

## 2

### Dispositivos de Rastreamento para Realidade Virtual

Na área de realidade virtual são definidos quatro elementos-chave que formam parte de uma experiência em um ambiente virtual [4]:

1. O mundo virtual, definido como o mundo imaginário ou sintético que é apresentado comumente por dispositivos de visualização.
2. A sensação de imersão, definida pela sensação de presença [5] que se tem dentro do mundo virtual. Essa experiência pode estar reforçada por respostas físicas que o usuário recebe.
3. As respostas sensoriais, agrupando as informações visuais, táteis e auditivas, que o usuário recebe do sistema e que estão em concordância com o estado atual do mundo virtual onde ele está imerso.
4. A interatividade, definida pela adaptação e alteração constantes que o sistema faz sobre o mundo virtual, em concordância com as mudanças de posição e ponto de vista do usuário na sua movimentação dentro do mundo virtual. Forsberg em [6] define a interação como a capacidade do sistema de dar resposta a ações do usuário.

Para dar apoio a esses quatro elementos-chave, também são definidas quatro tecnologias críticas que devem estar presentes nos sistemas de realidade virtual [7]:

- Os dispositivos visuais, táteis e auditivos utilizados para gerar a imersão do usuário e bloquear as sensações externas que vêm do mundo real.
- O sistema de renderização gráfica das imagens do mundo virtual, que deve manter uma taxa de quadros entre 20 e 30 fps (frames por

segundo), para não perder a sensação de continuidade e imersão do mundo virtual.

- O sistema de rastreamento, que permite captar a posição, ações e movimentos que o usuário faz no momento da sua interação.
- O sistema de banco de dados, que gerencia, otimiza e melhora os detalhes realistas dos modelos renderizados no mundo virtual.

Dentro das tecnologias mencionadas temos duas que se relacionam diretamente: os dispositivos de entrada e os sistemas de rastreamento. Ambas dão suporte importante a dois elementos-chave: a interação e a sensação de imersão [8, 9, 10]. É por essa razão que os dispositivos de rastreamento são considerados como dispositivos de entrada. Eles satisfazem os dois elementos-chave mencionados, pois permitem capturar dados a partir de ações e movimentos do usuário (imersão) e adaptá-los para funcionar como eventos que permitam o controle, a navegação e a seleção de objetos dentro do mundo virtual por parte do usuário (interação).

Para a construção dos dispositivos de rastreamento são utilizadas diferentes tecnologias físicas, como a magnética, mecânica, acústica, inercial, óptica e híbrida. Esses dispositivos estão orientados a permitir a livre movimentação e rastreamento do usuário ou partes do seu corpo, dentro de um espaço definido, permitindo que o usuário sinta que suas ações físicas têm uma interpretação na aplicação 3D em que ele interage [11, 12]. Cada tecnologia apresenta vantagens e desvantagens que aumentam ou diminuem a sensação de imersão e interação que se tenta dar ao usuário. Na seqüência é apresentado um resumo das características de dispositivos de rastreamento implementados com diferentes tecnologias.

- **Rastreamento Eletromagnético**

Este tipo de tecnologia utiliza transmissores que emitem campos magnéticos de frequência baixa e pequenos receptores. A partir dos receptores são determinadas a posição e a orientação relativa do objeto rastreado em relação à fonte magnética.

O alcance deste tipo de dispositivo varia de 1 a 10 metros. A precisão que se pode alcançar com ele é de 2mm em reconstrução da posição, e 1° para reconstruir a orientação.

A desvantagem que tais dispositivos apresentam é que objetos condutores (metálicos) ou ferromagnéticos não podem estar presentes no espaço de rastreamento, onde o dispositivo é colocado, porque eles causam distorção no campo magnético, tendo como consequência a perda de precisão na hora de recuperar os dados.

Outra desvantagem é que os receptores comumente estão ligados por meio de cabos a um dispositivo que agrupa e gerencia seu funcionamento, o que cria desconforto para o usuário, especialmente quando ele se movimenta no espaço de rastreamento. Como um exemplo deste tipo de dispositivo temos o “Flock of Birds” produzido pela Ascension Technology Corporation (Figura 3).



Figura 3 : Rastreador Eletromagnético “Flock of Birds”.

(Fonte : <http://www.ascension-tech.com/products/>)

- **Rastreamento mecânico**

Este tipo de rastreamento utiliza estruturas mecânicas rígidas e trabalha em conjunto com transdutores eletromagnéticos como potenciômetros, codificadores de eixos e sensores de dobra para recuperar a posição e orientação dos objetos rastreados. Alguns desses dispositivos devem ficar fixos no espaço de rastreamento ou serem colocados no objeto a ser rastreado. No caso do rastreamento do usuário são geralmente colocados nas mãos ou na cabeça.

As vantagens que estes dispositivos apresentam são a precisão e a baixa latência. Além disso, alguns deles apresentam a característica de “force feedback”, que permite criar respostas táteis, por exemplo com luvas que implementam força inversa para os movimentos das mãos. Isto ajuda a dar uma melhor sensação de imersão e realismo dentro do ambiente virtual onde se interage.

A principal desvantagem é a restrição de mobilidade que apresenta ao usuário, como consequência das estruturas rígidas que compõem os dispositivos. Como exemplos temos um dispositivo baseado em uma estrutura fixa em forma de braço que serve de ponto de referência para a recuperação da posição e rotação do usuário (Figura 4a), e um dispositivo de resposta tátil “force feedback” apresentado como uma luva mecânica que gera forças inversas nos dedos como resposta para a sensação de pegar um objeto com volume (Figura 4b).

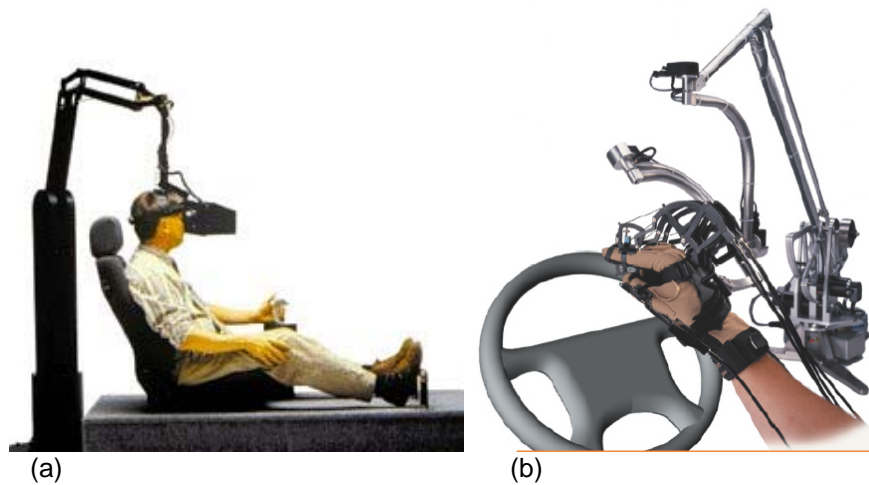


Figura 4 : Dispositivos mecânicos (a) “Fakespace FS2” Fakespace Systems, (b) “CyberForce ” Immersion Corporate.

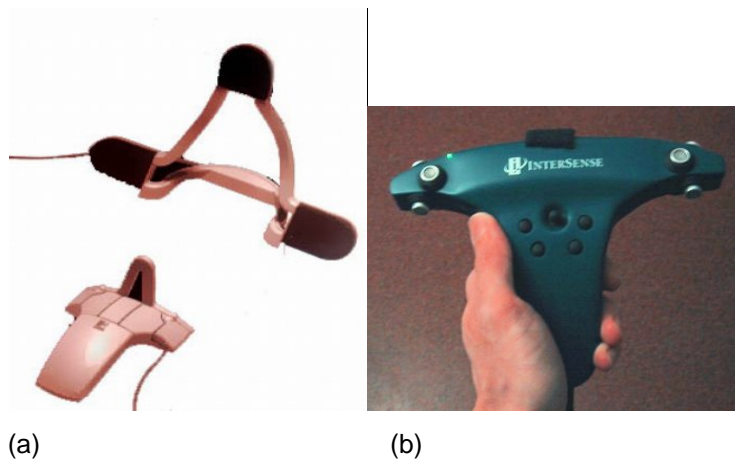
(Fonte : <http://www.stereo3d.com/more.htm>,  
[http://www.immersion.com/3d/products/cyber\\_force.php](http://www.immersion.com/3d/products/cyber_force.php))

- **Rastreamento acústico**

Este tipo de rastreamento utiliza fontes emissoras de som de alta frequência que são captadas por microfones dentro do espaço de rastreamento (Figura 5). Ele tem duas configurações de

implementação: em uma a fonte de som é colocada no objeto a ser rastreado e os microfones estão espalhados na área de rastreamento (*outside-in* [13]) ou, pelo contrário, os microfones ficam no objeto e as fontes de som no espaço de rastreamento (*inside-out* [13]). A forma de rastrear a posição dos objetos é medindo o tempo de vôo dos pulsos de ultra-som, desde que saem dos emissores até sua chegada aos microfones. Esse tempo é então multiplicado pela velocidade do som, recuperando uma estimativa da distância dos receptores até a fonte. Com três ou mais receptores, fazendo triangulação, pode-se recuperar também a orientação do conjunto de receptores, como um único objeto rastreado.

As vantagens que esses dispositivos apresentam são o baixo preço e pouco peso que têm. Entre as desvantagens temos a perda de precisão quando no ambiente existem objetos com superfícies que refletem as ondas de som ou objetos que geram sons que atrapalham a identificação das ondas, como o som de telefones ou até do teclado. Esses dispositivos também apresentam uma baixa taxa de amostragem.



(a) “The Fly Mouse” Logitech,  
(b) “IS-900” Intersense wand.

(Fonte : [http://resumbrae.com/ub/dms438\\_f03/Tracking/04.html](http://resumbrae.com/ub/dms438_f03/Tracking/04.html),  
<http://www.cs.nps.navy.mil/people/faculty/capps/4473/projects/chang2/Full.htm>)

- **Rastreamento inercial**

Este tipo de rastreamento utiliza equipamentos de medição inercial, como giroscópios e acelerômetros e, a partir das medidas recuperadas nesses equipamentos, como a velocidade angular e a aceleração linear, pode-se reconstruir informações sobre a posição e orientação dos objetos rastreados (Figura 6).

A principal vantagem destes dispositivos é a alta taxa de amostragem. As principais desvantagens são a acumulação de erro por polarização, ruído e movimentação dos componentes internos, conseqüências naturais no funcionamento dos equipamentos, assim como a necessidade de que eles estejam conectados por cabos a unidades eletrônicas, que processam as medidas enviadas pelos equipamentos inerciais. Além disso, o peso dos equipamentos cria certo desconforto no usuário, sobretudo quando ele precisa colocá-los em partes de seu corpo.



Figura 6 : Dispositivo inercial, Fakespace Systems Inc “CubicMouse “.

(Fonte : <http://www.biad.uce.ac.uk/research/rti/riadm/issue2/guide.html>)

- **Rastreamento Híbrido**

Este tipo de rastreamento é definido como uma combinação de rastreamento de diferentes tecnologias. A intenção é utilizar a melhor característica de um dispositivo para dar robustez à desvantagem do outro. Por exemplo, componentes inerciais são

utilizados para rastrear a orientação de um objeto e o ultra-som para rastrear o posicionamento, recuperando assim os 6 DoF<sup>2</sup> da movimentação do objeto. Esta combinação dá aos dispositivos mecânicos a possibilidade de não utilizar cabos que atrapalhem a movimentação do usuário. Além disso, os dispositivos ganham a vantagem de melhorarem sua precisão, pois eles terão uma maior quantidade de informações para calcular os valores da posição e orientação do objeto a ser rastreado.

Também há uma tendência a incorporar novas tecnologias nos dispositivos, como GPS (sistema de posicionamento global), que é usado em combinação com giroscópios e acelerômetros para rastreamento em áreas amplas. Esta vantagem tem maior importância em aplicações no campo da realidade aumentada (Figura 7).



Figura 7 : Dispositivo híbrido que combina rastreamento inercial e GPS, “Battlefield Augmented Reality System (BARS)”.

(Fonte : <http://www.ait.nrl.navy.mil/vrlab/projects/BARSeval/BARSeval.html>)

## 2.1. Rastreamento Óptico

Este tipo de rastreamento é implementado com base em técnicas de visão computacional e no uso de sensores ópticos, como câmeras de vídeo, e emissores ou diodos de luz infravermelha.

O funcionamento se baseia na captura pelas câmeras dos emissores de luz ou objetos revestidos de material retrorreflexivo que, após a aplicação de técnicas

---

<sup>2</sup> DoF : Degrees of Freedom – Graus de liberdade.

de visão computacional sobre as imagens capturadas, dão como resultado a posição e orientação dos objetos rastreados no espaço 3D (Figura 8).

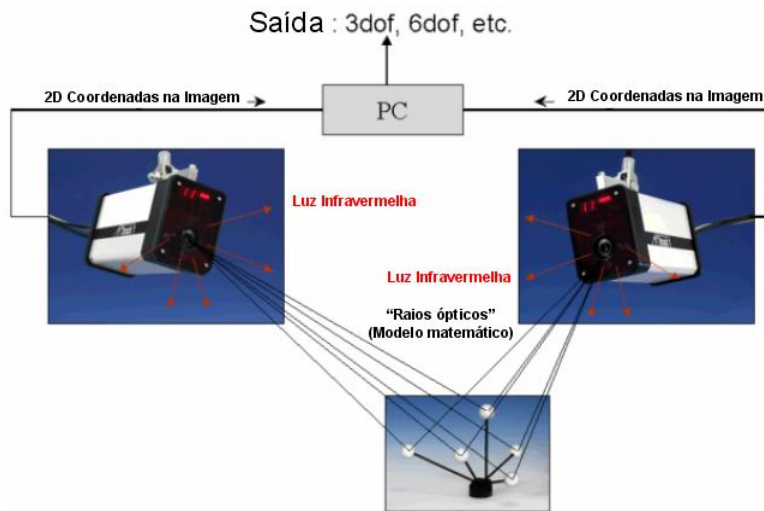


Figura 8 : Diagrama Funcional de um sistema de rastreamento óptico.

(Fonte : <http://www.ar-tracking.de/>)

Para a implementação destes dispositivos temos duas configurações análogas às apresentadas nos dispositivos acústicos [13]: na primeira configuração a fonte de luz, ou os marcadores retroreflexivos, estão localizados no objeto rastreado e as câmeras estão posicionadas no espaço de rastreamento (*Outside-in*); na segunda configuração, as fontes estão dispersas no espaço de rastreamento definindo eixos 2D, no teto ou nas paredes, e as câmeras ficam no objeto rastreado (*Inside-out*). O tipo de marcador também varia em razão da configuração utilizada; por exemplo, os marcadores esféricos têm uma melhor utilização quando são colocados nos objetos rastreados em configurações do tipo *Outside-in* (Figura 9a). Para configurações do tipo *Inside-out* são comumente utilizados padrões planares com desenhos específicos sobre eles, chamados de “Fiducial Landmarks”, que são colocados de forma fixa e distribuída em todo o espaço de rastreamento (Figura 9b).





(a)

(b)

Figura 9 : Tipos de marcadores (a) Marcadores Esféricos, (b) Fiducial Landmarks.

(Fonte : <http://movis.net/research/mocap/>,

<http://wearables.unisa.edu.au/projects/ARQuake/www/photo/photo/pattern/ceiling.html>)

Quanto aos dispositivos de captura, pode-se utilizar desde simples câmeras web até sofisticadas câmeras de vídeo de alta resolução, com altas taxas de amostragem e maiores densidades de pixels.

Para implementar este tipo de rastreamento, temos também vários fatores que são importantes e devem receber consideração especial no processo. Em alguns casos estes fatores viram parte da configuração interna dos dispositivos de rastreamento. Entre esses fatores podemos definir:

- O número de câmeras utilizadas no rastreamento.
- A posição e distribuição das câmeras dentro do espaço de rastreamento.
- A resolução e taxa de amostragem das imagens de vídeo capturadas.
- O tipo de fundo que terá o espaço de rastreamento.
- A forma e distribuição dos marcadores.
- O tipo de iluminação utilizado no espaço de rastreamento.
- As técnicas de visão computacional, utilizadas para reconstruir a posição e orientação do objeto rastreado no espaço 3D.

A principal vantagem que este tipo de rastreamento oferece é a ausência de cabos ou elementos físicos ligando os objetos rastreados a um equipamento central, causando desconforto ou atrapalhando a movimentação do usuário. Além disso, a maioria dos marcadores é muito leve e fácil de levar ou colocar no corpo. A precisão dos dados recuperados para calcular a posição e orientação dos objetos rastreados depende, na maioria das vezes, do tipo hardware utilizado (câmeras de

vídeo), dos fatores descritos acima e das técnicas de visão computacional implementadas (algoritmos de calibração, correlação de imagens e reconstrução 3D).

O principal problema no rastreamento óptico é a oclusão de marcadores. Isso acontece devido à liberdade de movimentação que o usuário tem com este tipo de rastreamento. Para resolver esse problema, são definidas soluções como aumentar o número de câmeras para rastrear melhor o espaço 3D onde o usuário se movimenta, assim como aumentar o número de marcadores colocados no objeto rastreado. Em qualquer das soluções só se pode diminuir os casos de oclusão, mas não eliminá-los completamente.

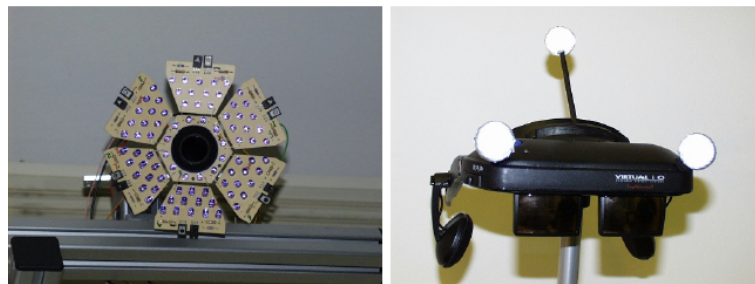
Na próxima seção apresentaremos trabalhos baseados em rastreamento óptico, que estão orientados a propor novas formas de interação entre o usuário e aplicações de realidade virtual e realidade aumentada. Deles resgataremos o tipo de configuração que utilizam, assim como características em comum, tanto do hardware utilizado como do fluxo de processos que compõem o sistema de rastreamento óptico em geral. Em seguida agruparemos um conjunto de características que consideramos úteis para a construção e implementação do dispositivo proposto nesta dissertação.

### **2.1.1. Estratégias**

O primeiro passo para a criação de um dispositivo óptico é definir a estratégia que a parte física ou hardware utilizará para a implementação do rastreamento óptico. É assim que podemos descrever três tipos de ambientes bem definidos encontrados em diferentes trabalhos relacionados:

1. Ambientes baseados na utilização da luz infravermelha, que englobam as seguintes características:
  - Câmeras especializadas em captura de luz infravermelha (IR).
  - Fontes de luz IR, que são colocadas juntas ou sobre as câmeras de vídeo utilizadas (Figura 10a).
  - Marcadores de forma circular ou esférica com revestimento especial retrorreflexivo para refletir a luz infravermelha apenas na direção da incidência (Figura 10b).

- Não há restrições de cor do fundo da área de rastreamento, só restrições no uso de fontes de luz incandescente, que emitem luz IR e atrapalham a captura.



(a)

(b)

Figura 10 : (a) Câmera adaptada com uma fonte de luz infravermelha, (b) Marcadores esféricos retrorreflexivos. [33]

Este tipo de ambiente se encontra em trabalhos como os de [14, 15]; além disso, temos companhias que fornecem produtos comerciais de rastreamento óptico, como Vicon, Motion Analysis Corp. [16] e Motion Analysis Corporation [17]. O inconveniente destes produtos comerciais é o alto preço, o que torna difícil e restritiva sua obtenção (Figura 11).

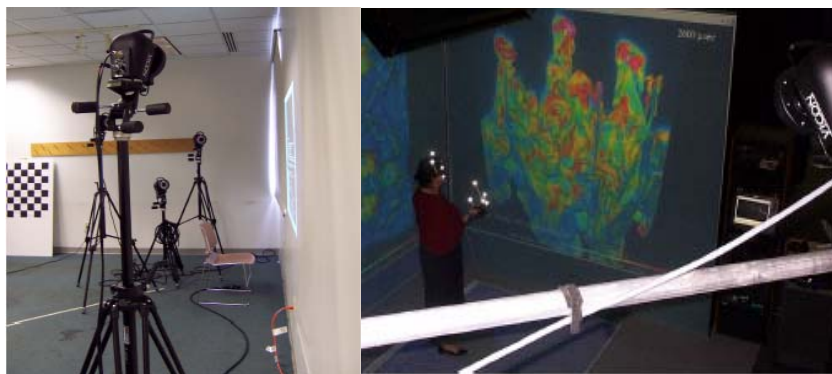


Figura 11 : Câmeras e fontes IR de Vicon Motion Systems. [18]

Trabalhos como o apresentado em [18] têm este tipo de dispositivo como parte importante do funcionamento do seu sistema de rastreamento.

2. Ambientes baseados na utilização da luz preta ou ultravioleta, como os apresentados nos trabalhos [36, 37], englobam as seguintes características:

- Câmeras comuns.
- Marcadores revestidos de papel branco. O papel branco contém fósforo e pode converter a luz ultravioleta em luz branca. A cor branca produzida pelo papel se destaca dentro do espaço de rastreamento (Figura 12a).
- Fontes de luz preta que são colocadas iluminando o espaço de rastreamento. Este espaço não deve estar iluminado por nenhum outro tipo iluminação como luz incandescente ou fluorescente (Figura 12b).
- Não há restrições de cor do fundo dentro do espaço de rastreamento, mas não são permitidos objetos de cor branca que não sejam os marcadores.



Figura 12 : (a) Marcadores de papel branco, (b) Lâmpadas de luz ultravioleta [36]

3. Ambientes que não usam nenhum tipo de luz especial, como o apresentado por Kanbara [19], englobam as seguintes características:
  - Câmeras comuns.
  - Condições de iluminação sem restrições, ou seja, pode-se utilizar fontes de luz incandescente ou fluorescente.
  - Marcadores planares com desenhos predefinidos, chamados “Fiducial markers”, ou marcadores coloridos definidos no ambiente (Figura 13).

- Possíveis restrições no ambiente, como ter uma cor predefinida em toda a área de rastreamento ou tentar evitar que a forma ou a cor dos desenhos predefinidos esteja em objetos dentro da mesma área de rastreamento (Figura 13b).

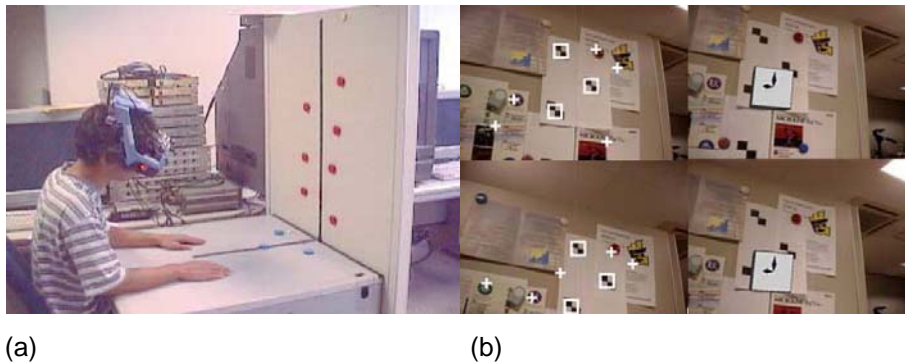


Figura 13 : (a) Marcadores e fundo com cor definida, (b) Fiducial markers. [19]

Partindo das características apresentadas nas três estratégias acima, propõe-se a seguir uma estratégia própria para o funcionamento do dispositivo desenvolvido nesta dissertação, que será apresentado em detalhes no próximo capítulo. Esta estratégia possui as seguintes características:

- Câmeras comuns, como são as câmeras web.
- Condições de iluminação sem restrições, ou seja, pode-se utilizar fontes de luz incandescente ou fluorescente.
- Marcadores de forma circular ou esférica de cor branca.

Uma restrição definida foi ter uma cor predefinida em toda a área de rastreamento, de cor preta, e outra cor de preferência oposta à cor da área, para os marcadores utilizados, que no nosso caso é a cor branca.

### 2.1.2. Fluxo de Processos

O segundo passo é definir o conjunto de processos, implementados com base em técnicas de visão computacional, que dão apoio às tarefas de captura, identificação e reconstrução 3D de marcadores colocados no espaço de rastreamento. A finalidade é recuperar a posição e orientação dos marcadores enquanto eles se movimentam dentro do espaço de rastreamento.

Temos trabalhos como os apresentados em [20, 21, 22, 36], de onde podemos resgatar alguns subprocessos base que são implementados na maioria dos sistemas de rastreamento propostos. Eles podem ser resumidos no seguinte fluxo de processos:

- Processamento de imagens.
- Calibração de câmera.
- Correlação de características entre imagens.
- Reconstrução 3D dos marcadores definidos.

Esses subprocessos serão então a estrutura guia para implementar o sistema de rastreamento óptico do dispositivo proposto nesta dissertação. No capítulo seguinte descreveremos, passo a passo, a construção e implementação do dispositivo proposto, definindo os algoritmos implementados para cada processo.