

SIMULADORES DE VOO COM ARDUINO E IMPRESSÃO 3D PARA ENTUSIASTAS DA AERONÁUTICA

Nome do Autor:

Arthur Correa Soares

Nome dos Orientadores:

Felipe Augusto Cané Ferreira

Iderlan Charles Soares

Guarulhos, Outubro / 2024

SIMULADORES DE VOO COM ARDUINO E IMPRESSÃO 3D PARA ENTUSIASTAS DA AERONÁUTICA

Resumo

O simulador de voo com Arduino e impressão 3D busca democratizar o acesso à tecnologia e promover o interesse pela aviação em novas gerações. Com uma abordagem de baixo custo, ele pode ser integrado aos estágios iniciais na formação de Pilotos e atender aos aficionados pela aviação. Este esforço contribui significativamente para a democratização do conhecimento aeronáutico, permitindo que escolas e clubes aeronáuticos ofereçam simulações iniciais e práticas aos alunos. O projeto combina pesquisa aplicada e descritiva, juntamente com os princípios da metodologia Maker, proporcionando uma análise abrangente do processo. Os leitores são incentivados a experimentar, criar e resolver problemas de forma colaborativa, personalizando o simulador conforme suas necessidades e preferências. Este projeto exemplifica o potencial da tecnologia para incentivar a criação e o desenvolvimento de novos projetos, proporcionando uma experiência de aprendizado única e significativa para futuros pilotos e entusiastas da aviação.

Palavras-chave: Simulador de Voo, Arduino, Impressão 3D, Aeronáutica, Maker, Educação, Inspiração.

1.INTRODUÇÃO

A aviação sempre fascinou a humanidade, transportando-nos para novos horizontes e expandindo nossa visão de mundo. Para muitos jovens, o sonho de voar é um desejo acalentado desde a infância. No entanto, o acesso à educação e à tecnologia em áreas como a aeronáutica ainda pode ser um desafio para muitos. O sonho de voar é frequentemente confrontado com barreiras econômicas e educacionais que dificultam o acesso à formação aeronáutica. Essa área de atuação é amplamente admirada e capaz de proporcionar uma satisfação profissional intensa para seus profissionais, especialmente para os pilotos. No entanto, os custos operacionais elevados do treinamento de pilotos em aeronaves reais tornam essa preparação financeiramente inviável para muitos estudantes, criando obstáculos significativos para sua plena qualificação.

A aviação é uma área que envolve a operação de aeronaves e o estudo das tecnologias associadas ao voo. Ela engloba a formação de pilotos, a engenharia aeronáutica, a gestão de aeroportos, entre outros. A formação de um piloto, por exemplo, requer não apenas o conhecimento teórico, mas também a prática intensiva, o que inclui inúmeras horas de voo. Esses requisitos tornam essencial encontrar maneiras de democratizar o acesso ao treinamento aeronáutico para incentivar novos talentos e permitir que mais pessoas realizem o sonho de voar.

Nesse contexto, considerando este custo elevado na formação de pilotos os simuladores de voo surgem como um, "ferramenta extremamente úteis para testar equipamentos e aprender pilotagem e controle de voo em situações que seriam

impossíveis de replicar com aeronaves reais." (COSTA, 2008, p. 38.). Dessa forma, os simuladores oferecem uma alternativa prática para a formação de pilotos.

Um simulador de voo é um dispositivo ou software que replica a experiência de pilotar uma aeronave de forma realista. Ele pode variar em complexidade, desde simples modelos de computador até simuladores avançados utilizados para treinamento de pilotos profissionais. Esses simuladores podem incluir controles semelhantes aos de uma aeronave real, como manches, pedais e painéis de instrumentos, e proporcionar uma experiência imersiva com gráficos detalhados e simulação realista de condições de voo.

No entanto, os simuladores de voo profissionais e as horas de voo necessárias para a formação de pilotos são notoriamente caros. O custo elevado dos simuladores e das horas de voo representam uma barreira significativa para muitos entusiastas da aviação e estudantes. Isso limita o acesso e a democratização do conhecimento aeronáutico.

A disponibilização de simuladores de voo acessíveis e eficazes pode ser uma solução viável para superar as barreiras econômicas e educacionais que limitam o acesso à formação aeronáutica. Ao democratizar o acesso ao treinamento através de simuladores de voo, mais pessoas terão a oportunidade de desenvolver suas habilidades e aspirações na aviação, contribuindo para a renovação e o fortalecimento desse campo tão importante.

Segundo De Almeida (2017, p.9): "os simuladores de voo realizam um bom desempenho ao introduzir o mundo da aviação ao público em geral, funcionando ainda como ferramentas de aprendizagem para aspirantes. A simulação permite o aprofundamento em mecânicas, tais como a física e a dinâmica de voo, fonia, noção espacial e procedimentos básicos, com a possibilidade de treinar e aperfeiçoar essas mecânicas em segurança e com um custo bem menor quando comparado a aulas em aeronaves". A eficácia e o custo-benefício dos simuladores de voo como ferramentas de treinamento tornam-se essenciais do ponto de vista prático, econômico e ecologicamente.

Os simuladores de voo oferecem uma alternativa mais acessível e ecologicamente consciente para o treinamento de habilidades de voo. Ao minimizar a necessidade de voos de treinamento com aeronaves reais, esses simuladores reduzem significativamente o impacto ambiental da formação de pilotos. Além disso, sua adoção pode contribuir para a proteção de ecossistemas sensíveis, promovendo uma abordagem mais sustentável para a aviação.

A relação entre biomas e simuladores de voo sustentável se manifesta no desenvolvimento de cenários realistas que incluem a simulação de diferentes biomas, como florestas, desertos e montanhas. Esses cenários não apenas proporcionam aos pilotos uma experiência mais imersiva e desafiadora, mas também podem ajudar a entender e simular condições meteorológicas específicas que ocorrem em diferentes regiões do mundo, promovendo uma abordagem mais consciente e responsável para o treinamento de pilotos. Essa integração entre os biomas e os simuladores não só enriquece a experiência de treinamento, mas também ressalta a importância da preservação ambiental na indústria da aviação.

Diante desse cenário, surge a necessidade de soluções inovadoras que democratizem o acesso à tecnologia e despertem o interesse pela aviação em novas

gerações. O simulador de voo utilizando Arduino e impressora 3D surge como uma ferramenta promissora para alcançar esse objetivo. Este protótipo não só torna a experiência de simulação de voo mais acessível e econômica, mas também incentiva o aprendizado prático e a exploração da aeronáutica de forma sustentável. Essa abordagem inovadora não só amplia o acesso ao treinamento de voo, mas também fomenta uma cultura de aprendizado contínuo e consciência ambiental na aviação.

1.1. Problema de Pesquisa

Como um protótipo de simulador de voo pode contribuir para o acesso e democratização do conhecimento aeronáutico, ao oferecer uma experiência prática de aprendizado para o curso de Formação de Pilotos e entusiastas da aviação, possibilitando que escolas e clubes aeronáuticos forneçam coordenadas iniciais e prática simulada aos seus alunos?

1.2. Objetivo

O objetivo deste projeto é desenvolver e avaliar a eficácia de um simulador de voo utilizando Arduino e impressão 3D como ferramenta de apoio no ensino teórico e prático de aviação. A proposta é proporcionar uma experiência educativa que não apenas complemente o aprendizado teórico, mas também desperte o interesse pela aviação, democratizando o acesso à tecnologia e ao conhecimento aeronáutico.

Nas próximas seções, abordaremos Novas Tecnologias, A Importância dos Simuladores de Voo na Formação de Pilotos e Entusiastas pela Aeronáutica, a Metodologia utilizada para desenvolver o simulador, apresentaremos os Resultados obtidos e finalizaremos com a Conclusão e as Referências Bibliográficas que embasam este trabalho.

2. NOVAS TECNOLOGIAS

As tecnologias do Arduino e da impressão 3D estão desempenhando um papel crucial em diversas áreas, e não poderia ser diferente no desenvolvimento de simuladores de voo. Segundo o professor Flavio Guimarães, do canal Brincando com Ideias: "Aprender tecnologia moderna de forma divertida é começar brincando e, quando se dá conta, está aprendendo programação e eletrônica. A partir de uma ideia, você consegue programar e colocar isso em prática." (BRINCANDO COM IDEIAS, 2020). A cultura Maker, do faça você mesmo associada a essas inovações estão revolucionando a forma como os entusiastas da aviação constroem e experimentam seus simuladores, abrindo novas possibilidades e democratizando o acesso a essa tecnologia.

Com o Arduino, é possível programar e controlar os componentes eletrônicos de forma integrada, enquanto a impressão 3D permite a criação de peças personalizadas e resistentes, ajustadas às necessidades específicas do projeto. Juntas, essas tecnologias facilitam a materialização de ideias, transformando conceitos em simuladores de voo funcionais e acessíveis.

O Arduino é uma placa de prototipagem eletrônica de código aberto que pode desempenhar um papel fundamental na construção de um simulador de voo, funcionando como o regente que coordena todos os componentes do sistema. Sua

simplicidade de uso e sua capacidade de se integrar facilmente a diversos dispositivos fazem do Arduino uma escolha ideal para controlar os diversos aspectos do simulador.

O Arduino foi criado em 2005 na Itália por um grupo de cinco pesquisadores: Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis (Banzi, 2005), surgiu do desejo de Massimo Banzi de facilitar o ensino de eletrônica e programação para estudantes (Banzi, 2008). O grupo desenvolveu esta incrível plataforma de prototipagem eletrônica, que passou a ser amplamente utilizada por makers e adeptos do faça-você-mesmo.

O Arduino se destaca como uma ferramenta poderosa e acessível para prototipagem eletrônica e desenvolvimento de aplicações embarcadas. É um dispositivo que contém dois componentes básicos: a placa, dispositivo de hardware utilizado para executar funções e sua Integrated Development Environment (IDE), parte programável de forma descritiva por meio de um computador (ÁLVAREZ et al., 2020). Sua estrutura modular e interface amigável o tornam ideal para iniciantes e especialistas, permitindo a criação de projetos inovadores e interativos.

O Arduino é amplamente utilizado devido à sua versatilidade, baixo custo e facilidade de uso, permitindo que iniciantes e profissionais desenvolvam uma ampla gama de aplicações. Essas placas possuem a habilidade de receber entradas, como sensores, botões ou mensagens eletrônicas, e processá-las para gerar saídas em tempo real.

A programação é feita utilizando uma linguagem baseada no Wiring (uma versão simplificada da linguagem C++), enquanto o Software Arduino, ou Arduino IDE, é inspirado no Processing (um ambiente de programação voltado para artes visuais), ambos projetados para serem intuitivos e acessíveis (ARDUINO, 2022). A combinação de hardware acessível e software intuitivo torna o Arduino uma ferramenta poderosa para a realização de projetos criativos e inovadores que são essenciais para a criação de simuladores de voo realistas e imersivos.

Comparado a outras plataformas de prototipagem, o Arduino oferece uma solução mais acessível, democratizando o acesso à construção de simuladores para entusiastas com orçamentos limitados. Na construção de simuladores de voo, o Arduino é particularmente vantajoso por sua capacidade de controlar diversos componentes eletrônicos e apresentar um baixo custo. Com ele, é possível programar a simulação de diversos elementos da aeronave, como controles de voo, instrumentos de painel, sistemas de comunicação e até mesmo sistemas de feedback tátil. Sua versatilidade permite que ele seja usado para criar uma experiência de voo altamente realista e personalizada.

A impressão 3D é outra tecnologia crucial para o desenvolvimento do simulador de voo artesanal, pois permite a criação de peças personalizadas com precisão milimétrica. Com a impressão 3D, é possível fabricar manches, pedais, painéis de controle e até mesmo cockpits completos, tudo sob medida para a experiência de voo desejada.

Para este projeto foi utilizado a tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling), também conhecida como impressão por filamento, se destaca pela acessibilidade e baixo custo em comparação com outras técnicas de impressão 3D. Segundo o professor Otávio Gobbo, da graduação em Engenharia de Controle e Automação do Câmpus Chapecó do IFSC, "Existem várias tecnologias de impressão, sendo que a mais popular é quando um filamento plástico é derretido e depositado na mesa da

impressora, camada por camada, até formar a geometria final da peça” (IFSC Verifica, 2022).

A tecnologia FDM é reconhecida por sua capacidade de imprimir peças em diversos materiais, proporcionando soluções sob medida para uma ampla variedade de necessidades, como o uso de filamentos plásticos como ABS, PLA e PETG, cada um com suas propriedades específicas, como podemos observar:

- O ABS é ideal para peças estruturais que requerem resistência a impactos e altas temperaturas.
- O PLA é biodegradável, fácil de imprimir e com baixa emissão de odor, sendo perfeito para uso em ambientes fechados e projetos sustentáveis.
- O PETG combina a resistência do ABS com a facilidade de impressão do PLA, tornando-se ideal para peças funcionais e translúcidas.

A escolha do material ideal depende das características desejadas para a peça final, como resistência, flexibilidade, acabamento e compatibilidade com outras peças. Com sua ampla gama de materiais disponíveis, essa tecnologia oferece a flexibilidade necessária para atender a diversas demandas, desde projetos simples até soluções complexas e personalizadas. Sua acessibilidade e simplicidade facilitam o uso, enquanto sua versatilidade e qualidade de impressão atendem a uma ampla gama de necessidades. Além disso, a facilidade de manutenção e o amplo suporte da comunidade são benefícios adicionais que a tornam ideal para prototipagem, criação rápida de peças e projetos personalizados.

Essa tecnologia oferece a flexibilidade de experimentar com diferentes designs e materiais, permitindo que os criadores personalizem seus simuladores de acordo com suas preferências. A facilidade de impressão e a importância de produzir peças específicas e precisas ajudam a reduzir custos e acelerar o desenvolvimento do projeto, tornando a construção do simulador mais acessível e eficiente.

Além das tecnologias do Arduino e da impressão 3D, a utilização de emuladores virtuais é outra ferramenta importante no desenvolvimento e na experiência dos simuladores de voo artesanais. Emuladores virtuais, como o Flight Simulator X, X-Plane, FlightGear, e outros jogos, desempenham um papel crucial ao oferecer uma simulação detalhada e realista do voo, contribuindo significativamente para a formação e o entretenimento dos entusiastas da aviação.

Segundo levantamento realizado por De Almeida (2017, p.5): “o Microsoft Flight Simulator X é um dos emuladores mais populares, sendo citado por 85,4% dos respondentes como o favorito. Ele é reconhecido por sua alta qualidade gráfica e realismo, sendo uma escolha frequente em todas as faixas etárias. Em segundo lugar, o War Thunder é indicado principalmente pelo público mais jovem, com 54,8% dos alunos entre 18 e 25 anos e 22,2% entre 26 e 30 anos. O X-Plane apresenta uma preferência semelhante à do Flight Simulator X em relação à faixa etária, mas em uma escala menor. O jogo FlightGear também segue a proporção de idade, com a maioria dos adeptos na faixa etária entre 18 e 25 anos, embora em uma escala menor em comparação ao X-Plane.”

As novas tecnologias do Arduino, da impressão 3D e dos emuladores virtuais estão revolucionando a forma como os simuladores de voo são desenvolvidos e utilizados, permitindo aos entusiastas da aviação criar experiências altamente

realistas e personalizadas. Essas ferramentas proporcionam uma experiência de voo única e envolvente, combinando a precisão dos controles do Arduino com a versatilidade da impressão 3D para criar simuladores sob medida para cada usuário.

Os emuladores virtuais, por sua vez, oferecem uma experiência de voo imersiva e acessível, permitindo que os usuários simulem voos em uma variedade de aeronaves e cenários. Eles são uma ferramenta valiosa para o treinamento de pilotos, experimentação e diversão, contribuindo para a disseminação do conhecimento aeronáutico e o interesse pela aviação em novas gerações.

Essas tecnologias estão transformando a forma como os simuladores de voo são concebidos e utilizados, oferecendo possibilidades até então inéditas para entusiastas e profissionais da aviação. A combinação do Arduino, da impressão 3D e dos emuladores virtuais possibilita a criação de simuladores altamente personalizados e realistas, proporcionando uma experiência de voo envolvente e educativa.

3. IMPORTÂNCIA DOS SIMULADORES DE VOO NA FORMAÇÃO DE PILOTOS E ENTUSIASTAS DA AERONÁUTICA

Desde os primórdios da aviação, a segurança e eficácia do treinamento de pilotos têm sido uma preocupação constante. Os primeiros anos da aviação foram marcados por acidentes frequentes, muitos dos quais resultavam da inexperiência e falta de habilidade dos pilotos. Em resposta a esses desafios, inventores fascinados pela aviação começaram a desenvolver aparelhos conhecidos como treinadores de voo, que mais tarde evoluíram para os sofisticados simuladores de voo que conhecemos hoje.

Os simuladores de voo "têm como característica comum uma imitação operacional da atividade de voo real" (MACHADO, s.d.), o que proporciona uma experiência de treinamento mais segura, econômica e eficaz para pilotos e entusiastas da aeronáutica. Os simuladores de voo oferecem uma reprodução altamente realista das condições de voo, permitindo práticas seguras e variadas sem os riscos dos voos reais. Essa abordagem também é mais econômica e eficaz, pois dispensa custos de combustível, manutenção e operação, além de permitir repetição de procedimentos para aprimoramento rápido e preciso das habilidades.

Segundo Moore (2016), "esses simuladores são agora fundamentais na formação de pilotos e entusiastas da aeronáutica, oferecendo um ambiente seguro e controlado para o treinamento, além de proporcionar uma experiência de voo virtual cada vez mais realista". Eles simulam o comportamento do avião, funcionando como um modelo dinâmico do procedimento do aparelho voador, permitindo que o piloto interaja com o simulador como se estivesse em um voo real.

Outro aspecto importante dos simuladores de voo é o treinamento de situações de emergência. Segundo estudo de Vilela (2023), "o treinamento em simulador de voo desempenha um papel importante no âmbito do gerenciamento de emergências, pois se trata de uma ferramenta onde os pilotos são expostos a situações de alto risco de forma segura, permitindo que desenvolvam habilidades de tomada de decisão em momentos críticos, contribuindo para um melhor desempenho no gerenciamento de emergências durante os voos reais." Isso permite que os pilotos desenvolvam habilidades e pratiquem procedimentos complexos de forma repetida em cenários críticos sem colocar vidas em risco. Simuladores de voo oferecem a oportunidade de praticar manobras e operações que seriam proibitivamente caras, perigosas ou impossíveis em uma aeronave real.

Os simuladores de voo são uma ferramenta valiosa para a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e sistemas aeronáuticos, permitindo testar e simular o desempenho de aeronaves em diferentes condições. Isso contribui para a inovação e melhoria contínua da aviação, sendo essenciais também para o treinamento de pilotos. Nesse sentido conforme de Vilela (2023), “a finalidade dos simuladores na formação profissional dos pilotos é qualificar e aprimorar os pilotos comerciais, preparando-os para situações especiais e buscando aprimoramento pessoal.”

Os simuladores de voo desempenham um papel multifacetado e fundamental na aviação, desde a formação e aprimoramento de pilotos até a promoção da aviação e a contribuição para a segurança e inovação na área. Eles não apenas permitem que os pilotos pratiquem o manejo dos controles da aeronave, mas também simulam uma variedade de condições e situações de voo, proporcionando um ambiente de aprendizado seguro e controlado. Além disso, os simuladores de voo são uma ferramenta valiosa para promover o interesse pela aviação, permitindo que entusiastas experimentem a sensação de voar sem sair do solo.

4. METODOLOGIA

O projeto Simuladores de Voo com Arduino e Impressão 3D para Entusiastas da Aeronáutica visa democratizar o acesso à tecnologia e despertar o interesse pela aviação em novas gerações. Apresentando uma proposta de baixo custo, ele pode ser integrado aos processos de treinamento inicial no curso teórico de Pilotos Privados de Avião (PPA) e para entusiastas da aviação. Isso contribui significativamente para a democratização do conhecimento aeronáutico, permitindo que escolas e clubes aeronáuticos ofereçam coordenadas iniciais e prática simulada aos alunos.

O projeto utiliza a combinando de pesquisa aplicada e descritiva, bem como princípios da Metodologia Maker. A abordagem mista oferece uma análise abrangente e validação dos resultados, proporcionando uma visão holística do projeto.

A pesquisa aplicada busca resolver problemas práticos e gerar conhecimento com aplicação direta, enquanto a pesquisa descritiva se concentra em descrever características de um fenômeno ou processo. Gil (2008) complementa afirmando que as pesquisas com esse tipo de natureza estão voltadas mais para a aplicação imediata de conhecimentos em uma realidade circunstancial, relevando o desenvolvimento de teorias. Neste projeto, descrevendo detalhadamente as etapas de construção de um simulador de voo e sua importância na formação de pilotos, baseando-se em um levantamento bibliográfico e na descrição prática do processo.

A metodologia Maker, promove uma abordagem prática e colaborativa, incentivando os participantes a experimentarem, criarem e solucionarem problemas de forma criativa. Os componentes são selecionados e integrados de forma a permitir a personalização e a adaptação do simulador às necessidades e preferências individuais. Dessa forma, os entusiastas da aviação podem não só construir seus próprios simuladores, mas também entender o funcionamento de cada parte do sistema, promovendo uma experiência de aprendizado única e significativa.

Conforme Turkle (2015), a Metodologia Maker vai além da simples construção. Ela visa empoderar as pessoas para que se tornem criadoras, solucionadoras de problemas e agentes de mudança em suas próprias comunidades. Para o desenvolvimento do projeto, foram utilizados componentes apropriados e um microcontrolador, garantindo a operação adequada do simulador de voo.

Essa combinação possibilita a construção de um simulador funcional e realista, a um custo acessível, de forma colaborativa e criativa, envolvendo os participantes em todas as etapas do processo, desde o design até a montagem e os testes como poderemos observar nos processos operacionais.

4.1 Processos operacionais

A combinação do Arduino e da impressão 3D revoluciona a educação tecnológica e os projetos Maker, permitindo a criação acessível de dispositivos complexos. Essa união democratiza o acesso a tecnologias avançadas, incentivando a criatividade e o aprendizado prático. O custo acessível dos componentes de Arduino e dos materiais para impressão 3D torna viável a construção de simuladores de voo complexos. O desenvolvimento de um simulador de voo envolve etapas desde a concepção do projeto até a programação dos sistemas e a montagem das peças impressas em 3D. A seguir, detalharemos essas etapas, fornecendo um guia completo para a construção de um simulador de voo funcional e realista, aproveitando as vantagens do Arduino e da impressão 3D.

4.1.1. Projeto mecânico

O projeto mecânico do simulador de voo foi cuidadosamente desenvolvido em 3D na plataforma Tinkercard, visando garantir robustez, ergonomia e precisão na simulação. O Tinkercad é uma plataforma online de modelagem 3D amplamente utilizada, especialmente por sua abordagem simplificada que atende tanto iniciantes quanto profissionais (TINKERCAD).

A estrutura do simulador de voo é composta por peças impressas em 3D, projetadas para suportar o impacto dos movimentos durante o uso e proporcionar uma experiência confortável e realista. Essas peças foram fabricadas em material leve e resistente, atendendo às especificações de cada componente do projeto. Como podemos observar nas figuras 1, 2 e 3.

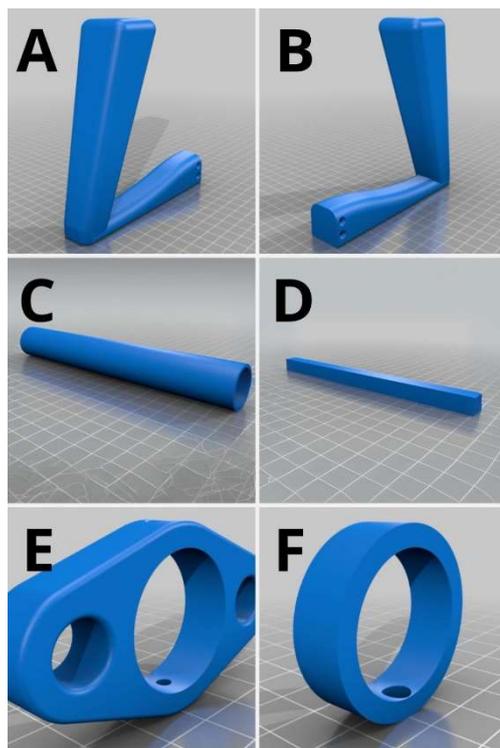


Figura 1. Peças da estrutura manche do simulador do voo.

A Fig. 1 representa a estrutura mecânica do manche. dimensionais e as especificações necessárias para a fabricação e montagem da estrutura.

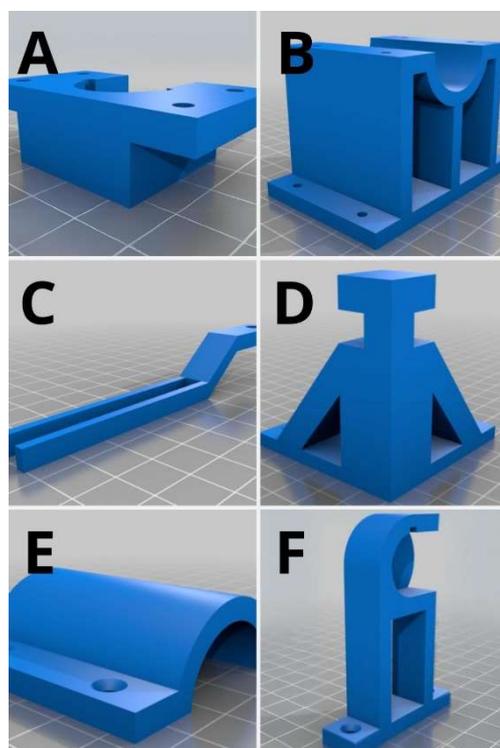


Figura 2. Peças da estrutura de base do manche do simulador do voo.

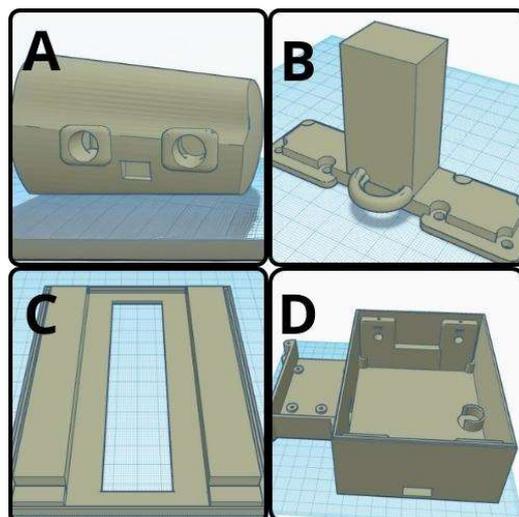


Figura 3. Peças da estrutura manete do simulador do voo.

Ao utilizar o Tinkercad para modelar e criar peças, juntamente com a pesquisa de modelos no Thingiverse da UltiMakers, o desenvolvimento de projetos em impressão 3D se torna mais acessível e eficiente. Segundo o próprio Thingiverse, uma comunidade global que promove a descoberta, criação e compartilhamento de designs imprimíveis em 3D (Thingiverse About), a plataforma oferece um vasto repositório de modelos disponíveis e licenciados sob Creative Commons, incentivando a participação de pessoas de diferentes níveis de habilidade e experiência. Com acesso a esses recursos, disponíveis em <https://www.thingiverse.com/about>, o processo de criação em 3D torna-se mais acessível para todos.

Integrando o Tinkercad com o vasto repositório do Thingiverse, os entusiastas da impressão 3D têm acesso a uma combinação poderosa de ferramentas e recursos para desenvolver seus projetos.

Além disso, a interação social proporcionada pelo Thingiverse oferece uma oportunidade para os iniciantes ganharem reconhecimento e construírem sua credibilidade na comunidade. Postar realizações (Makes) e criar modelos personalizados são maneiras de se envolver e contribuir para a comunidade. Em suma, a combinação do Tinkercad e do Thingiverse simplifica o processo de desenvolvimento de projetos em impressão 3D, promovendo a participação e a criatividade de todos.

4.1.2. Projeto eletrônico

O microprocessador utilizado foi o Arduino UNO R3 que é uma placa baseada no microcontrolador Tmega328, devido à sua capacidade de processamento e flexibilidade, desempenha um papel crucial no simulador de voo funcionando como o cérebro do sistema. Ele é responsável por processar e interpretar os dados provenientes dos diversos componentes integrados ao simulador, bem como por coordenar e controlar os diferentes componentes do dispositivo. Essa integração inteligente permite que o simulador responda de forma precisa e em tempo real às condições simuladas, proporcionando uma experiência de voo mais autêntica e envolvente para o usuário.

O simulador de voo apresenta uma arquitetura eletrônica simples que integra o microprocessador aos sensores (Fig. 4).

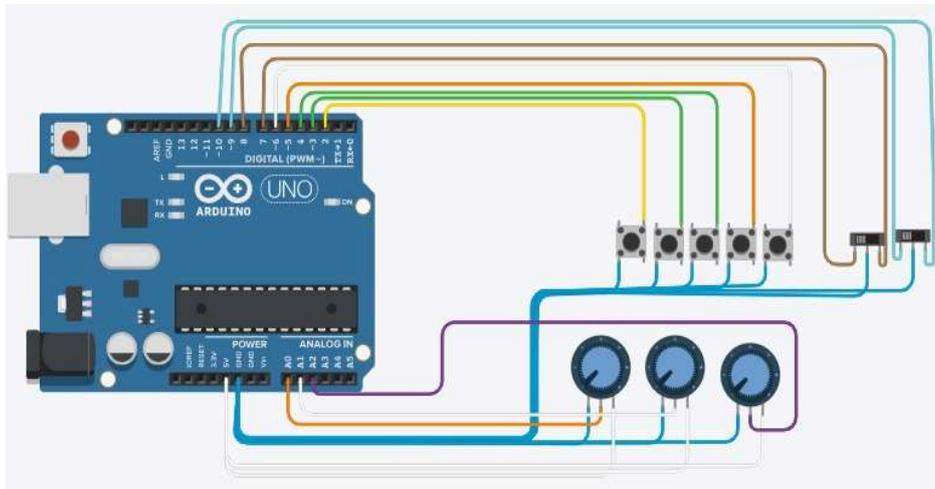


Figura 4. Estrutura eletrônica do simulador do voo.

Na Figura 4, temos o microprocessador Arduino UNO R3, acompanhado pelo cabo Micro USB 2.0 para conexão, juntamente com os seguintes componentes integrados para o funcionamento do simulador de voo: 2 Chave HH Alavanca KN-1122, 5 Chaves Táctil PBS-11B Sem Trava, e 3 Potenciômetros de 10K. Esses componentes, quando combinados com o Arduino, desempenham papéis específicos no simulador de voo, contribuindo para sua funcionalidade e interatividade.

4.1.3. Código desenvolvido para o simulador

Um elemento crucial no desenvolvimento e compreensão do simulador é o fluxograma detalhado do código, desenvolvido em linguagem C++ na IDE do Arduino. Este fluxograma, ilustrado na Figura 5, oferece uma visão sistemática de como cada parte do código se relaciona e interage com os diferentes elementos do simulador. Ao fornecer esta representação visual, tanto os desenvolvedores quanto os usuários podem entender melhor a lógica de funcionamento do sistema, identificar áreas de melhoria e otimização, e fazer ajustes conforme necessário para garantir um desempenho ideal do simulador de voo.

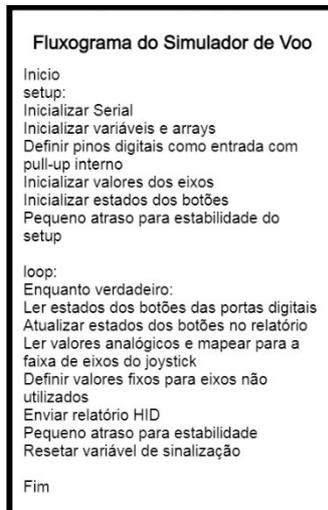


Figura 5. Fluxograma do código de programação do Simulador de Voo.

O código é executado no microprocessador, assegurando uma integração eficaz com os componentes específicos do projeto. Além disso, a versatilidade do Arduino possibilita uma personalização avançada do simulador, adaptando-se às necessidades individuais de cada usuário e proporcionando uma experiência de simulação de voo ainda mais imersiva. O código-fonte está devidamente comentado no apêndice A para facilitar a compreensão de seu funcionamento.

4.1.4. Montagem do simulador

A montagem do simulador de voo é uma etapa crucial no processo de criação desse dispositivo. Envolve diversas etapas, desde a concepção e design das peças em software 3D até a impressão, montagem e integração dos componentes eletrônicos. O Arduino desempenha um papel fundamental nesse processo, servindo como o "cérebro" do simulador. Ele processa dados e envia comandos para os motores, proporcionando uma simulação realista dos movimentos e sensações de voo. A integração cuidadosa desses elementos é essencial para garantir o funcionamento adequado e a eficácia do simulador de voo.

Com base na definição dos objetivos do projeto, a montagem do simulador de voo com peças impressas em 3D envolve diversas etapas. Inicialmente, é necessário conceber e desenhar as peças no software 3D, garantindo que sejam funcionais e se encaixem corretamente. Em seguida, as peças são impressas em 3D e preparadas para a montagem.



Figura 6. Estrutura montada do simulador do voo.

4.1.5. Lista de Materiais

A escolha dos materiais considerou as necessidades do projeto e especificações técnicas necessárias para o bom funcionamento do simulador de voo. Outro ponto importante foram os custos envolvidos, com tecnologia de ponta acessível foi possível estrutural o projeto a um custo relativamente baixo. Conforme demonstração de valores nas tabelas:

Itens:	Valor em R\$
1 Arduino UNO R3 + Cabo Micro USB 2.0	65,00
2 Chave HH Alavanca KN-1122 3 Posições	16,00
1 Chave HH Alavanca KN-1021 2 posições	8,00
5 Chave Táctil PBS-11B Sem Trava	10,00
1 Led azul	0,20
3 Potenciômetros de 10K	12,00
100cm de Fio	3,00
2 Parafusos, 2 porcas e 2 arruelas M8	5,00
30 Parafuso M3 12mm	3,00
4 Elásticos	0,10
1 Tabua de 50cm X 30cm - material reciclado	0,00
300g de Filamento	36,00
Fita Isolante 20cm	0,50
	158,80

No mercado encontramos simulador de voo completo para PC com que vão de R\$ 1800,00 a R\$ 5000,00. Nosso protótipo atende a esta demanda por um investimento de apenas R\$ 158,80.

Recentemente, estudantes do departamento de engenharia da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos desenvolveram um simulador de voo com um preço significativamente mais acessível em comparação com os modelos internacionais. O professor Jorge Henrique Bidinotto destaca que enquanto o simulador importado custa R\$ 5 milhões, o produzido na USP tem um custo de apenas R\$ 200 mil.

Nosso projeto não apresenta todos os itens de simulador profissional, mas é capaz de colocar o usuário em uma experiência bem próxima da realidade de um voo. Com o manuseio dos itens apresentados no equipamento e a representação visual do voo através do emulador Flight Simulator.

5. RESULTADOS

O desenvolvimento e a implementação do simulador de voo utilizando Arduino e impressão 3D demonstraram ser uma abordagem eficaz para a democratização do acesso ao treinamento aeronáutico e à tecnologia de simulação. A construção do simulador permitiu validar a viabilidade do conceito e sua capacidade de fornecer uma experiência educativa acessível e personalizada.

O projeto atingiu seus objetivos principais ao criar um simulador de voo funcional e acessível que pode ser facilmente montado e personalizado. A combinação das tecnologias Arduino e impressão 3D possibilitou a construção de um dispositivo com controles e interfaces realistas, proporcionando uma simulação envolvente e prática. As impressoras 3D permitiram a criação de peças customizadas com alta precisão, resultando em componentes robustos e adaptados às necessidades do usuário. O Arduino, por sua vez, garantiu a integração eficiente dos diversos elementos eletrônicos, coordenando os controles e respondendo às entradas do usuário de forma precisa.

Os testes realizados confirmaram a eficácia do simulador em simular condições de voo e operações básicas de aeronaves. A experiência obtida com o simulador revelou que ele é capaz de oferecer uma base sólida para o aprendizado inicial de conceitos de aviação e controle de voo, atendendo tanto a estudantes em formação quanto a entusiastas da aviação.

Além disso, o simulador demonstrou seu valor como uma ferramenta educativa de baixo custo, que pode ser facilmente implementada em ambientes escolares e clubes aeronáuticos. Sua flexibilidade e a capacidade de personalização permitem que ele se ajuste às necessidades de diferentes usuários e cenários de treinamento, ampliando seu potencial de aplicação na formação de pilotos e no estímulo ao interesse pela aviação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de simulador de voo com Arduino e impressão 3D representa uma inovação significativa na democratização do acesso ao treinamento aeronáutico e à tecnologia de simulação. A abordagem de baixo custo e a integração das tecnologias de Arduino e impressão 3D provaram ser eficazes na criação de um simulador funcional e acessível. Este simulador não só oferece uma experiência de voo realista e imersiva, mas também serve como uma ferramenta valiosa para a educação e o treinamento de pilotos e entusiastas da aviação.

O uso do Arduino permitiu uma integração eficiente dos componentes eletrônicos, enquanto a impressão 3D possibilitou a criação de peças personalizadas e precisas. A combinação dessas tecnologias resultou em um simulador que pode ser adaptado para diferentes necessidades e preferências, oferecendo uma plataforma prática para o aprendizado de conceitos de aviação.

Os resultados obtidos demonstram que o simulador é uma solução viável para superar as barreiras econômicas e educacionais associadas ao treinamento de pilotos. Ele proporciona uma alternativa acessível e eficaz aos métodos tradicionais de treinamento, permitindo que mais pessoas tenham a oportunidade de explorar e desenvolver suas habilidades na aviação.

Além de seu valor educacional, o projeto também promove a cultura Maker e o aprendizado prático, incentivando os usuários a experimentarem e personalizarem seus próprios simuladores. A experiência adquirida com este projeto ressalta o potencial das tecnologias modernas para transformar a educação e a formação profissional, tornando o conhecimento aeronáutico mais acessível e estimulante para novas gerações.

Em conclusão, o simulador de voo desenvolvido representa um avanço significativo na promoção do interesse pela aviação e na formação de futuros pilotos. Ele exemplifica como a tecnologia pode ser usada de forma criativa e acessível para democratizar o conhecimento e inspirar novos talentos na área da aviação.

7. REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ, E. Y.; VEGA, D. F.; MARTÍNEZ, P. S.; FERNÁNDEZ, M. C. Low cost system for measuring the evolution of mechanical properties in cement mortars as a function of mixing water. *Construction and Building Materials*, v. 244, n. 118127, 2020.

ARDUINO. Disponível em: www.arduino.cc. Acesso em: 30 mai. 2024.

BANZI, M. (2005). Arduino: An open-source platform for prototyping. [Online]. Disponível em: <https://forum.arduino.cc/t/sending-midi-cc-value/686355>. Acesso em: 30 mai. 2024.

BANZI, M. (2008). Getting started with Arduino. O'Reilly Media, Inc. ISBN: 9780596555108. Disponível em: [https://github.com/free-educ/books/blob/main/books/\(Make %20Projects\)%20Massimo%20Banzi%20-%20Getting%20Started%20with%20Arduino%20-Make%20\(2008\).pdf](https://github.com/free-educ/books/blob/main/books/(Make%20Projects)%20Massimo%20Banzi%20-%20Getting%20Started%20with%20Arduino%20-Make%20(2008).pdf). Acesso em: 30 mai. 2024.

BRINCANDO COM IDEIAS. Veja como o Arduino dá asas à sua imaginação! Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hYYjJa8z-wE>. Acesso em: 31 maio 2024.

COSTA, J. A. M. da. A Importância dos Simuladores na Formação de Pilotos e CTAs e Seu Impacto na Segurança de Voo. 2008. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Aeronáutica, Departamento de Ciências Aeroespaciais, Universidade da Beira Interior, Covilhã/Portugal. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/3636/1/Tese%20M1803%20Jorge%20da%20Costa.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2024.

DE ALMEIDA, L.; CORREA, C. Percepções sobre os jogos de simulação de voo na formação de pilotos privados de avião. Revista Novas Tecnologias na Educação, Porto Alegre, v. 15, n. 1, 2017. DOI: 10.22456/1679-1916.75108. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/75108> Acesso em: 26 maio. 2024.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008
IFSC Verifica (2022, 27 de setembro). Como a impressão 3D facilita a nossa vida?. https://www.ifsc.edu.br/post-ifsc-verifica/-/asset_publisher/ull70Nv266Xk/content/id/13259109/como-a-impress%C3%A3o-3d-facilita-a-nossa-vida Acesso em: 30 maio. 2024.

MOORE, Kevin. Early History of Flight Simulation. Disponível em: <https://www.simulationinformation.com/education/early-history-flight-simulation>. Acesso em 30 Mai 2024.

MACHADO, J. E. S. Os primórdios dos simuladores de voo. Disponível em: <http://www2.fab.mil.br/musal/index.php/projeto-av-hist/62-projeto-av-hist/470-os-primordios-dos-simuladores-de-voo> Acesso em: 26 mai. 2024.

Thingiverse. About. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/about>. Acesso em: 30 Mai 2024.

Tinkercad: Tinkercad. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em: [data de acesso].

VILELA, Gabriel Figueiredo. A influência do treinamento em simulador de voo no âmbito de gerenciamento de emergências. 2023. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/7110/1/A%20influ%C3%A2ncia%20do%20treinamento%20em%20simulador%20de%20voo%20no%20C3%A2mbito%20de%20gerenciamento%20de%20emerg%C3%A2ncias.pdf>. Acesso em: 30 Mai 2024.

TURKLE, Sherry. Reclaiming Childhood: Protecting Our Children from the Second Machine Age. The Atlantic, 2015. Disponível em: <https://www.amazon.com/Reclaiming-Childhood-Letting-Children-Achievement-Oriented/dp/0805075135>. Acesso em: 20 mai. 2024.

APÊNDICE A

Código Fonte para o Simulador de voo comentado

```
/* Arduino USB Joystick HID demo */

/* Autor: Darran Hunt
   Lançado no domínio público.
   Atualização por RICLAMER em 25/03/2014 para usar portas analógicas e
   digitais.
   Este código é para ser usado com Arduino UNO (6 eixos e 13 botões).
   Este código é compatível com Arduino Mega.
*/

/* INSTALAÇÃO
   Conecte potenciômetros em cada porta analógica usando GND, Analog, e 5V
   do Arduino.
   Imagem de referência: http://arduino.cc/en/uploads/Tutorial/joy\_sch\_480.jpg
   Para os botões, conecte os interruptores entre GND e as Portas Digitais
   02~13.
   Use o Flip para apagar e gravar este firmware DFU:
   https://github.com/harlequin-tech/arduino-usb/blob/master/firmwares/Arduino-
   big-joystick.hex
   Testado com Arduino R3 com Atmega 16U2.
*/

#undef DEBUG // Comente esta linha para habilitar a saída de depuração

#define NUM_BUTTONS 40 // Número de botões (não é necessário
alterar)
#define NUM_AXES 8 // 6 eixos para UNO, 8 para MEGA. Ajuste se
estiver usando MEGA.

typedef struct joyReport_t {
  int16_t axis[NUM_AXES]; // Array para armazenar os valores dos
eixos
  uint8_t button[(NUM_BUTTONS + 7) / 8]; // Array para armazenar os estados
dos botões (8 botões por byte)
} joyReport_t;

joyReport_t joyReport; // Instância a estrutura de relatório do joystick

uint8_t btn[12]; // Array para armazenar os estados dos botões
int fulloff = 0; // Variável de sinalização
void setup(void);
void loop(void);
void setButton(joyReport_t *joy, uint8_t button);
```

```

void clearButton(joyReport_t *joy, uint8_t button);
void sendJoyReport(joyReport_t *report);

void setup()
{
  // Define os pinos digitais 02 a 13 como entrada com resistores pull-up
  // internos
  for (int portId = 2; portId < 13; portId++) {
    pinMode(portId, INPUT_PULLUP);
  }
  Serial.begin(115200); // Inicializa a comunicação serial a 115200 baud
  delay(200); // Pequeno atraso para estabilidade do setup

  // Inicializa os valores dos eixos
  for (uint8_t ind = 0; ind < 8; ind++) {
    joyReport.axis[ind] = ind * 1000; // Define valores iniciais dos eixos (para
    // depuração)
  }
  // Inicializa os estados dos botões
  for (uint8_t ind = 0; ind < sizeof(joyReport.button); ind++) {
    joyReport.button[ind] = 0; // Limpa os estados dos botões
  }
}

// Envia um relatório HID para a interface USB
void sendJoyReport(struct joyReport_t *report)
{
  #ifndef DEBUG
    Serial.write((uint8_t *)report, sizeof(joyReport_t)); // Envia dados binários pela
    // serial
  #else
    // Para depuração: imprime o relatório em formato legível
    for (uint8_t ind = 0; ind < NUM_AXES; ind++) {
      Serial.print("axis[");
      Serial.print(ind);
      Serial.print("]= ");
      Serial.print(report->axis[ind]);
      Serial.print(" ");
    }
    Serial.println();
    for (uint8_t ind = 0; ind < NUM_BUTTONS / 8; ind++) {
      Serial.print("button[");
      Serial.print(ind);
      Serial.print("]= ");
      Serial.print(report->button[ind], HEX);
      Serial.print(" ");
    }
    Serial.println();
  #endif
}

```

```

// Ativa um botão
void setButton(joyReport_t *joy, uint8_t button)
{
    uint8_t index = button / 8; // Determina o índice do byte
    uint8_t bit = button - 8 * index; // Determina a posição do bit dentro do byte

    joy->button[index] |= 1 << bit; // Define o bit para 1
}

// Desativa um botão
void clearButton(joyReport_t *joy, uint8_t button)
{
    uint8_t index = button / 8; // Determina o índice do byte
    uint8_t bit = button - 8 * index; // Determina a posição do bit dentro do byte

    joy->button[index] &= ~(1 << bit); // Limpa o bit para 0
}

/*
  Lê as portas digitais para os botões
  Lê as portas analógicas para os eixos
*/
void loop()
{
    // Lê os estados dos botões das portas digitais
    for (int bt = 1; bt < 13; bt++) {
        btn[bt] = digitalRead(bt + 1); // Armazena o estado do botão (LOW se
pressionado)
    }
    // Atualiza os estados dos botões no relatório
    for (int on = 1; on < 13; on++) {
        if (btn[on] == LOW) {
            setButton(&joyReport, on + 16); // Ativa o botão correspondente no
relatório
            delay(1); // Pequeno atraso para debounce
        } else {
            clearButton(&joyReport, on + 16); // Desativa o botão correspondente no
relatório
        }
    }
}

// Lê os valores analógicos e mapeia para a faixa de eixos do joystick
for (uint8_t axis = 0; axis < 2; axis++) { // Eixo 0 (X) e 1 (Y)
    joyReport.axis[axis] = map(analogRead(axis), 0, 1023, -32768, 32767);
}
for (uint8_t axis = 2; axis < 4; axis++) { // Eixo 2 (Z) e 3
    joyReport.axis[axis] = map(analogRead(axis), 0, 1023, -32768, 32767);
}

```

```
// Define valores fixos para os eixos não utilizados
joyReport.axis[4] = A0; // Placeholder para eixo não utilizado
joyReport.axis[5] = A3; // Placeholder para eixo não utilizado
joyReport.axis[6] = A2; // Placeholder para eixo não utilizado
joyReport.axis[7] = 0; // Zero para eixo não utilizado

// Envia o relatório HID
sendJoyReport(&joyReport);

delay(35); // Pequeno atraso para estabilidade
fulloff = 0; // Reseta a variável de sinalização
}
```