

UNESP

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

**Guaratinguetá
2011**

EMÍLIO AUGUSTO DE CARVALHO CIPOLLI

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE *MOVING CAMERAS* PARA
RECONSTRUÇÃO 3D DE MOVIMENTOS SUBMERSOS

Tese apresentada à Faculdade
de Engenharia de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista,
Para obtenção do título de Doutor
em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof.Dr.Tamotsu Hirata

Guaratinguetá
2011

C577d Cipolli, Emílio Augusto de Carvalho
Desenvolvimento de um sistema de Moving Cameras para
reconstrução 3D de movimentos submersos / Emílio Augusto de Carvalho
Cipolli - Guaratinguetá : [s.n.], 2011.

65 f. : il.

Bibliografia: f. 60-65

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Tamotsu Hirata

1. Biomecânica 2. Natação I. Título

CDU 612.766 (043)

EMILIO AUGUSTO DE CARVALHO CIPOLLI

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: PROJETOS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. TAMOTSU HIRATA
Orientador / Unesp-Feg


Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES
Unesp-Feg


Prof. Dr. JOSÉ ELIAS TOMAZINI
Unesp-Feg


Prof. Dr. LUIZ ALBERTO BATISTA
UERJ


Prof. Dr. LUIZ HELENO MOREIRA DUQUE
UPF

Julho de 2011

DADOS CURRICULARES

EMÍLIO AUGUSTO DE CARVALHO CIPOLLI

NASCIMENTO: 12 de outubro de 1978

FILIAÇÃO: Antônio Luiz Reis Cipolli
Ednéa Maria de Carvalho Cipolli

1998/2002 Escola Superior de Educação Física de Cruzeiro
Graduação: Licenciatura Plena em Educação Física

2002/2005 DME/FEG/UNESP
Mestrado em Engenharia Mecânica – Área de Concentração:
Projetos e Materiais

2006/2011 DME/FEG/UNESP
Doutorado em Engenharia Mecânica – Área de Concentração:
Projetos e Materiais

Dedico este trabalho à minha família: Daniela, Pedro e Júlia.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar condições de realizar este trabalho.

Em especial ao meu orientador Prof. Dr. Tamotsu Hirata pela confiança, paciência e, sobretudo, pela sabedoria na condução do trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Mecânica, Urbano, Rose e Tupi pelo apoio e respeito em todo o processo.

Ao “irmão mais velho” Prof. Dr. Paulo Cezar Marinho por todas as orientações dadas nos últimos anos.

Ao “irmão mais novo” Prof. Manoel Moraes pelo auxílio nos experimentos.

Ao Prof. Digiórgio e ao Itaguará Country Clube pela colaboração na pesquisa.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação e Biblioteca da FEG/UNESP pela dedicação e atenção no atendimento.

A todos muito obrigado!

CIPOLLI, E.A.C. **Desenvolvimento de um sistema de *Moving Cameras* para reconstrução 3D de movimentos submersos**. 65f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

A cada dia as técnicas de reconstrução 3D vêm contribuindo para o levantamento de informações a respeito do movimento esportivo. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de reconstrução 3D, de baixo custo, com câmeras em movimento, para a medição de um movimento submerso. Foi reconstruído o comprimento do membro inferior do nadador ao realizar um movimento de deslize submerso em quatro trechos nadados extrapolando o volume calibrado. O sistema foi composto de duas câmeras submersas com frequência de captura de 30 Hz, sem ajustes internos, fixadas num dispositivo móvel construído especificamente para o estudo. Como referência utilizou-se um objeto de calibração com 40 pontos previamente determinados de dimensões 3m x 1,5m x 1m. Foram verificadas a precisão e a acurácia do sistema. Os valores de RMS das distancias reconstruídas ficaram entre 1,35cm e 2,52cm (RMS% = 1,63% a 3,07%) e os valores de acurácia entre 1,67cm e 2,72cm. Foi aplicado o teste t e verificou-se não haver diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os valores medidos nos quatro trechos das seis tentativas realizadas pelo nadador. O sistema apresentou medidas consistentes para esse tipo de medição. Pode-se concluir portanto que o sistema mostrou-se confiável e aplicável para futuras medições de movimentos submersos na natação.

PALAVRAS-CHAVES: *Sistema de medição, Reconstrução 3D e Natação*

CIPOLLI, E.A.C. **Development of a system of *Moving Cameras* for 3D-reconstruction of underwater movement.** 65f. Thesis (Doctorate in Mechanical Engineering) – Engineering School of Guaratinguetá, São Paulo State University, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

Each day the techniques of 3D-Reconstruction has contributed to the collection of information about the sports movement. This work aimed to develop a 3D-Reconstruction system, low cost, with moving cameras, for measuring a moving underwater. It was reconstructed the length of the swimmer's leg when performing a movement of underwater sliding in four patch extrapolating the calibrated volume. The system was composed of two underwater cameras with capture rates of 30 Hz without internal adjustments, set on a mobile device built specifically for the study. As a reference we used a calibration object with 40 points previously determined dimensions of 3m x 1m x 1.5m. We checked the precision and accuracy of the system. The RMS values of the reconstructed distances were between 1.35 cm and 2.52 cm (RMS% = 1.63% to 3.07%) and accuracy values between 1.67 cm and 2.72 cm. We used test t and there was no significant difference ($p \leq 0.05$) between the measured values of the four patches of six attempts made by the swimmer. The system showed consistent measures for this type of measurement. It can be concluded therefore that the system was reliable and applicable for future measurements of movements in swimming underwater.

KEYWORDS: *Measurement System, 3D-Reconstruction and Swimming*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivo Específico	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	Biomecânica na natação	15
2.2	Técnicas de cinemetria	18
2.3	Aplicação dos sistemas baseados em cinemetria na natação	23
2.3.1	Estudos com câmera fixa	24
2.3.2	Estudos com câmera móvel – <i>Panning Cameras</i>	26
3	METODOLOGIA	28
3.1	Estudos prévios	28
3.1.1	Teste do sistema de câmeras fixa em ambiente controlado	28
3.1.2	Teste do sistema de <i>Moving Cameras</i> em ambiente controlado	32
3.1.3	Teste do sistema de câmeras fixas em ambiente aquático	35
3.2	Estudo Final.....	38
3.2.1	Sistema de <i>Moving Cameras</i>	38
3.2.1.1	Sujeito	38
3.2.1.2	Ambiente de Filmagem	39
3.2.1.3	Calibração das Câmeras	39
3.2.1.4	Procedimentos de Filmagem	43
3.2.1.5	Captura, Processamento das imagens e Reconstrução 3D	45
4	RESULTADOS	46
4.1	Procedimento Estático	46
4.2	Procedimento Dinâmico	47
4.3	Procedimento com <i>Moving Cameras</i>	48
5	DISCUSSÃO	54

6	CONCLUSÃO	59
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Forças que agem no nadador	15
Figura 2: Fluxo Laminar e Turbulento	16
Figura 3: Área de projeção da forma	20
Figura 4: Classificação da técnica de Reconstrução 3D	20
Figura 5: Propagação do erro de medida em reconstrução 3D.....	22
Figura 6: Objeto de calibração do laboratório.....	29
Figura 7: Esquema do laboratório no teste com câmeras fixas.....	29
Figura 8: Dispositivo móvel para as câmeras.....	32
Figura 9: Esquema representativo do ambiente de filmagem.....	33
Figura 10: Esquema representativo do objeto reconstruído.....	33
Figura 11: Suporte de fixação para caixa estanque.....	36
Figura 12: Objeto de calibração construído com PVC.....	36
Figura 13: Esquema do ambiente de filmagem com câmeras fixas na piscina	37
Figura 14: Ambiente de Filmagem.....	39
Figura 15: Caixa Estanque no suporte do dispositivo móvel.....	40
Figura 16: Objeto de Calibração.....	41
Figura 17: Dispositivo Móvel para transporte das câmeras.....	42
Figura 18: Esquema representativo do ambiente do experimento.....	42
Figura 19: Objeto de medição reconstruído.....	43
Figura 20: Movimento de Deslize Submerso do nadador.....	44
Figura 21: Esquema dos trechos medidos e extrapolação do volume calibrado.....	45
Figura 22: Boxplot da distância 1 medida.....	47
Figura 23: Boxplot da distância 2 medida.....	48
Figura 24: Boxplot da distância 3 medida.....	48
Figura 25 - Tentativa 1 – sistema Moving Camera.....	49
Figura 26 – Tentativa 2 – sistema Moving Camera.....	49
Figura 27 – Tentativa 3 – sistema Moving Camera.....	51
Figura 28 – Tentativa 4 – sistema Moving Camera.....	51
Figura 29 – Tentativa 5 – sistema Moving Camera.....	52

Figura 30 – Tentativa 6 – sistema Moving Camera..... 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comparação das coordenadas dos pontos reconstruídos.....	31
Tabela 2 - Medidas reconstruídas em 5 posições pré-definidas.....	34
Tabela 3 - Valores da distância reconstruída durante 30 quadros.....	37
Tabela 4 - Coordenadas reais e reconstruídas dos pontos medidos - Estático.....	46
Tabela 5 - Coordenadas reais e reconstruídas dos pontos medidos – Estático	46
Tabela 6 - Distâncias reais e reconstruídos do objeto medido em 61 quadros - Dinâmico.....	47
Tabela 7 – Dados de reconstrução do segmento corporal do nadador (81,40 cm).....	49

1 INTRODUÇÃO

Na maioria das vezes os movimentos esportivos são realizados em grandes distâncias e em ambientes praticamente incontroláveis, tornando a análise desses movimentos um processo complexo de ser realizado.

A cinemetria é a metodologia da biomecânica que permite analisar esses movimentos por possuir um caráter não invasivo, talvez por isso seja a metodologia mais aplicada no esporte (HAY, 1978).

As técnicas de reconstrução bidimensional (2D) da cinemetria apresentam uma menor acurácia e devem, sempre que possível, ser substituídas pelas técnicas de reconstrução tridimensional (3D) (AMADIO et al, 2004). A maior parte dos sistemas de reconstrução 3D atuais se limitam à filmagem de uma pequena amostra da distância real percorrida (LAFONTAINE;LAMONTAGNE, 2000), porém alguns procedimentos desenvolvidos conseguem capturar grande parte dos movimentos realizados no esporte, como é o caso do sistema de *panning camera* (YU, 1993) em que a câmera realiza a filmagem se movimentando no plano horizontal sobre o eixo vertical, mesmo assim esse sistema requer calibração extensa e grande campo de visualização, o que pode levar o avaliador estabelecer medidas com menor acurácia (ALLARD et al, 1995).

Uma das alternativas para solucionar esses problemas é aumentar o número de câmeras no ambiente de coleta, contudo isso aumenta o custo total dos sistemas de medição além de tornar o *feedback* dos resultados mais demorado. A outra solução para estes problemas é utilizar o sistema de *moving câmeras*, em que as câmeras são movidas por um veículo móvel acompanhando paralelamente o movimento realizado. Este sistema é uma alternativa em relação aos métodos mais tradicionais, permitindo um controle melhor das dimensões do campo de visualização da imagem além de acompanhar os movimentos do atleta em toda a sua extensão.

A natação é um esporte cíclico composto por movimentos previamente determinados. As características destes movimentos permitem o planejamento de suas ações a fim de encontrar um modelo eficiente (MAGILL, 2000). Qualquer alteração nos movimentos do nado pode levar a melhora ou a piora do desempenho em uma

prova, portanto o monitoramento do nadador em toda sua extensão torna-se fundamental. Uma das variáveis de representação da eficiência do nadador é o deslocamento do corpo a cada ciclo de braçada. O ponto de referência no quadril é utilizado como substituto do centro de massa do corpo para calcular o seu deslocamento (VILAS-BOAS;FERNANDES, 1991).

A análise cinemática de movimentos do corpo do nadador é bastante complexa. O ambiente aquático provoca interferências que afetam alguns parâmetros da imagem capturada, um exemplo disso é a formação de bolhas na água provocadas pelo próprio movimento do nadador e os efeitos de refração que prejudicam a identificação de algum segmento corporal.

Refletindo sobre os problemas que envolvem uma análise cinemática 3D na natação e sobre as possíveis soluções viáveis para estes problemas, este trabalho propõe a construção de um sistema de *moving câmeras* para reconstrução de movimentos submersos na natação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Desenvolver um sistema viável de reconstrução 3D de movimentos submersos, com câmeras em movimento, para aplicação em ambiente de treinamento na natação.

1.1.2 Objetivo Específico

- Verificar os níveis de precisão e acurácia do sistema proposto.
- Analisar a viabilidade do sistema de medição com base nos sistemas já existentes.
- Analisar suas limitações e possíveis correções para aplicação em estudos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Biomecânica na natação

A natação é considerada uma das modalidades esportivas mais complexas devido a forma de movimentação e também ao meio em que é realizada (VILAS-BOAS et al 1997).

Basicamente quatro forças agem no nadador durante seu deslocamento no meio líquido. São elas o peso, o empuxo, a resistência ou arrasto e a propulsão (MAGLISCHO, 1999) (Figura 1).

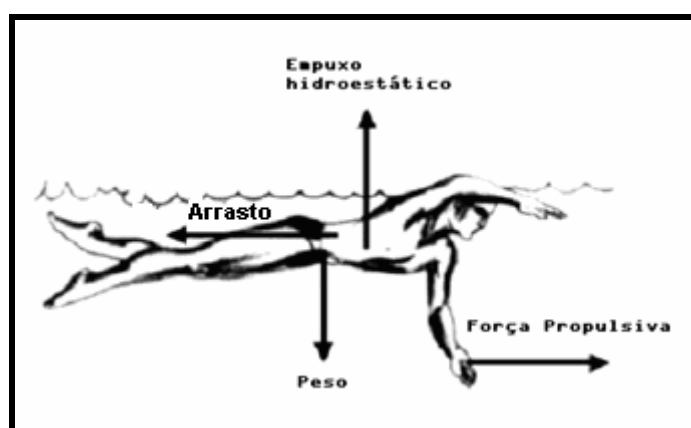


Figura 1: Forças que agem no nadador.

O meio em que a natação é realizada – um fluido denso e viscoso – requer habilidade do nadador em minimizar a força de arrasto e maximizar a força propulsora.

A força de arrasto se dá pelo diferencial de pressão que é ocasionado entre o fluxo laminar, que está sempre a frente do corpo do nadador, e o fluxo turbulento, fluxo de água desordenado pela passagem do corpo do nadador na água (HOLMER, 1979).

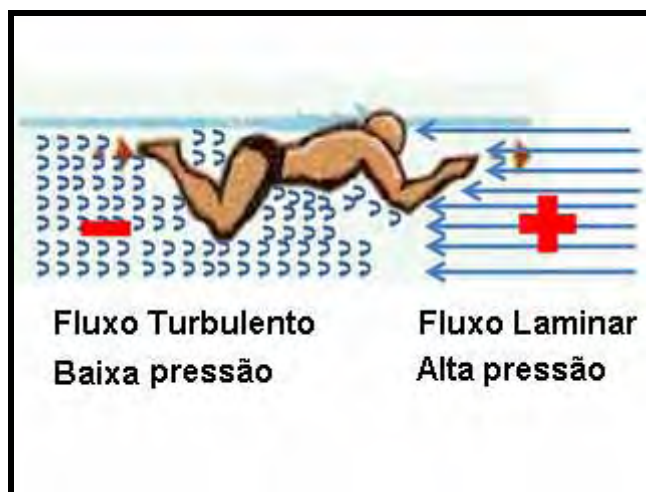


Figura 2: Fluxo Laminar e Turbulento.

Já a força propulsora acontece sempre que o nadador move uma quantidade de massa de água, desta forma a massa de água responde com uma força contrária à direção do deslocamento da água, impulsionando o corpo para frente. Portanto para que o nadador melhore seu desempenho ele precisa diminuir ao máximo a força de arrasto e aumentar a força propulsora (TOUSSAINT;BEEK, 1992), com isso melhorará sua força resultante de deslocamento (diferença entre a força propulsora e a força de arrasto), e conseqüentemente será aumentada a velocidade de nado.

A força de arrasto é classificada em três tipos. O primeiro tipo é o arrasto friccional, que é relacionado à característica da superfície corporal. Quanto mais lisa for a superfície corporal, menor será o arrasto friccional. O segundo tipo de arrasto é o de onda. Este está relacionado às ondas causadas por outros nadadores, portanto depende diretamente da posição do nadador na raia durante uma competição. O terceiro e último tipo de arrasto é o de forma.

O arrasto de forma se dá em função da forma em que o corpo do nadador se coloca no meio líquido. No entanto, quanto mais hidrodinâmica estiver a posição do nadador no momento em que atravessa uma massa de água, menor será o arrasto de forma. Isso pode ser confirmado analisando a equação 1, que descreve a força de arrasto (MAGLISCHO, 1999).

$$F_d = C_x \times \frac{\rho \times v^2}{2} \times A \quad (1)$$

Onde:

- F_d é a força do arrasto.
- C_x é o coeficiente de arrasto, que depende dos fatores friccional, onda e forma.
- ρ é a massa específica do fluido.
- v é a velocidade do objecto em relação ao fluido.
- A é a área de projeção da forma.

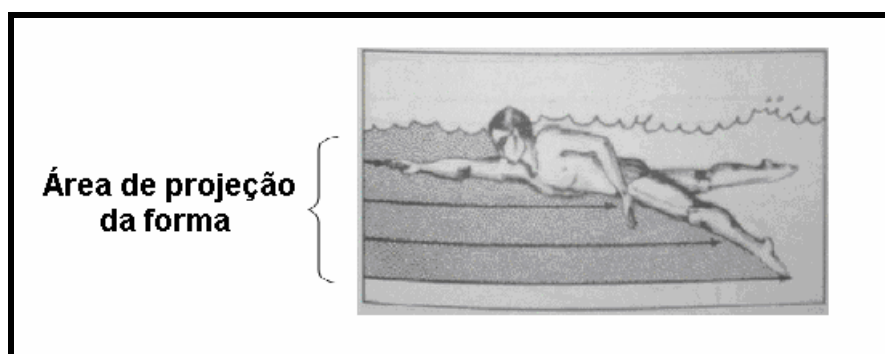


Figura 3: Área de projeção da forma.

A área de referência “A” descrita na equação (1) é a área frontal (área de projeção) do corpo do objeto, no caso do nadador, no instante em que ele atravessa a água, como pode ser visto na figura 3. Logo se conseguir diminuir esta área estará minimizando a força de arrasto.

A força propulsora na natação é resultado da habilidade do nadador em mover a massa de água para trás com o corpo. Quando o movimento de pernada e braçada são eficientes, considera-se que o mesmo possui uma técnica de nado correta.

Tanto a força de arrasto como a força propulsora na natação foram amplamente pesquisadas a ponto de nos dias atuais existirem padrões básicos de movimentação para as técnicas de nado. As técnicas do nado crawl, nado costas, nado peito e nado

borboleta que caracterizam os movimentos da natação competitiva possuem modelos que são ensinados na aprendizagem e no alto rendimento competitivo.

Um fator que destaca a importância do controle da técnica do nado é o fato da natação ser uma modalidade individual. As modalidades individuais possuem uma dependência maior da técnica esportiva para a melhora do desempenho em comparação com as modalidades coletivas já que são realizadas num contexto previsível, tornando possível o planejamento de suas ações (MAGILL, 2000).

O monitoramento da técnica dos nados e dos parâmetros do desempenho na natação se tornam portanto fundamentais para aumentar a eficiência do nado, isso explica o número de trabalhos dedicados à análise da técnica de nado.

A fim de quantificar e qualificar a técnica de nado, alguns sistemas de medição baseados nas metodologias da biomecânica foram desenvolvidos para avaliar a técnica de nado e/ou o resultado do desempenho do nadador ao final de uma prova. Os sistemas que envolvem a metodologia da cinemetria são os mais utilizados, porque além de permitir extrair dados quantitativos sobre o movimento realizado, fornecem o *feedback* qualitativo para o nadador (HAY, 1978).

2.2 Técnicas de cinemetria

A cinemetria é uma metodologia biomecânica que descreve dados cinemáticos dos movimentos (AMADIO et al, 2004). Um dos procedimentos da cinemetria é a videogrametria (GRUEN, 1997) que utiliza recursos de registros de vídeo para extrair informações do comportamento motor analisado. A videogrametria é dividida em duas técnicas de reconstrução de movimentos, a bidimensional (2D) e a tridimensional (3D).

A técnica de reconstrução 3D é a mais aceita pelos pesquisadores para análise de movimentos, por permitir o levantamento de informações mais acuradas (AMADIO et al, 2004).

As técnicas de reconstrução 3D mais utilizadas são baseadas no cálculo matemático denominado método DLT – *Direct Linear Transformation* (ABDEL-AZIZ; KARARA, 1971). O método DLT é considerado uma técnica de reconstrução

implícita que é dividida em duas etapas. Na primeira etapa relacionam-se dados do sistema com o objetivo de se determinar alguns valores constantes desconhecidos pertencentes ao processo de medição. Esta primeira etapa é conhecida como calibração. Os valores constantes desconhecidos são chamados de parâmetros DLT. No método DLT clássico são definidos 11 parâmetros (L1 a L11), esses parâmetros definem informações como posição e orientação das câmeras, distância entre as câmeras e o objeto, parâmetros internos das câmeras e fatores de distorção das lentes. A equação 2 apresenta o cálculo dos parâmetros DLT (KWON, 1999).

$$u + \Delta u = \frac{L1X + L2Y + L3Z + L4}{L9X + L10Y + L11Z + 1} \quad (2)$$

$$v + \Delta v = \frac{L5X + L6Y + L7Z + L8}{L9X + L10Y + L11Z + 1}$$

Em que,

- u e v: Coordenadas da imagem
- Δu e Δv : Coordenadas da imagem para correção de distorção de lente
- X, Y e Z: Coordenadas do ponto do objeto
- L1 a L11: Parâmetros DLT

Na segunda etapa os dados da calibração são recalculados junto aos dados de medição do objeto medido. Com base nos dados de calibração as coordenadas espaciais (X, Y, Z) são determinadas utilizando os coeficientes DLT. Exigem-se no mínimo duas imagens biplanares para a reconstrução das coordenadas tridimensionais.

A técnica de reconstrução 3D (Figura 4) possui seus sistemas de medição classificados em sistemas com câmeras fixas e sistemas com câmeras móveis (ALLARD et al, 1995).

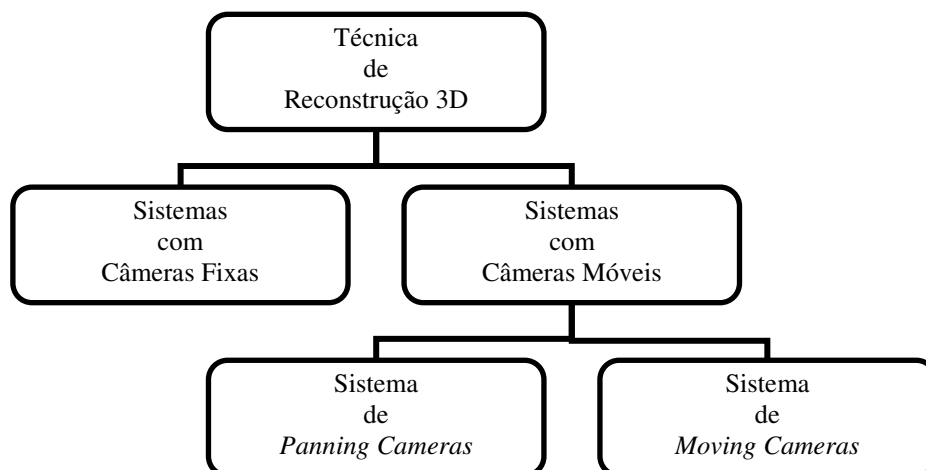


Figura 4: Classificação da técnica de reconstrução 3D.

Os sistemas com câmeras fixas são frequentemente utilizados em experimentos de laboratório. As câmeras são fixadas em tripés e posicionadas a uma distância relativamente próxima do objeto de calibração. Os sistemas com câmeras fixas que utilizam o método DLT não permitem que seja alterado qualquer parâmetro da câmera após realizada sua calibração, como por exemplo, sua posição em relação ao volume calibrado ou em relação a outra câmera. Se algum parâmetro das câmeras for alterado o cálculo efetuado para a calibração sofre alteração e com isso o processo de medição fica comprometido. Outro fator que se deve tomar cuidado é referente ao volume de medição. Uma vez que o sistema tenha sido calibrado haverá uma diminuição na acurácia das medidas se o objeto medido extrapolar o volume de calibração. Com isso pode-se verificar que o sistema de câmeras fixas caracteriza-se como um sistema limitado àquele volume calibrado, salvo se mais pares de câmeras forem agregados ao sistema, o que fatalmente irá aumentar o custo dos equipamentos.

Os sistemas de câmeras móveis podem ser subdivididos em sistema de *Panning Cameras* e sistema de *Moving Cameras*. Os sistemas de *Panning Câmeras* permitem que a câmera fique fixa num determinado local de medição e mova-se no plano horizontal realizando um giro no seu eixo vertical. Neste sistema a calibração é realizada algumas vezes durante a varredura do objeto a ser medido. Isso é necessário para que em cada posição de medição do objeto os parâmetros DLT sejam recalculados. Os sistemas de *Moving Câmeras* ou sistemas de câmeras em movimento

são mais complexos. Neste sistema as câmeras são movimentadas por meio de um dispositivo móvel (trilho, carrinho, etc.) e sua posição em relação ao espaço pode ser alterada em função da sua movimentação. A calibração é realizada uma única vez no início da medição e seus parâmetros são reutilizados para toda a extensão de movimentação do objeto medido. O fato das câmeras se movimentarem paralelamente ao plano de movimentação do objeto medido permite que o objeto permaneça enquadrado na imagem com o mesmo tamanho do início da medição. Isso possibilita uma acurácia das medidas melhor do que o sistema de Panning Camera. Além de possibilitar uma melhor acurácia, pode-se também filmar o objeto em mais do que uma repetição de movimento.

Tanto os sistemas de câmeras fixas como os de câmeras móveis podem apresentar maiores ou menores erros de medida. Os erros podem ser verificados em sua forma sistemática e aleatória. Para os erros na sua forma sistemática verifica-se o valor de acurácia. O cálculo da acurácia é apresentado na equação 3.

$$A = \sqrt{b^2 + \text{std}^2} \quad (3)$$

Em que:

A – Acurácia

b – Bias

std – Desvio padrão

Para os erros na sua forma aleatória verifica-se o valor da precisão que é expressa pelo cálculo do RMS (Equação 4).

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum (L_R - L_i)^2}{N}}$$

(4)

Em que:

RMS – Desvio quadrático médio

L_R – Valor de referência (Valor verdadeiro)

L_i – Valor reconstruído

N – Número de quadros digitalizados na imagem

Possíveis fontes de erros são descritas pela literatura. De acordo com Allard et al (1995) o erro de medida pode ser propagado devido a alguns fatores como o método de medição, o objeto de calibração, a identificação do marcador de referência, a calibração da câmera, a identificação do marcador corporal e as coordenadas 3D do marcador corporal, apresentado na figura 5.

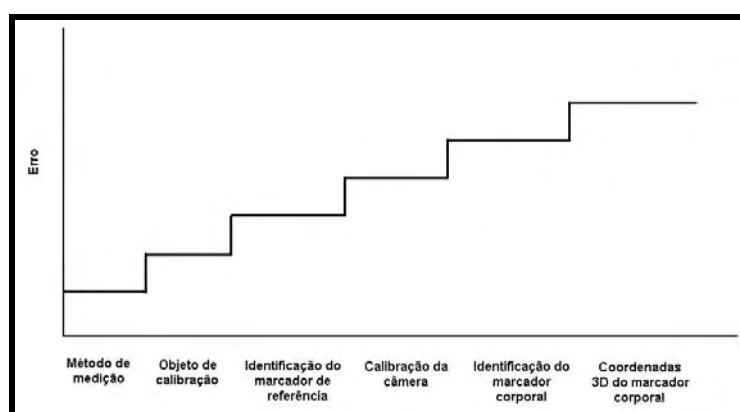


Figura 5: Propagação do erro de medida em reconstrução 3D.

Os autores também colocam que os principais fatores que interferem na qualidade das medidas são os métodos de medição, a identificação dos marcadores, a configuração da câmera e a calibração, sendo a medição do objeto de calibração o fator mais influente no processo de reconstrução.

O nível de precisão e acurácia de reconstrução 3D depende da magnitude da variável medida, porém Lafontaine e Lamontagne (2000) sugerem um valor de erro relativo (RMS %) em torno de 5% como aceitável.

2.3 Aplicação dos sistemas baseados em cinematria na natação

A cinematria pode ser considerada a metodologia biomecânica mais aplicada na natação. Tem como objetivo descrever a técnica de nado e os valores do resultado do desempenho.

Dentre as variáveis analisadas, Vilas Boas et al (1997) as classificam como:

Variáveis cinemáticas globais.

- Comprimento de braçada: distância em que o nadador percorre com a realização de um ciclo de braçada.
- Frequência de braçada: número de ciclos de braçada realizados no intervalo de um minuto.
- Velocidade média: velocidade em que o nadador percorre determinado trecho da prova.

Variáveis cinemáticas segmentares.

- Deslocamento da mão: A distância percorrida em que a mão do nadador desloca na realização de uma braçada.
- Ângulo das articulações relativo às fases da braçada: Ângulo articular do movimento no início e final de cada fase da braçada.

- Tempo decorrido para as ações segmentares: Tempo da realização de cada fase da braçada.

Variáveis cinemáticas do corpo do nadador:

- Velocidade horizontal do centro de massa: Velocidade horizontal do centro de massa calculado do nadador na realização de cada braçada ou cada ciclo de braçada.
- Velocidade horizontal do quadril: Velocidade horizontal do quadril como ponto fixo que representa o centro de massa do corpo do nadador na realização de cada braçada ou cada ciclo de braçada.

A escolha dos sistemas propostos para medição na natação depende do objetivo da pesquisa em determinar quais variáveis serão analisadas. A seguir são descritos alguns estudos.

2.3.1 Estudos com Câmera Fixa

Vilas-Boas et al (1997) utilizaram um sistema de câmeras fixas para verificação de variáveis cinemáticas globais e segmentares na técnica do nado Crawl no início e no final de uma prova de natação com distância de 200m. Para este estudo utilizaram 2 conjuntos constituídos de 2 câmeras cada um, uma subaquática e outra na superfície. Um conjunto ficou posicionado na parede frontal e outro na parede lateral da piscina. As câmeras utilizadas possuíam frequência de captura de 50Hz e foram sincronizadas por um sinal luminoso. O tempo de abertura e fechamento do obturador das câmeras foi ajustado em 1/250 s. Para a calibração das câmeras foi utilizado um objeto de calibração de 27m³ com 32 pontos de referência distribuídos uniformemente por todo o objeto. O sistema de reconstrução 3D utilizado foi o *Ariel Performance Analysis System* (APAS[®]). Foi analisado apenas um ciclo de braçada no início e no final da distância de 200m.

Payton e Lauder (1995) utilizaram um sistema de câmeras fixas subaquáticas dispostas na parede frontal e lateral da piscina. Na parede lateral foram posicionadas duas câmeras para a reconstrução tridimensional. As câmeras utilizadas no estudo possuíam uma frequência de captura de 50 Hz e o tempo de abertura e fechamento do obturador foi ajustado em 1/250 s. O objeto de calibração utilizado teve dimensões de 0.85m x 1.5m x 0.75m contendo 52 pontos. O sistema objetivou medir mudanças nas variáveis cinemáticas ocasionadas pela utilização de palmares em cada fase da braçada do nado crawl.

Monteil et al (1996) realizaram um estudo com o objetivo de descrever as fases do nado crawl por parâmetros cinemáticos e cinéticos. Para este estudo utilizaram um sistema constituídos de 2 câmeras subaquáticas instaladas em um tanque (*Swim Flume*) de água com fluxo controlado afim de simular os movimentos de nado na piscina e realizar a reconstrução 3D. Foram analisadas as variáveis de velocidade e força das mãos estimada por meio de dados cinemáticos, índice de eficiência, potência e eficiência propulsiva.

Payton e Bartlett (1995) realizaram um estudo a fim de quantificar o erro de medida no cálculo de força propulsiva por meio de dados cinemáticos. Utilizaram duas câmeras subaquáticas para a filmagem sendo que uma ficou na parede frontal e a outra na parede lateral da piscina. As câmeras possuíam frequência de captura de 50 Hz e o tempo de abertura e fechamento do obturador foi ajustada em 1/500 s. Como meio de sincronização das câmeras utilizaram um sinal luminoso. Como referência foram utilizados 32 pontos de um objeto de calibração de dimensões 0.85m x 0.75m x 0.85m. Analisaram apenas um ciclo de braçada de cada sujeito.

Cappaert et al (1995) realizaram um estudo com câmeras fixas para reconstrução 3D de movimentos do nado Crawl durante competição. Utilizaram um sistema em que o par de câmeras ficou fixo no fundo da piscina no final de uma distância de 50m. O objeto de calibração utilizado como referencia teve dimensões de 2.0m x 1.4m x 1.0m e 24 pontos de calibração. Devido a pouca acurácia em medir o objeto fora do volume de calibração o método de extrapolação não foi utilizado, por isso o sistema limitou-se a analisar apenas um ciclo de braçada.

Com o objetivo de analisar a força propulsiva por meio da reconstrução 3D dos movimentos das mãos do nadador, Berger et al (1999) utilizaram um sistema com quatro câmeras com frequência de captura de 50Hz posicionadas nas paredes lateral e frontal da piscina. O objeto de calibração utilizado para calibrar as câmeras possuiu dimensões de 2.0m x 1.0m x 1.0m. Para este estudo limitaram-se em analisar apenas um ciclo de braçada do nadador.

Hay e Gerot (1991) desenvolveram um sistema de periscópio para análise técnica de movimentos submersos do nadador utilizando um jogo de espelhos posicionados na lateral da piscina. Neste sistema foi permitido que as câmeras ficassem fora do contato com a água onde receberam a imagem refletida pelo jogo de espelhos.

Campos et al (2005) desenvolveram um sistema para análise cinemática de movimentos submersos dos membros superiores no nado crawl. O sistema foi montado com duas câmeras fixas na parede lateral da piscina. As câmeras possuíam frequência de 60Hz. Para este estudo construíram um objeto de calibração com dimensões 3m x 1m x 1m. Este sistema analisou somente um ciclo de braçada pela limitação do campo de visualização.

2.3.2 Estudos com Câmera móvel – Panning Cameras

Yanai et al (1996) desenvolveram um sistema de câmeras móveis por meio de um periscópio para avaliar a técnica de nado nas fases aérea e subaquática do nadador. O estudo foi montado com dois sistemas de periscópio montados na parede lateral da piscina distantes a 18,3m um do outro. Cada sistema de periscópio movia-se no plano horizontal, sincronizados por um relógio, de modo a acompanhar os movimentos do nadador. Um objeto de calibração foi colocado em sete localizações consecutivas ao longo da piscina para a recalibração de cada volume em que o nadador passava. O objeto tinha dimensões de 1.3m x 1.0m x 2.0m com 72 pontos de calibração.

Mason et al (1995) realizaram um estudo para análise da velocidade intracíclica e aceleração do centro de gravidade durante o nado Borboleta. Foi utilizado um

sistema de câmera por meio de um periscópio. A câmera operou em 100 Hz e movia-se no plano horizontal acompanhando o movimento do nadador.

3 METODOLOGIA

3.1 Estudos Prévios

Os estudos descritos a seguir foram realizados durante o processo de pesquisa e tiveram como objetivo desenvolver e analisar partes determinantes do estudo final. Três estudos foram realizados. O primeiro teve como objetivo testar a acurácia do sistema com câmeras fixas em ambiente controlado utilizando um objeto de calibração com configurações diferentes. O segundo objetivou testar um sistema com câmeras móveis em ambiente controlado. E o terceiro testou um sistema com câmeras fixas em ambiente aquático. É importante ressaltar que todos os três estudos utilizaram equipamentos que foram reutilizados no estudo final.

3.1.1 Teste do sistema de câmeras fixas em ambiente controlado

O objetivo deste estudo foi analisar a qualidade de medição das câmeras em ambiente controlado com dois conjuntos de pontos de calibração diferentes.

O procedimento foi realizado no Laboratório de Biomecânica do Departamento de Mecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP. Foram utilizadas para as filmagens duas câmeras da marca JVC® modelo GR-D350 mini DV com frequência de captura de 30 Hz (30 quadros por segundo), tempo de abertura/fechamento do obturador da câmera e foco em modo automático, e zoom ajustado de forma a enquadrar o objeto de calibração do laboratório. O objeto de calibração foi construído com 6 fios de prumo e 79 pontos de calibração (Figura 6).

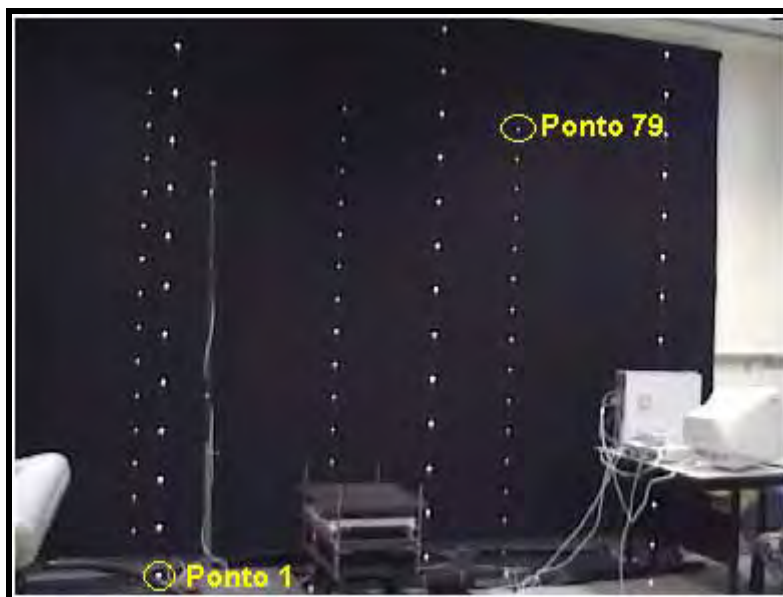


Figura 6: Objeto de calibração do laboratório.

As câmeras foram posicionadas na parede oposta ao objeto de calibração, numa distância de 5m entre o plano das câmeras e o volume calibrado. A distância entre elas foi de 3m e cada uma foi ajustada num ângulo de 30° no plano horizontal de forma a enquadrar o objeto de calibração (Figura 7).

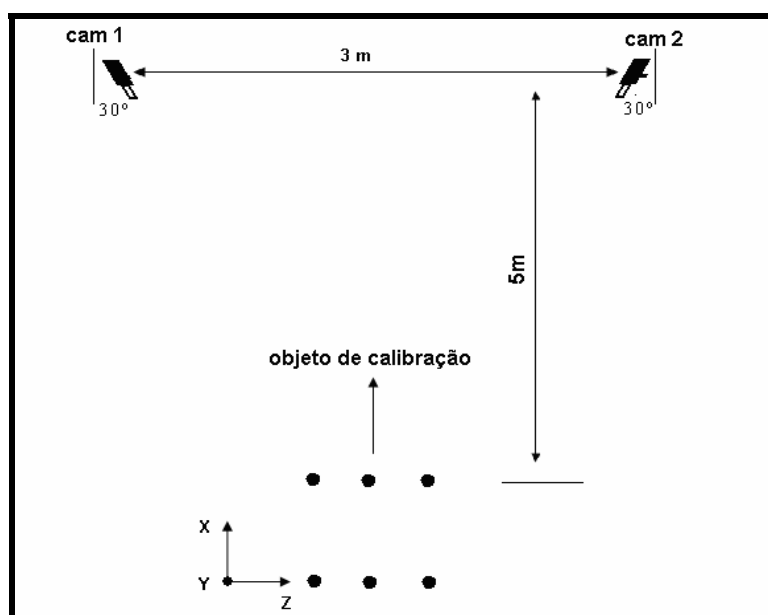


Figura 7: Esquema do laboratório no teste com câmeras fixas.

As câmeras foram sincronizadas por evento, em que um movimento rápido de contato entre as duas mãos foi realizado num campo de visualização comum para as duas câmeras. Após este procedimento realizou-se a filmagem.

As imagens foram capturadas em formato AVI pelo software Windows Movie Maker - Microsoft®. Utilizou-se para medição e reconstrução dos pontos do objeto de calibração o software DVIDEOW® (FIGUEROA et al, 2003) desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação para Biomecânica – LIB/FEF/UNICAMP. O software registra as imagens do objeto de calibração e de medição filmado pelas duas câmeras. Essas imagens são digitalizadas e na seqüência são calculados os parâmetros necessários para a reconstrução de coordenadas dos pontos medidos. Os parâmetros calculados são baseados no método de reconstrução DLT - *Direct Linear Transformation* (ABDEL-AZIZ;KARARA, 1971).

Para a calibração foram utilizados dois conjuntos de pontos do objeto de calibração. O primeiro conjunto com todos os pontos do objeto de calibração denominado Rec 3D (79 pontos), visíveis nas duas câmeras, e o segundo com apenas os pontos extremos, inferior e superior de cada fio de prumo, denominado Rec 3D (12 pontos). Seis pontos do objeto de calibração foram escolhidos para a medição e análise comparativa das coordenadas x, y e z (Tabela 1).

Tabela 1 – Comparação das coordenadas dos pontos reconstruídos.

		Coordenadas (cm)		
		x	y	z
Ponto 1	Real	0,0	176,0	0,0
	Rec 3D (79)	0,5	175,8	0,3
	Rec 3D (12)	0,3	176,0	0,7
Ponto 2	Real	150,0	114,0	0,0
	Rec 3D (79)	150,3	114,6	0,3
	Rec 3D (12)	150,5	114,6	0,8
Ponto 3	Real	0,0	210,5	100,0
	Rec 3D (79)	0,7	210,9	99,9
	Rec 3D (12)	1,2	211,1	99,9
Ponto 4	Real	150,0	147,5	100,0
	Rec 3D (79)	150,3	147,7	100,1
	Rec 3D (12)	150,6	147,7	100,3
Ponto 5	Real	0,0	77,0	200,0
	Rec 3D (79)	0,0	77,0	199,9
	Rec 3D (12)	0,3	77,2	200,3
Ponto 6	Real	150,0	178,5	200,0
	Rec 3D (79)	150,1	178,5	200,1
	Rec 3D (12)	149,9	178,7	200,7

Após analisar os dados de reconstrução dos seis pontos, pode-se verificar que para o conjunto com 79 pontos de calibração houve uma diferença na coordenada x entre 0,0cm e 0,7cm, na coordenada y entre 0,0cm e 0,6cm e na coordenada z entre 0,0cm e 0,3cm. Para o conjunto com 12 pontos de calibração houve uma diferença na coordenada x entre 0,1cm e 1,2cm, na coordenada y entre 0,0cm e 0,6cm e na coordenada z entre 0,0cm e 0,8cm.

Analisando os valores reconstruídos das coordenadas verificou-se uma pequena diferença entre os dois conjuntos de pontos do objeto de calibração. Isto permite, em estudos futuros, utilizar um conjunto com menos pontos do objeto de calibração, diminuindo o tempo dos procedimentos de reconstrução.

Pôde-se concluir portanto que o par de câmeras e o número de pontos de calibração utilizados se mostraram aceitáveis para o prosseguimento do estudo em novas condições de medição.

3.1.2 Teste do sistema de *Moving Cameras* em ambiente controlado

O teste verificou a precisão do sistema com câmeras móveis no ambiente de laboratório. O objetivo foi analisar os valores de reconstrução utilizando o mesmo par de câmeras e objeto de calibração do experimento anterior, numa condição em que as câmeras extrapolaram o volume calibrado inicialmente.

O ambiente foi o mesmo (Laboratório de Biomecânica DEM/FEG/UNESP).

Para movimentar as câmeras foi construído um dispositivo móvel, movido manualmente pelo pesquisador, que se deslocou sobre um trilho formado por dois canos de PVC com dimensões 0,20m x 0,25m x 3m (Figura 8).



Figura 8: Dispositivo móvel para as câmeras.

As câmeras ficaram distantes 1m uma da outra, a 4m do objeto de calibração, e fixadas ao dispositivo móvel que corria sobre o trilho (Figura 9).

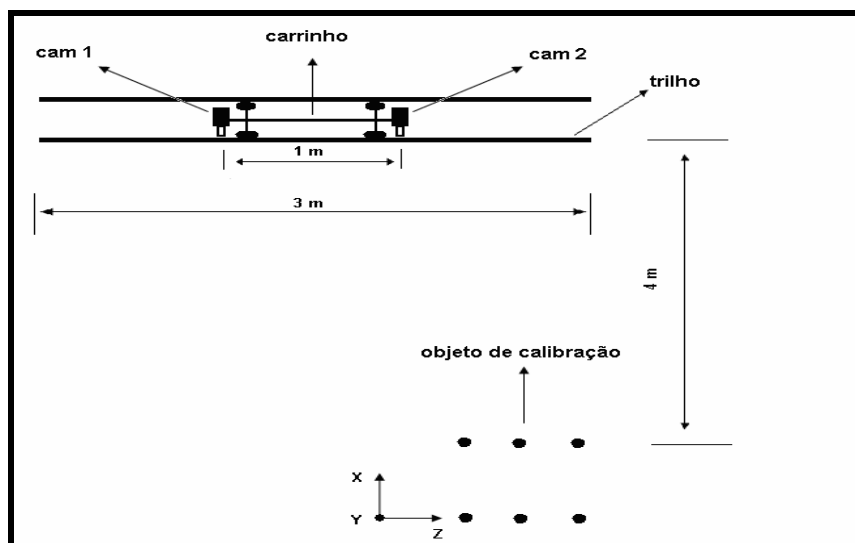


Figura 9: Esquema representativo do ambiente de filmagem.

O volume de calibração foi ajustado para que a calibração fosse realizada apenas no início do trecho percorrido pelo dispositivo móvel, portanto as dimensões do objeto de calibração foram reduzidas (1,5m x 1,4m x 0,75m), assim como o número de pontos de calibração do próprio objeto (54 pontos).

Um objeto com dimensões: $\text{dist1} = 24,0\text{cm}$, $\text{dist2} = 45,0\text{cm}$ e $\text{dist3} = 50,0\text{cm}$ (Figura 10) foi movimentado paralelamente ao trilho numa altura de aproximadamente 1m a partir do solo e o dispositivo móvel foi movido manualmente acompanhando-o, de forma que o objeto ficasse centralizado entre o campo de visão das duas câmeras.

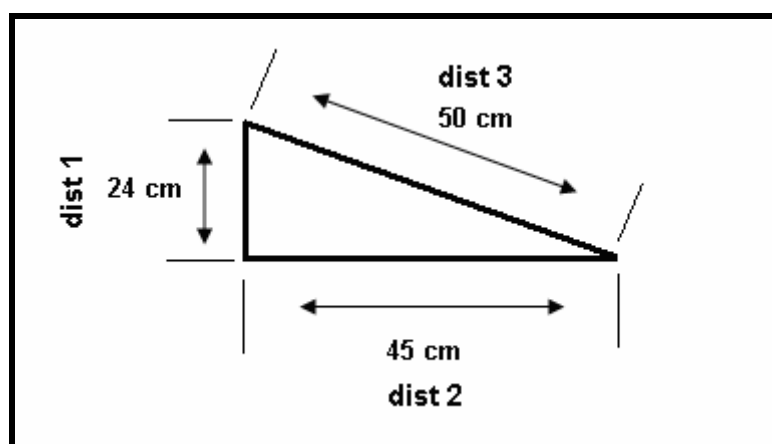


Figura 10: Esquema representativo do objeto reconstruído.

Após a filmagem as imagens foram capturadas e armazenadas em computador. O processo de digitalização e reconstrução das distâncias medidas utilizou o mesmo software do experimento anterior.

Foi reconstruído 1 quadro da imagem do objeto medido para cada posição relativa entre o par de câmeras e o volume de calibração. As posições relativas foram, posição 1 = 0% de extrapolação; posição 2 = 50% de extrapolação; posição 3 = 100%; posição 4 = 150% de extrapolação e posição 5 = 200% de extrapolação.

A tabela 2 apresenta os resultados das medidas reconstruídas.

Tabela 2: Medidas reconstruídas em 5 posições pré-definidas.

dist 1 = 24,0cm					
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 5
Rec 3D (cm)	25,1	24,9	25,6	24,4	24,4
RMS (cm)	1,1	0,9	1,6	0,4	0,4
RMS (%)	4,6%	3,6%	6,8%	1,6%	1,8%
dist 2 = 45,0 cm					
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 5
Rec 3D (cm)	46,0	46,5	44,3	44,2	44,1
RMS (cm)	1,0	1,5	0,7	0,8	0,8
RMS (%)	2,3%	3,2%	1,5%	1,8%	1,9%
dist 3 = 50,0cm					
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 5
Rec 3D (cm)	51,4	52,4	51,0	49,8	49,8
RMS (cm)	1,4	2,4	1,0	0,2	0,1
RMS (%)	2,8%	4,8%	2%	0,4%	0,3%

Pode-se verificar que os dados de reconstrução 3D (Rec 3D) apresentados na tabela, não apresentaram uma tendência em aumentar ou diminuir a precisão da reconstrução a medida em que o par de câmeras foi se distanciando lateralmente do volume calibrado, isto pode ser verificado analisando os valores do RMS e RMS%. Todas as medidas mostraram-se num valor aceitável, ficando entre 0,4cm e 1,6cm (1,6%-6,8%) para a distância 1 (dist1); 0,7cm e 1,5cm (1,5%-3,2%) para a distância 2 (dist2); e 0,1cm e 2,4cm (0,3%-4,8%) para a distância 3 (dist3). Isso mostra que o sistema se conservou extrapolando em 50% a 200% o volume de calibração.

Analisando os resultados do presente experimento pode-se concluir que os mesmos se apresentaram aceitáveis para o prosseguimento do estudo em novas condições de medição com câmeras em movimento.

3.1.3 Teste do sistema de câmeras fixas em ambiente aquático

Para testar a qualidade de medição das câmeras e verificar possíveis interferências do ambiente aquático nos valores de precisão da reconstrução 3D, este experimento teve como objetivo reconstruir a distância de um objeto de dimensões previamente determinadas.

O procedimento foi realizado numa piscina em ambiente aberto com condições não controladas de tratamento da água.

Foi utilizado para a filmagem o mesmo par de câmeras com os mesmos ajustes dos experimentos 1 e 2. As câmeras foram protegidas e isoladas da água por 2 caixas estanque de acrílico da marca Sony[®], modelo SPK-HCD, fixadas na parede lateral da piscina por um dispositivo construído com uma base de alumínio e ventosas capazes de suportar até 90 kg (Figura 11).



Figura 11: Suporte de fixação para caixa estanque.

O objeto de calibração foi construído com canos de PVC na cor branca. Foram construídos 13 pontos de calibração com fita isolante na cor preta de modo a conseguir um melhor contraste na imagem. O objeto de calibração foi imerso e sustentado por um sujeito numa profundidade relativa a da passagem de um nadador. Para se obter estabilidade do objeto, foram fixados contrapesos. (Figura 12).

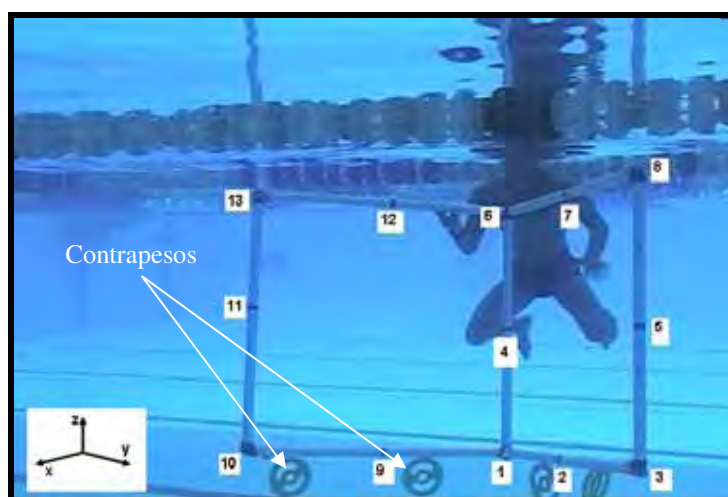


Figura 12: Objeto de calibração construído com PVC.

Foi realizada uma filmagem estática do objeto de calibração imerso. A figura 13 apresenta o esquema de disposição das câmeras e do objeto de calibração no ambiente de filmagem.

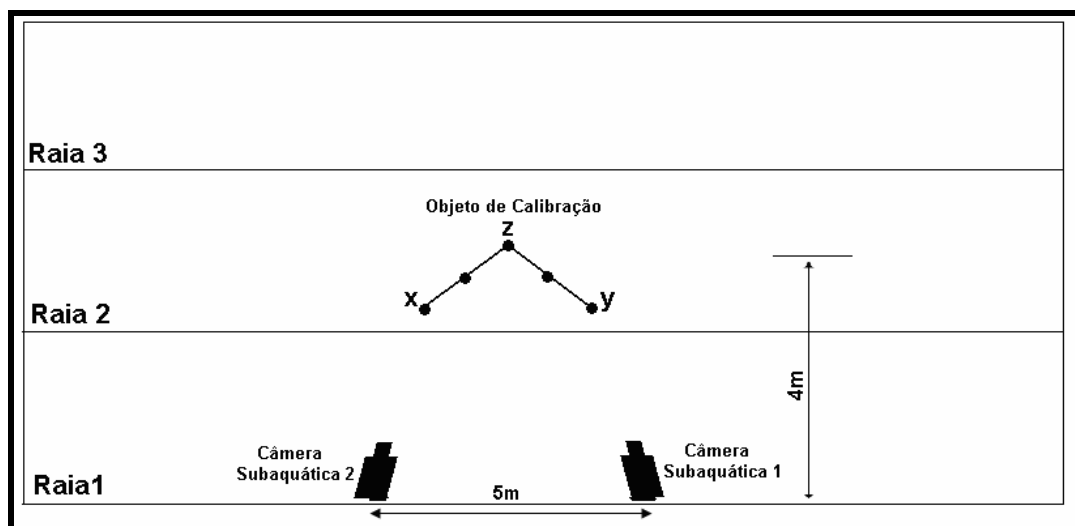


Figura 13: Esquema do ambiente de filmagem com câmeras fixas na piscina.

A captura das imagens, digitalização e reconstrução das coordenadas dos pontos analisados foram realizadas pelo mesmo procedimento dos dois estudos anteriores. Foi reconstruída a distância entre os pontos 6 e 7 (dist 6-7) do objeto de calibração durante 30 quadros consecutivos para verificar o nível de precisão do sistema de câmeras fixas em ambiente aquático.

A tabela 3 apresenta os valores da distância reconstruída durante 30 quadros.

Tabela 3: Valores da distância reconstruída durante 30 quadros.

Distância entre os pontos 6 e 7	Distância Real (cm)	Média Rec 3D (cm)	RMS (cm)	RMS (%)
dist(6-7)	54,0	53,9	0,3	0,6%

Pode-se verificar nos dados obtidos um valor de RMS de 0,3cm o que correspondeu a um RMS% de 0,6%. Estes valores demonstram uma boa precisão do sistema em ambiente aquático, considerando portanto, um valor aceitável das medidas

durante os 30 quadros medidos. O teste mostrou que o sistema de reconstrução 3D com câmeras fixas em ambiente aquático foi adequado e eficaz para futuras medições.

3.2 Estudo Final

Após a realização dos três estudos prévios foram verificados alguns itens essenciais para a elaboração do estudo final. Os fatores como a qualidade das imagens das câmeras, tipo e dimensão do objeto de calibração, movimentação do par de câmeras e ambiente aquático de medição foram analisados e levados em consideração para correção, ajustes e por fim a construção do sistema de *Moving Cameras*.

3.2.1 Sistema de *Moving Cameras*

Este estudo realizou três procedimentos sequenciais de filmagem para se garantir que os valores de reconstrução do terceiro procedimento, a filmagem com o sistema de *Moving Câmeras*, não fossem interpretados erroneamente por possíveis interferências do meio ou da movimentação do objeto. No primeiro procedimento denominado de Filmagem Estática o dispositivo móvel com o par de câmeras e o objeto de medição ficaram parados. No segundo procedimento denominado de Filmagem Dinâmica o dispositivo móvel com o par de câmeras ficou parado e o objeto de medição se movimentou. Por fim no terceiro e último procedimento tanto o dispositivo móvel com o par de câmeras quanto o objeto de medição (sujeito) se movimentaram.

3.2.1.1 Sujeito

Como este trabalho teve o objetivo de avaliar um sistema de medição e por isso se concentrou nos procedimentos metodológicos, foi utilizado no terceiro e último procedimento, um único sujeito. Foi escolhido como sujeito um nadador com 23 anos de idade, 85 kg de massa corporal, 1,74m de estatura, com nível técnico elevado e sem

nenhum problema motor que pudesse interferir nos movimentos realizados. Neste procedimento o objetivo foi o de demonstrar a aplicação do sistema. Para os procedimentos iniciais o estudo se concentrou na medição do objeto e não foi utilizado nenhum sujeito.

3.2.1.2 Ambiente de Filmagem

O teste foi conduzido no período entre 8:00h e 11:00h da manhã numa piscina em ambiente aberto nas dependências do Itaguara Country Clube localizado na cidade de Guaratinguetá. A piscina teve características satisfatórias para a prática da natação, com suas dimensões possuindo 25,0m x 20,0m x 2,0m, raias com largura de 2,5m, e água tratada e aquecida na temperatura de 27°C. Estas especificações atendem as exigências mínimas da FINA – Federação Internacional de Natação. Portanto, todas as características deste ambiente não interferiram na manipulação ou nas movimentações do objeto e do sujeito (Figura 14).

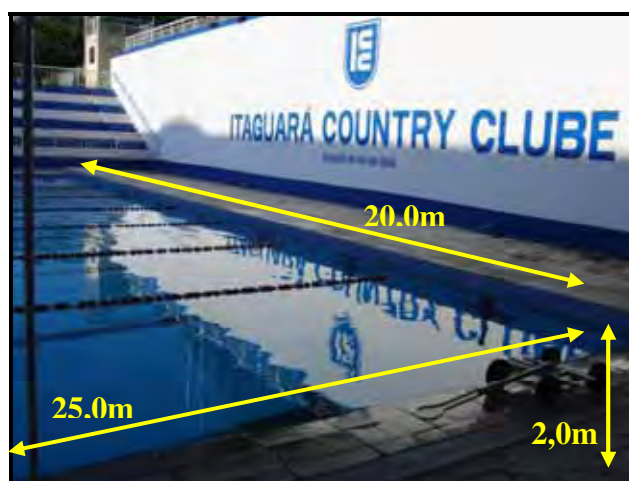


Figura 14: Ambiente de Filmagem.

3.2.1.3 Calibração das Câmeras

Foram utilizadas para as filmagens duas câmeras da marca JVC® modelo GR-D350 mini DV com frequência de captura de 30 Hz (30 quadros por segundo), *shutter*

speed e foco em modo automático e sem a utilização de zoom. As câmeras foram protegidas e isoladas da água por 2 caixas estanque de acrílico da marca Sony® modelo SPK-HCD fixadas no suporte do dispositivo móvel e ficaram imersas a 0,5m de profundidade (Figura 15).



Figura 15: Caixa Estanque no suporte do dispositivo móvel.

Uma estrutura construída com tubos de metalão com seção de 2cm x 2cm foi utilizada como objeto de calibração das câmeras. O material foi escolhido para permitir a não deformidade de suas dimensões e com isso conservar o referencial de calibração. O objeto possui dimensões de 3,0m x 1,5m x 1,0m, nas direções x, y e z respectivamente, em que a direção x representou a direção de deslocamento do nadador, y a latero-lateral e z a profundidade. Estas dimensões garantiram um volume de 4,5m³ que representou o volume de passagem de um nadador com braços e pernas esticados. O objeto de calibração ficou totalmente submerso de acordo com a magnitude do movimento estudado, conforme as recomendações de Gorgoulis et al (2007). Este objeto foi demarcado por fita isolante preta com 2,0 cm de largura para a construção dos pontos de calibração. No total foram construídos 40 pontos. Após serem medidos por meio de uma trena com precisão de 0,5 mm, foram utilizados como sistema de coordenadas reais do estudo. Entre os 40 pontos demarcados foram

utilizados 32 pontos do objeto devido ao não enquadramento ou a falta de clareza na identificação dos pontos complementares (Figura 16).

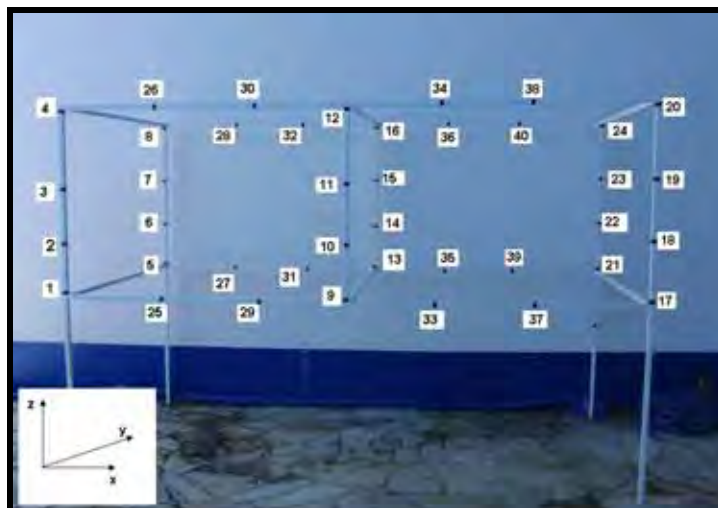


Figura 16: Objeto de Calibração

Para filmar o objeto de calibração e os movimentos do sujeito em sua total extensão, foi construído um dispositivo móvel para transporte das câmeras subaquáticas. Este dispositivo foi confeccionado com perfil de alumínio, apropriado para um ambiente úmido e sujeito ao contato com a água. Suas dimensões foram de 1,0m x 0,7m x 0,2m na mesma orientação do objeto de calibração. Dispositivo semelhante foi utilizado por Lafontaine e Lamontagne (2003) para gravação de movimentos em ambiente terrestre para a modalidade do hockey sobre patins, em que as câmeras móveis acompanharam o sujeito em toda a extensão de seus movimentos (Figura 17).



Figura 17: Dispositivo Móvel para transporte das câmeras.

O dispositivo móvel foi movido manualmente por um sujeito treinado para este tipo de procedimento que o empurrou por meio de uma haste fixa em sua estrutura. Isso garantiu acompanhar o nadador e manter o enquadramento no campo de visualização.

Um suporte para as câmeras subaquáticas foi adaptado ao dispositivo móvel mencionado e garantiu uma distância fixa de 1,0m entre elas e um ângulo de 15° de inclinação no plano horizontal. A distância do dispositivo móvel com as câmeras até o plano de movimentação do sujeito foi de 6,25m o que permitiu o enquadramento da imagem do sujeito nas duas câmeras (Figura 18).

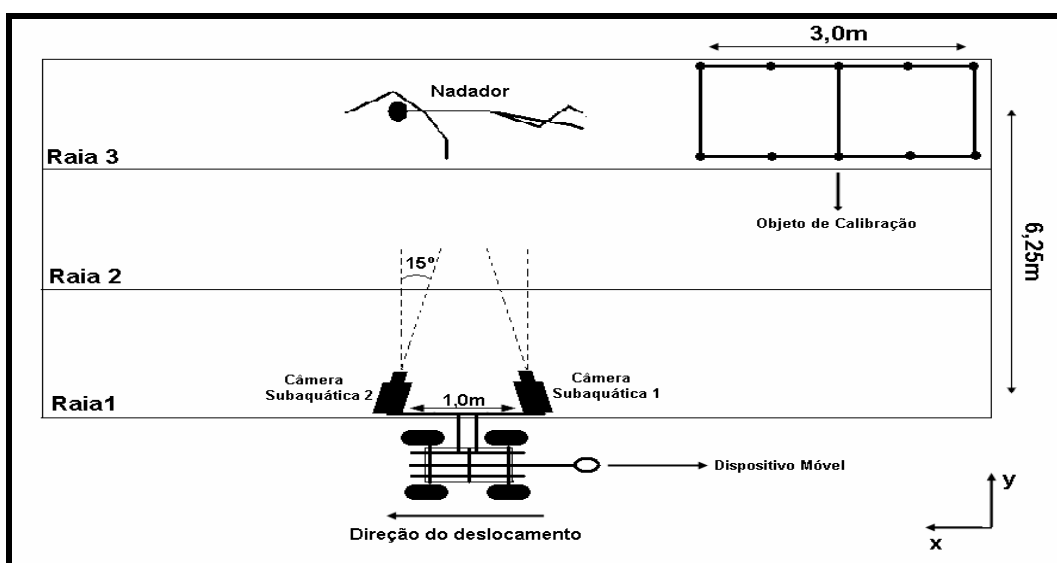


Figura 18: Esquema representativo do ambiente do experimento.

3.2.1.4 Procedimentos de Filmagem

As câmeras foram sincronizadas por evento, da mesma forma em que foi realizado nos estudos prévios. O calibrador foi filmado uma única vez no início da piscina e os parâmetros de calibração foram utilizados para os três procedimentos. Após o objeto ser filmado não mexeu-se nos parâmetros das câmeras até o final do experimento. Esse procedimento utilizou o mesmo arquivo de calibração em todos os trechos analisados (HINRICHS;Mc LEAN, 1995). A utilização do mesmo arquivo de calibração em vários trechos de filmagem permite ao pesquisador não ter que realizar uma calibração para cada trecho, no entanto este procedimento permite reduzir o tempo do procedimento assim como o levantamento dos dados.

A seguir são descritos os três procedimentos seqüenciais de filmagem.

A) Primeiro procedimento: Filmagem Estática.

Neste primeiro procedimento o dispositivo móvel com o par de câmeras e o objeto de medição ficaram parados. Foram reconstruídos três comprimentos do próprio objeto de medição denominados *dist1* (distância 1), *dist2* (distância 2) e *dist3* (distância 3). A *dist1* compreendeu a distância entre os pontos 29 e 9 na direção x e mediu 48,0 cm. *dist2* compreendeu a distância entre os pontos 9 e 13 na direção y e mediu 147,0 cm. E *dist3* compreendeu a distância entre os pontos 9 e 10 na direção z e mediu 27,5 cm (Figura 19). Foi medido um único quadro aleatoriamente escolhido.

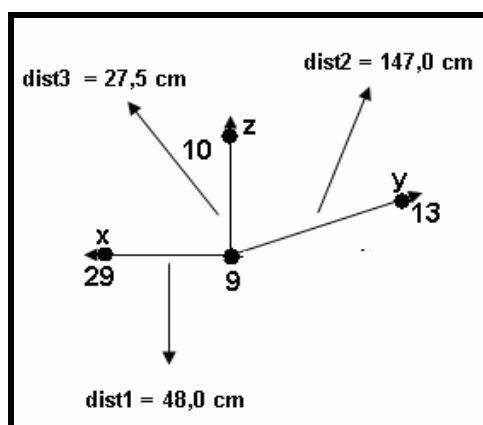


Figura 19: Objeto de medição reconstruído.

B) Segundo procedimento: Filmagem Dinâmica.

Neste segundo procedimento as câmeras permaneceram paradas e o objeto se movimentou manualmente por um auxiliar do pesquisador. Foram reconstruídas as mesmas três distâncias do procedimento anterior durante 61 quadros.

C) Filmagem com *Moving Câmeras*.

Neste procedimento o dispositivo móvel com o par de câmeras se movimentou acompanhando o sujeito que realizou o movimento de deslize submerso com o corpo totalmente estendido (Figura 20).



Figura 20: Movimento de Deslize Submerso do nadador.

Foram realizadas 6 tentativas de deslize submerso com os braços e pernas totalmente esticados partindo da borda inicial da piscina, onde foi colocado o objeto de calibração. Cada tentativa correspondeu a uma distância total de aproximadamente 12 metros. Após cada tentativa houve um intervalo de 3 minutos.

3.2.1.5 Captura, Processamento das imagens e Reconstrução 3D

As imagens foram capturadas em formato AVI pelo software Windows Movie Maker - Microsoft[®]. Utilizou-se para medição e reconstrução do membro inferior do sujeito o software DVIDEOW[®] (FIGUEROA et al, 2003). Em todos os procedimentos a digitalização foi manual.

No terceiro procedimento não foram utilizados marcadores anatômicos de forma a estimar o centro articular do nadador. Foram reconstruídos 2 pontos estimados que representaram as articulações do tornozelo e do quadril esquerdo do nadador. Calculou-se a distância entre as articulações em quatro trechos durante o seu deslocamento extrapolando o volume de calibração. Cada trecho foi composto por 5 quadros da imagem (Figura 21).

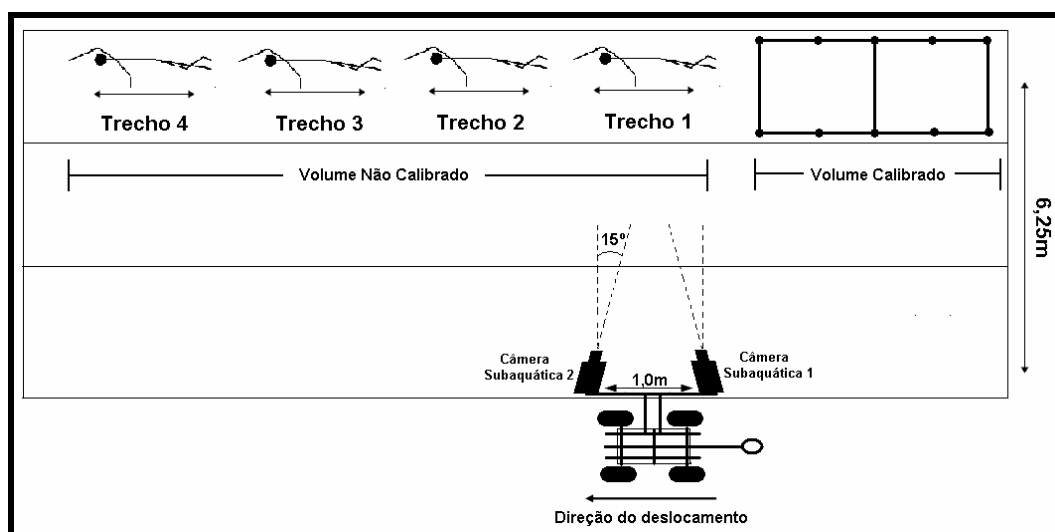


Figura 21: Esquema dos trechos medidos e extrapolação do volume calibrado.

Foram analisados no total 120 quadros nas 6 tentativas executadas pelo sujeito.

Após a medição, as matrizes com as coordenadas x , y e z de cada ponto do objeto e do sujeito foram tratadas em ambiente MATLAB[®].

4 RESULTADOS

4.1 Procedimento Estático

As tabelas 4 e 5 apresentam os dados do procedimento de filmagem estática.

Tabela 4 - Coordenadas reais e reconstruídas dos pontos medidos - Estático.

Pontos medidos	Coordenadas Reais (cm)			Coordenadas reconstruídas (cm)		
	x	y	z	x	y	z
P29	101,0	0,0	0,0	101,7	0,9	0,0
P9	149,0	0,0	0,0	148,8	4,7	2,3
P10	149,0	0,0	27,5	149,0	0,5	28,8
P13	149,0	147,0	0,0	149,3	140,5	1,1

Tabela 5 - Distâncias reais e reconstruídas do objeto medido - Estático.

Distâncias	Distância	Distância	Diferença (cm)	Diferença (%)
	Real (cm)	Reconstruída (cm)		
dist1 (29-9)	48,0	47,3	0,7	1,4
dist2 (9-13)	147,0	145,1	1,9	1,3
dist3 (9-10)	27,5	27,0	0,5	1,7

Pode-se verificar nas distâncias medidas uma pequena diferença percentual entre os valores reais e reconstruídos para 1 quadro medido em condição estática.

4.2 Procedimento Dinâmico

A tabela 6 apresenta os dados do procedimento dinâmico.

Tabela 6 - Distâncias reais e reconstruídos do objeto medido em 61 quadros - Dinâmico.

Distâncias	Distância Real (cm)	Distância Reconstruída Média (cm)	RMS (cm)	RMS (%)	Acurácia (cm)
dist1 (29-9)	48,0	46,9	1,3	2,7	1,3
dist2 (9-13)	147,0	146,4	4,6	3,1	4,6
dist3 (9-10)	27,5	27,9	0,8	2,8	0,8

Assim como no procedimento estático, o procedimento dinâmico demonstrou um pequeno valor de erro. A diferença percentual nos valores de RMS ficou em torno de 3% da distância medida.

A Figura 22, 23 e 24 apresentam a variação de cada distância reconstruída durante os 61 quadros medidos.

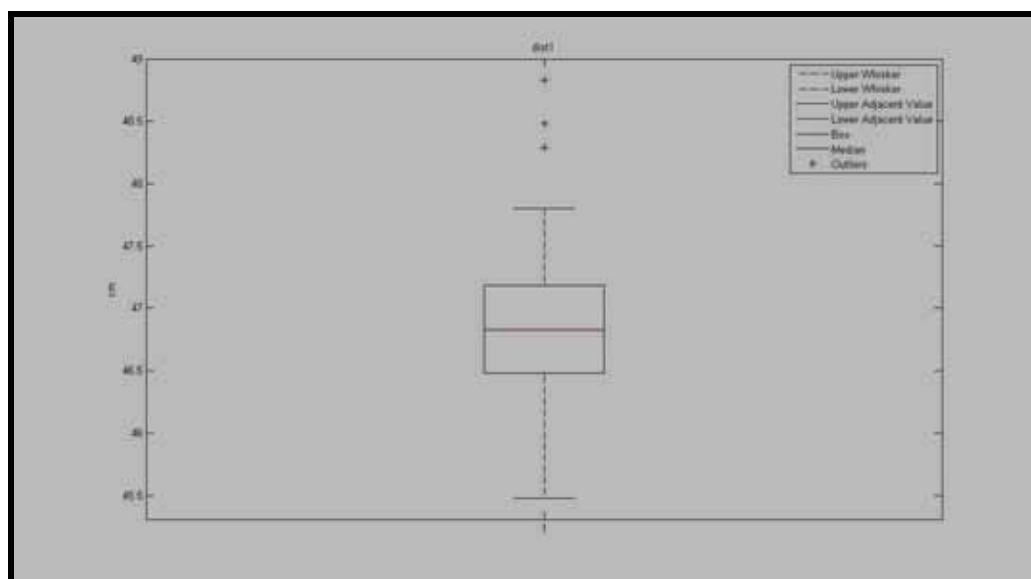


Figura 22: Boxplot da distância 1 medida.

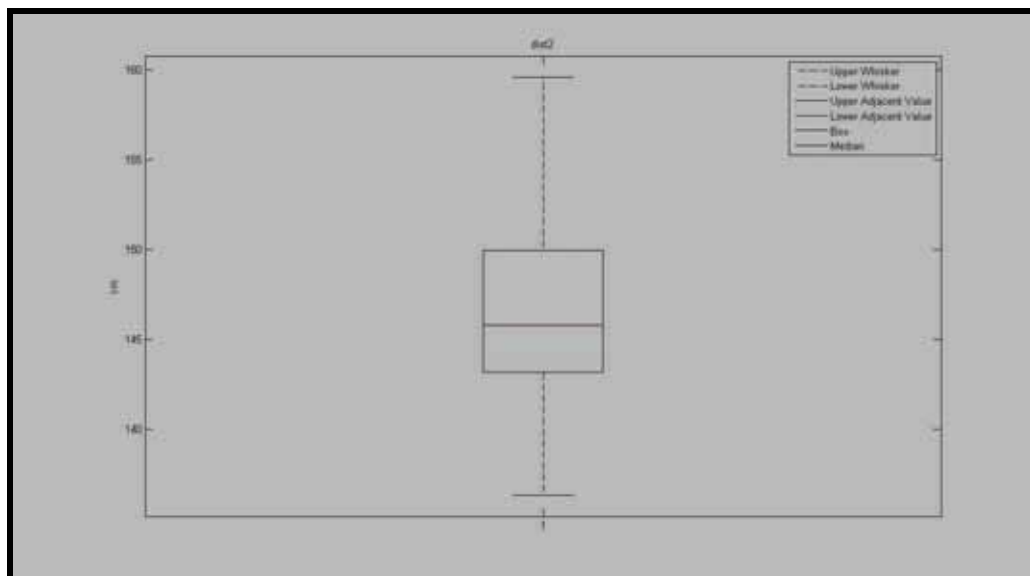


Figura 23: Boxplot da distância 2 medida.

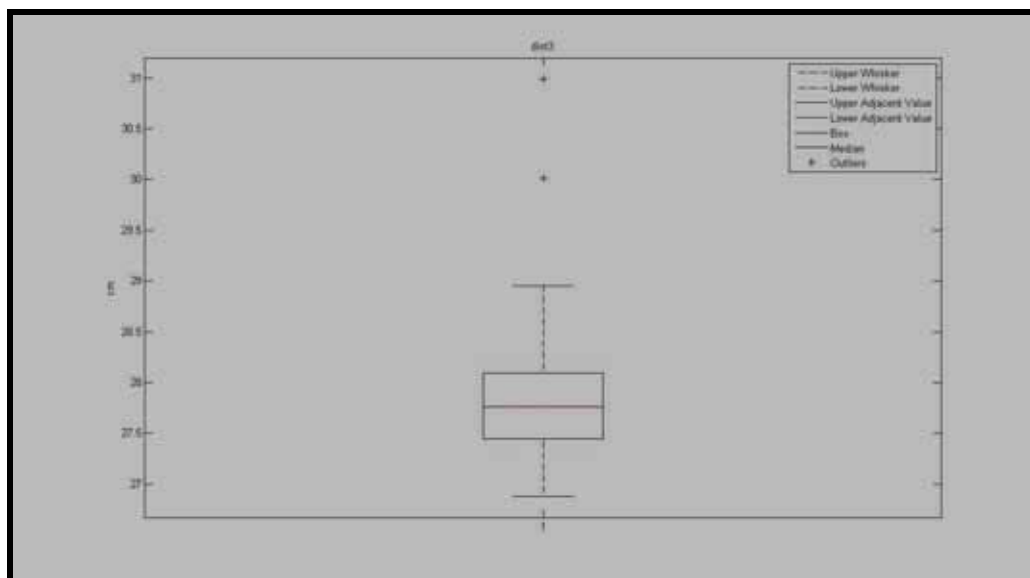


Figura 24: Boxplot da distância 3 medida.

4.3 Procedimento *Moving Cameras*

Os resultados da reconstrução da distância medida são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Dados de reconstrução do segmento corporal do nadador (81,40 cm).

	Distância Reconstruída Média (cm)	Desvio Padrão (cm)	RMS (cm)	RMS (%)	Acurácea (cm)
1ª Tentativa					
Trecho 1	83,0	3,9	3,9	4,0	4,2
Trecho 2	80,4	0,9	1,3	1,5	1,3
Trecho 3	79,7	1,8	1,3	1,5	2,0
Trecho 4	81,1	2,9	2,7	3,2	2,9
MEDIA	81,0	2,2	2,1	2,3	2,5
2ª Tentativa					
Trecho 1	79,5	1,7	2,4	2,9	2,5
Trecho 2	79,7	1,6	2,2	2,7	2,3
Trecho 3	80,7	3,2	2,9	3,6	3,3
Trecho 4	79,7	1,8	2,3	2,9	2,5
MEDIA	79,9	2,2	2,5	3,1	2,7
3ª Tentativa					
Trecho 1	82,3	1,2	1,5	1,7	1,6
Trecho 2	83,7	1,8	2,9	3,5	2,9
Trecho 3	80,7	1,2	1,3	1,5	1,4
Trecho 4	80,9	1,4	1,4	1,6	1,5
MEDIA	82,2	1,4	1,9	2,2	1,9
4ª Tentativa					
Trecho 1	80,9	1,3	1,3	1,6	1,4
Trecho 2	82,6	0,8	1,4	1,7	2,2
Trecho 3	82,4	0,9	1,3	1,6	1,4
Trecho 4	81,4	3,1	1,4	1,6	1,7
MEDIA	81,9	1,1	1,3	1,6	1,7
5ª Tentativa					
Trecho 1	78,9	0,6	2,5	3,1	2,6
Trecho 2	79,2	0,7	2,3	2,7	2,3
Trecho 3	81,9	2,1	1,9	2,3	2,1
Trecho 4	79,4	0,4	2,0	2,5	2,1
MEDIA	80,0	1,1	2,2	2,7	2,3
6ª Tentativa					
Trecho 1	81,4	1,2	1,1	1,3	1,2
Trecho 2	82,2	1,0	1,2	1,5	1,3
Trecho 3	83,3	3,8	3,9	4,7	4,2
Trecho 4	80,6	0,7	1,0	1,2	2,0
MEDIA	82,3	2,0	2,1	2,5	2,3

Pode-se observar nas figuras 25 à 30 a variabilidade nos valores reconstruídos durante cada trecho nas 6 tentativas realizadas. Cada gráfico corresponde a uma tentativa e apresenta a variação durante cada trecho de 1 a 4.

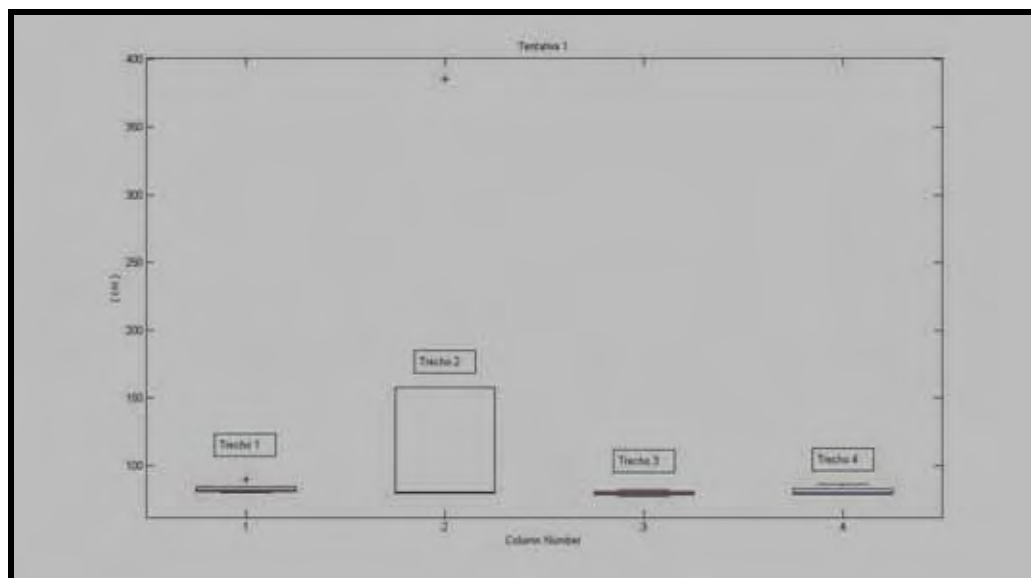


Figura 25 - Tentativa 1 – sistema Moving Camera.

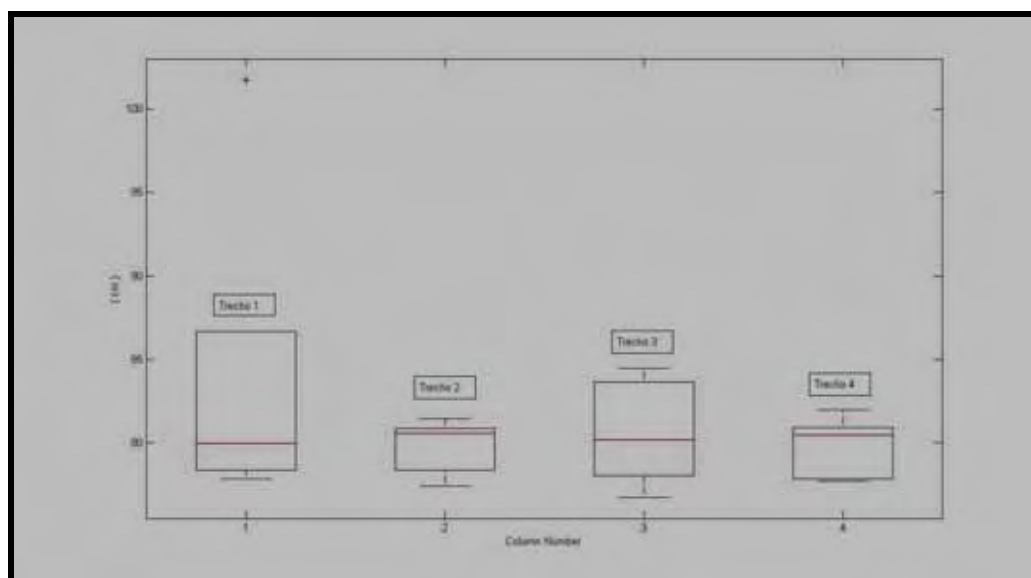


Figura 26 – Tentativa 2 – sistema Moving Camera.

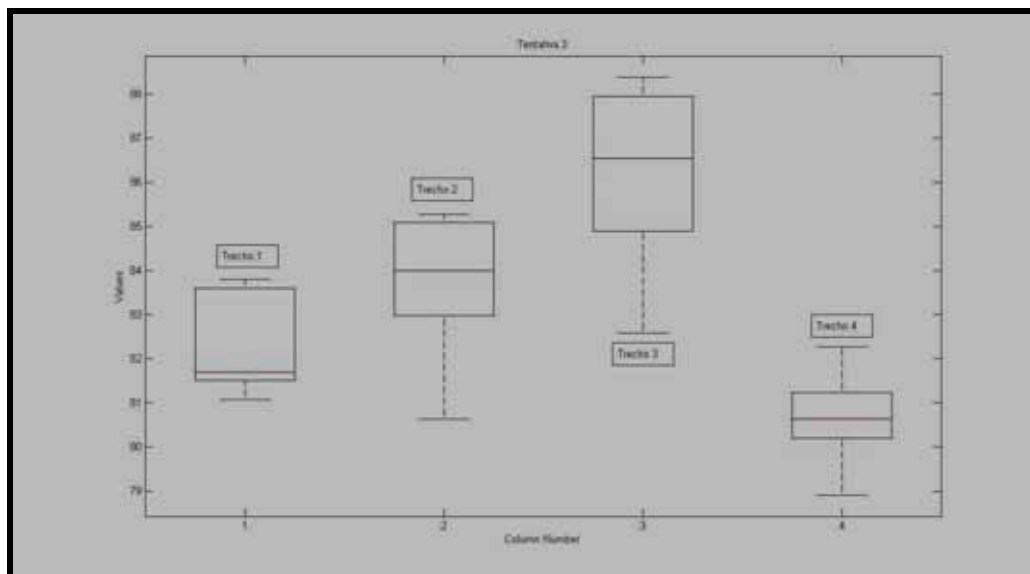


Figura 27 – Tentativa 3 – sistema Moving Camera.

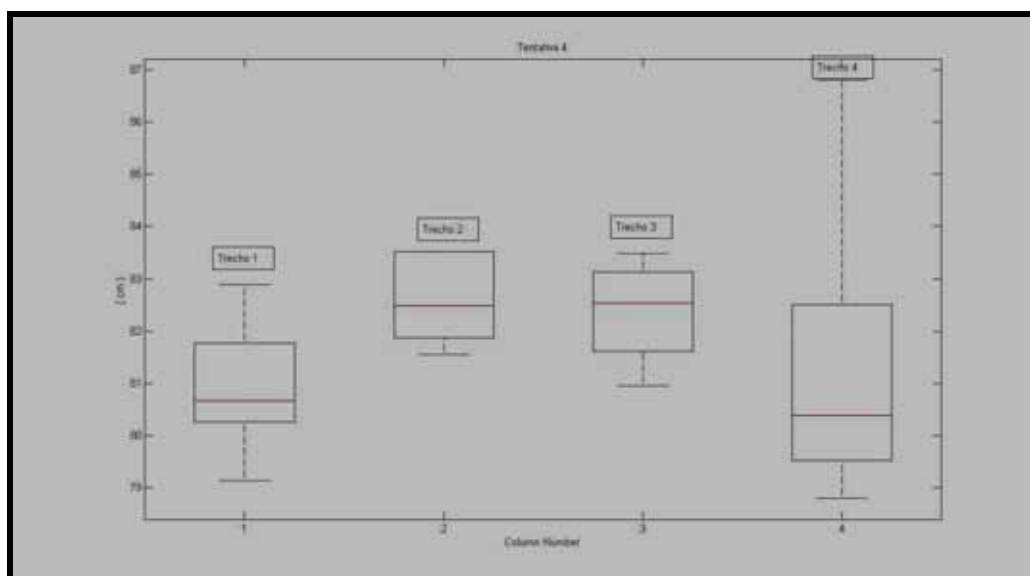


Figura 28 – Tentativa 4 – sistema Moving Camera.

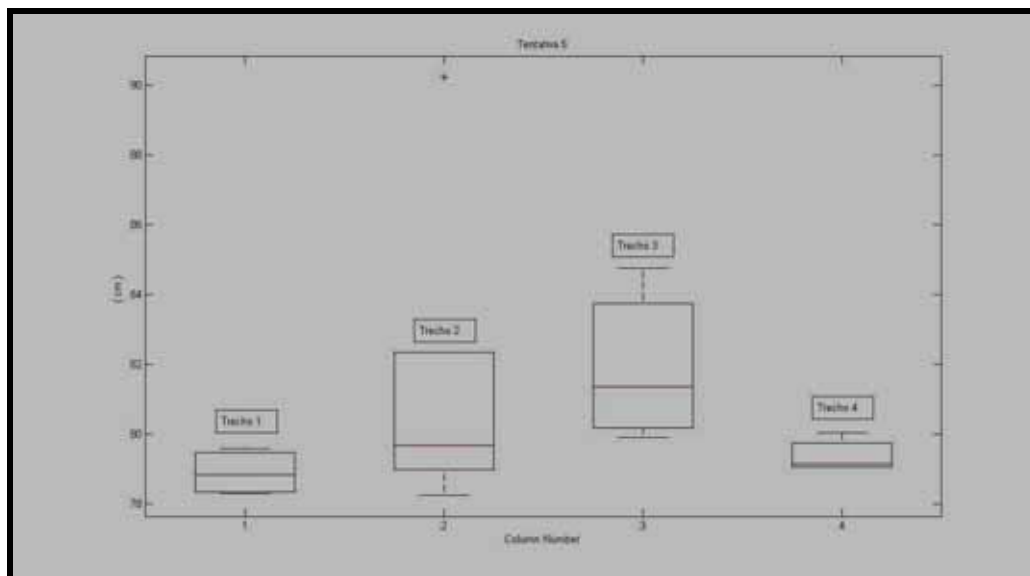


Figura 29 – Tentativa 5 – sistema Moving Camera.

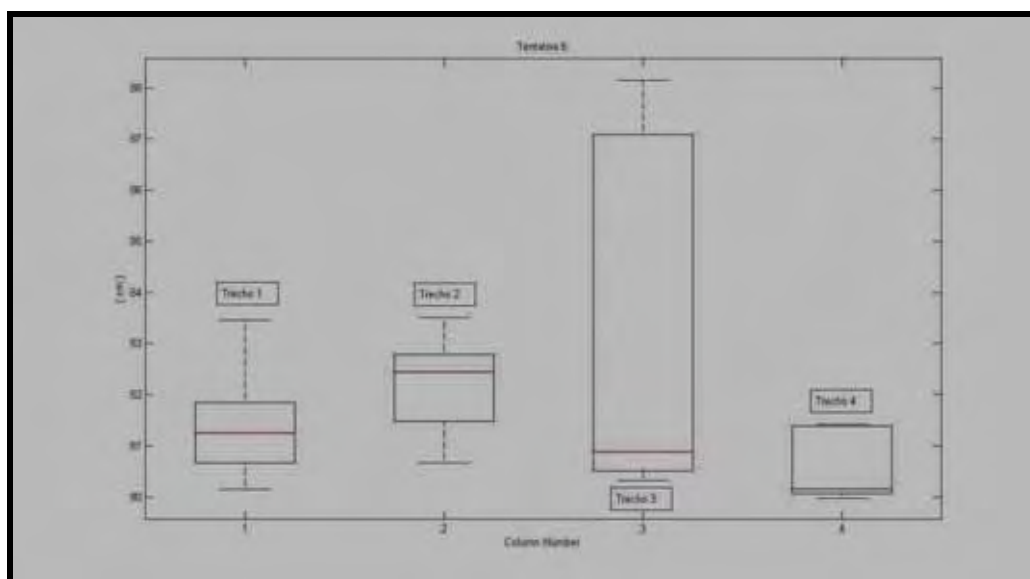


Figura 30 – Tentativa 6 – sistema Moving Camera.

A observação dos dados é apresentada de forma segmentada para melhor entendimento.

- Observação dos dados Intra-Trechos.

Pode-se observar de acordo com a Tabela 7 que os valores de RMS da distância medida variaram de 1,0 cm a 3,9 cm em todos os 24 trechos analisados. Estes valores corresponderam a uma variação percentual de 1,2% a 4,7% respectivamente.

Os valores de Acurácea da mesma medida variaram de 1,3 cm a 4,2 cm em todos os mesmos 24 trechos.

Esses valores revelam uma consistência aceitável dos dados medidos durante todos os trechos.

- Observação dos dados Intra-Tentativas.

Observando novamente a Tabela 7 nota-se que as médias dos trechos nas 6 tentativas variaram de 1,3 cm a 2,5 cm para os valores de RMS, correspondendo a 1,6% e 3,1% respectivamente. Os valores de Acurácea das tentativas ficaram entre 1,7cm e 2,7 cm.

Assim como nos valores dos trechos, os dados de RMS e RMS% nas tentativas foram baixos, se mostrando consistentes.

Após o levantamento dos resultados Intra-Tentativas foi utilizado o cálculo do Teste t para verificar a diferença entre os trechos da mesma tentativa, já que se esperava não haver diferença significativa entre eles, pois se tratava da mesma distância medida. Não foi encontrada diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os trechos em todas as tentativas, podendo considerar novamente a consistência interna em cada uma delas.

- Observação dos dados Inter-Tentativas.

Por último foi observada a diferença Inter-Tentativas. Com o objetivo de se verificar se havia diferença entre as tentativas, foi realizado o Teste t. Novamente não foi encontrada diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as 6 tentativas.

5 DISCUSSÃO

Nos estudos publicados que envolveram a técnica de reconstrução 3D aplicados na natação encontram-se sistemas que foram desenvolvidos com câmera fixa (CAPPAERT et al, 1995; VILAS-BOAS et al,1997; PAYTON;LAUDER, 1995; HAY ;GEROT, 1991; PAYTON;BARTLETT, 1995, MONTEIL et al, 1996; PAYTON et al, 2002; BERGER et al, 1999; GOURGOULIS et al, 2007) e com *panning câmera* (YANAI et al, 2000; YANAI et al, 1996). A escassez de dados de Precisão e Acurácia obtidos pelo sistema de *moving cameras* compromete comparações diretas com o presente estudo. Por isso algumas considerações sobre os fatores que influenciam os resultados em reconstrução 3D, fundamentados pela literatura a respeito deste sistema, são pontuados. É importante ressaltar que esses fatores não influenciam de forma isolada os valores de reconstrução das medidas, pelo contrário, são fenômenos sobrepostos, por isso determinar a influência de cada um isoladamente torna-se complexo.

- Extrapolação do volume de calibração.

Nas medições realizadas todos os trechos analisados estavam localizados fora do volume de calibração. Os quatro trechos medidos em cada tentativa foram ordenados de forma seqüencial do primeiro ao quarto e se localizaram aproximadamente nas distâncias 4m, 6m, 8m, e 10m a partir da borda inicial da piscina. Isso correspondeu a valores de extrapolação do volume de calibração entre 33% a 133%. Segundo Hinrichs e Mc Lean (1995), com a utilização de um sistema de câmeras fixas, quando a extrapolação exceder o volume calibrado em 100% ou mais, deve-se optar pelo método NLT, um método não linear alternativo ao método DLT. No presente estudo, o fato de se utilizar um sistema em que as câmeras acompanharam o movimento do nadador permitiu uma filmagem com um menor campo de visualização (LAFONTAINE;LAMONTAGNE, 2003) comparado com o sistema de câmeras fixa. Isto provavelmente reduziu o tamanho do campo de visualização e

proporcionou melhor acurácia na medição. Observando os resultados do experimento com *moving cameras* em ambiente controlado, que extrapolou em até 200% o volume de calibração, e o da piscina que extrapolou em até 133%, pode-se notar que os sistemas produziram valores aceitáveis independente do meio em que os estudos foram conduzidos.

Após a análise da tabela 7 pode-se perceber que não houve diferença significativa entre os trechos de uma mesma tentativa, mostrando que o sistema se conservou ao longo do volume não calibrado. Um dos fatores que provavelmente contribuiu para isso foi a rigidez do sistema de fixação das câmeras, que não permitiu a movimentação e a alteração da posição de uma em relação à outra.

- Não utilização de marcadores anatômicos.

Pensando em evitar possíveis erros provocados pela utilização de marcadores anatômicos e tornar o levantamento dos dados mais rápido, não foram utilizados marcadores anatômicos no sujeito (CAMPOS et al, 2005), pois a utilização de marcadores pode interferir na movimentação do nadador modificando a técnica de nado. Outro fator bem provável que poderia aumentar os erros de medição é a oclusão dos marcadores por parte de algum segmento corporal já que os movimentos na natação envolvem uma quantidade considerável de rotações do tronco e dos membros superiores. Isso leva a não identificação desses marcadores aumentando a imprecisão das medidas (BAUMANN, 1988).

De Haan e Brinker (1988) apud Allard et al (1995) ainda apontam os problemas de borrões na imagem dos marcadores durante as medições com câmeras em movimento, o que contribuiria para o aumento dos erros se fosse optado pela utilização de marcadores anatômicos. Esse fenômeno pode ser agravado se o tempo de abertura e fechamento do obturador da câmera não for ajustado à velocidade do movimento do evento medido. É importante destacar que o presente estudo não ajustou nenhum parâmetro da câmera de forma a ficar sujeito a interferências naturais do ambiente.

Allard et al (1995) apontam a capacidade de identificação dos marcadores como um dos maiores fatores que influenciam na qualidade das coordenadas reconstruídas.

Além dos fatos citados anteriormente um fenômeno inevitável é a movimentação dos marcadores em função da movimentação da pele do sujeito (REINSCHMIDT et al, 1997).

Baumann (1988) descreve que a “qualidade de percepção” do digitador é um fator que pode influenciar no procedimento de digitalização do ponto medido. O digitador das imagens possui aproximadamente 10 anos de experiência com análise de imagens da natação, o que provavelmente proporcionou-lhe uma qualidade de percepção satisfatória para identificação dos pontos digitalizados. Este fator necessita ser levado em conta na escolha do digitador em novos trabalhos, tornando-se então um fator importante do estudo.

Portanto foi fundamental a experiência e percepção do pesquisador quando da escolha de se optar por estimar o centro articular.

- Ambiente aquático.

O meio aquático é considerado muito complexo para a realização de medições no processo de reconstrução 3D e isso pôde ter interferido na qualidade das medições (KWON, 1999) .

Um fator que é naturalmente observado no momento da realização da filmagem é a influencia ocasionada pela resistência da água desestabilizando o dispositivo móvel com as câmeras. Isto, se não bem controlado, pode alterar a distância câmera-objeto (câmera-sujeito) e aumentar os erros de medida (ABDEL-AZIZ;KARARA, 1971). Neste trabalho a distância câmera-objeto foi controlada estabilizando o dispositivo móvel na borda da piscina por um sistema de haste-guia, o que permitiu mantê-lo controlado e portanto minimizar esse erro.

O não controle das condições de refração da luz é outro fator que leva à erros maiores de reconstrução, já que esses fatores interferem na condição de colinearidade exigida pelo método DLT. Kwon e Lindley (2000) afirmam que esses erros

normalmente ocorrem quando a imagem medida se aproxima dos limites do campo de visualização ou durante a extrapolação. O que pode ter contribuído para amenizar os erros por refração foi o fato de que o sistema de *moving câmeras* proposto manteve a imagem do sujeito sempre centralizada evitando as medições nos limites do campo de visualização.

Outro item influenciado pelo ambiente foram as “condições de luz, contraste e definição” da imagem no momento da identificação do sujeito (BAUMANN, 1988). Um ajuste que poderia melhorar a identificação de pontos por meio do aumento de contraste da imagem é diminuir o tempo de abertura/fechamento do obturador da câmera, porém isto poderia dificultar ainda mais a identificação do sujeito já que a imagem ficaria mais escura. A escolha foi portanto em não utilizar nenhum ajuste o que proporcionou imagens que não se apresentaram em sua forma mais nítida, contudo a falta de possibilidade de controlar o ambiente limitou os resultados.

É importante ressaltar que o presente estudo não utilizou nenhuma modificação para o método DLT de forma a compensar as influências do meio.

- A movimentação das câmeras.

Como visto anteriormente, o método DLT não permite que o pesquisador altere nenhum parâmetro das câmeras a partir do momento em que a calibração tenha sido realizada. No sistema de *moving cameras* proposto as câmeras foram posicionadas de modo a repetir a posição inicial da calibração nos momentos de medição dos quatro trechos analisados durante a movimentação do dispositivo móvel. Isso contribuiu para o fato já mencionado que foi a conservação aproximada da distância câmera-objeto, profundidade do par de câmeras e ângulo em relação ao plano de movimentação do sujeito.

O dispositivo móvel também manteve uma distância fixa de 1,0m entre as duas câmeras de modo que uma não se moveu em relação a outra (BEGON et al, 2009).

Alguns sistemas de movimentação de câmeras, como o *panning cameras*, requer uma recalibração das câmeras durante sua movimentação, porém neste sistema de *moving cameras* a calibração foi realizada uma única vez no início da piscina não precisando recalibrar as câmeras até o final das filmagens. Esse fato foi possível pelo tipo de movimentação que elas realizaram, paralela ao plano de movimento do nadador. Talvez isso seja uma limitação do sistema para movimentos que se dão num plano equidistante das câmeras como as provas de corrida no atletismo, a canoagem e a própria natação.

6 CONCLUSÃO

O sistema de *moving cameras* para reconstrução 3D de movimentos submersos na natação se mostrou adequado. Embora apresente algumas limitações como a baixa frequência de captura das câmeras, a não correção da distorção da imagem ocasionada pela refração da luz e a dificuldade de identificação dos pontos medidos devido à formação de bolhas, estas não comprometeram os valores de precisão e acurácia do sistema, pelo contrário, apresentaram erros de medida relativamente baixos. Essas limitações estão diretamente relacionadas à viabilidade do sistema que são: A montagem e transporte dos equipamentos, a fácil aplicação do sistema no cotidiano do treinamento, a agilidade nas medições e o baixo custo. As limitações características do sistema proposto podem e devem ser aperfeiçoadas em estudos futuros, como por exemplo, o desenvolvimento de métodos de rastreamento (tracking) automático dos pontos digitalizados, o que tornaria mais rápida a resposta dos dados para os atletas. Outro item que deve ser aperfeiçoado é a melhora da qualidade da imagem para a identificação dos pontos medidos, fato este que tornaria o processo de medição mais amplo, podendo o pesquisador medir os pontos mais críticos como os que representam as articulações do punho, cotovelo e ombro. Este trabalho demonstrou algo além de resultados aceitáveis e consistentes, mostrou que é possível desenvolver sistemas de medição adaptados para o cotidiano do esporte construído com materiais de baixo custo. O desenvolvimento de métodos adaptados como o do presente estudo contribui de forma relevante para o esporte já que os sistemas comerciais ainda são muito onerosos. Isto só foi possível devido a abordagem interdisciplinar proposta pelo curso de pós-graduação em engenharia mecânica da FEG/UNESP. Pode-se concluir portanto que o sistema é adequado para futuras aplicações na natação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-AZIZ Y., KARARA H. **Direct linear transformation from comparator coordinates into space coordinates in close range photogrammetry**. In: ASP Symp. Close Range Photogrammetry. Falls Church: American Society of Photogrammetry; 1971; p. 1-19.

ALLARD, P., STOKES, I.A., & BIANCHI, J.P. **Three-dimensional analysis of human movement**. Human Kinetics, 1995.

AMADIO, A.C. et al.; Introdução à biomecânica para análise do movimento humano: descrição e aplicação dos métodos de medição. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, **3**, **41-54**, 1999.

AMADIO, A.C. e DUARTE, M., **Fundamentos Biomecânicos para análise do movimento humano**. São Paulo, EEFUSP, 1996.

AMADIO, A.C. et al.; Métodos de medição em biomecânica do esporte: descrição de protocolos para aplicação nos Centros de Excelência Esportiva (Rede CENESP-MET). São Paulo: USP, [2000]. Disponível em: http://www.usp.br/eef/biomecan/download/protocolo_rbb.pdf. Acesso em: 10 fev. 2004.

ARELLANO, R. Evaluating the technical race components during the training season, 2000, 8p. Disponível em <http://www.ed.ac.uk/papers4/cm.html>. Acesso em: 22 jan. 2002.

BAUMANN W. 1988. The snatch technique of world class weightlifters of the 1985 World Championships. **Int. J. Sport Biomech.** 4: 1, 68-89.

BEGON M. et al. Computation of the 3D kinematics in a global frame over a 40 m-long pathway using a rolling motion analysis system. **Journal of Biomechanics** 42 (2009) 2649–2653

BERGER M, HOLLANDER P, DE GROOT G. Technique and energy losses in front crawl swimming. **Med Sci Sport Exerc** 1997:1491—8.

BREED, R.V.P.; YOUNG, W.B. The effect of resistance training programme on the grab, track and swing starts in swimming. **Journal of Sports Science**, Ballarat, v.21, p. 213-220, 2003.

CAMPOS, M. H. ; MENEZES, R. P. ; SILVATTI, A. P. ; MARINHO, P. C. ; CIPOLLI, E. A. C. ; BARROS, R. M. L. . Análise cinemática tridimensional da fase submersa do nado crawl. **Revista brasileira de ciência e movimento**, Londrina/Maringá - PR, v. 13, n. 4, p. 85, 2005.

CAPPAERT MJ, PEASE LD, TROUP PJ. Three-dimensional analysis of men's 100-m freestyle during the 1992 Olympic games. **J Appl Biomech** 1995;11:103—12.

CIPOLLI, E.A.C. **Análise cinemática da saída na natação através de um sistema bi-dimensional**. 59f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2004.

COSSOR, J.; MASON, B. Swim Start Performances at the Sydney 2000 Olympic Games, 2001, 5p. Disponível em <<http://www.ed.ac.uk/papers4/cm.html>>. Acesso em: 20 jan. 2002.

COLWIN, C.M. **Nadando para o século XXI**, São Paulo, Manole, 2000.

DUARTE, M., Introdução à Mecânica. Disponível em: <http://www.usp.br/eef/efb/mduarte>. Acesso em 29 mai. 2002.

FIGUEROA, P., et al., A flexible software for tracking markers for human motion analysis. **Computer Methods Programs in Biomedicine**. v. 72, p. 155-165, 2003.

GOURGOULIS V, ET AL., Reconstruction accuracy in underwater three-dimensional kinematic analysis, **J Sci Med Sport** (2007)

GROVES, R.; ROBERTS, J.A. A further investigation of the optimum angle of projection for the racing start in swimming. **The Research Quarterly**, v.43, n.2, p.167-174, 1972.

GRUEN, A. Fundamentals of Videogrammetry – A review. **Human movement science** 16 (1997) 155-187.

GUIMARÃES, A.C.S.; HAY, J.G. A Mechanical Analysis of the Grab Starting Technique in Swimming. **International Journal of Sport Biomechanics**, v.1, p.25-35, 1985.

HALL, S. **Biomecânica Básica**, Rio de Janeiro, Guanabara, 1993.

HAY, J. **The Biomechanics of Sports Techniques**. 1978. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N.J.

HAY, J. and GEROT, J. Periscope system for recording the underwater motion of the swimmer. **International journal of sport biomechanics** (champaign III) 7(4), 1991.

HINRICHS R., McLEAN S., NLT and extrapolated DLT: 3-D cinematography alternatives for enlarging the volume of calibration. **J. biomechanics** 28 (10) 1995.

HOBBIE, P. Analysis of the Flat vs. the Hole Entry. **Swimming Technique**, v.6, n.4, p.112-117, 1980.

HOLMER I. (1979a). Analysis of acceleration as a measure of swimming proficiency. In: Terauds J. & Bedingfield EW. (Eds.) **Swimming III**, 118-125. Baltimore: University Park Press.

KWON YH, LINDLEY S. Applicability of 4 localized-calibration methods in underwater motion analysis. In: Sanders RH, Hong Y, editors. **Proceedings of XVIII international symposium on biomechanics in sports, applied program: application of biomechanical studies in swimming**. 2000. p. 48—55.

KWON, Y.-H. Object plane deformation due to refraction in two-dimensional underwater motion analysis. **Journal of Applied Biomechanics** v. 15, p. 395-402, 1999.

LAFONTAINE, D., LAMONTAGNE, M. Development and validation of a mobile video capture system for spatial kinematics. **Archives of Physiology and Biochemistry**, 108, 99, 2000.

LAFONTAINE. D., LAMONTAGNE. M. 3-D kinematics using moving cameras, Part1:Development and validation of the mobile data acquisition system, **Journal of Applied Biomechanics**, 19(4), 372-377, 2003.

LEWIS, S. Comparison of Five Swimming Starting Techniques. **Swimming Technique**, v.16, n.4, p.124-128, 1980.

MAGILL, R.A. **Aprendizagem Motora** - Conceitos e Aplicações.Edgard Blucher, São Paulo, 5^a ed., 2000.

MAGLISCHO, E.W. **Nadando ainda mais rápido**, São Paulo, Manole, 1999.

MARCON, D. O controle biomecânico no treinamento de nadadores de 50 metros livre, **IX Congresso Brasileiro de Biomecânica** (volume II), 29-34, 2001.

Mc.LEAN, S.P. et al. Addition of an Approach to a Swimming Relay Start. **Journal of Applied Biomechanics**, v.16, p.342-355, 2000.

MONTEIL, K.M. AND ROUARD,A. H., Influence of the size of the paddles in front crawl stroke. **Biomechanics and Medicine in Swimming – Swimming Science** p. 99-104, London 1992b

MONTEIL, K M, ROUARD, A H, DUFOUR, CAPPAERT J M, TROUP J P. Front crawl stroke phases : discriminationg Kinematic and kinetic parameters. **Biomechanics and Medicine in Swimming Swimming Science** (1996) Volume: 7, Publisher: Chapman & Hall, Pages: 45-51

PAYTON C, BARTLETT R. Estimating propulsive forces in swimming from three-dimensional kinematic data. **J Sport Sci** 1995;**13**:447—54.

PAYTON, C.J. e LAUDER, M.A. The influence of hand paddles on the kinematics of front crawl swimming. **Journal of Human Movement Studies**, v.28, p.175-192, 1995.

PAYTON C. et al. Contributions of rotations of the trunk and upper extremity to hand velocity during front crawl swimming. **Journal Applied Biomechanics**. 18 (3) 2002.

PEARSON, C.T. et al. A comparison of the swimming start using traditional and modified starting blocks. **Journal of Human Movement Studies**, v.34, p.49-66, 1998.

PEDRALLI, M.; ROESLER, H. Análise biomecânica da saída de agarre e atletismo da natação, 2001, 2p. Disponível em <http://www.udesc.br/cefid/pos/mov_hum/pedralli.htm>. Acesso em: 03 fev. 2002.

PEREIRA, S.M. et al. Análise dinamométrica da saída de um nadador em diferentes alturas e ângulos de inclinação do bloco de partida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 9.,2001. **Anais ... Sociedade Brasileira de Biomecânica, 2001, p.76-79.**

PLATONOV, V.N. e FESSENKO, S.L. **Los sistemas de entrenamiento de los mejores nadadores del mundo**, Barcelona, Paidotribo, 1986.

PUSSIELDI, G. et al. Comparação do tempo de saída do bloco de partida em três tipos distintos de saída de cima em natação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 10, 2003. **Anais... Sociedade Brasileira de Biomecânica, 2003, p. 282-285.**

REINSCHMIDT C. et al. Effect of skin movement on the analysis of skeletal knee joint motion during running. **J. biomechanics**. 30 (7) 1997.

TOUSSAINT, H.M. AND BEEK, P.J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. **Sports Medicine**, 13, 8–24.

VERKHOSHANSKI, Y.V. **Treinamento Desportivo: Teoria e metodologia**, Porto Alegre, Artmed, 2001.

VILAS-BOAS, J. P. (1991). **A técnica em natação pura desportiva**. Documento de apoio à disciplina de Metodologia I - Natação. FCDEF-UP. Porto.

VILAS-BOAS, J. P. (1997). **Bases mecânicas da natação**. In: R. Fernandes, J. V. Santos Silva e J. P. Vilas-Boas (eds.), *Natação: vivências específicas e conhecimentos teóricos básicos*. Colectânea de textos, pp. 281-352. AE FCDEF-UP. Porto.

VILAS-BOAS, J.P. et al. Integrated Kinematical e Dynamics Analysis of 2 Track-Start Techniques. 2000, 5p. Disponível em <<http://www.ed.ac.uk/swim>>. Acesso em: 03 fev. 2002.

YANAI T, HAY JG, GEROT JT. Three-dimensional videography of swimming with panning periscopes. **J Biomech** 1996;29:673—8.

YANAI, T. and JAMES G. HAY. Shoulder impingement in front-crawl swimming: II. analysis of stroking technique. **Med. Sci. Sports Exerc.**, Vol. 32, No. 1, pp. 30-40, 2000.

YU, B. A Panning DLT procedure for tree-dimensional videography. **Journal Biomechanics**, 741-751, 1993.

ZATSIORSKY, V.M. et al. Biomechanical Analysis of Start Techniques in Swimming. In: **SWIMMING III**, p.199-206, 1979, Baltimore.