

**Calibração de câmeras para
utilização no cálculo de
impedimentos de jogadores
de futebol a partir de imagens**

Acadêmico: Mayko Starosky

Orientador: Paulo César Rodacki Gomes

Roteiro apresentação

- **Introdução**
- **Fundamentação teórica**
- **Calibração de câmera**
- **Implementação**
- **Conclusões**

Introdução

- Em transmissões televisivas, são utilizados recursos de computação gráfica.
- Em partidas de futebol é usado o “tira-teima”.
- Mundo real: três dimensões (3D).
- Tela da televisão: duas dimensões (2D).

Introdução

- **No trabalho, é gerado um modelo matemático que simula a câmera que capturou a imagem.**

Objetivos do trabalho

**Determinar a posição de
impedimento de jogadores de
futebol a partir de imagens
estáticas de jogos de futebol**

Fundamentação Teórica

Posição de impedimento:

“Consiste em um jogador estar mais perto da linha da meta contrária que a bola e o penúltimo adversário, no momento de um passe para o mesmo” (CBF, 2000)

Posição de impedimento

- Sem “tira-teima”:

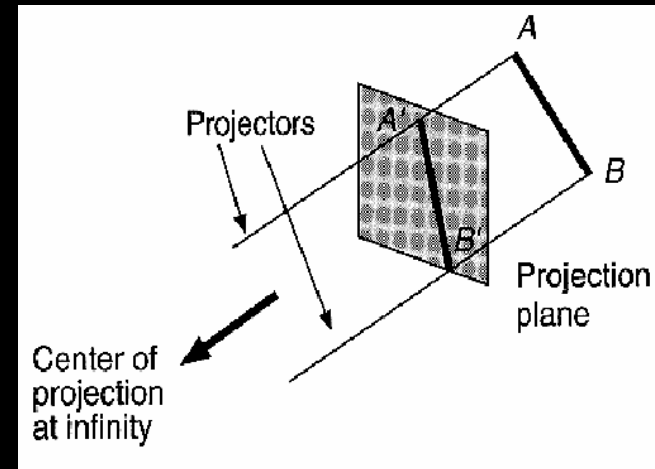


- Com “tira-teima”:

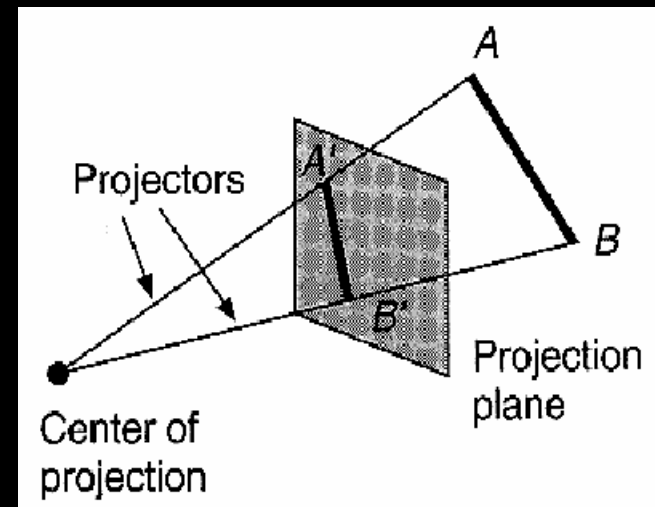


Tipos de projeção

- Paralela



- Perspectiva



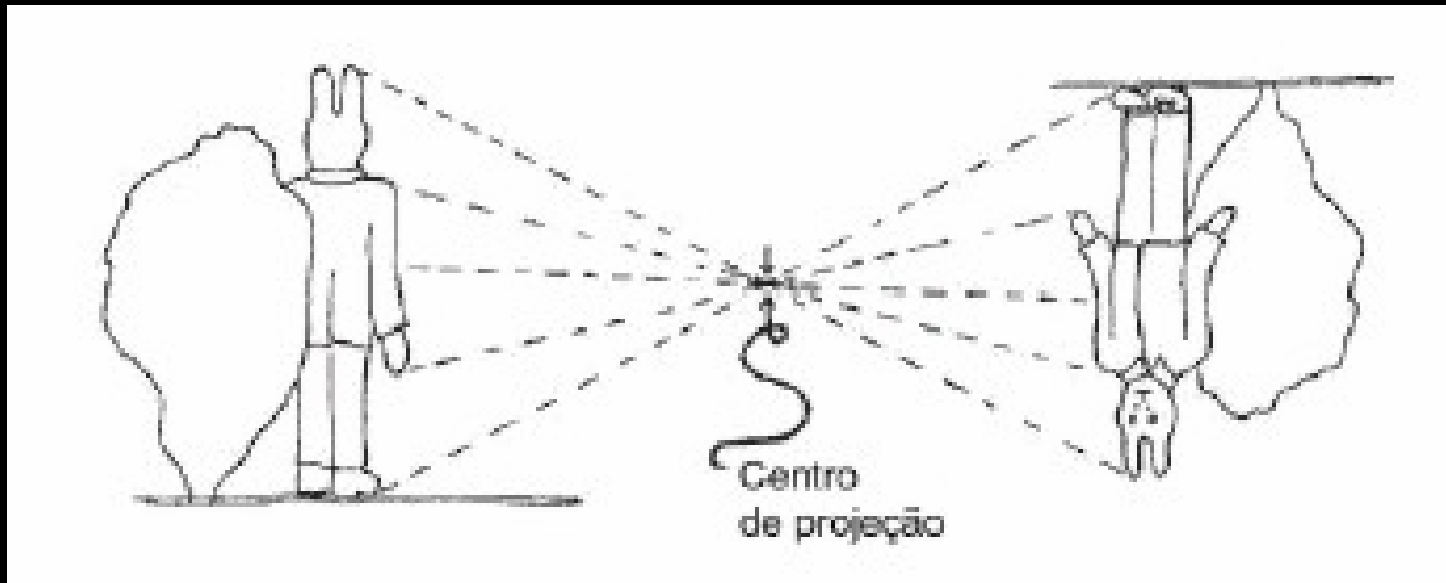
Câmeras de vídeo

Possuem propriedades que transformam imagens de um sistema de coordenadas cartesiano de 3D (mundo real) para um sistema de coordenadas cartesiano de 2D.

Modelo de câmera de Vídeo

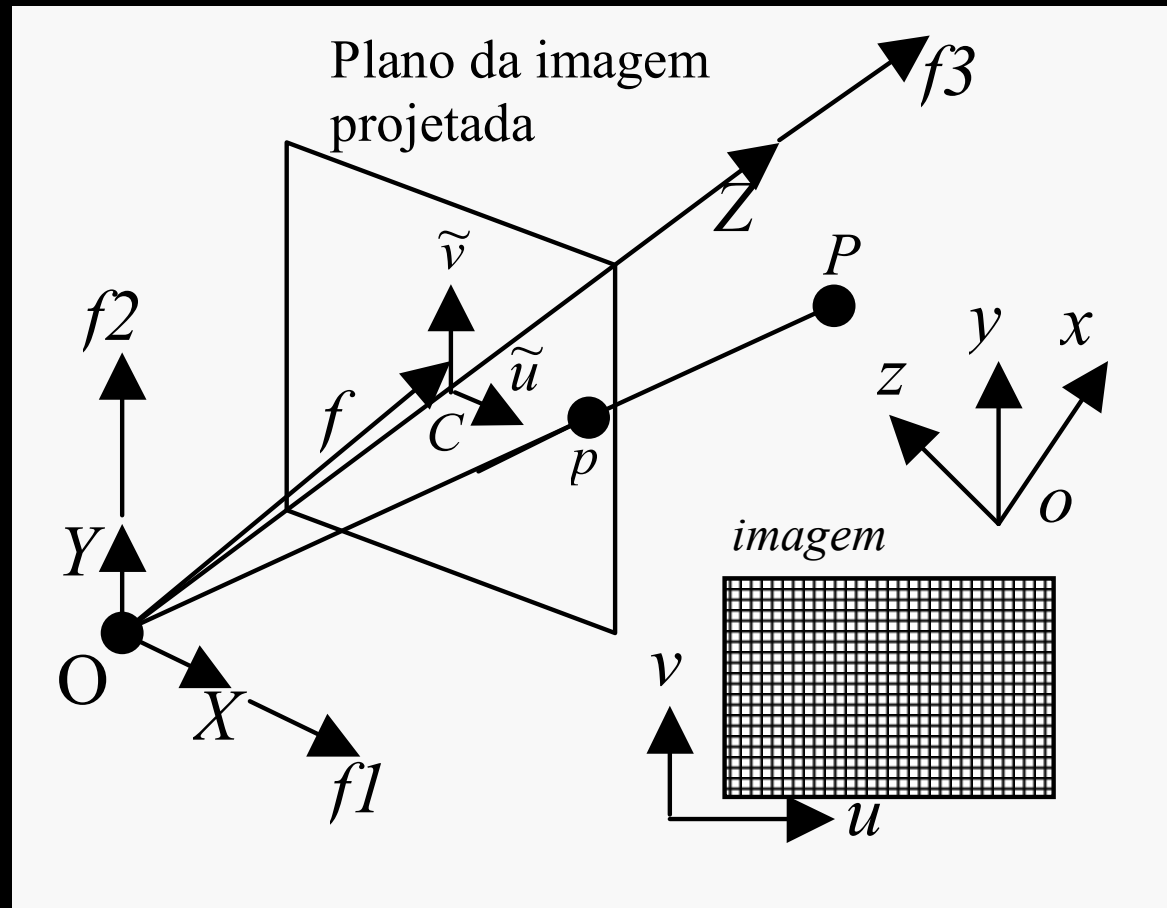
Câmera *Pinhole*:

Captura imagens do mundo real por um orifício, que são projetadas num plano.



Modelo de câmera de vídeo

Modelo de câmera *Pinhole* simplificado



Modelo de câmera de vídeo

Mapeamento de pontos 3D para 2D (OXYZ para C (\tilde{u}, \tilde{v}))

$$(\tilde{u}, \tilde{v}) = \left(f\left(\frac{X}{Z}\right), f\left(\frac{Y}{Z}\right) \right)$$

Compatibilização das origens de sistemas de coordenadas OXYZ (câmera) e oxyz (mundo)

$$(R | T) = \begin{bmatrix} r_1 & t_1 \\ r_2 & t_2 \\ r_3 & t_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{1x} & r_{1y} & r_{1z} & t_x \\ r_{2x} & r_{2y} & r_{2z} & t_y \\ r_{3x} & r_{3y} & r_{3z} & t_z \end{bmatrix}$$

Modelo de câmera de vídeo

Projeção de ponto do mundo 3D ($P=(x, y, z)$) no ponto (\tilde{u}, \tilde{v}) 2D

$$\begin{bmatrix} \tilde{u}s \\ \tilde{v}s \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fr_1 & ft_x \\ fr_2 & ft_y \\ r_3 & t_z \end{bmatrix}$$

Desenvolvimento do sistema de equações acima:

$$u - u_0 = f \frac{r_{1x}x + r_{1y}y + r_{1z}z + t_x}{r_{3x}x + r_{3y}y + r_{3z}z + t_x}$$

$$v - v_0 = f \frac{r_{2x}x + r_{2y}y + r_{2z}z + t_x}{r_{3x}x + r_{3y}y + r_{3z}z + t_x}$$

Modelo de câmera de vídeo

Forma matricial das equações de projeção

$$\begin{bmatrix} us \\ vs \\ s \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 & q_{14} \\ q_2 & q_{24} \\ q_3 & q_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fr_1 + u_0 r_3 & ft_1 + u_0 t_z \\ fr_2 + v_0 r_3 & ft_y + v_0 t_z \\ r_3 & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Matriz de projeção genérica

$$\begin{bmatrix} us \\ vs \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Homografia

Quando todos os pontos são co-planares
(todos os pontos no campo têm
coordenada $z = 0$), a matriz genérica é
simplificada.

$$\begin{bmatrix} uS \\ vS \\ S \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Parâmetros da homografia

- Processo de determinar as propriedades de câmeras de vídeo.
- É fundamental calcular os parâmetros da homografia (ou calibração de câmera).

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}$$

Parâmetros da homografia

- Calculados a partir de 4 (quatro) pares de pontos de referência, que tenham as posições determinadas tanto no sistema

C (\tilde{u}, \tilde{v}) , quanto no Sistema do Universo

U (x, y, z)

Método de Gauss-Jordan

Ou Eliminação Gaussiana

- Consiste em simplificar um conjunto de equações por eliminação de uma variável de cada vez de equações sucessivas.
- Deve-se encontrar a solução do sistema, determinando os valores para os elementos do vetor de incógnitas C

Método de Gauss-Jordan

a) ao lado da matriz dos coeficientes das variáveis (A), coloca-se a matriz-coluna dos termos independentes (B).

Matriz ampliada do sistema de equações

$$A.B = \left[\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} & b_2 \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} & b_m \end{array} \right]$$

Método de Gauss-Jordan

b) Transformar a matriz ampliada em uma matriz em forma escalonada (matriz triangular superior).

Matriz triangular superior

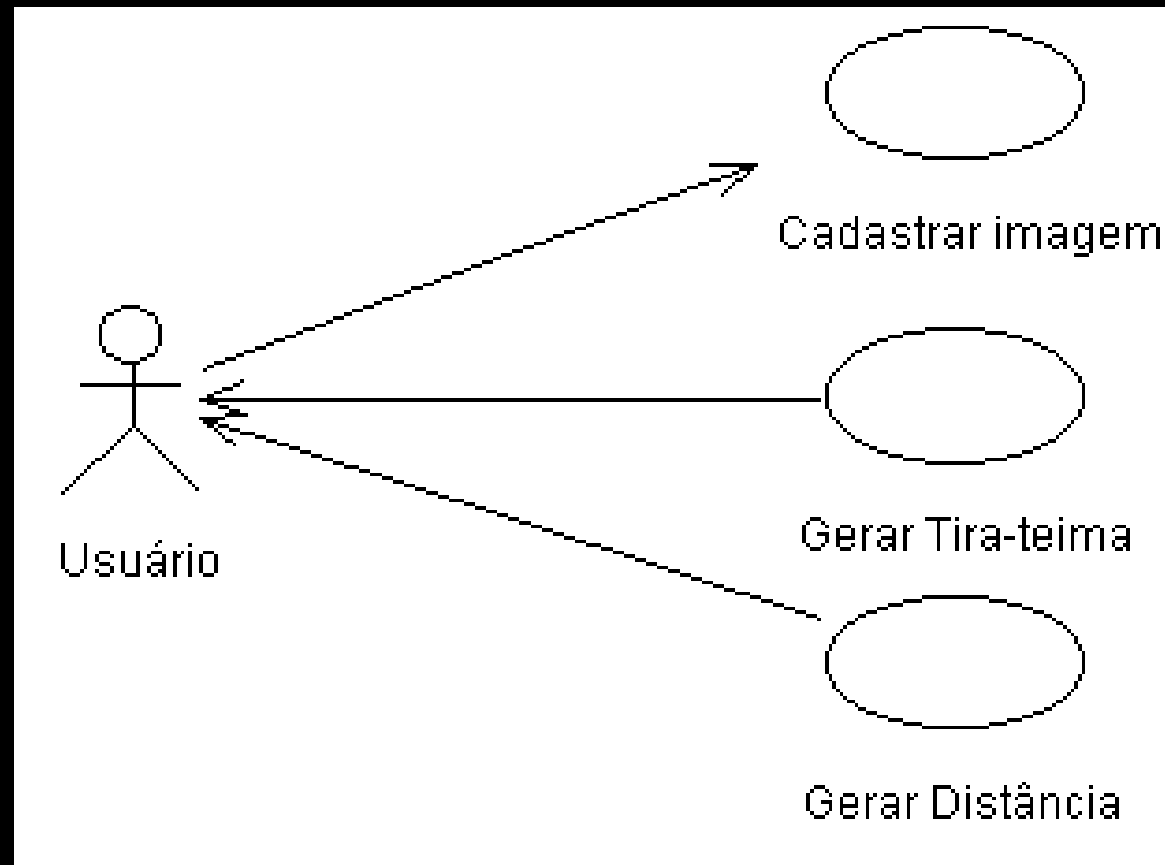
$$\left[\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} & b_1 \\ 0 & a_{22} & \dots & a_{2m} & b_2 \\ \hline 0 & 0 & \dots & a_{mn} & b_m \end{array} \right]$$

Requisitos principais do problema

- Carrega-se um arquivo de imagem estática de uma cena de um jogo de futebol.
- Informa-se 4 pontos de referência do campo.
- Calcula-se a matriz de transformação da imagem.
- Informa-se a posição do jogador de ataque e defesa.
- Calcula-se a posição de impedimento.

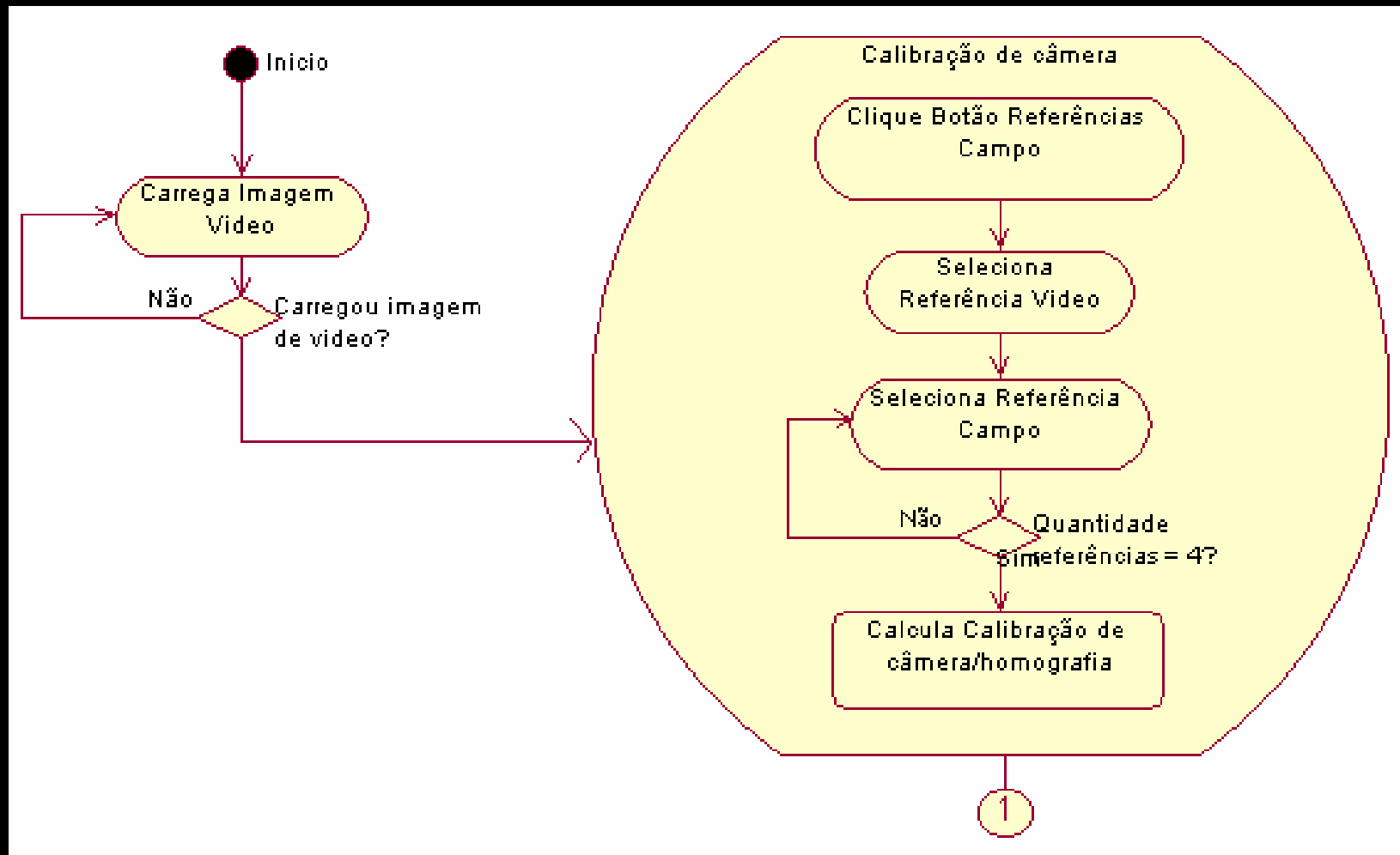
Especificação

Diagrama de casos de uso:



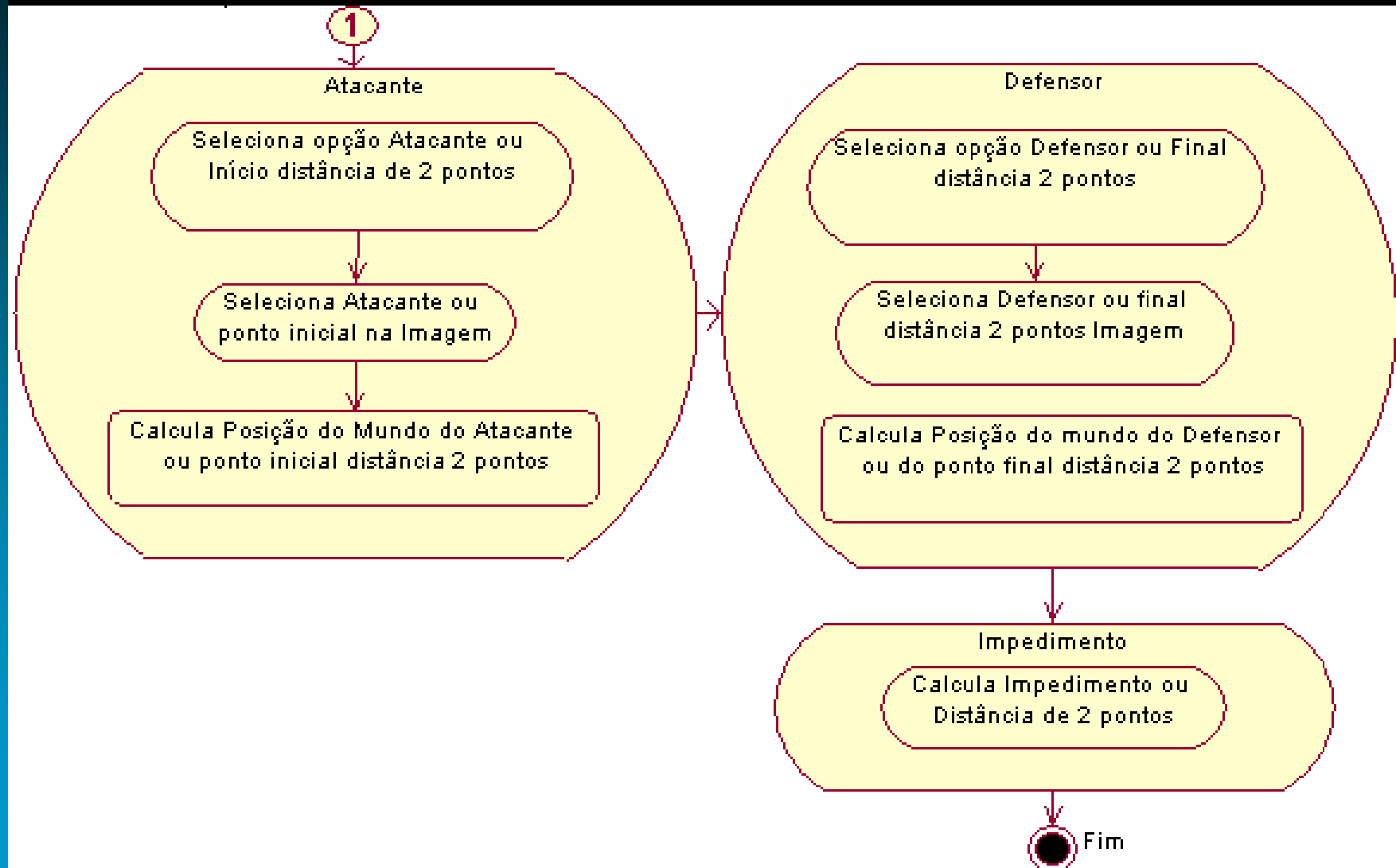
Especificação

Diagrama de atividades



Especificação

Diagrama de atividades



Implementação

- **Visual C++ 6.0 da Microsoft**
- **Bibliotecas IUP, CD, IM da TecGraf (PUC-Rio)**

Resultados

Posição de impedimento:

Prot. Tirateima	Comparativo com:	Imprecisão (cm)
1,86 m	Rede Globo: 1,44 m	22 cm
1,30 m	Juiz Virtual: 1,00 m	30 cm

Distâncias calculadas em relação às medidas reais:

Local	Prot. Tirateima	Medida Real	Imprecisão (cm)
Semicírculo área	9,56 m	9,15 m	41 cm
Bola até barreira	9,95 m	9,15 m	80 cm
Marca do pênalti	12,41 m	11 m	141 cm

Conclusão

- Não foi possível implementar entrada de dados em vídeo;
- Os resultados obtidos foram bastante adequados, apesar de haver imprecisão numérica;
- Quanto maior a quantidade referências utilizadas, melhores resultados serão obtidos.

Sugestões para trabalhos futuros

- Implementação completa do tira-teima sobre vídeos de jogos de futebol;
- Implementação para outros esportes;
- Implementação da ampliação do número de referências utilizadas para a calibração de câmeras;

Sugestões para trabalhos futuros

- Implementar o método dos mínimos quadrados para minimizar o erro;
- Implementação de um método de reconhecimento automático das linhas do campo e dos objetos de uma partida de futebol sobre vídeos de futebol (com calibração automática de câmera)