



---

**POSICIONAMENTO E EXIBIÇÃO DE IMAGENS 3D UTILIZANDO  
ÓCULOS DE REALIDADE AUMENTADA PARA APLICAÇÃO  
CIRÚRGICA**

---

Relatório final na modalidade de auxílio à iniciação científica, submetido à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

---

Processo: 2020/15835-4

Pesquisador Responsável: Dr. Glauco Augusto de Paula Caurin

Coorientador: Paulo Henrique Polegato

Beneficiário: Calvin Suzuki de Camargo

# **Informações gerais do projeto**

- Título do projeto:

**Posicionamento e exibição de imagens 3D utilizando óculos de realidade aumentada para aplicação cirúrgica**

- Pesquisador responsável:

**Dr. Glauco Augusto de Paula Caurin**

- Coorientador:

**Paulo Henrique Polegato**

- Beneficiário:

**Calvin Suzuki de Camargo**

- Número do processo do projeto:

**2020/15835-4**

- Instituição sede do projeto:

**Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**

- Período de vigência proposto:

**01 de março de 2021 a 28 de fevereiro de 2022**

- Período coberto por este relatório científico:

**01 de março de 2021 a 28 de fevereiro de 2022**

# Resumo

Trata-se do relatório final do projeto de pesquisa de iniciação científica que compreende os trabalhos iniciados em março de 2021 até o final de fevereiro de 2022. O projeto visa estudar a exibição de objetos 3D em óculos inteligentes (*Smart glasses*) com realidade aumentada, que podem servir como um dispositivo auxiliar para aplicações cirúrgicas. Para isso, conceituamos as relações entre visão computacional e computação gráfica no campo da realidade aumentada. Com o apoio do Laboratório Aeronáutico de Tecnologias (AeroTech), definimos uma arquitetura de sistema que permite a sobreposição de um modelo 3D na cabeça de um paciente, indicando pontos de implantação de eletrodos durante o procedimento neurocirúrgico orientado por estereoeletroencefalografia (SEEG). Essa arquitetura foi baseada na comunicação de computador e óculos pela rede local: O computador recebe as imagens da câmera dos óculos e utiliza o método de detecção por marcadores fiduciais (*ArUco*) para estimar a posição do paciente e envia as coordenadas aos óculos, indicando onde a projeção deve ser exibida. Os resultados parciais da aplicação apresentam uma rápida responsividade com o método de estimativa escolhido.

**Palavras-chaves:** *Smart glasses*, Aplicação cirúrgica, Visão computacional, Realidade aumentada.

# **Sumário**

<b>Informações gerais do projeto</b>	<b>i</b>
<b>Resumo</b>	<b>ii</b>
<b>1 Resumo do projeto</b>	<b>1</b>
1.1 Enunciado do problema . . . . .	1
1.2 Objetivo . . . . .	2
1.3 Metodologia . . . . .	2
1.4 Breve histórico do projeto . . . . .	3
<b>2 Realizações</b>	<b>4</b>
2.1 Revisão bibliográfica . . . . .	4
2.2 VCranium . . . . .	6
2.3 Calibração . . . . .	6
2.4 Implementação . . . . .	8
<b>3 Plano de atividades para o próximo período</b>	<b>9</b>
<b>4 Participação de eventos acadêmicos</b>	<b>11</b>
<b>Referências bibliográficas</b>	<b>12</b>

# 1 Resumo do projeto

## 1.1 Enunciado do problema

Atualmente na medicina, as cirurgias têm o objetivo de causar a mínima agressão ao organismo do paciente, isso implica em um menor tempo de hospitalização; menor incidência de complicações pós-operatórias; menos dor; e recuperação mais rápida (IPC..., 2019). Contudo, entre os diversos desafios de sua realização, a habilidade visual do médico, que envolve a capacidade de localizar e identificar os tecidos sensíveis, é essencial para redução dos danos ao paciente durante um procedimento cirúrgico, nos levando à questão: Como podemos potencializar a visão do médico para aumentar a qualidade dessas operações?



Figura 1.1: Exemplo da utilização de neuronavegador em cirurgia. Fonte: (SERVIÇO..., 2019).

Para esse fim, um *software* que informa e assiste o médico em tempo real na operação denota-se como um ótimo meio de aumentar as chances de sucesso dessas cirurgias. Atualmente, esses *softwares* são muito presentes no planejamento e execução das operações, entretanto, toma-se como exemplo os sistemas de neuronavegação, cuja função é permitir visualização, de forma precisa, das estruturas cerebrais do paciente. O neurocirurgião precisa virar a cabeça para ler os monitores e perde o foco na atividade conduzida, colaborando para um maior tempo de operação e favorecendo a exaustão do profissional, de modo que aumente seu potencial de erros durante os procedimentos cirúrgicos (Figura 1.1).

Para isso, a tecnologia de realidade aumentada (*AR*) oferece o potencial de reduzir es-

sas limitações, em razão de que figuras tridimensionais podem sobrepor a visão do médico para facilitar a visualização e a localização dos objetivos da operação enquanto mantém seus olhos direcionados ao paciente (CHO et al., 2020). O que foi feito nesse projeto é uma pesquisa que envolve visão computacional e computação gráfica no campo do *AR* e uma aplicação para os óculos da empresa *Seiko Epson Corporation*<sup>®</sup>, modelo *Moverio BT-350™*. Recebendo suporte físico e técnico da equipe do Laboratório Aeronáutico de Tecnologias (Aerotech) da Universidade de São Paulo, esse estudo corrobora com o objetivo do grupo que é desenvolver uma plataforma colaborativa de multi-aplicação neurocirúrgica.

## **1.2 Objetivo**

Exibir informações e posicionar modelos tridimensionais em uma região do espaço com *AR*, de forma que facilite o acesso do cirurgião à informação durante a neurocirurgia; estudar e registrar a resposta dos equipamentos utilizados no quesito de qualidade gráfica e latência de resposta do sistema. Tudo isso, com o objetivo central de aumentar a proximidade do cirurgião com a tecnologia de *AR* como apoio durante os procedimentos cirúrgicos.

## **1.3 Metodologia**

Consiste na listagem de possíveis soluções, técnicas ou ferramentas; o estudo e a discussão sobre elas, em seguida, sua implementação. Paralelamente a isso, a busca bibliográfica é constantemente realizada com o objetivo de esclarecer dúvidas sobre os meios imaginados e discutidos com o orientador e coorientador. Essa busca enfatiza os resultados encontrados pelos artigos, o objetivo disto é caracterizar os prós e contras das diversas opções encontradas. Essa pesquisa de artigos trás uma evolução do discernimento dos assuntos do estado da arte, refletindo em uma noção de funcionamento dos métodos científicos que constrói um novo pesquisador no desenvolvimento dessa iniciação científica.

## 1.4 Breve histórico do projeto

Desde o início dos trabalhos no projeto, foram experimentados diversos tipos de contato com a elaboração de *softwares* para o sistema operacional *Android* (Figura 1.2a); testes das ferramentas da documentação dos óculos de realidade aumentada *Moverio BT-350* (Figuras 1.2b e 1.2c); e a elaboração de aplicativos que ilustram o objetivo do *VCranium* (Figura 1.2d). Assim, como foi explicado no relatório parcial da pesquisa, pretendíamos prosseguir o desenvolvimento estabelecendo uma arquitetura composta por computador e óculos para capturar os dados necessários para a projeção em realidade aumentada, os detalhes serão descritos no capítulo das realizações.



Figura 1.2: Histórico de realizações da pesquisa até a primeira entrega parcial. Fonte: Autor.

## 2 Realizações

### 2.1 Revisão bibliográfica

Buscando a sanar as dificuldades encontradas relacionadas a calibração da da sobreposição da projeção da realidade aumentada, foram pesquisados referências que esclareçam o fundamento matemático dessa transformação. [Procurar artigo de exemplo].

O vídeo *Augmented Reality: Camera Calibration*, do autor Pavel Rojtberg, detalhou os conceitos da calibração e presentou a abordagem matemática do problema (AUGMENTED..., 2020). Segundo a conferência, uma projeção em AR pode ser modelada com uma função  $f$  que faz a transformação de um ponto de um espaço 3D (modelo virtual) para um espaço 2D (visualização), definida por:

$$f(P, R, t, C) = p$$

$p$ : ponto (x,y) da projeção;  $P$ : ponto (X,Y,Z) do modelo

$R$ : parâmetro de rotação;  $t$ : parâmetro de translação

$C$ : parâmetro de distorção da câmera

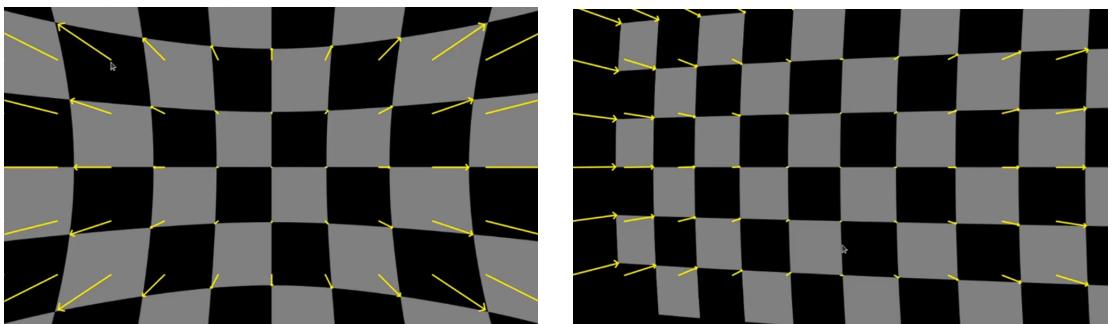
Os parâmetros  $R$  e  $t$  são matrizes descrevem a rotação e a posição da câmera que, em condições normais, são constantes e chamados de parâmetros extrínsecos da câmera. O parâmetro  $C$  é uma matriz que modela as deformações da construção da lente da câmera, particular para cada dispositivo de captura de imagem. As deformações variam sua intensidade e modo de



(a) Imagem real da câmera.

(b) Imagem corrigida.

Figura 2.1: Comparação entre imagem real da captura e imagem corrigida. Fonte: (AUGMENTED..., 2020).



(a) Distorção radial.

(b) Distorção tangencial.

Figura 2.2: Exemplo dos tipos de distorção das câmeras. Fonte: (AUGMENTED..., 2020).

A deformação pode ser separada em duas componentes: radial e tangencial (Figura 2.2). Em *webcams* convencionais, podemos encontrar com frequência ambas as componentes de distorção, porém em câmeras de alta qualidade de fabricação, é comum encontrar somente deformação radial, por conta do formato das lentes ser circular e muitas utilizam essa estrutura para ampliar seu ângulo de visão, como acontece com as lentes *fisheye* (Figura 2.1a).



Figura 2.3: Diagrama da distorção de captura de uma câmera, contendo componente radial e tangencial. Regiões azuis são menos afetadas e regiões vermelhas são mais afetadas pela distorção. Fonte: (AUGMENTED..., 2020).

## 2.2 VCranium

Durante o primeiro período de um ano da pesquisa, foi possível definir uma arquitetura adequada para a aplicação à AR em neurocirurgias e um nome fantasia: *VCranium*. Em sumo, o sistema foi dividido em computador e óculos: O computador estima a posição da projeção e os óculos exibem as imagens nos olhos do usuário. Esse sistema foi inspirado no artigo de Maruyama, que utilizou um *software* de visualização médica em um computador, que fazia o envio dos dados para os óculos *AR* utilizando o *Unity* (MARUYAMA et al., 2018).

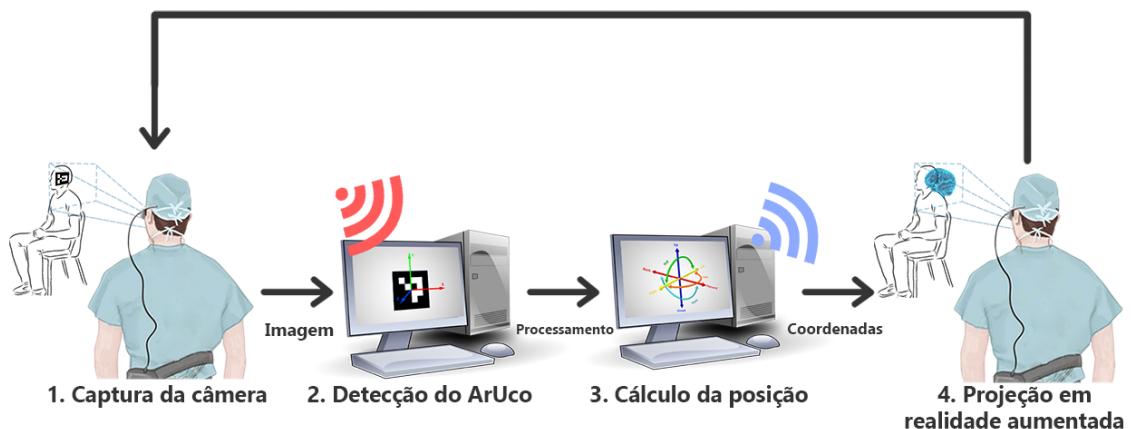


Figura 2.4: A figura representa o funcionamento do sistema. (1) Captura a imagem do paciente e envio para o computador. (2) Faz uma varredura na imagem e identifica o marcador ArUco. (3) Calcula a posição do marcador e envia as coordenadas para os óculos. (4) Recebe as informações e exibe a projeção para o usuário e então retorna para o passo 1. Fonte: Autor.

## 2.3 Calibração

A *OpenCV Library* implementou um método que permite medir a deformação de cada câmera com o fim de gerar os parâmetros da calibração. Esse processo é feito utilizando um marcador especial apelidado pela documentação por "*chess board*", que serve de ferramenta para o programa encontrar a distância de cada vértice de quadrado entre si e, dessa maneira, calcular os coeficientes de distorção (CAMERA..., 2022). Por fim, podemos visualizar o processo na Figura 2.5, a documentação sugere que ao menos 10 amostras sejam feitas e, em cada imagem, os pontos são encontrados pelo programa e utilizados para o cálculo dos parâmetros.

Após esse último processo, utilizamos os parâmetros encontrados para realizar a esti-



Figura 2.5: Processo de calibração da câmera. Fonte: Autor.

mação da posição do marcador *ArUco*, como já foi feito na entrega anterior Figura 2.6. Como foi descrito também no último relatório, não foi possível adquirir um resultado satisfatório sobre a calibração da projeção AR.

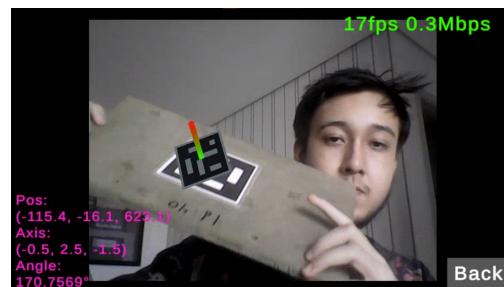


Figura 2.6: Projeção AR sem calibração, adquirida na entrega anterior. Fonte: Autor.

Compreendendo a abordagem do assunto apresentado por Pavel e a divisão entre parâmetros extrínsecos e intrínsecos da projeção, foi possível representar o problema enfrentado pelo projeto na Figura 2.7.

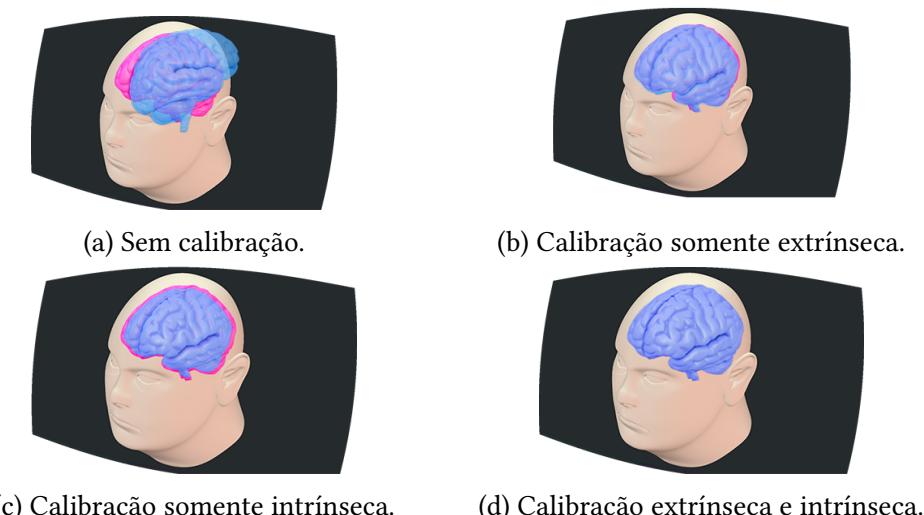


Figura 2.7: Comparação da combinação de cada componente de calibração. Fonte: Autor.

## 2.4 Implementação

A figura 2.7 facilita a explicação dos problemas enfrentados pela calibração AR. O primeiro exemplo da Figura 2.7a, representa o problema encontrado pela última entrega (Figura 2.6) que consiste na total inconsistência de orientação do modelo em relação à referência. Para solucionar isso, foi implementado ajustes no código em *C#* da plataforma *Unity* para realizar um ajuste de posição e rotação manual. Podemos verificar isso com a Figura 2.8.

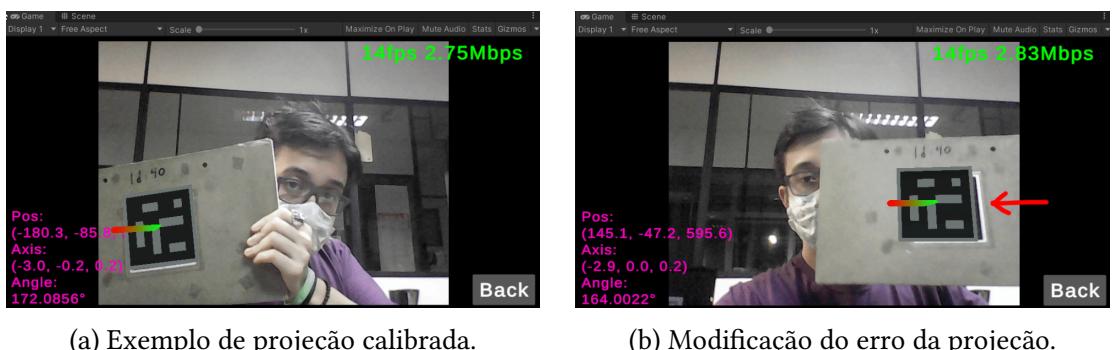


Figura 2.8: Visualização da projeção apó a calibração extrínseca por *Unity*. Fonte: Autor.

Foi possível perceber na prática que o ajuste de rotação e posição da projeção é o mesmo que uma calibração extrínseca, por isso, observando a Figura 2.8a, a projeção sobrepõe bem o marcador, porém, na mesma configuração, o mesmo não ocorre em outra região da tela. A Figura 2.8b mostra que erro da projeção se altera conforme mudamos a posição do marcador no mundo real, mostrando que não há solução constante de rotação e posição que realize uma sobreposição consistente em todas as partes da tela.

Esse fenômeno é causado pelas diferentes deformações que a imagem da câmera possui, visto também no diagrama da Figura 2.3. Nesse exemplo, a projeção pode ser muito boa nas regiões azuis da imagem, porém, obtemos erros grandes nas regiões vermelhas. A ilustração criada na Figura 2.7 consiste em uma imagem muito deformada, i.e, a imagem toda possui um grau de deformação radial e tangencial. Isso implica na impossibilidade da sobreposição ocorrer ao utilizar a calibração puramente extrínseca, como é observado em 2.7b, observamos que a projeção terá um erro variável em sua extensão.

### 3 Plano de atividades para o próximo período

As últimas realizações foram bem acompanhadas por pesquisas novas referências e aprofundamento matemático do problema de calibração encontrado. Ademais, o assunto de calibração é um tema estudado próximo ao anos 2000 e não é discutido atualmente em forma de artigos, mas, em contrapartida, foram encontrados referências na documentação do *OpenCV* e vídeo-aulas como a de Pavel, desenvolvidas na Seção 2.1. Como um reflexo desse estudo, e a continuação da implementação apresentada na Seção 2.4, definimos um objetivo sólido de prosseguir com a programação da calibração e finalizar as duas etapas (extrínseca e intrínseca) da calibração da projeção em realidade aumentada.



Figura 3.1: Arquitetura de sistema recentemente publicado. Utiliza conexão sem fio e um *Microsoft Hololens 1* para funcionamento em *OST* e *VST*. Fonte: (HU; BAENA; CUTOLO, 2022)

Durante a revisão bibliográfica, foi encontrado um artigo que desenvolve um sistema que auxilia cirurgias ortopédicas utilizando AR. Neste, foram apresentados dois tipos de projeção em realidade aumentada: *VST* ou *video see-through* consiste em exibir um vídeo com a projeção; e *OST* ou *optical see-through* funciona projetando a imagem da sobreposição em um *display semi-transparente* (HU; BAENA; CUTOLO, 2022).

Ambos os tipos de projeção podem ser feitos com o *Moverio BT-350*, porém, a quantidade de materiais de estudo disponíveis para o *VST* são muito maiores pois é o tipo de projeção mais popular e presente em *smartphones*, *tablets* e óculos de realidade virtual. Por conta disso, foi decidido implementar primeiramente o sistema em *VST*, mesmo os nossos equipamentos permitindo o *OST*. Dessa forma, temos uma maior versatilidade utilizar o *VCranium* também em outros dispositivos além de óculos de realidade aumentada.

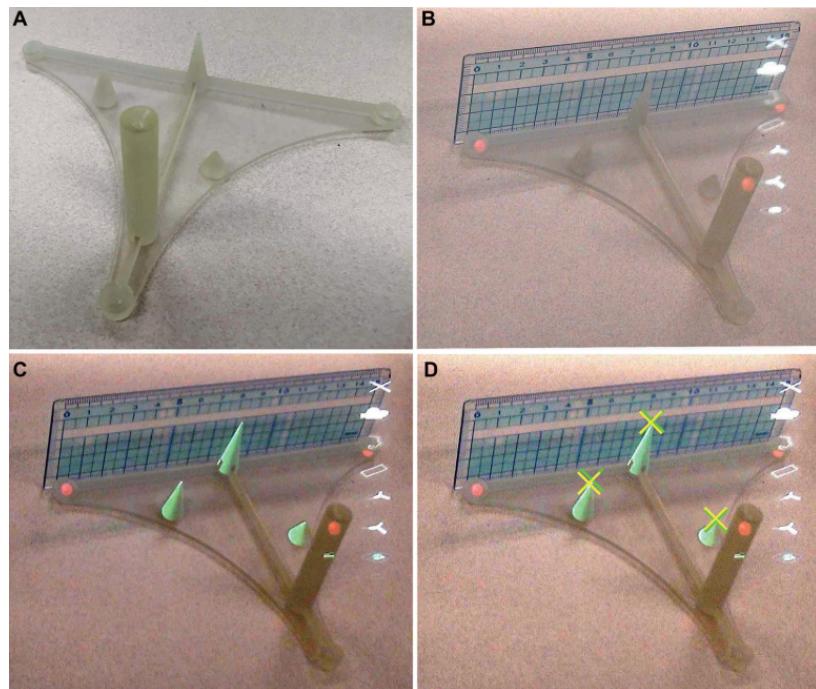


Figura 3.2: A figura demonstra a construção a utilização do calibrador (*phantom*) para a medição do erro da projeção em realidade aumentada. Fonte: (MARUYAMA et al., 2018)

Após finalizarmos a calibração da projeção, temos que utilizar um método para medir a sua precisão. Esse campo já foi estudado no artigo de Maruyama, onde foi necessário construir um modelo calibrador que serve como alvo para o algoritmo calcular o erro da visualização, observável na Figura 3.2. Portanto, a tarefa final do projeto é escolher um método de verificação de erro após a pesquisa e a listagem dos métodos possíveis.

## **4 Participação de eventos acadêmicos**

O laboratório Aerotech possui uma política que engaja os alunos a participarem de eventos acadêmicos em busca de novas experiências e crescimento pessoal na área de atuação de cada um. Esse semestre foi marcado pela readaptação da equipe para o formato presencial de atividades e nenhuma participação em quaisquer eventos acadêmicos foi realizada. Entretanto, como é de se esperar do laboratório, os preparativos estão sendo feitos para a participação do próximo Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP (SIICUSP).

# Referências bibliográficas

- AUGMENTED Reality: Camera Calibration. [S.l.: s.n.], 2020. [https://youtu.be/MfZ1\\_kWgEt8](https://youtu.be/MfZ1_kWgEt8). Acessado em: 31 de julho de 2022.
- CAMERA Calibration: tutorial. [S.l.: s.n.], 2022. [https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial\\_py\\_calibration.html](https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial_py_calibration.html). Acessado em: 03 de agosto de 2022.
- CHO, J. et al. Enhancing Reality: A Systematic Review of Augmented Reality in Neuronavigation and Education. **World Neurosurgery**, p. 186–195, mai. 2020. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.04.043.
- HU, X.; BAENA, F. R. Y.; CUTOLO, F. Head-Mounted Augmented Reality Platform for Markerless Orthopaedic Navigation. **IEEE journal of biomedical and health informatics**, IEEE, v. 26, n. 2, p. 910–921, fev. 2022. ISSN 2168-2208. DOI: 10.1109/JBHI.2021.3088442. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9453133/>> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34115600>.
- IPC Instituto de Patologia da Coluna. [S.l.: s.n.], 2019. <https://neurocirurgia.com/cirurgia-minimamente-invasiva/>. Acessado em: 18 de março de 2022.
- MARUYAMA, K. et al. Smart Glasses for Neurosurgical Navigation by Augmented Reality. **Operative Neurosurgery**, v. 15, n. 5, p. 551–556, nov. 2018. ISSN 23324260. DOI: 10.1093/ons/oxz279. Disponível em: <<https://academic.oup.com/ons/article/15/5/551/4823484>>.
- SERVIÇO de Neurocirurgia retira lesão cerebral com paciente acordado: Youtube. [S.l.: s.n.], 2019. <https://youtu.be/-n1x25yu04w>. Acessado em: 5 de março de 2022.