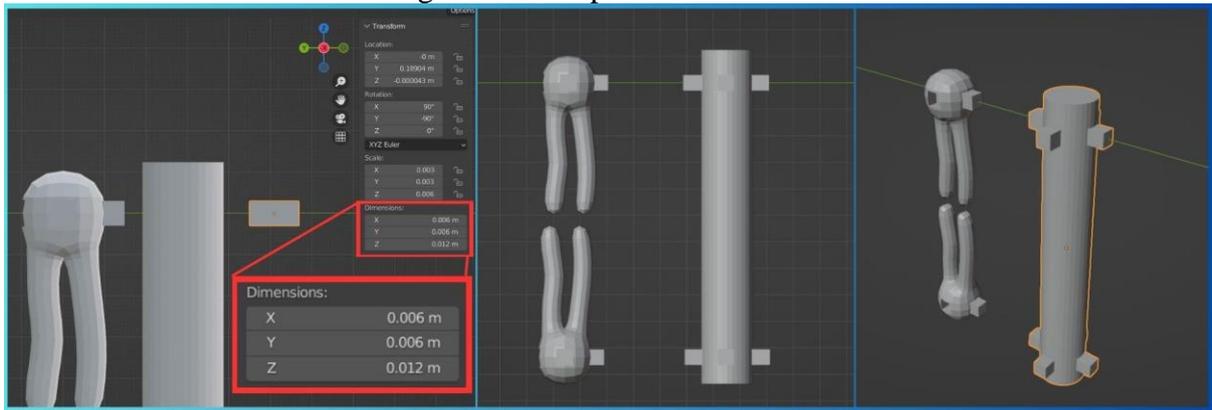
Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 3: Uma vez definida as dimensões do objeto, é necessário realizar as modificações de encaixe da proteína. Para isso, adicione um cubo e dimensione-o com base nos valores utilizados do tópico anterior (Tornando o fosfolipídio peças individualmente encaixáveis).

Etapa 4: Alinhe o paralelepípedo, gerado a partir do cubo recém adicionado, de forma simétrica nas quatro porções laterais da proteína.

Etapa 5: Uma vez alinhado e dimensionado o paralelepípedo, utilize o *Modifier Boolean* para fazer a união entre o paralelepípedo e o objeto, conforme etapa 4 do tópico [“Tornando o fosfolipídio peças individualmente encaixáveis”](#) (Figura 85).

Figura 85 – Preparando o cilindro



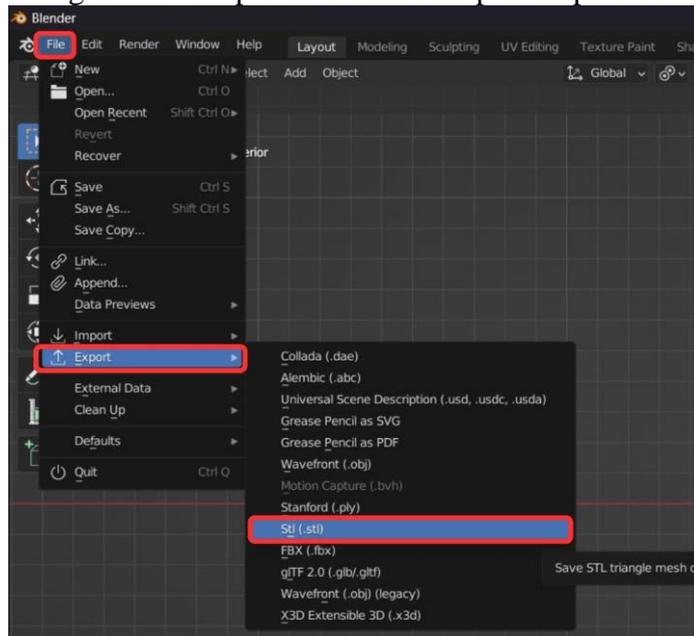
Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.5 IMPRESSÃO DOS MODELOS CRIADOS

Depois que o objeto 3D foi modelado, a próxima etapa no processo de impressão 3D é preparar o modelo para ser impresso. Nesse sentido, existem algumas etapas que devem ser observadas de modo a obter um bom resultado. Primeiramente, é importante realizar uma verificação prévia da escala e geometria do objeto, a fim de evitar quaisquer erros durante o processo de impressão. Além disso, o modelo deve ser exportado para um formato de arquivo compatível com um software de impressão 3D. Existem vários formatos de arquivo de impressão 3D em uso hoje. No entanto, os mais comumente utilizados são STL, OBJ, AMF e 3MF. Nesses formatos o modelo 3D pode ser importado para um software de impressão 3D, também conhecido como software de fatiamento. Essa ferramenta irá interpretar e dividir o modelo em camadas, gerando as instruções necessárias para a impressão e materialização do objeto final.

Para realizar esse procedimento no Blender, é necessário selecionar a opção *Export* (Exportar) na aba *file* (Arquivo) e escolher o formato desejado (Figura 86). Em seguida, uma janela de “salvar como” é exibida na tela do computador a fim de se determinar o diretório ou a pasta em que o arquivo deve ser armazenado. Recomenda-se definir uma pasta específica no computador para encaminhar o *download* dos arquivos 3D. Essa prática garantirá uma boa organização e fluxo de trabalho, além de prevenir a perda de arquivos ou substituição de documentos importantes.

Figura 86 - Preparando o modelo para impressão



Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.5.1 Software de fatiamento

Após exportar o modelo para um formato adequado de impressão 3D, a próxima etapa consiste em importá-lo para um software de fatiamento. Essa etapa é importante porque, ao modelar um objeto 3D, geralmente é criada uma representação com uma superfície contínua, que não é adequada para a impressão 3D.

A superfície contínua do modelo precisa ser dividida em camadas para que a máquina de impressão possa entender e materializar o objeto de forma precisa. Nesse sentido, o software de fatiamento desempenha um papel fundamental, pois converte o arquivo do modelo em um conjunto de instruções compreensíveis pela máquina de impressão, definindo a forma com que cada camada será impressa.

O software de fatiamento analisa a geometria do modelo, identifica as camadas necessárias e define parâmetros como altura da camada, preenchimento interno, velocidade de impressão e suportes, dependendo das configurações selecionadas. Em seguida, ele gera o arquivo fatiado, que contém todas as informações necessárias para a impressora no formato de G-Code. O arquivo G-code é um tipo de arquivo usado em máquinas de controle numérico

computadorizado (CNC) para controlar o movimento e as ações de máquinas como de usinagem e de impressão 3D, entre outras.

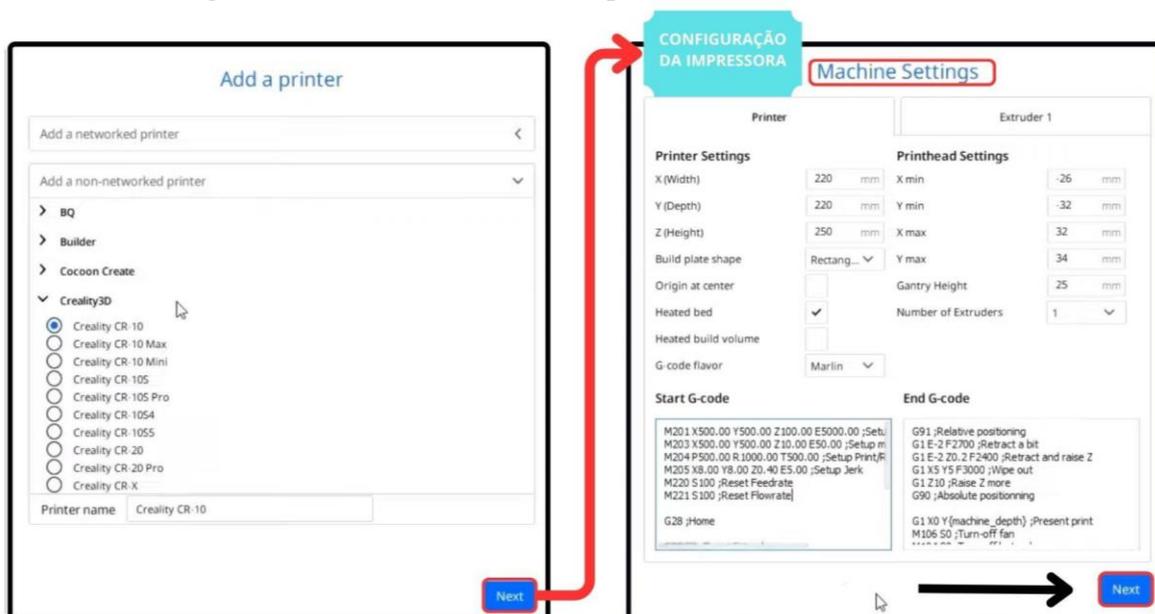
Portanto, o software de fatiamento desempenha um papel crucial como uma ponte de comunicação entre o objeto virtual e o objeto real, sendo responsável pelo processo de impressão efetivo. Existem muitas opções de software de fatiamento disponíveis para impressão 3D. Algumas das principais opções incluem: *Ultimaker Cura*, *Prusa Slicer*, *Slic3r*, *IdeaMake*, e o *Simplify3D*. Em última análise, a escolha do software de fatiamento dependerá das necessidades e preferências específicas do usuário, bem como da impressora 3D que está sendo usada. De modo geral, o *Ultimaker Cura* é amplamente adotado por entusiastas e profissionais da impressão 3D devido à sua versatilidade e facilidade de utilização. Devido a essas características e atributos, esta foi a opção selecionada como a preferencial para o desenvolvimento deste trabalho.

### ***Ultimaker Cura***

Cura é um popular programa de software desenvolvido pela empresa Ultimaker e de uso gratuito para impressão 3D. Sua interface foi projetada para ser amigável e intuitiva, com uma variedade de ferramentas e opções disponíveis para os usuários personalizarem suas impressões 3D.

Para instalar o Software é necessário primeiramente acessar o site de *Ultimaker*, disponível [aqui](#), e baixar a versão mais recente do Cura para o seu sistema operacional. Após concluir o download, execute o arquivo de instalação e siga as instruções fornecidas para instalar o Cura em seu computador. Após a conclusão da instalação, você pode iniciar o programa diretamente a partir da área de trabalho. Ao abrir o software você será solicitado a selecionar uma impressora com base em uma lista de marcas e modelos disponíveis (Figura 87). Ao escolher uma opção, confirme as informações de configuração da impressora e clique em *next* (próximo) para acessar a interface do programa.

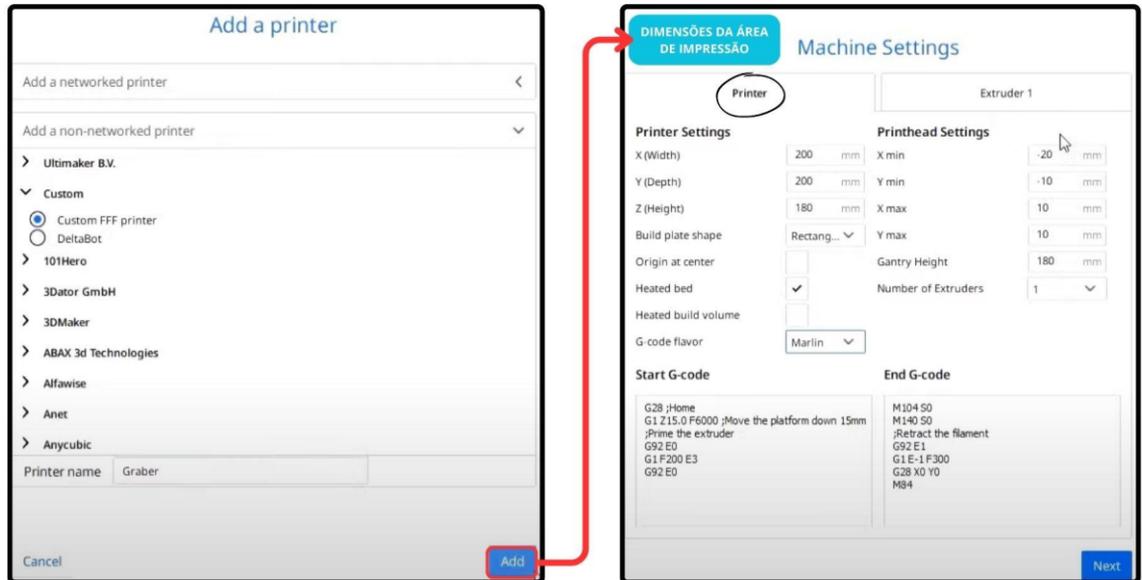
Figura 87 – Adicionando uma impressora ao Cura



Fonte: Elaborado pelo autor

Caso a sua impressora não esteja listada, selecione a opção *custom* (Personalizar) e defina manualmente as configurações da impressora (Figura 88). Ao personalizar uma impressora nova no *Ultimaker Cura*, algumas informações importantes devem ser observadas. Primeiramente, é necessário informar corretamente as dimensões físicas da área de impressão da sua impressora, ou seja, a largura, altura e profundidade máximas que ela pode acomodar. Além disso, defina o número de extrusores da sua impressora e suas características específicas, isso inclui o diâmetro do bico de impressão, a altura de camada mínima, a temperatura de extrusão e a velocidade de impressão.

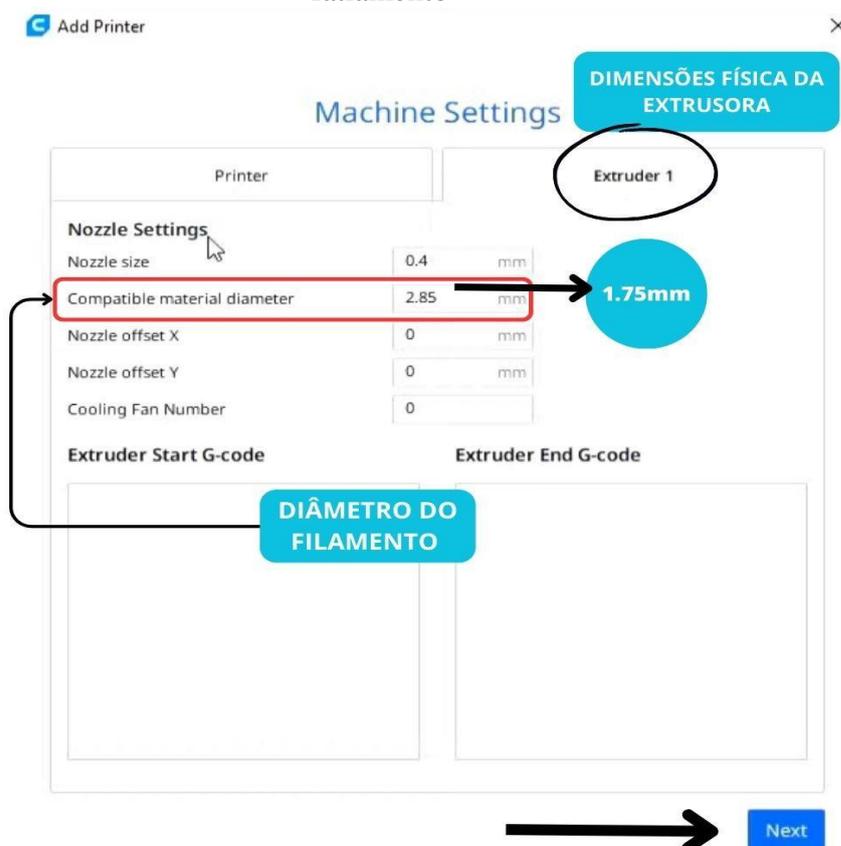
Figura 88 – Customizando as configurações de uma impressora



Fonte: Elaborado pelo autor

É importante ressaltar que os filamentos para impressão 3D vendidos no Brasil geralmente possuem um diâmetro de 1,75 mm e um bico de impressão de 0.4mm de diâmetro. Nesse sentido, é indispensável alinhar essas informações com o software de fatiamento (Figura 89).

Figura 89 – Ajustando as configurações de filamento e bico de impressão no software de fatiamento



Fonte: Elaborado pelo autor

Após concluir essa etapa, você será direcionado para a interface principal do *Cura*. Por padrão, o aplicativo é configurado em inglês. No entanto, atualmente, o software *Ultimaker Cura* oferece suporte ao idioma português. É possível selecionar essa opção clicando em *preferences* (preferências) no menu superior e depois em *general* (geral). Procure a seção *language* (Idioma) e busque pela opção português brasileiro. Depois disso, clique em "OK" ou *apply* (aplicar) para salvar as alterações. Após selecionar o idioma desejado, o software *Ultimaker Cura* terá todas as suas informações exibidas no idioma escolhido.

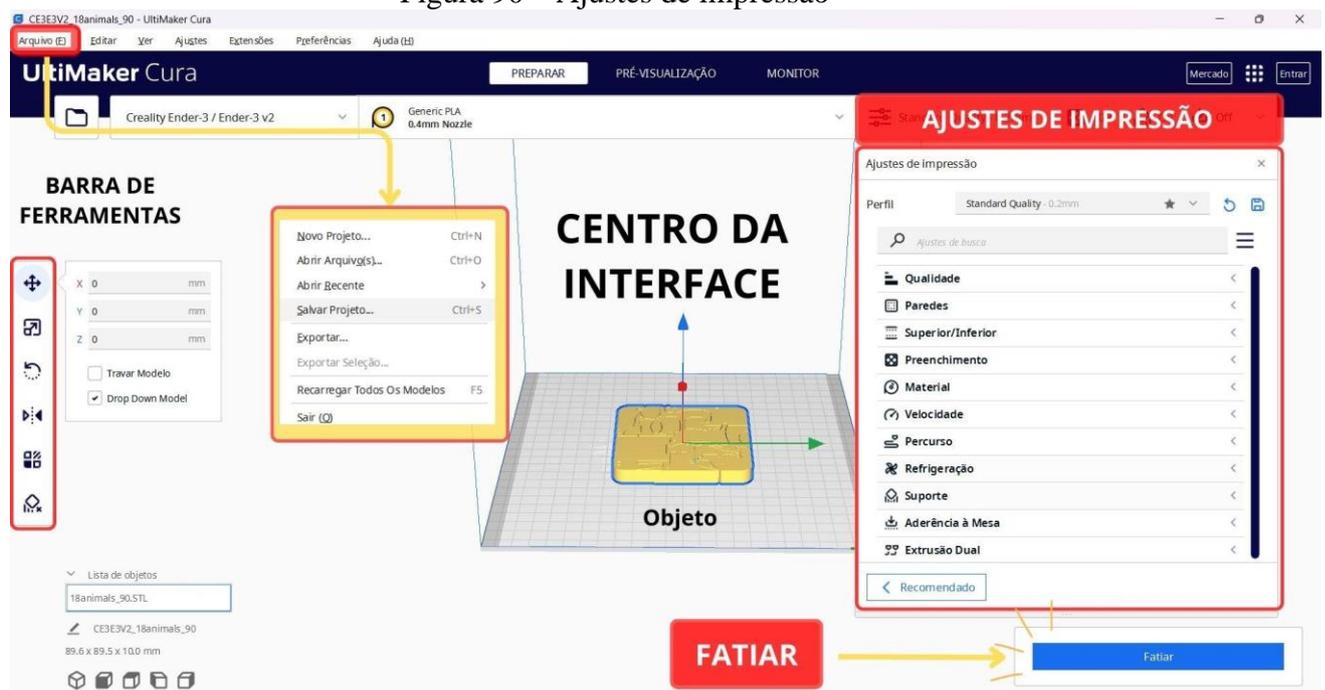
## Interface do Cura

A interface do programa *Ultimaker Cura* segue um *design* muito mais simples em comparação ao Blender. No topo da interface, estão localizados os menus e algumas opções de configuração. A barra de menu superior apresenta opções para abrir e salvar arquivos, além de

permitir o gerenciamento e alteração de informações da impressora. O centro da interface é o local de visualização 3D do modelo, onde é possível girar, ampliar e examinar o objeto antes de imprimir. A barra de ferramentas no lado esquerdo da tela fornece acesso a recursos como mover, escalar, rotacionar e espelhar, que só aparecem quando há um objeto selecionado. No lado direito da interface, encontram-se diversas configurações e opções que permitem modificar o processo de impressão de um objeto. Essas configurações abrangem aspectos como qualidade, preenchimento, velocidade de impressão, bem como a aplicação de suportes e placas de aderência à mesa, que serão discutidos mais adiante (Figura 90).

Para importar um arquivo de modelo 3D, basta acessar o menu superior e escolher "Arquivo", em seguida, selecione "Novo arquivo". Navegue até a localização em que o arquivo está armazenado e importe o documento. Essas opções permitem trazer o modelo 3D para o ambiente de trabalho do software (Figura 90).

Figura 90 – Ajustes de impressão

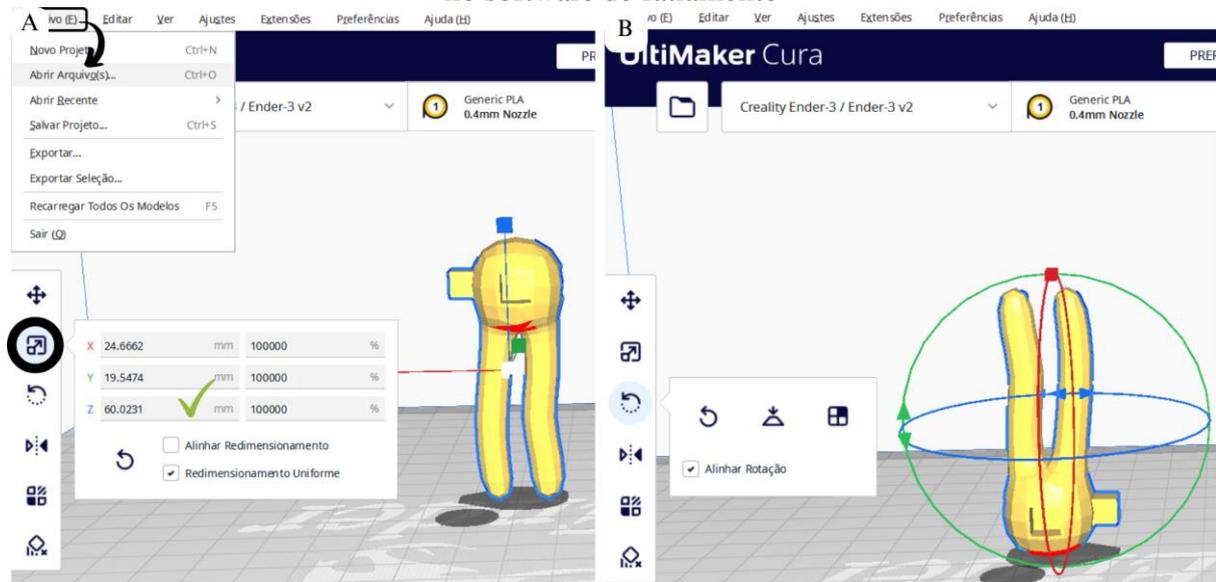


Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.5.2 Importando e Configurando o Fosfolípido no Cura

A fim de compreender o uso das ferramentas mencionadas, vamos considerar o caso do fosfolípido modelado e importá-lo para o *Cura*. Ao importar o modelo, é importante verificar inicialmente se a escala do objeto está correta, garantindo que suas dimensões sejam as mesmas definidas durante o processo de modelagem no Blender. Essa verificação pode ser realizada selecionando o objeto e utilizando a ferramenta de escala na barra lateral esquerda. Uma aba exibirá as dimensões do objeto em suas três dimensões. Uma vez que a escala foi confirmada, é possível explorar a necessidade de outras modificações utilizando as ferramentas da barra lateral, como a alteração de posição ou orientação na mesa de impressão (Figura 91A). Para evitar erros durante a impressão, é recomendado posicionar o fosfolípido com a cabeça polar voltada para baixo, em contato com a mesa, devido à maior superfície de contato (Figura 91B).

Figura 91 - Verificando a escala e realizando ajustes de posição e orientação do fosfolípido no software de fatiamento



Fonte: Elaborado pelo autor

Definida a posição, orientação e dimensões do objeto, é necessário realizar os ajustes de impressão disponíveis no painel lateral direito. O Cura oferece uma ampla gama de configurações para ajustar e personalizar, porém, se a etapa inicial de adicionar a impressora foi realizada corretamente, geralmente não é necessário modificar as sugestões que o programa oferece para a maioria dos parâmetros dessa sessão. Nesse sentido, os ajustes mais comumente

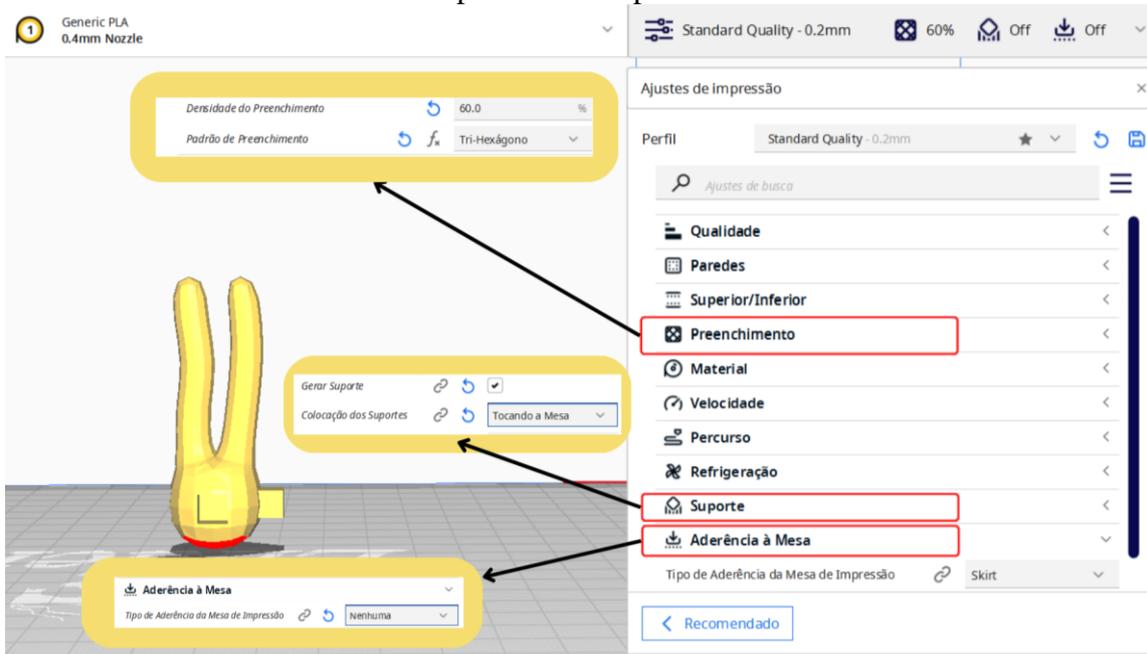
utilizados, que geralmente variam de impressão para impressão, são aqueles relacionados ao preenchimento, suporte e aderência à mesa.

O ajuste de preenchimento, permite controlar a densidade interna do objeto. Na impressão 3D, não é necessário que o objeto seja impresso de forma sólida, sendo possível utilizar diferentes valores de preenchimento para economizar material e reduzir tempo de impressão. Os valores de preenchimento podem variar dependendo da finalidade e do material utilizado. Objetos produzidos em PLA, quando não possuem uma finalidade propriamente mecânica, podem ser produzidos com uma densidade de 20%. Por outro lado, quando a finalidade é produzir uma ferramenta ou uma peça estrutural recomenda-se um valor de preenchimento mais significativo. Além disso, existem vários tipos de preenchimento, dentre os quais é possível citar: hexagonal, grade, triangular, linear e concêntrico. O tipo de preenchimento que oferece maior resistência é o hexagonal, conforme é possível observar na própria natureza ([VAIANO; et al., 2015](#)).

Outro parâmetro importante a se considerar ao configurar um objeto para impressão 3D é a necessidade de suportes. Na impressão por deposição de filamento, as peças são impressas de baixo para cima. Portanto, devido à natureza da impressão é importante verificar se há saliências, bordas ou áreas suspensas nos arquivos, pois a impressão não pode ocorrer "no ar". Se esses elementos estiverem presentes, será necessário habilitar a função de suporte na impressora. Essa função constrói um pilar ou andaime nessas regiões impedindo que essas porções fiquem suspensas "no ar".

Por fim, no contexto de impressão 3D, outro aspecto importante a se considerar é a capacidade de adesão de objetos à mesa de impressão. Nesse sentido, para materiais de difícil adesão, ou muito pequenos, é possível configurar uma espécie de cama horizontal que envolve o objeto e proporciona uma maior área de contato entre a peça e a base de impressão. Após a impressão, esse material extra pode ser destacado e eliminado do objeto.

Figura 92 - Verificando a necessidade de suportes e configurando a adesão do objeto à mesa de impressão na impressão 3D



Fonte: Elaborado pelo autor

Após finalizar os ajustes de impressão, o próximo passo é submeter o modelo ao processo de fatiamento. Nessa etapa, o software analisa o modelo levando em conta diversos parâmetros, como resolução, espessura da camada, configurações de preenchimento, suporte e velocidade de impressão, entre outros. Com base nessas informações, o software gera um arquivo específico para a impressora 3D, chamado de arquivo *G-code*. Esse arquivo contém todas as instruções necessárias para a impressora 3D, incluindo movimentos do extrusor, temperaturas, velocidades e a ordem em que as camadas devem ser impressas. Ele determina como a impressora 3D irá construir o objeto camada por camada.

Após o fatiamento ser concluído e o arquivo *G-code* ser gerado, você pode transferi-lo para a impressora 3D por meio de um cartão SD, *pendrive* ou diretamente por conexão USB. Em seguida, a impressora 3D utilizará o arquivo *G-code* para executar as instruções e realizar a impressão camada por camada, transformando o modelo virtual em um objeto.

## 6. DISCUSSÃO

O potencial tecnológico das ferramentas de impressão 3D é amplo e promissor, especialmente no contexto da educação escolar. A impressão 3D oferece um vasto potencial para enriquecer o currículo do ensino médio, por exemplo, através do desenvolvimento de modelos físicos de conceitos como mapas em relevo, construções históricas, figuras geométricas e modelos anatômicos do corpo humano. Nesse sentido, diversas disciplinas, como geografia, história, matemática e muitas outras podem se beneficiar dessa abordagem.

Apesar disso, é importante observar que a maioria dos estudos de pesquisa sobre o uso da impressão 3D na educação têm se concentrado principalmente no ambiente universitário, tal como em disciplinas de Arquitetura ([VANZIN; et al., 2015](#); [TRAMONTANO; et al., 2015](#); [PUPO, 2008](#)), Agronomia ([VIEIRA; MIRANDA, 2021](#); [CARDOSO; PEREIRA, 2023](#)), Engenharia ([JÚNIOR; et al., 2020](#); [PAVAN; et al., 2020](#); [SOARES; et al., 2019](#)), Medicina ([GARCIA; et al., 2022](#); [ROMEIRO; et al., 2019](#); [BERTTI; et al., 2020](#)) e tecnologia de maneira geral. Existe, portanto, uma lacuna significativa em relação às propostas aplicadas às escolas de ensino fundamental e médio. Há ainda relativamente poucos trabalhos considerando especificamente a educação infantil ([FORD; MINSHALL, 2019](#)). Nesse sentido, faz-se necessário explorar e desenvolver abordagens que integrem essa tecnologia nas etapas iniciais da educação, visando enriquecer o processo de aprendizagem e promover o desenvolvimento de habilidades essenciais desde as fases iniciais da formação educacional. Isso se torna ainda mais relevante devido à facilidade de aprendizagem característica dessa fase.

O presente protocolo guia foi desenvolvido com o objetivo de fornecer as orientações fundamentais para a criação e impressão de objetos tridimensionais, com o intuito de aplicá-los como prática pedagógica. Nesse sentido, buscou-se proporcionar um primeiro contato com os processos relacionados à impressão 3D para educadores e discentes interessados no assunto. Dessa maneira, o trabalho explorou os principais recursos e ferramentas do software Blender, necessários para a criação de modelos 3D, e do programa *Ultimaker Cura*, utilizado no processo de preparação dos objetos para a impressão.

Apesar disso, é importante ressaltar que existem outras opções disponíveis de programas, capazes de atender as necessidades previstas neste trabalho. No entanto, a escolha dos programas utilizados foi baseada principalmente em função de sua capacidade em oferecer uma ampla gama de recursos e ferramentas, além de dispor de uma comunidade ativa que

compartilha conhecimentos e informações pela internet. Ademais, considerando os aspectos relacionados ao tempo e esforço necessários para aprender qualquer novo programa, buscou-se garantir que as funcionalidades dos softwares apresentados, servissem como base para o desenvolvimento de projetos de diferentes níveis de complexidades, maximizando o potencial futuro dessas ferramentas.

Este trabalho concentrou-se no desenvolvimento de recursos de apoio à prática de ensino de biologia celular, com ênfase na membrana de revestimento das células. Nesse sentido, é importante ressaltar que os conhecimentos relacionados à biologia celular são uma conexão fundamental para compreender fenômenos orgânicos em diferentes níveis de organização (CICILLINI; VIGÁRIO, 2019). Todavia, o caráter abstrato das células, devido às suas dimensões microscópicas, muitas vezes representa um obstáculo na compreensão da natureza celular. Esse cenário é preocupante, uma vez que a discussão desses conteúdos geralmente ocorre no primeiro ano do ensino médio. Assim, a falta de uma compreensão adequada sobre a biologia celular pode resultar em uma desorganização sistêmica dos princípios fundamentais da vida, comprometendo o aprendizado de tópicos mais avançados.

Portanto, é essencial discutir a adoção de abordagens pedagógicas capazes de tornar a biologia celular mais acessível e significativa para os estudantes. Desse modo, foram apresentadas descrições detalhadas das etapas necessárias para a criação de modelos tridimensionais de fosfolipídios e proteínas. É relevante enfatizar que a abordagem apresentada neste trabalho é apenas uma entre outras capazes de alcançar resultados semelhantes aos apresentados. Logo, existem caminhos alternativos que podem, e devem, ser explorados pelo leitor, como forma de enriquecer sua prática e domínio das ferramentas discutidas aqui.

A elaboração deste guia seguiu uma sequência de etapas que combinou textos e imagens, com o objetivo de fornecer orientações claras acerca dos processos de impressão 3D. Inicialmente o protocolo buscou fornecer uma visão geral do programa, abordando suas principais ferramentas e enfatizando a importância da compreensão de sua interface a fim de garantir um uso eficiente. O Blender é um software bastante popular e mundialmente utilizado pelas pessoas, por esse motivo existe um grande volume de informações acessíveis ao usuário. Apesar disso, essas informações, muitas vezes estão dispersas e fragmentadas em diferentes plataformas digitais, o que pode dificultar a obtenção de um guia mais abrangente. Por esse motivo, o desenvolvimento deste protocolo buscou fornecer, em um único local, informações essenciais para um primeiro contato com o programa. Posteriormente, o leitor poderá contar

com uma ampla gama de plataformas gratuitas, como fóruns, grupos *online* e canais do *YouTube* que poderão suplementar seu conhecimento.

O exemplo prático, inicialmente utilizado de como modelar uma cadeira, buscou sintetizar as informações desenvolvidas nos tópicos anteriores e auxiliar na compreensão da segunda parte do texto. Embora a primeira parte possa parecer um pouco cansativa e densa, ela é essencial para compreensão de conceitos e processos, que busca desenvolver as etapas de como criar os fosfolipídios da membrana.

Nesse sentido, a primeira etapa proposta neste protocolo foi a modelagem da molécula lipídica. É quase certo que, qualquer pessoa com a mínima afinidade pela biologia já tentou desenhar um fosfolipídio em um pedaço de papel. Mesmo com possíveis imperfeições, o resultado sempre desperta simpatia pelo criador. Esse efeito é resultado de sua morfologia encantadora, que transporta, quem o observa, para um universo microscópico de maravilhas. Assim, através das ferramentas apresentadas, é possível fazer o mesmo em uma dimensão adicional.

Nesse contexto, o processo de modelagem como forma de educação, em vez de apenas considerar o projeto finalizado, é uma prática didática que também deve ser considerada ao se discutir o uso dessas ferramentas no contexto escolar. Nisso, os alunos podem ser incentivados a experimentar os processos de modelagem e design. Em vista disso, programas online de modelagem, como o [TinkerCad](#), podem ser uma alternativa viável, especialmente em contextos escolares, com limitações específicas quanto a necessidade de download de programas "pesados". Dessa forma, apesar de algumas restrições na funcionalidade de recursos avançados, essas plataformas oferecem oportunidades para os alunos desenvolverem habilidades de design, criatividade e resolução de problemas, em qualquer lugar com conexão à internet.

Um fato interessante é que, mesmo seguindo as etapas deste protocolo, frequentemente surgem resultados completamente singulares, que variam de pessoa para pessoa, ou de modelagem para modelagem, dependendo do momento. Quase como ao que um filósofo da Grécia antiga uma vez disse: "Ninguém poderá modelar duas vezes o mesmo fosfolipídio". Essa realidade confere um aspecto fascinante à atividade de modelagem, pois aqueles que estão modelando pela primeira vez podem afirmar que possuem um fosfolipídio único, exclusivamente seu. Essa natureza singular da modelagem destaca a expressão pessoal envolvida no processo e amplia o interesse e a motivação daqueles que se envolvem nessa atividade.

A etapa seguinte deste protocolo, quanto a modelagem da bicamada, se caracteriza como um desafio adicional ao leitor, exigindo novas habilidades sobre os recursos do Blender. Explicar essas etapas foi particularmente desafiador, uma vez que os conhecimentos necessários se encontravam na fronteira entre o nível básico e intermediário. Os objetivos deste trabalho visaram atender um público amplo e pouco familiarizado com o Blender, e, por essa razão, o desenvolvimento dessas etapas representou um desafio pedagógico pessoal. Foi necessário encontrar uma abordagem clara e didática para guiar os leitores até o resultado desejado, particularmente no tópico acerca dos encaixes entre as peças.

Nessa conjuntura, o uso de imagens de apoio às etapas da modelagem desempenhou um papel indispensável, fornecendo uma representação visual dos passos envolvidos e facilitando a compreensão dos leitores. No entanto, o desenvolvimento e a criação dessas figuras também demandaram um aprimoramento progressivo das habilidades sintéticas e pedagógicas para transmitir as informações de maneira precisa. À vista disso, é possível afirmar que nem sempre uma imagem vale mais do que mil palavras.

Na sequência, após a impressão 3D da bicamada, constatou-se uma fragilidade estrutural nas caudas fosfolipídicas. Essa fragilidade pode ser atribuída à modelagem inicial do fosfolipídio utilizado como base. É possível resolver, ou minimizar esse problema aumentando o diâmetro da cauda e reforçando a estrutura do fosfolipídio primeiro. Essas medidas adicionais podem contribuir para melhorar a resistência e a estabilidade das caudas fosfolipídicas, resultando em um modelo mais robusto e satisfatório. Dependendo da proposta pedagógica, outra alternativa viável seria ocultar as caudas dos fosfolipídios centrais da membrana, e substituí-las por uma geometria sólida complementar. Dessa forma, somente os fosfolipídios externos à membrana seriam completamente impressos e visíveis, enquanto o restante das caudas ficaria ocultas. Essa abordagem permitiria concentrar a atenção dos estudantes em aspectos visíveis da membrana, simplificando a representação e tornando-a mais compreensível. Além disso, essa simplificação poderia facilitar a impressão 3D e melhorar a resistência estrutural do modelo.

A última etapa, relativa à modelagem das peças lipídicas individualmente encaixáveis, talvez tenha sido a principal proposta deste trabalho. Essa abordagem foi inspirada pelo conceito das peças de encaixar da marca Lego. Assim como no Lego, em que diferentes blocos são projetados para se encaixarem de forma precisa, o objetivo da modelagem das peças lipídicas, foi criar um sistema de encaixe que permita a montagem e desmontagem das estruturas de maneira intuitiva e versátil. Isso proporciona aos estudantes a oportunidade de

explorar de forma prática e interativa a organização e a dinâmica das moléculas lipídicas, ao mesmo tempo que representa um desafio ao estudante de esboçar corretamente esses conceitos presentes na membrana celular.

Com relação ao processo de modelagem, as habilidades necessárias para alcançar os resultados nessa etapa são semelhantes às da etapa anterior e, portanto, dependem da clareza e sucesso já obtidos. A novidade, no entanto, foi com relação ao sistema de encaixe que seria utilizado entre as peças, e a maneira que seria feita a ligação lipídio-lipídio e lipídio-proteína. Inicialmente, para o fosfolipídio, considerou-se um sistema de encaixe com duas projeções e dois recessos, visando garantir maior estabilidade de conexão entre as peças. Porém, essa abordagem revelou-se limitada em termos de combinações de pares, ocasionando a necessidade de realizar o encaixe sempre no mesmo sentido, a fim de se construir uma camada contínua de fosfolipídios. Como alternativa, optou-se por utilizar um sistema de encaixe com uma projeção e três recessos, proporcionando maior versatilidade nas combinações. No entanto, em contrapartida essa solução pode resultar em encaixes menos estáveis, quando organizados em um sistema membranar. Para superar esse desafio, uma possibilidade seria intercalar a construção da membrana com fosfolipídios que utilizam ambos os tipos de encaixe, buscando equilibrar a estabilidade e flexibilidade no sistema. Com relação ao sistema de encaixe da proteína, a princípio a proposta era estabelecer duas projeções e dois recessos dispostos de maneira intervalada em cada extremidade do cilindro, visando facilitar o processo de materialização na impressora. Contudo, levando em consideração a necessidade de garantir maior coesão nos encaixes entre os fosfolipídios da membrana, decidiu-se estabelecer um sistema com quatro projeções, uma em cada extremidade do cilindro. Esse novo arranjo permite conectar os fosfolipídios em duas camadas separadas de forma mais estável e coesas.

Um aspecto importante a se considerar é o material utilizado para impressão dos objetos. Neste trabalho foram utilizados filamentos de PLA, principalmente devido à sua característica atóxica e pela facilidade de impressão proporcionada pelo material em termos da qualidade do objeto. Entretanto, como já mencionado, existem materiais mais apropriados para construção de peças, cuja finalidade é encaixar e desencaixar, tal como os termoplásticos de ABS. No caso das peças lego, por exemplo, esse é o material escolhido para fabricação de seus produtos devido a durabilidade, resistência a impactos e alta estabilidade dimensional, necessários para o encaixe e desencaixe frequentes. Apesar disso, é importante destacar que os filamentos de ABS requerem uma atenção maior para garantir uma impressão de qualidade. Eles possuem uma baixa adesão à mesa de impressão, o que pode resultar em problemas de

aderência e deslocamento durante o processo de impressão. Além disso, o ABS é sensível a mudanças de temperatura, o que pode levar à deformação das peças. Outro aspecto negativo é que o ABS pode liberar vapores tóxicos durante o processo de impressão, exigindo uma ventilação adequada para garantir a segurança do ambiente. Levando em consideração todos esses aspectos, o PLA se mostrou como a opção mais adequada para ser utilizada no contexto escolar.

Esses três modelos propostos são um ponto de partida para explorar o potencial das impressoras 3D na área da educação. Eles podem servir como base para o desenvolvimento de novos projetos. Que podem incluir tanto projetos autênticos, quanto projetos que adaptam os modelos apresentados. Com o objetivo de facilitar essa finalidade, todos os objetos modelados foram disponibilizados para download no [Thingiverse](#), que é a principal plataforma de compartilhamento de objetos para impressão 3D, disponíveis [aqui](#).

Em termos gerais, o uso de recursos tridimensionais para fins educacionais, assim como qualquer outro recurso, depende de diversos fatores, como os objetivos do aprendizado e sua integração com o currículo. Além disso, independentemente do recurso ou abordagem utilizada, é importante considerar questões cruciais relacionadas à transposição didática. Esse é um tema relevante, especialmente quando se trata de novas tecnologias.

A transposição didática envolve a transformação do conhecimento científico em conteúdo didático, adaptando-o ao contexto educacional. No caso da modelagem 3D, é necessário avaliar como essa tecnologia pode ser efetivamente integrada ao processo de ensino-aprendizagem, garantindo que conteúdos abstratos sejam adequadamente representados e compreendidos pelos alunos. É essencial também refletir sobre as possíveis limitações e desafios que podem surgir ao utilizar esse tipo de abordagem, buscando estratégias que promovam uma transposição didática eficaz e significativa para o ensino.

É certo que o potencial da impressão 3D na educação é vasto e promissor, e que oferece inúmeras possibilidades de aprendizado. A inclusão desses recursos nos currículos escolares, por exemplo, tem se mostrado bastante positiva, na medida que oferece oportunidades para diferentes estilos de aprendizagem, tal como práticas experienciais (HAUSMAN; HORNE, 2014). A inauguração, que ocorreu em junho de 2022, do primeiro laboratório *Maker*, como parte de um projeto que visa instalar 500 laboratórios nas escolas estaduais de Santa Catarina, corrobora o interesse por esse potencial. No entanto, é necessário analisar a aplicabilidade dessas ferramentas nos contextos escolares e as limitações que podem afetar sua adoção nas escolas públicas. Nesse sentido, a falta de treinamento e conhecimento técnico dos professores

pode limitar sua confiança e habilidade para integrar a impressão 3D em suas práticas de ensino. Sem um preparo efetivo, os professores podem enfrentar dificuldades em acompanhar e auxiliar os alunos adequadamente durante o processo de impressão 3D (SAMPAIO, 2013). Além disso, a carga de trabalho elevada dos professores, juntamente com as limitações de tempo, pode ser um obstáculo adicional, pois introduzir a impressão 3D requer planejamento e acompanhamento dos projetos. Ainda, a falta de suporte técnico e a limitação do espaço físico nas escolas públicas podem representar desafios adicionais na implementação da tecnologia de impressão 3D. É importante destacar que as impressoras 3D exigem manutenção regular e podem enfrentar problemas técnicos ao longo do tempo. No entanto, as escolas públicas frequentemente têm recursos limitados para fornecer suporte técnico adequado, o que pode resultar em interrupções no uso das impressoras e dificuldades na resolução de problemas. Além disso, a limitação do espaço físico pode dificultar a instalação e acomodação adequada das impressoras, bem como a criação de áreas de trabalho dedicadas para projetos de impressão 3D.

A realidade dos professores docentes nas escolas públicas pode variar, mas muitos enfrentam desafios relacionados a essas limitações. Superar esses obstáculos requer organização e investimentos em capacitação e infraestrutura adequada, além de políticas e parcerias que possibilitem o acesso a recursos financeiros e técnicos.

A utilização de ferramentas de modelagem e impressão 3D oferece inúmeras oportunidades no campo da Educação. No entanto, é importante destacar que essas ferramentas, por si só, não irão revolucionar a educação, as formas de ensino ou a compreensão dos conteúdos por parte dos estudantes. Existe um caminho a percorrer para que a impressão 3D seja plenamente compreendida e, por exemplo, integrada ao currículo escolar.

Apesar disso, é fundamental dar o primeiro passo nessa direção. E é exatamente com essa intenção que este trabalho foi desenvolvido, como um ponto de partida para que professores, estudantes e a comunidade escolar possam compreender as possibilidades que começam a surgir com o uso da impressão 3D na educação. Nesse sentido, é necessário explorar e experimentar novas abordagens pedagógicas, em que a impressão 3D seja utilizada como uma ferramenta complementar para enriquecer o processo de aprendizagem.

Ao fornecer informações e orientações fundamentais, este trabalho busca promover a conscientização sobre o potencial da impressão 3D na educação e incentivar a exploração desse recurso em sala de aula. Com o tempo, é possível que o uso da impressão 3D possa se tornar

uma prática mais difundida e integrada no currículo escolar, contribuindo para uma educação mais envolvente, prática e criativa.

## REFERÊNCIAS

BERTTI, J. V. P.; SILVEIRA, E. E.; ASSIS NETO, A. C. Reconstrução e impressão 3D do neurocrânio de cão com o uso de tomografia computadorizada como ferramenta para auxiliar no ensino da anatomia veterinária. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 72, p. 1653–1658, 9 nov. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/wpBQnt8PbwMdbkTMdD8RXhm/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 2 jun. 2023

BLIKSTEIN, Paulo. Digital Fabrication and ‘Making’ in Education: The Democratization of Invention. **FabLabs: Of machines, makers and inventors**, [s. l.], 2013. Disponível em: <https://ccst.us/wp-content/uploads/pblikstein-democratizinginvention.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2023.

BUEHLER, Erin; KANE, Shaun K.; HURST, Amy. ABC and 3D: opportunities and obstacles to 3D printing in special education environments. **ASSETS '14: Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility**, [s. l.], p. 107-114, 20 out. 2014. DOI <https://doi.org/10.1145/2661334.2661365>. Disponível em: [https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2661334.2661365?casa\\_token=jfFdQTLc9yYAAAAA:lkW9SfcC4aS7raCPqMkaPyr2PpFPpqIXbtsg8bOJ08ebDSaz0CoFrxrJ3v4xqQ5-QXDp5S3C-qOjDA](https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2661334.2661365?casa_token=jfFdQTLc9yYAAAAA:lkW9SfcC4aS7raCPqMkaPyr2PpFPpqIXbtsg8bOJ08ebDSaz0CoFrxrJ3v4xqQ5-QXDp5S3C-qOjDA). Acesso em: 9 jun. 2023.

CARDOSO, B. K. D.; PEREIRA, G. C. S. **Modelagem e impressão de um sistema automatizado de cultivo indoor em impressora 3D**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, [S. l.], 2022. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2592/1/MODELAGEM%20E%20IMPRESS%C3%83O%20DE%20UM%20SISTEMA%20AUTOMATIZADO%20DE%20CULTIVO%20INDOOR%20EM%20IMPRESSORA%203D.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.

DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yvona S. A disciplina e a prática da pesquisa qualitativa. *In: DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yvona S. O planejamento da pesquisa qualitativa*. [S. l.]: Artmed, 2006. Disponível em: [https://kupdf.net/download/denzin-lincoln-2006-o-planejamento-da-pesquisa-qualitativa-cap01pdf\\_5c87eccce2b6f522381a3d25\\_pdf](https://kupdf.net/download/denzin-lincoln-2006-o-planejamento-da-pesquisa-qualitativa-cap01pdf_5c87eccce2b6f522381a3d25_pdf). Acesso em: 12 jun. 2023.

FORD, Simon; MINSHALL, Tim. Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. **Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 25, p. 131-150, 28 out. 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860417304815?casa\\_token=VrDEjffURfIAAAAA:B9WU-aXRoXzcgL3TbDOUhcawFOGrV\\_RrILDzQeH-msbnkNm4AZ7w0Q8ZGK1Umo2g505HdSH7CBE#bbib0345](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860417304815?casa_token=VrDEjffURfIAAAAA:B9WU-aXRoXzcgL3TbDOUhcawFOGrV_RrILDzQeH-msbnkNm4AZ7w0Q8ZGK1Umo2g505HdSH7CBE#bbib0345). Acesso em: 9 jun. 2023.

GARCIA, T. R. *et al.* Impressão 3D de peças anatômicas como ferramentas de educação e auxílio na prática clínica. **CIPEEX –Congresso Internacional de Pesquisa, Ensino e Extensão**, [s. l.], v. 3, 2022. Disponível em: <http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/CIPEEX/article/view/8569/4681>. Acesso em: 12 jun. 2023.

HANON, Muammel M.; ZSIDAI, László. Comprehending the role of process parameters and filament color on the structure and tribological performance of 3D printed PLA. **Journal of Materials Research and Technology**, [s. l.], v. 15, p. 647-660, 19 ago. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.061>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785421008863>. Acesso em: 9 jun. 2023.

HAUSMAN, K.; HORNE, R. 3D Printing For Dummies. 2014. Disponível em: <https://docs.rs-online.com/3464/0900766b81318803.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2023.

HORVATH, Joan. A Brief History of 3D Printing. **Mastering 3D Printing**, Apress, Berkeley, CA, p. 3-10, 27 ago. 2014. DOI [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-0025-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-0025-4_1). Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4842-0025-4\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4842-0025-4_1). Acesso em: 9 jun. 2023.

HULL, Chuck. On Stereolithography. **Virtual and Physical Prototyping**, [s. l.], v. 7, 25 set. 2012. DOI <https://doi.org/10.1080/17452759.2012.723409>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17452759.2012.723409?journalCode=nvpp20>. Acesso em: 9 jun. 2023.

LIMA, Gabriel Duwe de. **Santa Catarina inaugura o primeiro de 500 laboratórios Maker que serão instalados nas escolas estaduais**. [S. l.], 30 jun. 2022. Disponível em: <https://saojoaquimonline.com.br/educacao/2022/06/30/santa-catarina-inaugura-o-primeiro-de-500-laboratorios-maker-que-serao-instalados-nas-escolas-estaduais/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de marketing: foco na decisão**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

MIKULA, Katarzyna *et al.* 3D printing filament as a second life of waste plastics—a review. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], 4 set. 2020. DOI <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10657-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-10657-8>. Acesso em: 9 jun. 2023.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. CIÊNCIA, TÉCNICA E ARTE: O DESAFIO DA PESQUISA SOCIAL. In: MINAYO, Maria Cecília de Souza. **Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade**. 18. ed. Petrópolis: Vozes, 2001. cap. 1, p. 22-23. Disponível em: [http://www.faed.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/1428/minayo\\_\\_2001.pdf](http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/1428/minayo__2001.pdf). Acesso em: 12 jun. 2023.

NEUMÜLLER, Moritz *et al.* 3D Printing for Cultural Heritage: Preservation, Accessibility, Research and Education. **3D Research Challenges in Cultural Heritage: Lecture Notes in Computer Science**, Springer, Berlin, Heidelberg, v. 8355, p. 119-134, 2014. DOI [https://doi.org/10.1007/978-3-662-44630-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-44630-0_9). Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44630-0\\_9](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44630-0_9). Acesso em: 9 jun. 2023

O QUE é impressão 3D? Guia definitivo. In: **Mousta Impressoras 3D**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.mousta.com.br/o-que-e-impressao-3d/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ÖZDİLLİ, Özgür. Comparison of the Surface Quality of the Products Manufactured by the Plastic Injection Molding and SLA and FDM Method. **International Journal of**

**Engineering Research and Development**, [s. l.], 18 jun. 2021. DOI <https://doi.org/10.29137/umagd.762942>. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/umagd/issue/60118/762942>. Acesso em: 9 jun. 2023.

PAVAN, G. F. et al. Impressão 3d: ferramenta de prototipagem rápida para elaboração de metodologias e kits didáticos relacionados à educação. **Brazilian Journal of Development**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-241>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7750>. Acesso em: 12 jun. 2023.

PUPO, R. T. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, n. 3, p. 80, 1 nov. 2008. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v1i3.8634511>. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634511>. Acesso em: 12 jun. 2023.

REGO, Filipe Lima. **Desenvolvimento de modelos tridimensionais e de uma sequência didática para o ensino de sistema cardiovascular para alunos com deficiência visual**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Ensino de Biologia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Recife, 2020. Disponível em: <https://www.bdt.uerj.br:8443/handle/1/17805>. Acesso em: 12 jun. 2023.

JÚNIOR, A. S. et al. Um material potencialmente significativo para o ensino da engenharia civil utilizando impressora 3D e realidade aumentada: uma experiência com alunos do ensino médio e do ensino superior. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10855–10868, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-091>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7447>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ROMEIRO, Nicolas Canale *et al.* Impressão 3D de peças anatômicas escaneadas como ferramenta de educação. **Anais do 9º Congresso Internacional de Design da Informação**, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/designproceedings/9cidi/4.0337.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.

SAMPAIO, Cláudio Pereira de; MARTINS, Rosane Fonseca. A modelagem 3d virtual e a impressão 3d como ferramentas de apoio ao aprendizado na educação infantil: viabilidade e possibilidades de aplicação. **Universidade Estadual de Londrina**, [s. l.], 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/72459975-A-modelagem-3d-virtual-e-a-impressao-3d-como-ferramentas-de-apoio-ao-aprendizado-na-educacao-infantil-viabilidade-e-possibilidades-de-aplicacao.html>. Acesso em: 12 jun. 2023.

SOARES, L. H. M.; BORTOLUZZI, A. C.; SOUZA, A. D. C. Propostas de utilização de uma impressora 3D no curso de engenharia mecânica. **Perspectiva**, Erechim, v. 43, ed. 162, p. 33-46, 2019. Disponível em: [https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/162\\_759.pdf](https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/162_759.pdf). Acesso em: 12 jun. 2023.

SCHLINDWEIN, Manoel. Venda de impressoras 3D cresce mesmo na crise Leia mais em: <https://veja.abril.com.br/coluna/radar/venda-de-impressoras-3d-cresce-mesmo-na-crise>. **Veja**, [S. l.], 3 jun. 2020. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/coluna/radar/venda-de-impressoras-3d-cresce-mesmo-na-crise>. Acesso em: 9 jun. 2023

SONG, Min Jeong. Learning to teach 3D printing in schools: how do teachers in Korea prepare to integrate 3D printing technology into classrooms?. **Educational Media International**, [s. l.], v. 55, p. 183-198, 6 set. 2018. DOI <https://doi.org/10.1080/09523987.2018.1512448>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09523987.2018.1512448>. Acesso em: 9 jun. 2023.

TANG, Chi-Long; SEEGER, Stefan. Systematic ranking of filaments regarding their particulate emissions during fused filament fabrication 3D printing by means of a proposed standard test method. **International Journal of Indoor Environment and Health**, [s. l.], v. 32, 18 mar. 2022. DOI <https://doi.org/10.1111/ina.13010>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ina.13010>. Acesso em: 9 jun. 2023.

THINGIVERSE.COM. Thingiverse - Digital Designs for Physical Objects. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

TINKERCAD. Tinkercad | From mind to design in minutes. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em: 9 jun. 2023.

TRAMONTANO, M.; PEREIRA, A. Resignificando o modelo físico: impressão 3D e ensino de projeto de arquitetura. **SIGRADI**, [s.l.]. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/designproceedings/sigradi2015/80163.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ULTIMAKER CURA. Disponível em: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

VAIANO, Andréa Zander *et al.* ABELHAS AFRICANIZADAS E CONSTRUÇÕES GEOMÉTRICAS. **Scientarium Historia VIII**, [s. l.], 2015. DOI 10.13140/RG.2.1.4711.1760. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/287199877\\_ABELHAS\\_AFRICANIZADAS\\_E\\_CONSTRUCOES\\_GEOMETRICAS](https://www.researchgate.net/publication/287199877_ABELHAS_AFRICANIZADAS_E_CONSTRUCOES_GEOMETRICAS). Acesso em: 12 jun. 2023.

VANZIN, Tarcisio; BASTIANI, Jamile de; ALMEIDA, Lucéli Oliveira de. Criatividade e Inovação: a impressão 3D no ensino de arquitetura. In: VANZIN, Tarcisio; BATISTA, Claudia Regina; ULBRICHT, Vania Ribas. **Criatividade e Inovação na Educação**. [S. l.]: Pimenta Cultural, 2015. cap. 5, p. 116-146. ISBN 978-85-66832-28-0. Disponível em: [https://www.pimentacultural.com/\\_files/ugd/143639\\_d9ab2f118d7a490eb8fb1b801bdbdb5.pdf#page=116](https://www.pimentacultural.com/_files/ugd/143639_d9ab2f118d7a490eb8fb1b801bdbdb5.pdf#page=116). Acesso em: 12 jun. 2023.

VEJA. Venda de impressoras 3D cresce mesmo na crise | Radar. 2020. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/coluna/radar/venda-de-impressoras-3d-cresce-mesmo-na-crise>. Acesso em: 3 jun. 2023.

VENTOLA, C. Lee. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. **Pharmacy and Therapeutics**, [s. l.], 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4189697/>. Acesso em: 9 jun. 2023.

VIEIRA, E. F. T.; MIRANDA, P. H. C. **Modelagem e impressão 3D de ferramentas didáticas para o curso de Agronomia**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em

Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1907/1/MODELAGEM%20E%20IMPRES%C3%83O%203D%20DE%20FERRAMENTAS%20DID%C3%81TICAS%20PARA%20O%20CURSO%20DE%20AGRONOMIA.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.

VIGÁRIO, A. F.; CICILLINI, G. A. Os saberes e a trama do ensino de Biologia Celular no nível médio. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 25, n. 1, p. 57–74, 2019. DOI:[10.1590/1516-731320190010005](https://doi.org/10.1590/1516-731320190010005). Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/332996784> Os saberes e a trama do ensino de Biologia Celular no nível médio. Acesso em: 9 jun. 2023.

WITEK-KROWIAK, A. et al. 3D printing filament as a second life of waste plastics—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 4 set. 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-10657-8>. Acesso em: 9 jun. 2023