

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

GUSTAVO RICARDO SCHÜTZ

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE
IMAGENS NA VELA**

FLORIANÓPOLIS, SC, Brasil.

2006

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE
IMAGENS NA VELA**

Por:

GUSTAVO RICARDO SCHÜTZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Orientador: Prof. Dr. Helio Roesler

FLORIANÓPOLIS, SC, Brasil.

2006

GUSTAVO RICARDO SCHÜTZ

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE
IMAGENS NA VELA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no curso de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Helio Roesler (Orientador)
Universidade do Estado de Santa Catarina.

Prof. Dr. Sergio Augusto Cunha
Universidade Estadual de Campinas.

Prof. Dr. Antonio Renato Pereira Moro
Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Dr. Alexandro Andrade
Universidade do Estado de Santa Catarina.

Profa. Dra. Susana Cristina Domenech
Universidade do Estado de Santa Catarina.

Florianópolis, 25 de agosto de 2006.

RESUMO

Título: Desenvolvimento e Validação de Sistema de Aquisição de Imagens na Vela.

Autor: Gustavo Ricardo Schütz.

Orientador: Helio Roesler.

Este estudo teve como objetivo desenvolver uma instrumentação para aquisição de imagens que possibilite uma posterior quantificação dos movimentos e análise cinemática das posturas de escora do velejador em barcos da classe Laser. Foram desenvolvidas duas caixas estanque para proteção das câmeras, confeccionadas com fibra de vidro e com o visor da lente de acrílico. Foram testados os componentes câmera e visor da lente em uma análise cinemática bidimensional, tendo entre as câmeras analisadas, as câmeras de padrão digital apresentaram uma qualidade superior. Os visores desenvolvidos aparentaram não gerar distorção para a reconstrução das medidas de referência. Foram quantificados o erro quadrático médio e o erro máximo para as câmeras e combinadas com os visores da lente. Com o equipamento foi desenvolvido um método para o posicionamento do equipamento do barco, sendo uma câmera posicionada à frente e a segunda, posicionada no mastro. A câmera posicionada no mastro interferia na movimentação normal do velejador, e desta forma foi descartada sua utilização. Com as imagens obtidas pela câmera posicionada à frente observou-se a possibilidade da quantificação dos movimentos realizados pelo velejador. Para possibilitar uma posterior análise cinemática das posturas de escora do velejador foi proposto um procedimento para calibração a partir do quadro de imagem. O procedimento se mostrou eficiente para uma análise bidimensional das posturas de escora. Entretanto, além das extensões das articulações de quadril e joelho, o velejador executa também a rotação do tronco, o que torna uma análise tridimensional da escora mais adequada.

Palavras chave: Biomecânica, Vela, Instrumentação, Cinemática, classe Laser.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Florianópolis, Santa Catarina, 25 de agosto de 2006.

ABSTRACT

Title: Images Acquisition System Development and Validation for Sailing.

Author: Gustavo Ricardo Schütz.

Advisor: Helio Roesler.

This study aimed to develop instrumentation for images acquisition that makes possible movements quantification and kinematics analysis of the sailor's hiking positions in Laser boats. Two waterproof boxes were developed for cameras protection, confectioned with fiberglass and acrylic lens viewfinder. The camera and lens viewfinder components had been tested in a bidimensional kinematics analysis, and between the analyzed cameras, the digital standard cameras presented superior quality. The developed viewfinders haven't seemd to generate distortion for the reference measures reconstruction. The root mean square error and the maximum error for the combined cameras and with the lens viewfinders had been quantified. With the equipment a procedure for the boat equipment positioning was developed, with one camera located to the front and second, located in the mast. The camera located in the mast intervned with the sailor movement, and this way its use was discarded. With the images gotten from the camera located in the front it was observed movements' quantification possibility made for the sailor. To make possible a posterior analysis kinematics of the sailor hiking positions was considered a procedure for calibration from the image picture. The procedure if showed efficient for a bidimensional hiking positions analysis. However, beyond the hip and knee joints extension, the sailor also executes the rotation of the trunk, what makes a three-dimensional hiking analysis more adjusted.

Key words: Biomechanics, Sailing, Instrumentation, Kinematics, Laser class.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 O PROBLEMA | 1 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 3 |
| 1.3 OBJETIVOS | 4 |
| 1.3.1 <i>Objetivo geral</i> | 4 |
| 1.3.1 <i>Objetivos específicos</i> | 4 |
| 1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO | 5 |
| 1.5 DEFINIÇÃO DE TERMOS | 5 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 7 |
| 2.1 O IATISMO E VELA..... | 7 |
| 2.1.1 <i>Classe Laser</i> | 8 |
| 2.2 ESTUDOS DE PERFORMANCE NA VELA..... | 9 |
| 2.2.1 <i>Estudos Biomecânicos</i> | 10 |
| 2.3 BIOMECÂNICA..... | 22 |
| 2.3.1 <i>Cinemetria</i> | 23 |
| 2.3.2 <i>Direct Linear Transformation (DLT)</i> | 26 |
| 2.3.3 <i>2D-DLT</i> | 27 |
| 2.3.4 <i>Estudo dos erros em sistemas de cinemetria</i> | 27 |
| 3. MATERIAL E MÉTODO..... | 33 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA..... | 33 |
| 3.2 INSTRUMENTAÇÃO | 33 |
| 3.2.1 <i>Objeto de controle</i> | 33 |
| 3.2.2 <i>Câmeras</i> | 37 |
| 3.2.3 <i>Ambiente de calibração</i> | 38 |
| 3.2.4 <i>Visores da lente e posicionamento</i> | 39 |
| 3.3 PROCEDIMENTOS E CUIDADOS | 40 |
| 3.4 ANÁLISE DOS DADOS | 41 |
| 3.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO | 42 |
| 3.6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO | 43 |
| 4. RESULTADOS..... | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1 INSTRUMENTOS DESENVOLVIDOS..... | 45 |
| 4.2 TESTES DOS COMPONENTES DO SISTEMA | 47 |
| 4.2.1 Câmeras..... | 47 |
| 4.2.2 Freqüência de aquisição. | 50 |
| 4.2.3 Visor da lente. | 52 |
| 4.3 ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA NO BARCO | 55 |
| 4.3.1 Câmera de baixo..... | 57 |
| 4.3.2 Câmera de cima. | 58 |
| 4.4 PROPOSTA DE PROCEDIMENTO PARA CALIBRAÇÃO NO BARCO | 60 |
| 5. CONSIDERACOES FINAIS | 64 |
| 6. SUGESTOES | 65 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 66 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| FIGURA 1: ILUSTRAÇÃO DO BARCO DA CLASSE LASER..... | 9 |
| FIGURA 2: REPRESENTAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE ROTAÇÃO (ESQUERDA) E TRANSLAÇÃO (DIREITA) (ADAPTADO DE SJØGAARD, 1999). | 11 |
| FIGURA 3: REPRESENTAÇÃO DO CENTRO VÉLICO, CENTRO DE CARENA, CENTRO DE FLUTUABILIDADE E CENTRO DE GRAVIDADE. (ADAPTADO DE BOJSEN-MØLLER & BOJSEN-MØLLER, 1999)..... | 12 |
| FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO DO AUMENTO DA FORÇA DO VENTO E DA FORÇA DE ARRASTO, RESULTANDO NO ADERNAMENTO DO BARCO. | 14 |
| FIGURA 5: ORGANOGRAMA DOS INDICADORES DO DESEMPENHO SEGUNDO MACKIE (2003)..... | 14 |
| FIGURA 6: POSTURAS DE ESCORA ANALISADAS POR PUTNAM (1979)..... | 16 |
| FIGURA 7: POSTURA NO TRAPÉZIO E DE ESCORA ANALISADAS POR MARCHETTI, FIGURA E RICCI (1980). | 17 |
| FIGURA 8: VISUALIZAÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL DE DE VITO ET. AL. (1993)..... | 17 |
| FIGURA 9: POSTURAS ANALISADAS POR BOJSEN-MØLLER E BOJSEN-MØLLER (1999)..... | 18 |
| FIGURA 10: ESTRUTURA UTILIZADA POR DUMORTIER E IANCHKINE (2001) E LE DEROFF E IANCHKINE (2001). | 19 |
| FIGURA 11: ESTRUTURA UTILIZADA POR MAÏSETTI ET. AL. (2002)..... | 20 |
| FIGURA 12: OBJETO CONTROLE DESENVOLVIDO POR KWON (1999B). | 31 |
| FIGURA 13: PÊNDULO DESENVOLVIDO..... | 34 |
| FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO DOS SEGMENTOS DE RETA DE APROXIMADAMENTE 0,450M. | 35 |

| | |
|---|-----------|
| FIGURA 15 REPRESENTAÇÃO DOS SEGMENTOS DE RETA DE APROXIMADAMENTE 0,225M. | 35 |
| FIGURA 16 REPRESENTAÇÃO DOS SEGMENTOS DE RETA DE APROXIMADAMENTE 0,123M. | 36 |
| FIGURA 17: REPRESENTAÇÃO DOS ÂNGULOS VERIFICADOS..... | 36 |
| FIGURA 18: VISUALIZAÇÃO DAS CÂMERAS UTILIZADAS..... | 37 |
| FIGURA 19: ESQUEMATIZAÇÃO DO AMBIENTE DE CONTROLE. | 39 |
| FIGURA 20: VISOR DA LENTE DE VIDRO DA CAIXA ESTANQUE COMERCIAL. | 40 |
| FIGURA 21: VISOR DA LENTE DE ACRÍLICO POSICIONADO COM A CÂMERA SVHS. | 40 |
| FIGURA 22: DESTAQUE PARA OS PARAFUSOS (SETAS) E PARA A PORCA DO TIPO BORBOLETA (CÍRCULO)..... | 45 |
| FIGURA 23: CAIXA ESTANQUE RETANGULAR | 46 |
| FIGURA 24: CAIXA ESTANQUE CILÍNDRICA..... | 46 |
| FIGURA 25: VISUALIZAÇÃO DO MARCADOR PARA A SITUAÇÃO ESTÁTICA (ESQUERDA), E PARA A SITUAÇÃO DINÂMICA (DIREITA). VISUALIZADO EM 3X DE APROXIMAÇÃO (¼ DE PIXEL). | 52 |
| FIGURA 26: GURUPÉS E CÂMERA POSICIONADA. | 56 |
| FIGURA 27: CÂMERA POSICIONADA NO MASTRO..... | 56 |
| FIGURA 28: IMAGEM OBTIDA DA CÂMERA POSICIONADA À FRENTE COM UM VELEJADOR AMADOR. | 57 |
| FIGURA 29: IMAGEM OBTIDA DA CÂMERA POSICIONADA À FRENTE, PARA O VELEJADOR PROFISSIONAL..... | 58 |
| FIGURA 30: IMAGEM OBTIDA DA CÂMERA POSICIONADA NO MASTRO. | 59 |

FIGURA 31: IMAGEM OBTIDA DA CÂMERA POSICIONADA NO MASTRO, PARA O VELEJADOR PROFISSIONAL.....59

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| TABELA 1: EQM PARA ALGUNS SISTEMAS COMERCIAIS DE ANÁLISE 3D.... | 29 |
| TABELA 2: EQM E ERRO MÁXIMO DE SISTEMAS COMERCIAIS DE ANÁLISE 3D..... | 29 |
| TABELA 3: EQM E ERRO MÁXIMO DE SISTEMAS COMERCIAIS DE ANÁLISE 3D..... | 30 |
| TABELA 4: EQM E ERRO MÁXIMO PARA AS DIMENSÕES COM 3, 5 E 7 METROS ENTRE A LENTE E O OBJETO [M]. | 47 |
| TABELA 5: EQM E ERRO MÁXIMO RELATIVO PARA AS DIMENSÕES COM 3, 5 E 7 METROS ENTRE A LENTE E O OBJETO [%]..... | 47 |
| TABELA 6: EQM E ERRO MÁXIMO PARA OS ÂNGULOS COM 3, 5 E 7 METROS ENTRE A LENTE E O OBJETO [GRAUS]..... | 49 |
| TABELA 7: EQM E ERRO MÁXIMO RELATIVO PARA OS ÂNGULOS COM 3, 5 E 7 METROS ENTRE A LENTE E O OBJETO [%]. | 49 |
| TABELA 8: EQM E ERRO MÁXIMO PARA AS DIMENSÕES NAS SITUAÇÕES ESTÁTICA E DINÂMICA COM A CÂMERA A 3 METROS DO OBJETO [M]. | 50 |
| TABELA 9: EQM E ERRO MÁXIMO RELATIVO PARA AS DIMENSÕES NAS SITUAÇÕES ESTÁTICA E DINÂMICA COM A CÂMERA A 3 METROS DO OBJETO [%]..... | 51 |
| TABELA 10: EQM E ERRO MÁXIMO PARA AS SITUAÇÕES ESTÁTICA E DINÂMICA COM A CÂMERA A 3 METROS DO OBJETO [GRAUS]..... | 51 |
| TABELA 11: EQM E ERRO MÁXIMO RELATIVO PARA AS SITUAÇÕES ESTÁTICA E DINÂMICA COM A CÂMERA A 3 METROS DO OBJETO [%]. | 51 |
| TABELA 12: EQM E ERRO MÁXIMO PARA AS CÂMERAS SEM E COM O VISOR DA LENTE [M]. | 53 |

| | |
|--|-----------|
| TABELA 13: EQM E ERRO MÁXIMO RELATIVO PARA AS CÂMERAS SEM E COM O VISOR DA LENTE [%]. | 54 |
| TABELA 14: EQM E ERRO MÁXIMO PARA AS CÂMERAS SEM E COM O VISOR DA LENTE [GRAUS]. | 54 |
| TABELA 15: EQM E ERRO MÁXIMO RELATIVO PARA AS CÂMERAS SEM E COM O VISOR DA LENTE [%]. | 55 |
| TABELA 16: EQM E ERRO MÁXIMO PARA A RECONSTRUÇÃO PELO PROCEDIMENTO DO QUADRO DE IMAGEM. | 62 |

LISTAGEM DE ARTIGOS PRODUZIDOS RELACIONADOS AO TRABALHO

1) ROESLER, H.; HAUPENTHAL, A.; SCHUTZ, G. R.; PEREIRA, S. M. Proposição de método dinamométrico para avaliação da escora em atletas de iatismo em barcos tipo Catamaran, s/d. Artigo encaminhado ao periódico - Revista Brasileira de Biomecânica.

2) SCHUTZ, G. R.; ROESLER, H.; HAUPENTHAL, A.. Proposal of dynamometric method for evaluation of the hiking in sailing athlete, s/d. Artigo encaminhado ao periódico - Australian Journal of Sports Medicine.

3) ROESLER, H.; SCHUTZ, G. R.; HAUPENTHAL, A.; MENEZES, F. S.. Método de instrumentação para análise de movimentos de velejadores da classe Laser. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 11, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBB, 2005.

4) SCHUTZ, G. R.; HAUPENTHAL, A.; ROESLER, H. Método de instrumentação para análise de movimentos de velejadores em barcos do tipo Catamaran. **Acta do Movimento Humano**, v. 1 (2), 2005. *In press.*

1. INTRODUÇÃO

1.1 O PROBLEMA

A Vela é um dos mais tradicionais esportes olímpicos. Embora considerado um esporte de elite, é bastante difundido no país, tendo um grande número de praticantes amadores. O Brasil possui uma das mais bem conceituadas escolas de Vela de competição do mundo, responsável por 14 medalhas olímpicas sendo o esporte que mais teve destaque na última Olimpíada, realizada em 2004 na Grécia, com duas medalhas de ouro. Uma das classes de destaque é a classe Laser, na qual a Vela brasileira obtém a hegemonia através de Robert Scheidt (bicampeão olímpico e heptacampeão mundial).

O sucesso da Vela brasileira se deve ao fato do país ter um extenso litoral que atrai uma parcela da população para a prática de esportes no mar (VALPORTO, 2005). Mas essa hegemonia dos atletas não vem sendo acompanhada com um desenvolvimento científico na área. Roesler, Haupenthal e Faquin (2003) citam que apesar do avanço tecnológico que pode ser observado na construção e desenvolvimento de barcos, há insuficiência de estudos nesta modalidade no Brasil, pouco se conhece quanto à interação do atleta com seu instrumento de trabalho, as exigências a que este está submetido e a eficiência de seus gestos.

Em contrapartida, ao contato dos pesquisadores do Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática, do Centro de Educação Física, Fisioterapia e Desportos (CEFID), da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), com os atletas e com a Vela, iniciaram-se trabalhos procurando responder tecnicamente dúvidas dos velejadores, referentes aos gestos motores executados durante o velejar.

Estudos biomecânicos podem contribuir para responder tecnicamente dúvidas dos velejadores, referentes aos gestos motores durante o velejar, possibilitando aos técnicos e atletas escolher posturas confortáveis e eficientes para atingir maior rendimento. Já se utilizaram métodos biomecânicos em estudos descrevendo e analisando as posições em situações laboratoriais em bancos de escora ou

ergômetros (PUTNAM, 1979; BEILLOT et al., 1979; MARCHETTI, FIGURA & RICCI, 1980; BEILLOT et al., 1981; DE VITO et. al., 1995; AAGAARD et. al., 1998; TAN et. al., 1999), como foram assim definidos; com a instrumentação do barco em laboratório (MAÏSETTI et al, 2002; LE DEROFF & IANCHKINE, 2004; DUMORTIER & IANCHKINE, 2004); e também com a instrumentação do barco para análise em regata por meio da dinamometria (MACKIE, SANDERS & LEGG, 1999; MACKIE & LEGG, 1999).

Comuns aos instrumentos desenvolvidos são as variáveis a serem determinadas por estes. Estas são relacionadas a um dos gestos mais executados no velejar, a escora, sendo denominado o momento gerado pelo atleta contrário ao momento produzido por um par de forças, uma no velame e outra na bolina, que faz com que o barco aderne (PUTNAM, 1979; SCHIMIDT, 1990; MACKIE, SANDERS & LEGG, 1999), buscando manter o equilíbrio do barco.

Os instrumentos buscam quantificar variáveis como a distância de escora, o momento de escora, as angulações de joelho e quadril, as repetições de determinados movimentos, suas durações.

Com a finalidade de atingir estas variáveis e dar retorno aos velejadores, alguns métodos foram desenvolvidos pelos pesquisadores do Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática. Primeiramente, em terra, desenvolveu-se uma metodologia para avaliar as variáveis distância de escora e momento de escora por meio da dinamometria, com o uso de plataformas de força, para barcos do tipo Catamaran (ROESLER et. al. (s/d)) e para barcos da classe Laser (SCHUTZ, HAUPENTHAL e ROESLER (s/d)). Foi possível quantificar as variáveis, entretanto a realização dos movimentos ficou aquém do que realmente acontece na água.

A especificidade dos movimentos quando realizados na água, fez com que uma nova abordagem fosse necessária. Optou-se então em quantificar estas variáveis por meio da cinemetria.

Entretanto, para a aquisição de imagens, e futura análise por cinemetria, se fez necessário o desenvolvimento de uma instrumentação para aquisição de imagens na Vela, além de determinar parâmetros para a análise cinemática em uma situação não laboratorial e diferenciada como é o velejar.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Schmidt (1990) velejar requer, antes de tudo, um bom raciocínio científico, calcado num mínimo de conhecimentos dos fenômenos aéreos e hidrodinâmicos. Velejar obriga os praticantes a uma constante observação sobre o que está acontecendo, quando se manobra as velas de acordo com as mudanças da direção do vento, para que o barco alcance seu melhor desempenho.

Sherphard (1997) cita como os maiores influenciadores da performance o tipo de barco, as condições de vento e água, a duração do evento e o nível da competição. Dentre isto, a especificidade encontrada na classe Laser está ligada à característica da escora ser de fundamental importância ao desempenho. Segundo Maïsetti, et. al. (2002) os especialistas consideram que a capacidade de manter certa postura de escora pode ser fator determinante no desempenho, pois contribui para manter a velocidade do barco durante a prova.

Numa regata da classe Laser o velejador pode permanecer até 94% do tempo de prova em escora com ventos fortes (LEGG ET. AL., 2003). Assim, considera-se coerente o estudo de sua eficiência e fatores relacionados a esta. Tan et. al. (2003) apresentam alta correlação entre a máxima performance em escora e a massa corporal com resultados superiores de iatistas do sexo masculino em regatas da classe Laser.

A importância da escora pode ser comprovada pela citação de Mackie (2003) que aponta a postura de escora, a distância do centro de massa do iatista ao meio do barco e o momento de escora, como “pontos chaves” de indicadores de performance em barcos da classe Laser.

Na tentativa de mensurar a eficiência da escora foram desenvolvidas diferentes formas de tentar quantificar e qualificar as posturas adotadas (PUTNAM, 1979; BEILLOT et al., 1979; MARCHETTI, FIGURA & RICCI, 1980; BEILLOT et al., 1981; MAÏSETTI et al, 2002; LE DEROFF & IANCHKINE, 2004; DUMORTIER & IANCHKINE, 2004). No entanto se basearam em análises em laboratórios, na reprodução subjetiva do que é realizado em uma regata, e referenciadas nos métodos de dinamometria (para mensurações da força desprendida na cinta de escora) e na cinemetria (com análises bidimensionais, calculando-se os ângulos de joelho e quadril e o momento de escora gerado). Os estudos realizados em uma

situação de regata (MACKIE, SANDERS & LEGG, 1999; MACKIE & LEGG, 1999a) limitaram-se a quantificar a força executada pelo velejador na cinta de escora.

Com a importância da influência destas variáveis para a performance na Vela, justifica-se o desenvolvimento de uma instrumentação que possibilite quantificar estes dados.

Optou-se em desenvolver este instrumento aos barcos da classe Laser, pela gama de estudos voltados ao Laser, além de apresentar um maior número de praticantes.

Contextualizando o trabalho, a evolução do Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática, inicialmente utilizando a dinamometria como método principal de mensuração, sentiu a necessidade de aliar a cinemetria a suas pesquisas, como feito por Araújo (2004), Hubert (2005) e Souza (2006), com trabalhos utilizando imagens nas áreas de natação e marcha em ambiente aquático. Entretanto quantificar o erro da utilização de imagens para análises cinemáticas se faz necessário. Este trabalho não buscou definir os valores para as situações específicas anteriores, mas proporcionar um procedimento que possa responder a este questionamento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver uma instrumentação para aquisição de imagens na Vela, que possibilite posterior quantificação dos movimentos e análise cinemática das posturas de escora do velejador em barcos da classe Laser.

1.3.1 Objetivos específicos

- Desenvolver equipamento para proteção das câmeras;
- Determinar a validade e o erro dos componentes envolvidos no equipamento desenvolvido;
- Desenvolver sistema de fixação e posicionamento de câmeras, para a aquisição das imagens;

- Determinar procedimento para calibração das imagens do sistema no barco;
- Determinar a acurácia do sistema desenvolvido no barco.

1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O estudo foi delimitado em desenvolver uma instrumentação para aquisição de imagens que possibilite posterior quantificação dos movimentos e análise cinemática das posturas de escora do velejador em barcos da classe Laser. O trabalho avaliou os componentes pertencentes ao sistema de aquisição de imagens e propôs um procedimento para sua utilização em barcos, especificamente da classe Laser. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática do Centro de Educação Física Fisioterapia e Desportos – CEFID da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC e em campo quando necessário na Lagoa do Peri – Florianópolis – Santa Catarina, durante os anos de 2004, 2005 e 2006.

1.5 DEFINIÇÃO DE TERMOS

- Iatismo: prática esportiva da navegação em embarcações à vela ou a motor (CIVITA, 1975);
- Vela: originalmente definido como iatismo, a alteração do nome ocorreu nos Jogos Olímpicos de Sydney, em 2000, onde esporte passou a se chamar oficialmente, em inglês, *Sailing* (Vela para o idioma português), no lugar de *Yachting* (Iatismo);
- Classe: grupo ou categoria de embarcações, aglutinadas pela semelhança ou identidade de padrões de construção. Os componentes são idênticos entre si e sua construção controlada por associações internacionais (CIVITA, 1975);
- Laser: tipo de barco ou classe;

- Escora: Fazer contrapeso ao adernamento (inclinação) do barco, projetando-se com o corpo no bordo oposto aquele sobre o qual inclina a embarcação (CIVITA, 1975);
- Distância de escora: distância entre o centro de gravidade do velejador ou da tripulação e o centro de gravidade do barco (SCHMIDT, 1990; LEGG, MACKIE & SMITH, 1999);
- Momento de escora: para evitar que o barco aderne excessivamente, o velejador ou a tripulação cria um momento no sentido inverso ao provocado pela ação do vento e da água, utilizando para tal, seu peso a uma certa distância do centro de gravidade do barco (SCHMIDT, 1990; LEGG, MACKIE & SMITH, 1999);

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O IATISMO E VELA

late palavra adaptada do inglês *yatch* derivada do holandês *jaght*, sendo este termo usado para qualquer embarcação leve e rápida utilizada para comércio, guerra ou divertimento (SLEIGENT, 1999).

O iatismo é originário da Holanda, mas tornou-se popular quando a Inglaterra tornou-o uma atividade esportiva. O primeiro clube de iatismo Cork-Harbour Water Club, hoje Royal Cork Yacht Club, foi instituído na Irlanda. Propagou-se pela Europa alcançando o Novo Mundo nos fins do século XVIII. Em 1811 fundou-se em Nova York o Knickerbocker Club, pioneiro que durou um ano. Mas em 30 de Julho de 1884 criou-se o New York Yatch Club, principal responsável pela expansão e desenvolvimento do iatismo nos Estados Unidos.

Foi introduzido no Brasil em fins de século XIX por norte-americanos, europeus e seus descendentes. O primeiro clube de iatismo brasileiro surgiu em 1906, o late Clube Brasileiro do Rio de Janeiro. Depois de seis anos aparece o Fluminense Yatch Club, sendo mais tarde denominado late Clube do Rio de Janeiro, maior agremiação brasileira deste esporte, e segundo Fernandes (2001), considerado o berço do iatismo como esporte organizado. Os que mais praticavam eram esportistas estrangeiros, pois nossos compatriotas gostavam mais da vida social. Uma desavença entre os associados passou a existir a partir de 1914 o Rio Sailing Club. Posteriormente apareceram outros clubes e associações nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul.

Em 1934 surgiu a primeira entidade de direção do iatismo a Liga Carioca de Vela a Motor, e a Federação de Vela a Motor. Em 1941 foi fundada a Confederação Brasileira de Vela e Motor que se adequou ao modelo do sistema esportivo.

Em Olimpíadas, Pan-americanos e em campeonatos atuais é utilizado o termo Vela para esta modalidade esportiva. A alteração do nome ocorreu nos Jogos Olímpicos de Sydney, em 2000, onde esporte passou a se chamar oficialmente, em

inglês, *Sailing* (Vela para o idioma português), no lugar de *Yachting* (latismo), sendo a primeira vez na história olímpica em que um esporte mudou de nome.

A Vela é dividida em classes de acordo com os diferentes tipos de embarcações. Dentre estas se destaca com um maior número de praticantes a classe Laser. Soma-se ainda o fato do velejador brasileiro Robert Scheidt ter a hegemonia nesta classe sendo bicampeão olímpico e heptacampeão mundial.

2.1.1 Classe Laser

O barco, hoje denominado de Laser, começou a ser desenvolvido quando Ian Bruce, presidente da empresa *Permanence Sailcraft*, delegou a Bruce Kirloy um projeto para fabricar uma embarcação que pudesse ser tripulada por uma pessoa, que fosse fácil de transportar e que ao mesmo tempo fosse acessível ao grande público. Em outubro de 1970 se considera a primeira aparição do novo barco, sendo em uma competição onde participaram construtores e vendedores, que desta maneira aproveitavam para promover seus produtos. O novo barco sofreu alterações e em novembro de 1970 foi apresentado definitivamente no porto do *Royal Club* em Montreal – Canadá. (TILLMAN, 1975). A origem do nome Laser surgiu de uma discussão entre estudantes, onde o novo barco deveria ter um nome científico, moderno e facilmente identificado, quando Ian Bruce disse: “algo como Laser?”. No Brasil a classe chegou em 1974. Em mundiais o Laser se destaca pela quantidade impressionante de participantes e é Olímpico desde Atlanta em 1996 (Deshors, 1998).

Koch (2004) define o Laser como um barco eminentemente simples, com poucas distinções de materiais e regulagens, de maneira que qualquer vantagem que se possa obter na montagem e escolha do material é essencial para a melhora da performance e funcionamento do barco.

Tem-se basicamente três tipos de Laser difundidos no Brasil e mundialmente segundo Ilha & Streppel (1999): o **Standard** com vela de 7m² que o velejador deve estar pesando entre 78 kg e 85 kg e com altura entre 1,70m a 1,90m, sendo que os mais altos levam alguma vantagem no vento forte (FIGURA 1); o **Radial** com vela de 5,2m² em que o peso do velejador oscila entre 65Kg e 80 Kg e que é muito usado para regatas femininas. A classe está revendo o tope do mastro, pois os velejadores que tem ganhado no radial, tem ganhado também no standard, ou seja, esta medida está muito próximo; e o **4.7** como o nome já diz a vela tem 4,7m² e o peso

do velejador pode oscilar entre 45kg a 60kg, ideal para quem está saindo do optimist.



FIGURA 1: Ilustração do Barco da Classe Laser.

O Laser exige do velejador um ótimo preparo físico (SCHMIDT, 1990; ILHA & STREPPPEL, 1999; KOCH, 2004), sendo de vital importância no resultado de regatas, especialmente em ventos fortes (VANGELAKOUDI & VOGIATZIZ, 2003).

O biótipo da maioria dos bons velejadores, segundo Koch (2004), varia entre 1,74 e 1,85m e 74 e 85Kg.

2.2 ESTUDOS DE PERFORMANCE NA VELA

Estudos científicos na Vela buscam resolver questões relacionadas ao desenvolvimento da modalidade e em sua grande maioria a performance máxima de seus praticantes. Estes estudos abrangem diferentes áreas do conhecimento.

Legg & Mackie (1999), Mackie & Legg (1999b), Legg & Mackie (2000), Legg & Park (2003) e Araujo, Davids e Serpa (2005) em seus trabalhos abordaram variáveis relacionadas à Psicologia como foco em seus trabalhos utilizando-se de questionários.

A incidência de lesões, prevenção e riscos envolvidos no velejar foram objeto de estudo de LeGoff (1988), Rieckert (1993), Allen (1999), Fontoura (2003), Schaefer (2000), Allen (2003a); Spalding et. al. (2003), Allen (2003b); Neville et. al., (2003), Moraes et.al. (2003); Shephard (1990) e Shephard (1997), também por meio de questionários.

Aplicação de testes físicos gerais (capacidade aeróbia, anaeróbia, flexibilidade, resistência muscular localizada) buscando indicativos e uma correlação com a performance em regatas (NIINIMMA et. al., 1977; LEGG, MACKIE & SLYFIELD, 1999; MOLLER et. al., 2003; LEGG et. al., 1997; SPURWAY & BURNS, 1995);

Abordando aspectos nutricionais, verificando por meio de diários alimentares, a dieta de velejadores (BERNARDI et. al., 2003a; SLATER & TAN, 2003).

Envolvendo meios do treinamento desportivo na melhora da performance (WRIGHT, CLARKE & NIINIMMA, 1976);

O desenvolvimento de novas tecnologias para auxiliar o velejador (BEALE, 2003; SAUDERS et. al., 2003), como simuladores.

E também o estudo de exigências fisiológicas com a mensuração de diferentes variáveis, tais como consumo de oxigênio, concentração de lactato, concentrações de hormônios, degradação de substratos energéticos e comumente, através da mensuração da frequência cardíaca (MARCHETTI, FIGURA & RICCI, 1980; LARSSON et. al., 1999; VOGIATIZIS et. al., 1993; VOGIATIZIS et. al., 1996; FELICI et. al., 1999; VANGELAKOUDI & VOGIATZIS, 2003; BLACKBURN, 1994;; VOGIATZIS et. al., 1995; GALLOZZI et. al., 1993; MAÏSETTI et. al., 2002; DEVIENNE & GUEZENNEC, 2004; PORTIER E GUEZENNEC, 2002; CUNNINGHAM & HALE, 2003; BERNARDI et. al., 2003b; LUGER, GINER & LORENZ, 2001; PRINCI et. al. 2003; VOGIATZIS, DE VITO & MARCHETTI, 2003; SPURWAY, 2003; PEREIRA et. al., 2004).

Há por diversas vezes a combinação de mais de uma das áreas de conhecimento acima citadas e também relacionadas a estudos que envolvam a Biomecânica.

2.2.1 Estudos Biomecânicos

Na Vela, pode-se definir a Mecanologia (a ciência que se ocupa das máquinas) o efeito das condições de tempo, água e do barco sobre os tripulantes e seu rumo.

Já a Biomecânica propriamente dita, se ocuparia das ações físicas da tripulação para controlar o barco e o curso de regata (SJØGAARD, 1999).

Um corpo movente irrestrito aprecia um máximo seis graus de liberdade: três rotações e três translações. Matematicamente, todo o movimento que o corpo executar pode ser descrito como uma combinação destes. Enquanto a sustentação e a estabilidade na terra podem ser obtidas à custa de um ou mais grau de liberdade, um barco mostra componentes de todos os seis.

Isto tem sido conhecido bem entre velejadores e estudiosos da Vela, tanto que uma terminologia náutica comum tem nomes próprios para todos os seis. Os movimentos de rotação são chamados adernamento (do inglês, *rolling*), arfagem (*pitching*) e guinada (*yawing*) (FIGURA 2 – esquerda); e as translações denominadas submersão (*heaving*), deslocamento (*swaying*) e aceleração (*surging*) (FIGURA 2 – direita). Na terminologia náutica própria para a língua portuguesa, foram encontradas somente definições para os movimentos de rotação em Civita (1975). Os termos quanto aos movimentos de translação foram definidos para a língua portuguesa por tradução daqueles apresentados por Heimberg (1994) e Sjøgaard (1999).

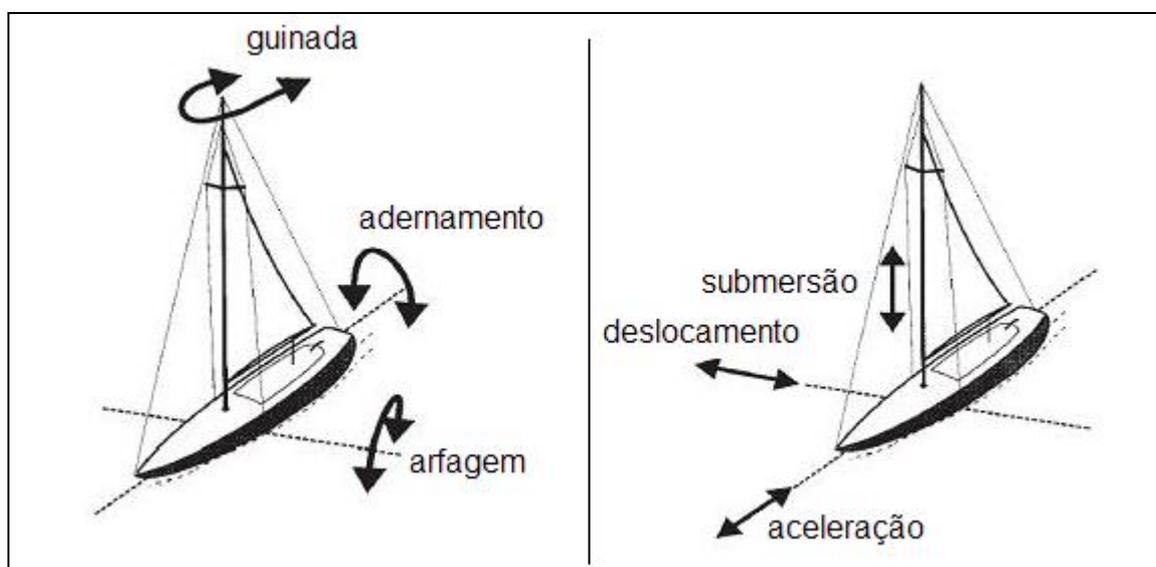


FIGURA 2: Representação dos movimentos de rotação (esquerda) e translação (direita) (adaptado de Sjøgaard, 1999).

Na Vela há a permissão para algum destes movimentos enquanto outro (s) deve (m) ser controlado (s). Isto pode ser um problema ao ser humano que convencionalmente em terra não está acostumado (em seu sistema de equilíbrio) a lidar com mais do que três graus de liberdade em um momento e, quando se ajusta

para um barco na água, se está expostos de repente a seis, em alguns casos com a triste consequência definida como mareado (SJØGAARD, 1999).

Em barcos pequenos, como o Laser, nos quais o peso da tripulação, relativo ao peso do barco, é grande, a posição adotada pela tripulação é importante para o contrapeso e alinhamento longitudinal do barco e desse modo, fazer com o barco plane. Tendo isto, a Biomecânica se ocupa principalmente nas ações para contrapor o adernamento do barco, onde para maximizar o contrapeso e o alinhamento horizontal, o (s) velejador (es) adota (m) uma posição denominada de escora. No barco Laser, o velejador engancha seus pés sob uma cinta (alça de escora) dentro do barco e estende seu corpo longitudinalmente.

A escora constitui um tipo de balastro que desloca o centro de gravidade do sistema total (barco e tripulação) para preservar o alinhamento longitudinal. A força do vento que age no centro da vela (centro vélico – *sail-centre*) e a força de arrasto resistindo da superfície da água e na bolina (centro de carena – *centre of drag*) criam um momento que deve ser balanceado pelo par de vetores do centro de flutuabilidade (*centre of buoyancy*) e do centro de gravidade (*centre of gravity*) (FIGURA 3) (BOJSEN-MØLLER & BOJSEN-MØLLER, 1999).

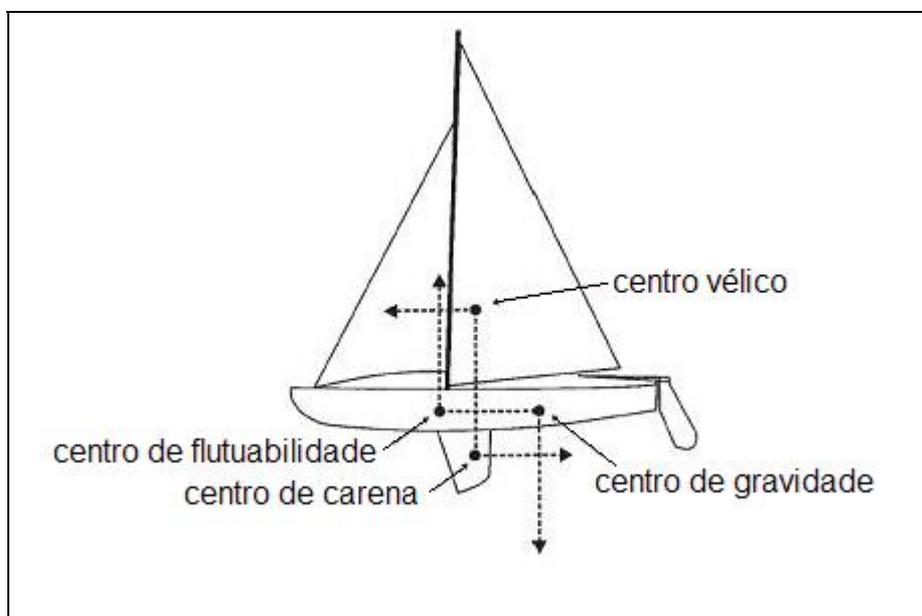


FIGURA 3: Representação do centro vélico, centro de carena, centro de flutuabilidade e centro de gravidade. (adaptado de Bojsen-Møller & Bojsen-Møller, 1999).

Civita (1975) define os termos como:

- *Centro vélico*: o mesmo que centro de velame, ponto da superfície vélica determinada pelo encontro das resultantes de dois conjuntos de forças, sendo da ação do vento sobre a (s) vela (s) e da resistência da água ao avanço lateral da embarcação. Se não existisse esta última, o avanço da embarcação assumiria um direcionamento lateral, pois a força do vento sobre as velas se distribui num paralelogramo cuja resultante é uma força perpendicular à superfície vélica, que se eliminado a ação da água, conduziria o barco para o lado;
- *Centro de carena*: empuxo ou de volume, centro de gravidade do volume de água deslocada pela embarcação e ponto de aplicação do empuxo (soma das pressões verticais exercidas pela água sobre a parte imersa do casco). Localiza-se em geral abaixo do centro de gravidade e abaixo da linha da água;
- *Centro de flutuabilidade*: centro de gravidade da área de flutuação (área delimitada pela linha de flutuação, ou seja, pelo ponto de contato entre a água e o contorno exterior do casco) especificadas as condições de flutuação;
- *Centro de gravidade*: centro da massa da embarcação, e o ponto em que se concentra a força representada por seu peso e pelo peso de sua carga (como a tripulação). De modo geral, localiza-se longitudinalmente no pano diametral e, transversalmente no plano da seção à meia-nau (parte do casco equidistante da proa e da popa e a meia largura dos dois bordos).

A posição do centro de gravidade em relação ao centro de carena é fator determinante da estabilidade e flutuabilidade da embarcação. O centro de gravidade situa-se próximo à mesma vertical que o centro de carena, movendo-se ao longo desta linha, segundo a variação do peso da embarcação e de sua carga, e segundo a distribuição desse peso (CIVITA, 1975), sendo neste caso, a ação de escora do velejador.

Em ventos de médios a fortes ocorre significativo aumento na força do vento e na força de arrasto, e este par de forças faz o barco adernar (SCHMIDT, 1990; LEGG, MACKIE & SMITH, 1999). Para evitar que o barco aderne excessivamente, o velejador cria um momento no sentido inverso ao citado utilizando para tal, seu peso a uma certa distância do centro de gravidade do barco (FIGURA 4).

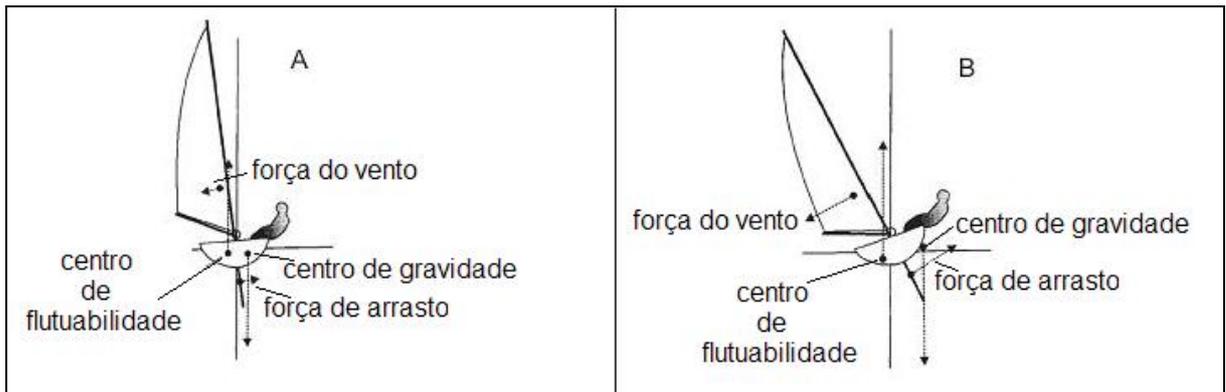


FIGURA 4: Representação do aumento da força do vento e da força de arrasto, resultando no adernamento do barco.

Movendo-se longitudinalmente o velejador pode mudar a distância entre os centros e assim ajustar o momento de contrapeso perfeito, ou momento de escora, evitando o adernamento excessivo do barco. Com o adernamento em excesso o barco desenvolve um componente dirigido descendente que faz a passagem através da água cada vez mais pesada, difícil. Para planar o barco deve ser mantido alinhado longitudinalmente, não adernando mais que de $0-10^\circ$ (BLACKBURN, 1994) ou $10-20^\circ$ (BOJSEN-MØLLER & BOJSEN-MØLLER, 1999).

Buscando definir os pontos a serem avaliados na Vela, Mackie (2003) apresentou o organograma apresentado na Figura 5, com os indicadores para o melhor desempenho.

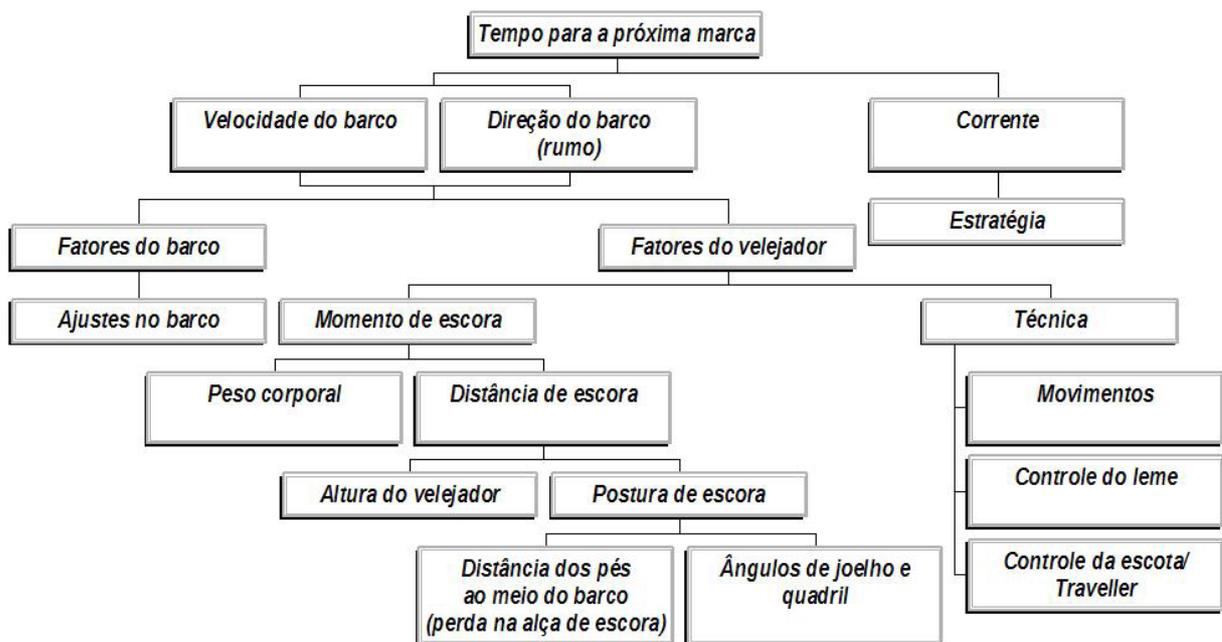


FIGURA 5: Organograma dos indicadores do desempenho segundo Mackie (2003).

Os fatores que envolvem o velejador se voltam para o momento de escora gerado pelo velejador.

Devido à importância da escora no velejar, esta foi alvo de diversos estudos e estes reproduziram sua execução em três principais situações: em bancos de escora ou ergômetros, como foram definido; no próprio barco em situação laboratorial; e na situação real de velejar.

Quando não possível o treinamento da postura da escora na água é recomendado o uso de bancos de escora (*Hiking bench*), sendo um ergômetro que possibilitava a realização das posturas. Tillman (1975, p. 81), em seu livro já apresenta instruções de como construir um banco de escora para o treinamento da tolerância a postura de escora.

Um dos estudos iniciais sobre a postura de escora foi o de Niinimä et. al. (1977) que objetivou determinar as características de 10 velejadores participantes de eventos internacionais e relacioná-las com o sucesso na modalidade. O autor verificou as respostas fisiológicas dos velejadores, reproduzindo a posição de escora (com um ângulo de 45° na articulação do quadril) em um bordo de barco cortado e adaptado como banco de escora. O autor relatou que a performance foi grandemente influenciada pela tolerância na postura de escora, e esta tolerância está relacionada à força muscular ($r=0,80$), resistência à fadiga mental ($r=0,80$), capacidade anaeróbia ($r=0,59$), equilíbrio ($r=0,60$) e poder aeróbio absoluto ($r=0,75$).

O trabalho de Putnam (1979) foi o primeiro envolvendo variáveis biomecânicas. O autor calculou os torques musculares resultantes requisitados das articulações do joelho e quadril em 3 diferentes posturas de escora por meio da cinemática. Foi utilizado um banco de escora, visualizado na Figura 6.

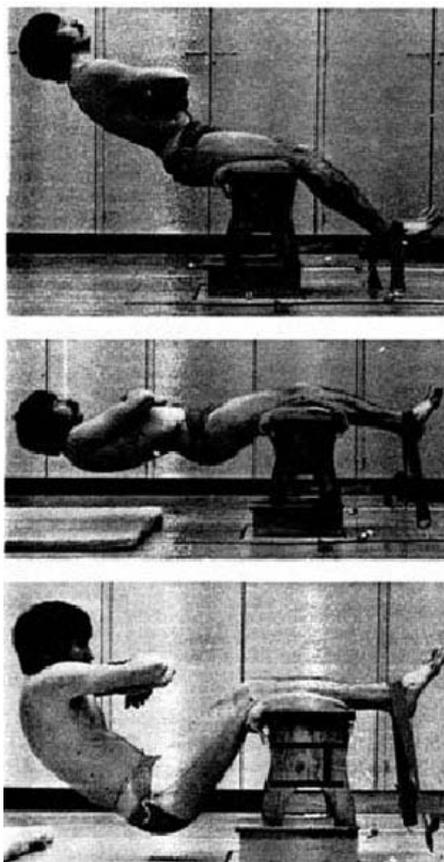


FIGURA 6: Posturas de escora analisadas por Putnam (1979).

Os valores foram determinados pela reconstrução bidimensional de uma fotografia estática. Em um segundo momento, a alça de escora foi fixada a uma plataforma de força Kistler e com a resultante das três forças (F_y , F_x , F_z), calculado o torque voluntário máximo e correlacionado a tolerância do teste no banco de escora.

Marchetti, Figura e Richi (1980) verificaram as diferenças fisiológicas, eletromiográficas e dos momentos das articulações relevantes entre a postura de escora realizada com a alça de escora (como no Laser) e com a utilização do trapézio (como em Tornados). Os momentos no tornozelo, joelho, quadril, L4-L5 e C7-T1 foram determinados a partir de uma fotografia do plano sagital dos velejadores nos suportes desenvolvidos (*simulator apparatus*), visualizados na Figura 7, tendo a esquerda o trapézio e a direita a uma postura de escora. O autor ainda utilizou ligada à alça de escora um transdutor de força com extensômetros de resistência elétrica (*strain gauge force transducer*) quantificando a máxima contração voluntária durante a postura.

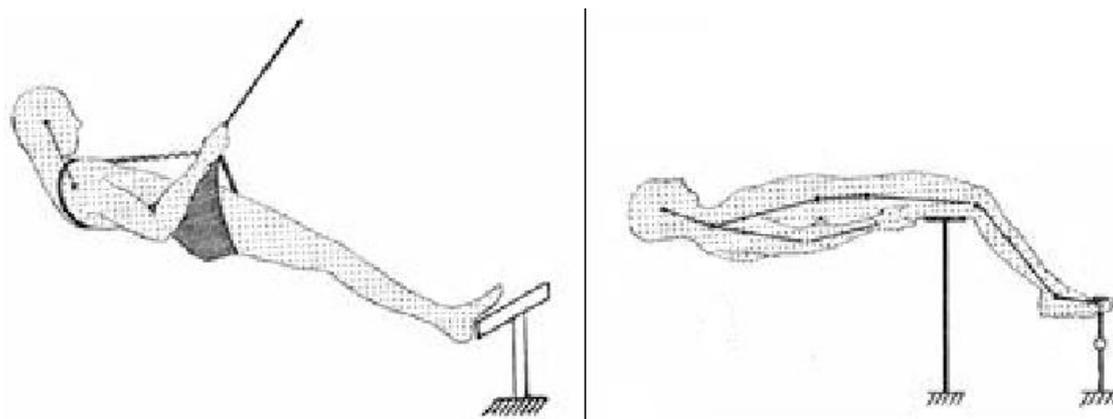


FIGURA 7: Postura no trapézio e de escora analisadas por Marchetti, Figura e Ricci (1980).

Beillot et. al. (1981) e Le Goff (1988) determinaram os momentos resultantes na região lombar nas posturas de escora. Os cálculos foram feitos a partir da reconstrução de imagem das posturas em um banco de escora simulado.

De Vito et. al. (1993) foram os primeiros autores a salientar a diferença entre se analisar a escora como uma postura estática e o que realmente acontece em uma competição. Tendo isto, os autores propuseram analisar os momentos de força na transição entre as diferentes posturas, variando os ângulos de joelho e quadril. O velejador era posicionado sobre um aparato, este em cima de uma plataforma de força e na alça de escora ligada a um transdutor de força, como pode ser visualizado na Figura 8. Foram determinados as forças e o momento em sincronia com a cinemática. Os dados cinemáticos da perna, coxa e região lombar foram utilizados para calcular os momentos nas articulações e a velocidade angular (joelho e quadril) nas mudanças de posturas.

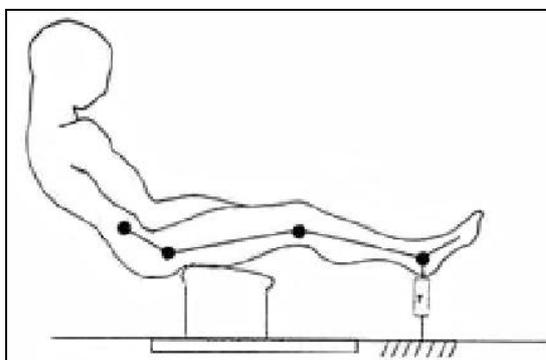


FIGURA 8: Visualização do aparato experimental de De Vito et. al. (1993).

Bojsen-Møller e Bojsen-Møller (1999) em seu trabalho destacou pela primeira vez a importância do centro de gravidade em seu trabalho. Por meio da dinamometria (alça de escora instrumentada) e cinemetria (bidimensional) determinaram as variações do centro de gravidade, momentos de força e valores angulares em 3 posturas de escora. Entretanto, todas estáticas e simuladas em um banco de escora, como visualizado na Figura 9.

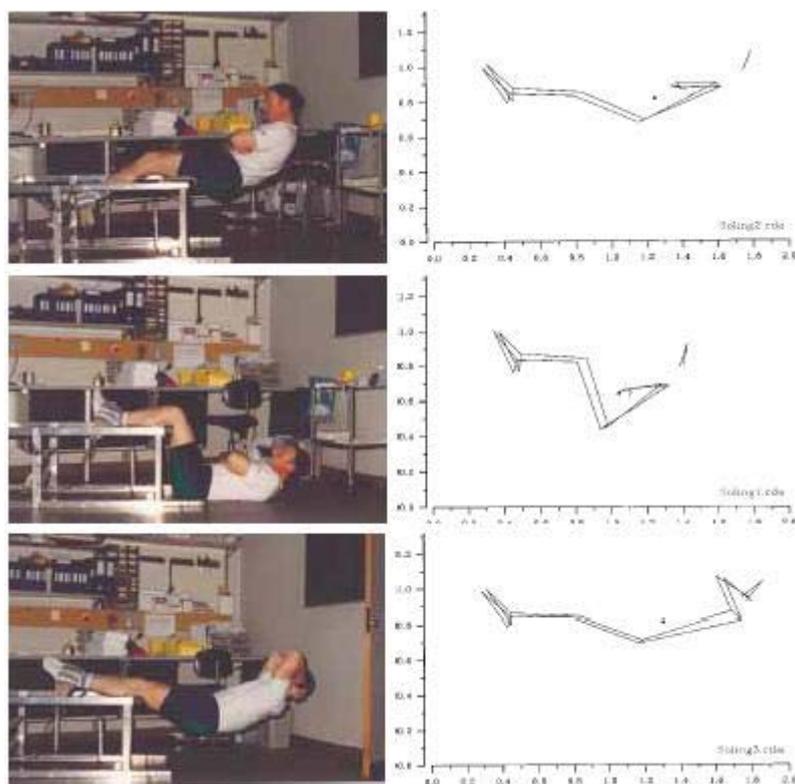


FIGURA 9: Posturas analisadas por Bojsen-Møller e Bojsen-Møller (1999).

Outra situação laboratorial foi estudada por Aagaard et. al. (1997) utilizando um dinamômetro isocinético (*Kyn-com dynamometer*) para avaliar a capacidade dinâmica de contração de velejadores de elite. Foram determinados os valores de contração concêntrica máxima, excêntrica e momento de força isométrico e, comparados a um grupo controle de não velejadores.

Tan et. al. (2003), ainda utilizando-se do banco de escora, associou resultados de força da alça de escora, ligada a uma plataforma de força, e outras variáveis fisiológicas a performance em regatas. Estes apresentaram alta correlação linear da performance nas regatas com o momento de escora máximo em três minutos ($r=0,806$ para homens e $0,816$ para mulheres) e a máxima contração voluntária isométrica do quadríceps ($r=0,808$ para homens e $r=0,809$ para mulheres)

Buscando uma maior especificidade ao teste realizado em situação laboratorial, alguns autores buscaram a utilização do próprio barco do velejador ao invés do banco de escora ou similar.

Dumortier e Ianchkine (2001), para um barco da classe 470er e Le Deroff e Ianchkine (2001), para um Laser, realizaram a análise Biomecânica das posturas de escora, adaptando o barco a uma situação laboratorial. O barco foi posicionado sobre uma estrutura que permitia o movimento de adernamento, a alça de escora foi instrumentada para aquisição de força e foram posicionadas duas câmeras, uma com visão posterior e outra de cima e seus respectivos calibradores. Ainda foi posicionada uma televisão à frente dos velejadores, com o vídeo destes velejando e deveriam reproduzir as posturas realizadas. A estrutura elaborada é apresentada na Figura 10. Foram quantificados os ângulos de tornozelo, joelho e quadril, determinado o centro de gravidade, calculado o momento de escora em diferentes posturas e posicionamento do quadril na borda do casco. Foi observada também a influência das vestimentas sobre o momento de escora gerado, utilizando uma carga adicional, encontrando maiores momentos, porém este artifício é proibido em regatas.

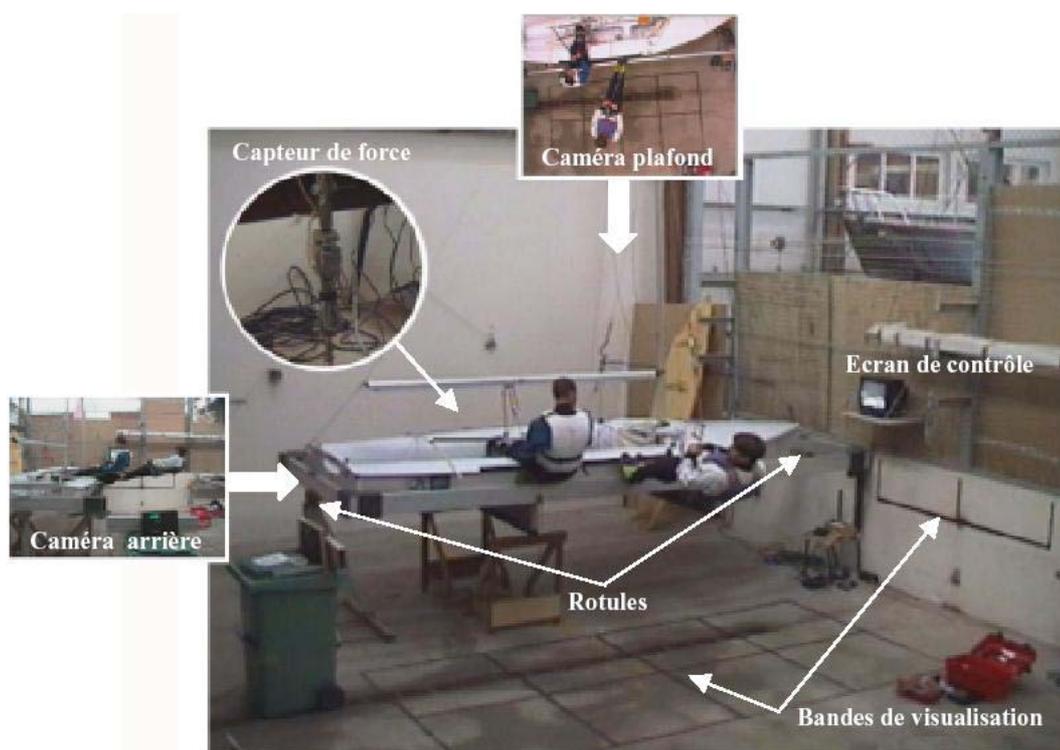


FIGURA 10: Estrutura utilizada por Dumortier e Ianchkine (2001) e Le Deroff e Ianchkine (2001).

Método semelhante foi utilizado por Maïsetti et. al. (2002), especificamente para o barco da classe Laser. Além de variáveis obtidas por dinamometria e cinemetria (ângulo de joelho e quadril e momento de escora), os autores se preocuparam em relacionar variáveis fisiológicas às causas de fadiga para a manutenção da postura de escora. Na Figura 11 é exemplificada a situação de coleta.

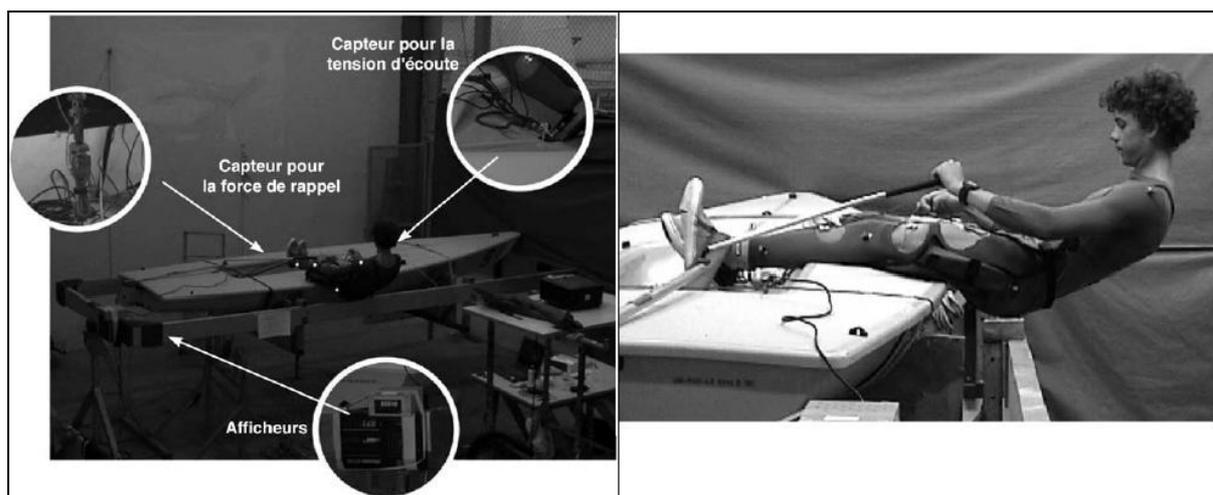


FIGURA 11: Estrutura utilizada por Maïsetti et. al. (2002).

Outra alternativa em situação laboratorial foi apresentada por Roesler, Hauptenthal e Faquin (2003) e Schütz et. al. (2006), com a utilização de plataformas de força para determinar o momento de escora em barcos tipo catamaran, sendo um Hobie Cat 16. A validação deste método é apresentada por Roesler et. al. (s/d) para barcos catamaran e por Schütz, Hauptenthal e Roesler (s/d) para o Laser.

Na literatura, as experiências onde a posição escora é transferida ao laboratório são caracterizadas frequentemente como uma posição estática. Entretanto, na situação real, o barco é exposto a acelerações grandes, por meio de que a posição supõe um elemento dinâmico também. Tendo isto, realizar a avaliação das variáveis importantes a performance na Vela em reais condições aumentaria sua validade.

Avaliações em regatas ou simulações de regatas são mais frequentes em estudos envolvendo variáveis fisiológicas, com o monitoramento da frequência cardíaca, volume de oxigênio, concentração de lactato, entre outras. Os trabalhos de Carrot (1990), Vogiatziz et. al. (1994), Vogiatziz et. al. (1995a), Vogiatziz et. al. (1995b), De Vito et. al. (1996), Castagna (1999), Portier e Guézennec (2002),

Castagna et. al. (2004) e Gress et. al. (2005) verificaram variáveis fisiológicas em regatas ou simulações de regatas.

Legg, Mackie e Smith (1999) e Schütz et. al. (2004) buscaram quantificar os movimentos realizados durante o velejar. Legg, Mackie e Smith (1999) utilizaram uma câmera em uma caixa estanque, posicionada em diferentes barcos (Europa, Laser, Fynn e 470), que possibilitava uma boa visualização do velejador e, Schütz et. al. (2004) obtiveram imagens de um velejador, sendo que filmadas de outro barco. Nos dois trabalhos foram quantificados em quantidade e duração de tempo os principais movimento da Vela, e principalmente, o tempo de permanência na postura de escora.

Utilizando métodos da Biomecânica, Mackie e Legg (1999a) e Mackie, Sanders e Legg (1999) desenvolveram um sistema dinamométrico, em que, a alça de escora é instrumentada com transdutores da força e ao barco, fixado um registrador de dados. O sistema é descrito nos parágrafos seguintes.

Duas células de carga foram usadas para medir as forças na alça de escora e no escota principal. Os sinais analógicos de força foram enviados através dos cabos e gravados usando um registrador de dados científico Campbell. Os sinais da força foram coletados e armazenado a cada 0.5 segundo. Este arranjo permitiu 20 minutos contínuos de coleta de dados. As células de carga foram calibradas em um equipamento estático, que permitiu a adição incremental de uma série de pesos padrão. O registrador de dados foi protegido contra água e choque colocando em um saco plástico, cercado com borracha da espuma e fixando a unidade inteira em uma caixa plástica com uma tampa articulada. Um composto de borracha do silicone foi colocado em torno das bordas da tampa para assegurar um selo à prova d'água. Um interruptor impermeável foi colocado ao lado da caixa e conectado ao registrador de dados. Isto permitiu a ativação e desativação da coleta de dados pelo velejador sem a necessidade abrir a caixa. O registrador de dados foi unido à base do mastro do barco.

Modificações na alça de escora e na escota principal permitiram a medida das forças independentemente, usando as células de carga. A cinta do trapézio original foi removida e uma haste de aço foi alocada à cabine o que forneceu um ponto para fixação da célula de carga. A célula de carga foi fixada em série com a haste de aço e uma barra em "T". Isto serviu como a "alça de escora" da qual a força direta aplicada pelos pés do velejador poderia ser medida. O sentido desta força era

ascendente do fundo da cabine e de aproximadamente 15 graus em direção ao velejador. A outra célula de carga foi fixada em série com o escota principal usando um grampo de fixação e um pedaço curto de corda. O velejador prenderia então o pedaço curto de corda de modo que a tensão na escota principal, ao velejar, fosse experimentada também pela célula de carga.

Posteriormente, os valores de força mensurados na alça de escora são multiplicados pela distância do centro de gravidade do velejador ao meio do barco (distância de escora), determinando o valor do momento de escora, na mesma frequência de registro de dados. Os resultados forneceram uma indicação preliminar da intensidade das forças musculares requeridas em um programa de treinamento físico para competição com Laser.

Entretanto, o valor da distância de escora é constante e determinado pela percentagem da estatura do velejador. Este valor constante não ocorre, pois o velejador a todo instante varia sua posição buscando manter o barco plano, e em consequência, variando a localização de seu centro de gravidade. Um barco é exposto a acelerações grandes, logo a posição supõe um elemento dinâmico também. Soma-se a isto o fato da utilização do meio do barco como referência de seu centro de gravidade. Isto só ocorre quando o barco está totalmente planado e, qualquer adernamento, faz com que o centro de gravidade do barco varie.

Nos trabalhos (MACKIE & LEGG, 1999a; MACKIE, SANDERS & LEGG, 1999) os autores não referenciam a validade e precisão deste método. O desenvolvimento de formas complementares a este método, controlando os itens citados no parágrafo anterior, aparenta apontar um método consistente de avaliação na Vela, especificamente na classe Laser.

2.3 BIOMECÂNICA

A Biomecânica do movimento humano pode ser definida como uma área interdisciplinar, a qual descreve, analisa e busca melhorar o movimento do corpo humano analisando simples tarefas de trabalho ou até o desempenho de atletas profissionais (WINTER, 1990).

Os métodos de medição utilizados pela Biomecânica para abordar as formas do movimento humano, segundo Baumann (1995), são: antropometria, cinemetria, dinamometria e eletromiografia. Ávila et. al. (2002) soma a termografia a estes métodos.

Utilizando destes métodos, de modo singular ou aliados, pode-se descrever e modelar matematicamente o movimento, permitindo a maior compreensão dos mecanismos executores do movimento.

2.3.1 Cinemetria

A análise de movimentos humanos em seqüências de imagens tem despertado grande interesse em diferentes áreas do conhecimento. Cada vez mais se faz necessário e torna-se possível que o movimento humano seja estudado em detalhes, de maneira sistemática e como objeto de investigação científica.

Diversos autores, como Winter (1990), Winter (2005), Nigg e Herzog (1995), Nigg e Herzog (1999), Allard, Stokes e Blanche (1995), em seus livros definem de forma semelhante a cinemetria, sendo assim descrita nos parágrafos seguintes.

A cinemetria determina os parâmetros cinemáticos do movimento: posição e orientação espacial, definindo um sistema de coordenadas, velocidade e aceleração de cada segmento em relação ao seu centro de massa ou outro ponto na superfície do corpo que tenha relação com a estrutura interna do corpo e com propriedades funcionais do movimento.

A cinemetria é composta por procedimentos de natureza basicamente óptica, onde as medidas são realizadas através de indicadores indiretos obtidos através de imagens. Inicialmente, podemos considerá-la como um método que permite análises qualitativas, a partir da observação das imagens obtidas através de fotografia, filmes e câmera de vídeo. Porém, a partir da mensuração do deslocamento de segmentos, representados pelos pontos selecionados no corpo humano; o tempo, através da frequência de aquisição; e da massa, por procedimentos da antropometria, podem-se derivar grandezas cinemáticas que definem a geometria do movimento, procurando relatar o deslocamento, a velocidade, a aceleração e o tempo sem fazer referências à causa do movimento. Assim, sob um outro enfoque, a cinemetria pode contribuir para uma análise biomecânica quantitativa dos movimentos humanos.

Na atualidade, o método mais usual de aquisição de imagens é a videografia. Com os avanços da eletrônica a videografia expandiu-se rapidamente, com a vantagem dos resultados da gravação estarem imediatamente disponíveis, sem necessidade de demoradas e onerosas revelações.

As imagens videográficas são constituídas de seqüências de quadros. Cada quadro é formado por dois campos que correspondem às linhas ímpares e pares da varredura do monitor. As linhas ímpares formam um campo e as linhas pares formam um segundo campo. Os campos ímpares e pares são entrelaçados para formar um quadro.

Câmeras e padrões de vídeo

Para a gravação de imagens com a finalidade de análises biomecânicas os requisitos básicos de uma câmera são boa linearidade e clareza da imagem. Estes dois atributos melhoram a precisão dos resultados das análises.

Diversos sistemas para análises biomecânicas usam câmeras de vídeo comuns que funcionam no sistema NTSC ou no sistema PAL, sendo:

- NTSC (*National Television System Committee*) - sistema de vídeo utilizado atualmente nos Estados Unidos e no Japão. Opera em 60 Hz, o que significa 60 campos por segundo ou 30 quadros por segundo. Uma imagem NTSC possui 525 linhas de varredura;
- PAL (*Phase Alternation by Line*) - sistema de vídeo utilizado em alguns países europeus, entre os quais Alemanha, Holanda e Inglaterra, e na Austrália. Opera em 50 Hz, o que significa 50 campos por segundo ou 25 quadros por segundo. Uma imagem PAL possui 625 linhas de varredura.

Existem câmeras que operam com freqüências de aquisição de imagens mais altas (por exemplo, 120 Hz, 180 Hz ou mesmo maiores), mas nestes casos os sistemas de gravação não seguem os padrões NTSC ou PAL.

O dispositivo que capta a luz na maioria das câmeras é um *Charge Coupled Device* (CCD). É formado por milhares de foto-diodos, que produzem uma carga elétrica quando atingidos pela luz. Estes foto-diodos formam um arranjo matricial de linhas e colunas. Cada célula da matriz é chamada elemento de imagem ou pixel. Quanto maior o número de pixels por unidade de área maior é a resolução do CCD.

O tempo de exposição, isto é, o intervalo de tempo em que o CCD recebe luz, é controlado pelo shutter. Uma câmera com shutter minimiza o efeito borrado em imagens de movimentos.

A maioria das câmeras de vídeo possui um shutter ajustável, com tempos de exposição de 1/120 de segundo, 1/250 de segundo, 1/500 de segundo, 1/1000 de segundo ou mesmo menores.

Embora uma câmera NTSC possa adquirir imagens com um tempo de exposição de 1/1000 de segundo, a frequência de aquisição das imagens continua sendo de 60 campos por segundo. O shutter está limitando a aquisição de informação ao 1/1000 de segundo no início de cada campo de vídeo, ou seja, o CCD está sendo exposto à luz durante 1/1000 de segundo.

O resultado do uso de um pequeno tempo de exposição não é a obtenção de um maior número de imagens por segundo, mas sim o “congelamento” da imagem em cada campo observado. Logo, a imagem obtida tem maior clareza, com pouco ou nenhum efeito borrado.

Todos esse procedimentos necessitam de lentes e focos bem precisos para garantir a qualidade da imagem, portanto requerem cuidados com relação à posição da câmara, assim como a regulagem da abertura do foco e as distorções comuns que as lentes e filmes provocam normalmente na imagem coletada. Parâmetros para que haja o registro adequado da imagem:

- Internos: distância principal, posição do ponto principal da imagem, curva da distorção da lente;
- Externos: coordenadas x , y e z , determinando o centro da projeção externa da câmara, dois ângulos que definam a direção das câmaras, e um ângulo que defina a direção do feixe de raios vindos de um objeto espaço.

A determinação de variáveis cinemáticas depende do processamento da imagem coletada, ou seja, a reconstrução das coordenadas dos pontos marcados no corpo do sujeito analisado, uma vez que a imagem obtida não reflete a situação real do movimento. Além das aberrações que a própria lente ou filme provocam na imagem, existe o próprio fato da localização desses pontos no espaço ótico em função de algum sistema de referência utilizado para a calibração do instrumento de coleta. A reconstrução das coordenadas dos pontos necessita do sincronismo da aquisição das imagens (quando mais de uma câmera) e deste sistema de referência para a calibração. Esta é denominada de reconstrução da imagem e é necessária a digitalização destes pontos feita por dispositivos quadro a quadro, ou ainda que partem para um reconhecimento automático destas marcas.

2.3.2 Direct Linear Transformation (DLT)

Para que seja possível a obtenção de coordenadas tridimensionais de pontos de interesse a partir de medições em suas projeções é necessário encontrar as transformações matemáticas que relacionam as projeções do ponto as suas coordenadas espaciais (BARROS, 1997).

O DLT (Direct Linear transformation), desenvolvido por Abdel-Aziz e Karara (1971) é o método mais utilizado mundialmente devido à relativa facilidade de operação com os seus dados. O objetivo do DLT é realizar uma transformação linear direta das coordenadas do sistema de referência de calibração para as coordenadas no espaço-objeto. Exige pelo menos duas câmeras não paralelas, não métricas, e que estejam sincronizadas previamente através de um operador de sincronismo, que poderá ser um disparo elétrico sincrônico, ou ainda um procedimento matemático. O sistema utilizado para a calibração das câmeras exige um sistema de coordenadas espaciais fixo, conhecido, visível por todas as câmeras, composto de pelo menos 06 pontos não coplanares. Esse sistema deve envolver todo o espaço que o objeto ocupará. Normalmente utilizam-se os mesmos valores de calibração utilizados para as câmeras anteriores. O método calcula 11 coeficientes, os quais contém todas as informações relativas à posição e orientação externa das câmeras, parâmetros internos e fatores de distorção linear das lentes. Estes parâmetros são obtidos a partir de pelo menos 06 pontos de referência. Após a digitalização dos pontos marcados no objeto, obtemos as coordenadas x' e y' de cada ponto de referência. Utilizando desses dados, calculam-se os 11 coeficientes para cada câmera, a partir de 12 equações específicas.

Diversos melhoramentos foram acrescentados ao método, como a correção de distorções de lentes.

Propondo uma solução simultânea de duas transformações que são usualmente feitas em separado na fotogrametria analítica convencional, o método realiza a transformação linear direta das coordenadas da imagem ampliada para as coordenadas do objeto.

2.3.3 2D-DLT

Desde que AbdelAziz e Karara (1971) introduziram o DLT, esta tem sido a técnica mais utilizada para quantificar coordenadas em 3D.

Uma variação do DLT é o método 2D-DLT apresentado por Walton (1981) que envolve 8 parâmetros baseados em 4 pontos de controle. O ponto mais importante para o 2D-DLT é a liberdade de posicionamento da câmera. O eixo óptico da câmera não tem a necessidade de estar perpendicular ao plano de movimento (KWON, 1999).

O método 2D-DLT se baseia no DLT originalmente desenvolvido para análises tridimensionais, sendo que, não existindo a coordena “z”, os valores desta coordenada são considerados constantes (WENHAO, JIANSONG & LI, 2004).

Walton (1981) apud Kwon (1999b) apresenta as duas equações onde se definem as coordenadas de um ponto do objeto (x, y - representadas por u, v), com a eliminação da coordenada “z”, onde $L_1 - L_8$ são os 2D-DLT parâmetros, definido pelo calibrador:

$$u = \frac{L_1 \cdot x + L_2 \cdot y + L_3}{L_7 \cdot x + L_8 \cdot y + 1} \quad (1)$$

$$v = \frac{L_4 \cdot x + L_5 \cdot y + L_6}{L_7 \cdot x + L_8 \cdot y + 1} \quad (2)$$

Kwon (1999b) cita que o método 2D-DLT apresenta potencialmente uma variedade de aplicações, como exemplo a quantificação do deslocamento de jogadores de futebol proposto por Toki e Sakurai (2005).

2.3.4 Estudo dos erros em sistemas de cinemetria.

A importância da mensuração precisa dos parâmetros cinemáticos refere-se à utilidade que estes apresentam em todos os cálculos subseqüentes para a dinâmica. Esta precisão necessária pode ser justificada pelo fato de que um erro, cometido em uma aquisição de dados cinemáticos, propaga-se à medida que se vai derivando outros parâmetros importantes para a análise do movimento.

Considerando isso, o controle do método de medição deve ser o mais rigoroso possível e este, para cinemetria, segue os mesmos critérios utilizados em qualquer outro método, quais sejam: precisão da medida, relacionada a acuracidade dos equipamentos utilizados, bem como do instrumentador e informações do momento do registro, ou seja, quais as condições do experimento.

Sendo erro a subtração do valor mensurado pela grandeza verdadeira, segundo Vuolo (1996), o erro na cinemetria, segundo Ball e Pierrynowski (1996), pode ocorrer de três maneiras, sendo este teórico (*theoretical*), de entrada (input) e de mensuração (*measured*). Os mesmos autores citam que a exatidão de um sistema de cinemetria está relacionado a quanto se consegue minimizar estes tipos erros.

Trabalhos voltados aos erros teóricos são elaborados a fim de responder questionamentos dos princípios da cinemetria. Como exemplos, Ball e Pierrynowski (1996) verificaram as diferenças na reconstrução por cinemetria utilizando-se de diferentes formas geométricas no modelo de corpo rígido. Já Yuan, Ryd e Blankevoort (1997) buscaram identificar a propagação do erro do movimento determinado pelo uso de marcadores.

Erros de entrada investigam a precisão dos instrumentos envolvidos na mensuração, como câmeras, tipos de lentes, marcadores, calibradores. Poliner et. al. (1993) avaliaram o erro causado pela distorção gerada pelas lentes para análise de movimento por vídeo. Wenhao, Jiasong e Li (2004), apresentaram um método de calibração baseado em 2D-DLT, criando um modelo de distorção para diferentes câmeras para compensar o erro em vários pontos da imagem.

Erros de mensuração são relacionados aos processos de transferência de imagens, dos processos de digitalização, de reconstrução do ambiente bi ou tridimensional criado, dos *softwares* desenvolvidos, entre outros. Como exemplos, Chèze (2000) comparou dois diferentes métodos de cálculo de ângulos, utilizando a articulação do joelho, em análises 3D baseadas em dados de vídeo. Hinrichs e McLean (1995) investigaram a acurácia dos métodos de calibração DLT e NLT (Non-linear transformation) para aumentar o sistema de referência para análises 3D, quando necessário. De David (1992) desenvolveu um novo método fotogramétrico para análises Biomecânicas e o comparou ao DLT.

A forma de se avaliar um sistema desenvolvido se norteia na verificação, da soma, dos erros de entrada e mensuração. Expressa em números absolutos e relativos a precisão do sistema ou método desenvolvido.

A avaliação da acurácia, reprodutibilidade e validade de sistemas desenvolvidos, produtos comerciais e/ou novos desenvolvidos foi objeto de diversos estudos, como os de Scholz (1989), Linden, Carlson e Hubbard (1992), Klein e DeHaven (1995), Ehara et. al. (1995), Besser et. al. (1996), Ehara et. al. (1997) Barros (1997), Richards (1999) e Bronner (2005) para sistemas 3D. Alguns valores encontrados por Bronner (2005), são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: EQM para alguns sistemas comerciais de análise 3D.

| Sistema | Precisão [mm] | EQM [mm] | EQM [graus] |
|------------------|---------------|----------|-------------|
| Ariel | 1.0 | 1.51 | 2.11 |
| BTS | 1.0 | 4.46 | 4.29 |
| Motion analysis | 0.1 | 1.49 | 1.76 |
| Peak Performance | 0.2 | 1.77 | 3.77 |
| Qualisys | 0.6 | 2.21 | 4.50 |
| Oxford | Não informada | 1.29 | 1.42 |

(Adaptado de Bronner, 2005).

Entretanto Bronner (2005) não apresenta os valores de referência para cálculo do erro relativo e possibilitar uma comparação mais fidedigna.

Na Tabela 2 são apresentados valores EQM e de erro máximo encontrados por Richards (1999), para marcadores posicionados com diferentes espaçamentos entre si (500mm e 90mm). Os valores relativos (expressos em percentagens entre parênteses) não foram apresentados pelo autor, mas foram calculados em relação à medida de referencia, para posterior comparação.

Tabela 2: EQM e erro máximo de sistemas comerciais de análise 3D.

| Sistema | Medida de referência de 500mm | | Medida de referência de 90mm | |
|----------|-------------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------|
| | EQM [mm] | Erro máximo [mm] | EQM [mm] | Erro máximo [mm] |
| Ariel | 4.27 (0.9%) | 16.66 (3.3%) | 1.51 (1.7%) | 4.94 (5.5%) |
| CODA | 4.87 (1.0%) | 15.15 (3.0%) | 2.25 (2.5%) | 9.26 (10.3%) |
| Elite | 1.73 (0.3%) | 5.84 (1.2%) | 4.46 (5.0%) | 16.13 (17.9%) |
| Motion | 0.59 (0.1%) | 1.83 (0.4%) | 1.49 (1.7%) | 5.99 (6.7%) |
| Peak | 0.91 (0.2%) | 2.59 (0.5%) | 1.77 (2.0%) | 5.82 (6.5%) |
| Qualisys | 0.80 (0.2%) | 1.98 (0.4%) | 2.21 (2.5%) | 12.76 (14.2%) |
| Vicon | 0.62 (0.1%) | 1.83 (0.4%) | 1.29 (1.4%) | 5.57 (6.2%) |

(Adaptado de Richards, 1999).

Os valores, para um ângulo de referência de 95,8°, encontrados por Richards (1999) são apresentados na Tabela 3. Da mesma forma, os valores relativos (expressos em percentagens entre parênteses) não foram apresentados pelo autor, mas foram calculados em relação à medida de referência, para posterior comparação.

Tabela 3: EQM e erro máximo de sistemas comerciais de análise 3D.

| Sistema | Medida de referência de 95.8° | |
|----------|-------------------------------|------------------------|
| | EQM [graus] | Erro máximo [graus] |
| Ariel | 2.109 (2.2%) | 5.062 (5.3%) |
| CODA | 3.392 (3.5%) | 9.035 (9.4%) |
| Elite | 4.287 (4.5%) | 14.309 (14.9%) |
| Motion | 1.761 (1.8%) | 6.284 (6.6%) |
| Peak | 3.772 (3.9%) | 12.666 (13.2%) |
| Qualisys | 4.498 (4.7%) | 19.256 (20.1%) |
| Vicon | 1.421 (1.5%) | 4.632 (4.8%) |

(Adaptado de Richards, 1999).

Erros em análises bidimensionais podem ocorrer por diversos fatores, como o sistema das câmeras (principalmente os erros relacionados às lentes), a distância entre a câmera e o objeto (diferente plano de movimento que o plano de calibração) e erros de projeção (posição oblíqua do objeto de interesse) (NIGG & HERZOG, 1995). O último erro descrito, relacionado aos fenômenos de paralaxe e perspectiva, é uma das principais razões pela opção por análises tridimensionais.

Entretanto, Walton (1991) apresentou uma variação do método DLT de Abdel-Aziz e Karara (1971), possibilitando sua utilização para situações bidimensionais, minimizando os erros gerado pelos fenômenos de paralaxe e perspectiva.

Em situações de laboratório pode ser mais fácil posicionar câmeras e controlar o ambiente de calibração e que não ocorre em situações diferenciadas.

Como exemplo de uma situação diferenciada os trabalhos de Kwon (1999a) e Kwon (1999b) que objetivaram analisar a deformação de um objeto na sua reconstrução bidimensional. A situação atípica explorada foi à reconstrução de um objeto no ambiente aquático, adicionando as equações apresentadas por Walton (1991) (2D-DLT) um índice de refração, gerado pela situação ar-água.

Kwon (1999a) desenvolveu um novo algoritmo de calibração com uma correção da refração nos procedimentos do método 2D-DLT para análise do movimento em

ambiente aquático. Para verificar os erros do método de calibração comparou-se os resultados do novo método aos valores obtidos pelo DLT (3D) de um dos lados do objeto desenvolvido. A comparação apresentou potenciais vantagens sobre o 3D-DLT em termos de erro máximo e, a estratégia utilizada otimizou os valores de distâncias e ângulos com o novo algoritmo.

No trabalho seguinte (KWON, 1999b) teve por objetivos investigar o efeito de fatores experimentais sobre a magnitude do erro causado pela refração e, discutir a aplicabilidade do 2D-DLT para análises do movimento humano em ambiente aquático. Pelo método 2D-DLT foi desenvolvido um objeto controle com 2x2m de dimensões e com 48 pontos de controle (FIGURA 12). A reconstrução constituía em: computar os parâmetros 2D-DLT pelas coordenadas dos pontos; aplicar os parâmetros aos pontos do objeto, determinar os erros da reconstrução comparando o objeto real ao objeto reconstruído; calcular o erro quadrático médio (EQM) e o erro Máximo, repetir os passos variando os fatores experimentais, sendo estes: à distância da câmera a interface da caixa estanque, distancia da interface da caixa estanque ao objeto, ângulo da câmera em relação ao objeto e ângulo do objeto. A denominada interface seria o material que constitui o visor da lente da caixa estanque.

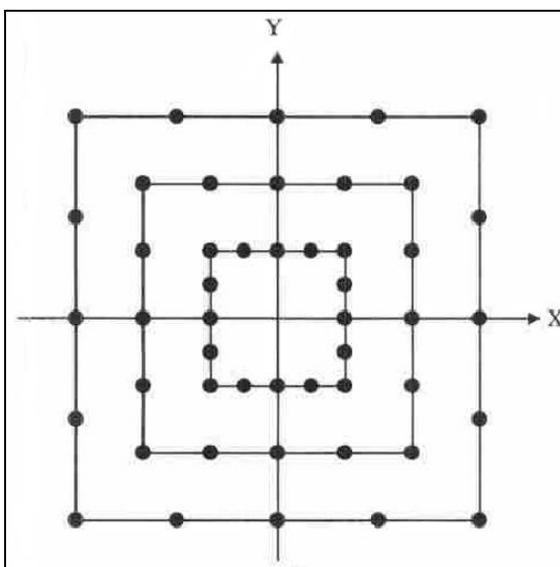


FIGURA 12: Objeto controle desenvolvido por Kwon (1999b).

O autor encontrou um aumento significativo do erro quadrático médio e do máximo com o aumento das distâncias entre a câmera e a interface e do objeto e da interface. Diferenças não significativas do erro quadrático médio e do erro máximo com a variação do ângulo da câmera e ângulo do objeto para uma variação de 0° a

30°. As principais conclusões do trabalho foram: o ângulo da câmera e o angulo do objeto não apresentaram maiores efeitos de deformação sobre a construção do objeto plano e reforçou a principal vantagem do 2D-DLT, que é a liberdade de posicionamento da câmera, não necessitando a exatidão do eixo óptico da câmera perpendicular ao plano do movimento.

Kwon (1999a; 1999b) a partir dos trabalhos com análises bidimensionais realizadas, iniciou trabalhos com análises tridimensionais (KWON, 2005; KWON & BALL, 2005).

Sendo assim, optou-se para este trabalho, pelo mesmo método, partindo de uma análise bidimensional de um evento atípico para cinemetria, neste caso, o velejar e, futuramente, realizar a análise tridimensional.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa objetivou desenvolver uma instrumentação para aquisição de imagens na Vela, que possibilite posterior quantificação dos movimentos e análise cinemática das posturas de escora do velejador em barcos da classe Laser, podendo assim, se caracterizada como uma pesquisa de desenvolvimento tecnológico (THOMAS e NELSON, 1996).

3.2 INSTRUMENTAÇÃO

3.2.1 Objeto de controle.

Para verificação do erro dos componentes envolvidos no sistema de aquisição de imagens foi desenvolvido um objeto que possibilitasse o conhecimento das dimensões (ângulos e distâncias), para posterior verificação. Optou-se por um pêndulo (FIGURA 13).



FIGURA 13: Pêndulo desenvolvido.

No pêndulo elaborado foram fixados 17 pontos de controle e determinadas as distâncias entre estes por 3 diferentes mensurações de 3 avaliadores em diferentes dias. Para mensuração das distâncias foi utilizado uma régua com precisão das medidas de 1 milímetro (0,001m). Os valores finais, utilizados na comparação com a reconstrução do objeto, foram definidos pela média das mensurações para cada distância controle. Procedimento semelhante ao utilizado por Barros (1997) em sua tese de doutorado.

Para atingir diferentes dimensões, como encontrado para os diferentes comprimentos de membros no corpo humano, foram determinados 4 segmentos de reta de aproximadamente 0,450m (L_1 , L_2 , L_3 e L_4 representados na FIGURA 14), 4 segmentos de reta de aproximadamente 0,225m (l_1 , l_2 , l_3 , l_4 na FIGURA 15) e 12 segmentos de reta de aproximadamente 0,123m (a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , b_2 , b_3 , b_4 , c_1 , c_3 , c_4 , d_3 , d_4 na FIGURA 16). Um total de 20 segmentos de reta abordavam os dois planos da análise bidimensional (10 para o eixo “x” e 10 para o eixo “y”).

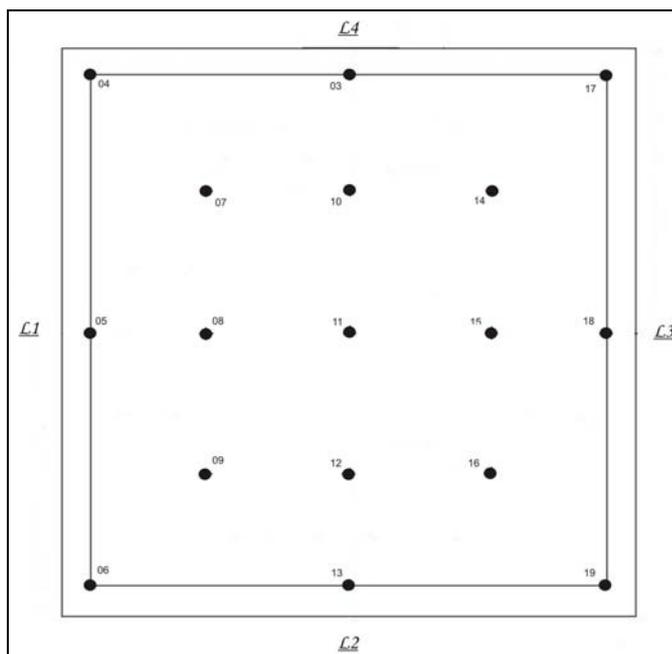


FIGURA 14: Representação dos segmentos de reta de aproximadamente 0,450m.

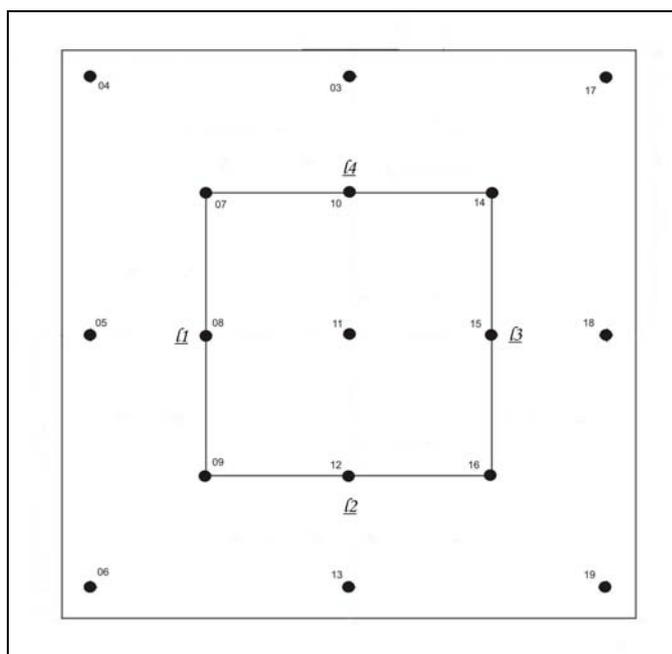


FIGURA 15 Representação dos segmentos de reta de aproximadamente 0,225m.

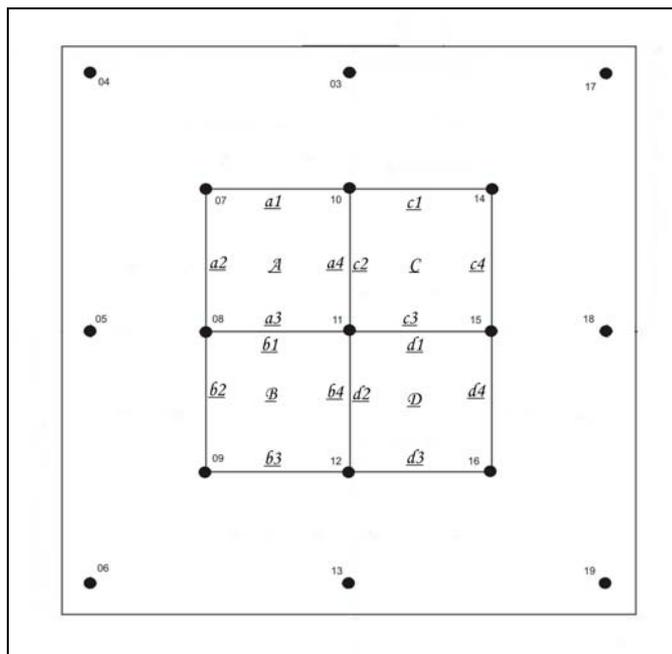


FIGURA 16 Representação dos segmentos de reta de aproximadamente 0,123m.

Com a definição das dimensões, foram determinados 10 ângulos. Os valores dos ângulos foram calculados por trigonometria utilizando o *software Microsoft Excel®*, estabelecendo ângulos com valores próximos de 25° , 45° , 65° , 90° e 180° , representados na Figura 17.

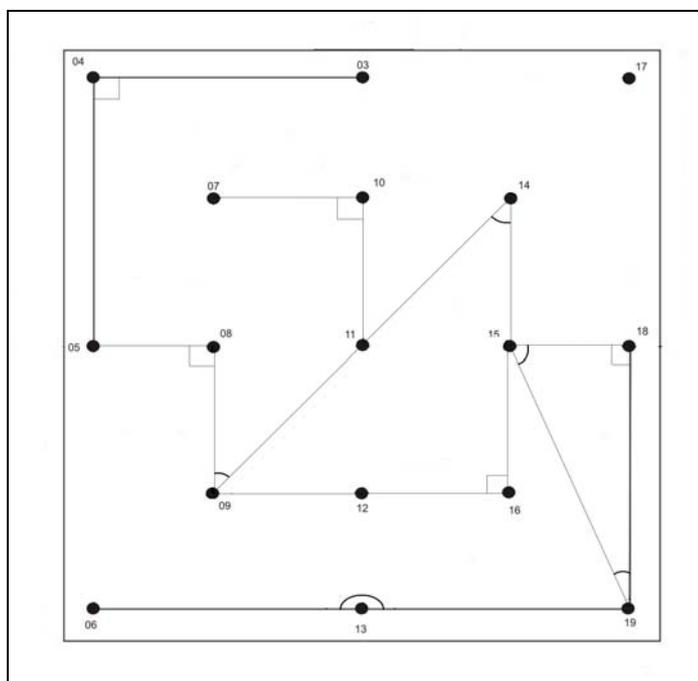


FIGURA 17: Representação dos ângulos verificados.

Os valores finais definidos apresentaram desvio-padrão menor que 0,001m (0,0005m) e $0,3^\circ$ ($0,29^\circ$), e que a distribuição dos erros apresentou uma normalidade

entre as mensurações e, diante disto, é razoável admitir que os erros, na definição dos valores de referência, têm caráter aleatório.

3.2.2 Câmeras.

Dentre as possibilidades de câmeras acessíveis ao projeto, analisou-se três câmeras comerciais, listadas abaixo com suas características:

- Câmera JVC modelo GR-SXM337UM (Resolução do sensor: 320.000 pixels, analógica, formato de gravação NTSC [29,97 quadros por segundo – 30Hz], tipo de mídia – SVHS, distância focal: 3.9mm – 62.4 mm, abertura da lente - F/1.7-2.3) (FIGURA 18, à direita). Operacionalmente definida como “SVHS”;
- Sony MiniDV modelo DCR-TV950 (Resolução do sensor: 1.070.000 pixels; formato de gravação: NTSC [29,97 quadros por segundo – 30Hz]; tipo de mídia – miniDV, distância focal: 3.6 mm - 43.2 mm, abertura da lente - F/1.6-2.8) (FIGURA 18, no centro). Operacionalmente definida como “MiniDV”;
- Sony MiniDV handycam modelo DCR-HC30 (Resolução do sensor - 340.000 pixels, formato de gravação NTSC [29,97 quadros por segundo – 30Hz]; tipo de mídia – miniDV, distância focal - 2.3mm - 23 mm, abertura da lente - F/1.7-2.3) (FIGURA 18, à esquerda). Operacionalmente definida como “MiniDV handycam”.



FIGURA 18: Visualização das câmeras utilizadas.

Por se tratarem de câmeras “domésticas”, optou-se em realizar os mesmos procedimentos com uma câmera específica utilizada em sistemas de análises cinemáticas. Utilizou-se a câmera HSC-180NM do sistema *Peak Motus* (*Peak Performance Technologies Inc.*). Definida operacionalmente como “câmera Peak”.

Buscou-se com isto, verificar a diferença na utilização das câmeras comerciais em comparação as desenvolvidas por sistemas específicos de cinematria.

3.2.3 Ambiente de calibração.

Calibração é um procedimento experimental através do qual são estabelecidas, sob condições específicas, as relações entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores reorientados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.

É necessário referenciar o espaço onde ficará o objeto de interesse antes da realização da filmagem. Atendendo a este requisito, as câmeras estarão calibradas para realizar a aquisição, posterior digitalização e processamento matemático para a obtenção das coordenadas espaciais (REIS, NASSER & MORO, 2005).

Para tal, no ponto de fixação do pêndulo foi fixado um fio-de-prumo, e posicionado os dois pontos de controle (confeccionados com bolas de isopor e fita reflexiva) para a coordenada “y” (“y”1 e “y”2), sendo o primeiro posicionado no eixo de fixação do pendulo e o segundo na extensão do fio de prumo.

Mais dois fios-de-prumos foram posicionados nas laterais do pêndulo, paralelos ao primeiro (0,250m além da dimensão da placa para cada lado), e nestes foram determinados mais dois pontos de controle (“x”1 e “x”2), estes para a coordenada “x”.

Na Figura 19 pode ser visualizada a esquematização do ambiente de controle.

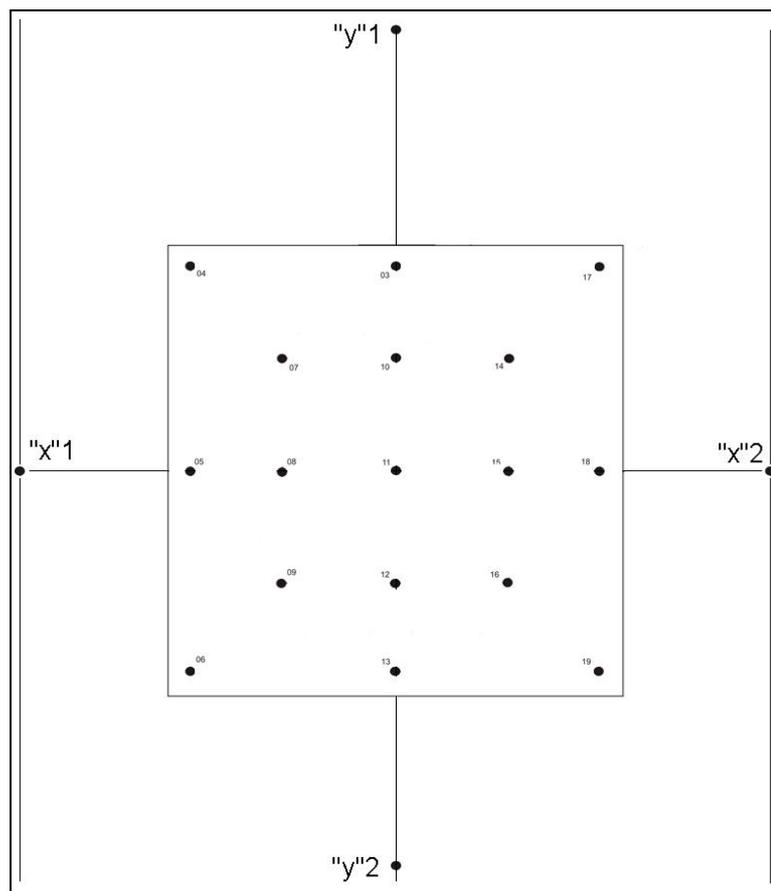


FIGURA 19: Esquematização do ambiente de controle.

Com os mesmos procedimentos para determinação dos valores de referência do pêndulo, foram determinadas as distâncias entre os pontos de controle do calibrador. Os valores finais definidos foram de 1,162m para a coordenada “y” e 1,002m para a coordenada “x”. O desvio padrão entre as mensurações foi de 0,003m (0,2% da dimensão total) e 0,001m (0,1%) para as coordenadas “y” e “x” respectivamente.

3.2.4 Visores da lente e posicionamento.

Foi testado o conjunto câmera mais visor da lente, sendo o primeiro tipo de visor de vidro, parte de uma caixa estanque comercial ou profissional (FIGURA 20), e um segundo tipo, desenvolvido para este trabalho, de acrílico. Os visores eram fixados a um tripé e posicionados à frente da câmera, respeitando a distância lente da câmera-visor quando utilizadas em suas caixas estanques correspondentes (FIGURA 21).



FIGURA 20: Visor da lente de vidro da caixa estanque comercial.



FIGURA 21: Visor da lente de acrílico posicionado com a câmera SVHS.

3.3 PROCEDIMENTOS E CUIDADOS

Os seguintes procedimentos e cuidados foram realizados a cada aquisição de imagens, com cada câmera:

- Aquisição do ambiente de calibração (sendo que o calibrador permanecia durante a aquisição das imagens);

- Controle das distâncias entre a lente da câmera e o objeto de controle em 3, 5 e 7 metros;
- A altura do centro da lente da câmera foi determinada pela altura do marcador posicionado ao centro do pêndulo;
- Verificação dos níveis dos tripés das câmeras para assegurar direcionamento da câmera;
- Ajuste de zoom da câmera para o “infinito”;
- O ambiente foi escurecido e utilizava-se de um refletor halógeno, com controle de luminosidade em direção ao objeto;
- Realizou-se a aquisição das imagens do pêndulo estático e em seguida a situação dinâmica (somente para a distância de 3 metros), onde o pêndulo era erguido em um dos lados e solto iniciando o movimento. Após alguns segundos o pendulo era parado e repetia-se o procedimento. Realizou-se três vezes este procedimento;
- Posicionamento do visor frontal das caixas estanques e repetição do item anterior.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

As imagens obtidas pela câmera do sistema Peak Motus e pela câmera SVHS foram digitalizadas, e as imagens obtidas pelas câmeras MiniDV e MiniDV handycam transferidas, gerando arquivo de extensão “.avi”.

Os vídeos foram editados através do *software InterVideo® Winproducer™ 3 DVD*, formando vídeos com 1 segundo de duração (30 quadros) para as situações estáticas e com duração de 1 oscilação do pendulo (53 ± 3 quadros), sendo que não selecionadas de trechos iniciais do vídeo, assegurando qualquer influência do impulso inicial do movimento deste.

Para reconstrução do objeto foi utilizado o *software DgeeMe™ version 0.98b*. No software eram executadas as seguintes funções:

- Elaboração do modelo para digitalização;
- Elaboração do modelo de calibração;

- Importação do arquivo de vídeo na extensão “.avi”;
- Digitalização dos pontos a partir do modelo criado (optou-se pela precisão de $\frac{1}{4}$ pixel, referente a 3x zoom para a digitalização);
- Digitalização do ambiente de calibração (mesma precisão);
- Seleção para cálculos dos parâmetros DLT;
- Aplicação do filtro através da transformada de Fourier (FFT) tipo Butterworth, com frequência de corte de 6Hz e ordem 5;
- Exportação dos arquivos de dados, no formato “.txt”, dos valores de distâncias e ângulos.

Os arquivos exportados eram importados para o programa *Microsoft Excel*® e então, comparados aos valores de referência, no geral e para cada eixo coordenado.

3.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os valores importados eram comparados aos valores verdadeiros. A operação de subtração do valor mensurado pela grandeza verdadeira, segundo Violo (1996), define o erro, neste caso, o erro absoluto.

Determinar a média aritmética dos erros encontrados, não satisfaria o objetivo de determinar a exatidão (ou acurácia da medida de uma grandeza, traduz a proximidade entre o valor resultante do processo de medida de determinada grandeza e o valor verdadeiro da grandeza, sendo um termo qualitativo se utilizando o termo “erro” quando se refere à quantificação dessa proximidade) do sistema proposto.

Allard, Blanchi e Aïssaoui (1995) citam que a média aritmética dos erros não é apropriada para expressar a exatidão do instrumento, porque os erros negativos e positivos se cancelam.

Tendo isto, foi determinado o erro quadrático médio (EQM) do inglês *root mean square error (RMS error)*, usado comumente em artigos em português, pela equação abaixo descrita:

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum (Vr - Vm)^2}{n}}$$

Sendo, EQM: erro quadrático médio; Vr: valor de referência; Vm: valor mensurado; n: numero de observações.

Ao EQM determinou-se o desvio padrão para as diferentes mensurações a fim de apresentar a repetibilidade (capacidade do instrumento de reproduzir as mesmas medidas, quando os mesmos procedimentos e cuidados são aplicados, na mesma seqüência e nas mesmas condições ambientais).

Allard, Bianchi e Aïssaoui (1995), citam que a verificação da exatidão em sistemas de cinematria devem ser expressos somente pelo EQM e em porcentagem, ou seja, em valores relativos ou feduciais. Erros relativos ou erros fiduciais são definidos como os erros absolutos normalizados, ou seja, o erro absoluto dividido por uma quantidade de referencia.

Contudo, com os valores obtidos, definiu-se a incerteza do sistema proposto, definindo-se incerteza como uma faixa de valores que pode ser associada a um certo nível de confiança e que deve ser calculado para cada método adotado. Pela incerteza pode-se quantificar a precisão de uma medida, em geral traduzida pelo desvio padrão.

No programa *Microsoft Excel*® foram criadas rotinas que possibilitaram maior agilidade na definição dos itens anteriores.

3.6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Este estudo foi demarcado por alguns fatores que restringiram seu aprofudamento tais como:

a) Ao equipamento pertencente ao Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática, sendo que, apesar de três diferentes câmeras utilizadas na verificação do erro, somente uma (SVHS) pode ser utilizada na situação real de velejar;

b) A precisão na determinação das referências do objeto utilizado nas reconstruções, ao qual há meios mais precisos tanto para quantificação das distâncias como dos ângulos, entretando envolveriam um maior custo financeiro;

c) Questões financeiras não permitiram que outros equipamentos, como microcâmeras, fossem utilizados no estudo.

4. RESULTADOS

O texto foi elaborado de maneira que os problemas da pesquisa fossem tratados em capítulos que, apesar de integrados, possuam relativa independência em cada tema.

4.1 INSTRUMENTOS DESENVOLVIDOS

Primeiramente, foram desenvolvidas caixas estanques que possibilitassem a proteção das câmeras para seu posterior posicionamento no barco, evitando contato com a água. Havia a necessidade que as mesmas fossem de leve peso, diferenciando das caixas estanques comerciais (profissionais), compatíveis às câmeras pertencentes ao laboratório e de baixo custo.

Optou-se em desenvolvê-las com fibras de vidro e para o visor da lente e lateral o material selecionado foi o acrílico. O visor lateral já foi elaborado integrado a fibra de vidro. Para o visor da lente (parte frontal) foram colocados junto à fibra parafusos, os quais após o posicionamento do visor (elaborado com furos), era pressionado contra a fibra utilizando porcas (tipo borboleta) (FIGURA 22). Entre a fibra e o visor de acrílico da lente é posicionado um anel de borracha que auxílio na impermeabilidade da caixa estanque pelo visor.



FIGURA 22: Destaque para os parafusos (setas) e para a porca do tipo borboleta (círculo).

Internamente foi feito um trilho de madeira, similar ao usado em caixas estanques comerciais. Ao trilho insere-se uma madeira com furos na linha central, os quais possibilitam a fixação da câmera, estabilizando-a na caixa estanque.

Foram desenvolvidas duas caixas estanques, uma retangular (FIGURA 23) para ser posicionada à frente do barco e uma segunda cilíndrica (FIGURA 24), visando posicioná-la no mastro.



FIGURA 23: Caixa estanque retangular



FIGURA 24: Caixa estanque cilíndrica.

Nas caixas estanques foram então fixadas as câmeras, fechadas com o visor da lente e determinando assim um sistema formado pela câmera (lente da câmera) e visor frontal.

4.2 TESTES DOS COMPONENTES DO SISTEMA

Inicialmente foi realizadas a reconstrução bidimensional do objeto de controle com as diferentes câmeras, quanto à freqüência de aquisição de imagens e quanto ao uso do visor frontal das caixas estanque.

4.2.1 Câmeras

As câmeras foram avaliadas nas situações de 3, 5 e 7m de distância entre a lente da câmera e o objeto de controle.

O EQM e o erro máximo para a reconstrução das dimensões (x e y), para cada câmera, são apresentados na tabela 4.

Tabela 4: EQM e erro máximo para as dimensões com 3, 5 e 7 metros entre a lente e o objeto [m].

| | | Câmera Peak | MiniDV | MiniDV handycam | SVHS |
|---|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 3 | EQM | 0,003±0,001 | 0,002±0,000 | 0,003±0,000 | 0,004±0,001 |
| | máximo | 0,010 | 0,007 | 0,011 | 0,017 |
| 5 | EQM | 0,006±0,001 | 0,003±0,000 | 0,004±0,000 | 0,006±0,001 |
| | máximo | 0,015 | 0,012 | 0,010 | 0,029 |
| 7 | EQM | 0,008±0,001 | 0,007±0,002 | 0,007±0,001 | 0,012±0,001 |
| | máximo | 0,029 | 0,028 | 0,018 | 0,032 |

Na Tabela 5 são apresentados os valores relativos para a reconstrução das dimensões (“x e y”), nas situações de 3, 5, e 7m de distância entre a lente da câmera e o objeto de controle, para as diferentes câmeras.

Tabela 5: EQM e erro máximo relativo para as dimensões com 3, 5 e 7 metros entre a lente e o objeto [%].

| | | Câmera Peak | MiniDV | MiniDV handycam | SVHS |
|---|--------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 3 | EQM | 1,6±0,3 | 1,5±0,1 | 1,4±0,3 | 1,8±0,3 |
| | máximo | 5,0 | 4,9 | 5,9 | 3,9 |
| 5 | EQM | 3,5±0,0 | 1,9±0,1 | 2,8±0,3 | 3,4±1,1 |
| | máximo | 11,8 | 7,9 | 7,8 | 13,4 |
| 7 | EQM | 4,9±0,2 | 3,9±0,9 | 4,8±0,5 | 7,2±1,7 |
| | máximo | 22,8 | 10,5 | 12,0 | 25,4 |

Com o aumento da distância entre a câmera e o objeto ocorre o aumento do EQM e do erro máximo, do mesmo modo que observado por Kwon (1999b).

Também foram comparados os resultados para os diferentes segmentos de reta analisados (0,450, 0,225 e 0,123m) e não foi verificada nenhuma tendência do erro estar relacionado a tamanho da referência analisada. O erro máximo ocorria de forma aleatória dentre as referências analisadas. Da mesma forma, para os eixos de coordenadas (“x” e “y”) não foram encontradas diferenças.

O cálculo da média aritmética simples apontou valores próximos de zero, que vai de acordo com o descrito por Allard, Bianchi e Aïssaoui (1995), que citam que a média aritmética dos erros não é apropriada para expressar a exatidão do instrumento, porque os erros negativos e positivos se cancelam.

O EQM e o erro máximo foram maiores para as câmeras com padrão SVHS (Câmera Peak e SVHS) em relação às câmeras de padrão digital (MiniDV), principalmente para as maiores distâncias entre a câmera e o objeto. Barros (1997) cita que o aumento do número de linhas captadas de 260 no padrão VHS / Video8 para 400 no padrão SVHS / Hi-8, 500 linhas no padrão DV e mais de 1000 linhas no padrão HD-TV mostram forte tendência de incremento da qualidade final da imagem, o que pode ser observado entre os padrões SVHS e digital.

Os resultados das câmeras de padrão digital (MiniDV) foram próximos ou menores que os resultados da câmera do sistema comercial (câmera Peak). Sistemas de cinematria disponíveis atualmente utilizam, na sua maioria, câmera de padrão digital. Isto vai de encontro ao citado por Barros (1997), onde os resultados sobre equipamento de vídeo mostram uma grande evolução na qualidade dos equipamentos para captação de vídeo doméstico (VHS e Video8), semiprofissionais como o SVHS e Hi-8 e, mais recentemente, o aparecimento no mercado de câmeras de vídeo digitais (Digital vídeo - DV).

O EQM e o erro máximo para a reconstrução dos ângulos, para cada câmera, são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: EQM e erro máximo para os ângulos com 3, 5 e 7 metros entre a lente e o objeto [graus].

| | | Câmera Peak | MiniDV | MiniDV handycam | SVHS |
|---|--------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 3 | EQM | 0,7±0,1 | 0,7±0,2 | 0,7±0,2 | 0,7±0,1 |
| | máximo | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 |
| 5 | EQM | 0,9±0,1 | 0,9±0,1 | 0,9±0,2 | 1,0±0,3 |
| | máximo | 2,0 | 1,8 | 3,2 | 2,7 |
| 7 | EQM | 1,3±0,1 | 1,3±0,1 | 1,0±0,1 | 1,2±0,3 |
| | máximo | 2,1 | 2,6 | 2,7 | 3,3 |

Na Tabela 7 são apresentados os valores relativos para a reconstrução dos ângulos, nas situações de 3, 5, e 7m de distância entre a lente da câmera e o objeto de controle, para as diferentes câmeras.

Tabela 7: EQM e erro máximo relativo para os ângulos com 3, 5 e 7 metros entre a lente e o objeto [%].

| | | Câmera Peak | MiniDV | MiniDV handycam | SVHS |
|---|--------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 3 | EQM | 1,0±0,2 | 1,2±0,5 | 0,9±0,4 | 1,0±0,1 |
| | máximo | 2,9 | 4,3 | 3,9 | 3,4 |
| 5 | EQM | 1,5±0,4 | 1,5±0,2 | 1,6±0,3 | 1,6±0,4 |
| | máximo | 7,0 | 7,0 | 6,9 | 6,9 |
| 7 | EQM | 1,9±0,2 | 2,0±0,4 | 1,7±0,1 | 2,3±0,9 |
| | máximo | 4,3 | 9,3 | 5,9 | 12,7 |

Com o aumento da distância entre a câmera e o objeto ocorre o aumento do EQM e do erro máximo, do mesmo modo que observado por Kwon (1999b).

Também foram comparados os resultados para os diferentes ângulos analisados (25°, 45°, 65°, 90° e 180°) e não foi verificada nenhuma tendência do erro estar relacionado a tamanho da referência analisada. O erro máximo ocorria de forma aleatória dentre as referências analisadas.

O cálculo da média aritmética simples apontou valores próximos de zero.

Comparando-se as câmeras, o desvio padrão das mensurações, para uma mesma distância entre a câmera e o objeto, todos se igualam dentro de uma mesma variação, exceto pela câmera SVHS a 7 metros do objeto.

Erros em sistemas de aquisição de imagens podem ocorrer pelo uso de câmeras não-métricas (KARRAS & MAVROMMATI, 2001), nas quais a geometria interna das lentes pode causar considerável distorção sobre as imagens. Distorção é definida como o deslocamento linear de um ponto da imagem causado pela variação

no tamanho da imagem lateral de objetos localizados a diferentes ângulos do eixo da lente (DE DAVID, 1992).

Em contrapartida, no que diz respeito aos equipamentos de vídeo, a evolução ocorreu tanto nos componentes eletrônicos das câmeras como nos componentes ópticos. Pode-se dizer que as distorções ópticas das câmeras foram minimizadas de tal forma que são irrelevantes para a maioria das aplicações feitas na análise biomecânica de movimentos (BARROS, 1997).

4.2.2 Freqüência de aquisição.

Outro fator relevante é observar a se a freqüência de aquisição das imagens está de acordo ao fenômeno a ser estudado, sendo para estudos do movimento determinado com base na Teoria de Nyquist (BRONNER, 2005).

O pendulo desenvolvido possibilitava a aquisição de imagens em movimento e que a reconstrução do objeto fosse realizada. Optou-se em verificar a diferença entre a situação estática e dinâmica com a câmera posicionada a 3 metros do objeto.

Os resultados para a reconstrução das dimensões (“x e y”) para as situações estática (Est.) e dinâmica (Din.), com as diferentes câmeras, são apresentados na tabela 8.

Tabela 8: EQM e erro máximo para as dimensões nas situações estática e dinâmica com a câmera a 3 metros do objeto [m].

| | | Câmera Peak | MiniDV | MiniDV Handycam | SVHS |
|------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Est. | EQM | 0,003±0,001 | 0,002±0,000 | 0,003±0,000 | 0,004±0,001 |
| | máximo | 0,010 | 0,007 | 0,011 | 0,017 |
| Din. | EQM | 0,004±0,000 | 0,005±0,001 | 0,004±0,000 | 0,005±0,001 |
| | máximo | 0,025 | 0,037 | 0,029 | 0,030 |

Na Tabela 9 são apresentados os valores relativos para a reconstrução das dimensões (“x e y”) para as situações estática (Est.) e dinâmica (Din.), com as diferentes câmeras.

Tabela 9: EQM e erro máximo relativo para as dimensões nas situações estática e dinâmica com a câmera a 3 metros do objeto [%].

| | | Câmera Peak | MiniDV | MiniDV Handycam | SVHS |
|------|--------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Est. | EQM | 1,6±0,3 | 1,5±0,1 | 1,4±0,3 | 1,8±0,3 |
| | Máximo | 5,0 | 4,9 | 5,9 | 3,9 |
| Din. | EQM | 2,1±0,3 | 2,6±0,4 | 2,0±0,1 | 2,4±0,4 |
| | Máximo | 13,3 | 11,5 | 8,6 | 12,6 |

Ocorre um aumento do EQM e, principalmente, do erro máximo da situação estática para a dinâmica.

Os resultados para a reconstrução dos ângulos para as situações estática (Est.) e dinâmica (Din.), com as diferentes câmeras, são apresentados na tabela 10.

Tabela 10: EQM e erro máximo para as situações estática e dinâmica com a câmera a 3 metros do objeto [graus].

| | | Câmera Peak | MiniDV | MiniDV Handycam | SVHS |
|------|--------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Est. | EQM | 0,7±0,1 | 0,7±0,2 | 0,7±0,2 | 0,7±0,1 |
| | máximo | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 |
| Din. | EQM | 1,0±0,1 | 1,1±0,1 | 0,9±0,0 | 1,2±0,1 |
| | máximo | 5,6 | 7,5 | 5,1 | 7,2 |

Na Tabela 11 são apresentados os valores relativos para a reconstrução dos ângulos para as situações estática (Est.) e dinâmica (Din.), com as diferentes câmeras.

Tabela 11: EQM e erro máximo relativo para as situações estática e dinâmica com a câmera a 3 metros do objeto [%].

| | | Câmera Peak | MiniDV | MiniDV Handycam | SVHS |
|------|--------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Est. | EQM | 1,0±0,2 | 1,2±0,5 | 0,9±0,4 | 1,0±0,1 |
| | máximo | 2,9 | 4,3 | 3,9 | 3,4 |
| Din. | EQM | 1,5±0,2 | 1,6±0,1 | 1,4±0,1 | 1,8±0,2 |
| | máximo | 9,4 | 8,6 | 8,0 | 15,5 |

Da mesma forma ocorre o aumento do EQM e, principalmente, do erro máximo da situação estática para a dinâmica.

Barros (1997) descreve que quando o deslocamento na imagem da projeção dos pontos é significativo durante o tempo em que os foto-sensores acumulam a informação luminosa, as marcas posicionadas podem produzir “borrões”. Na

situação dinâmica realizada tal fato pode ser observado, como apresentado na Figura 25.

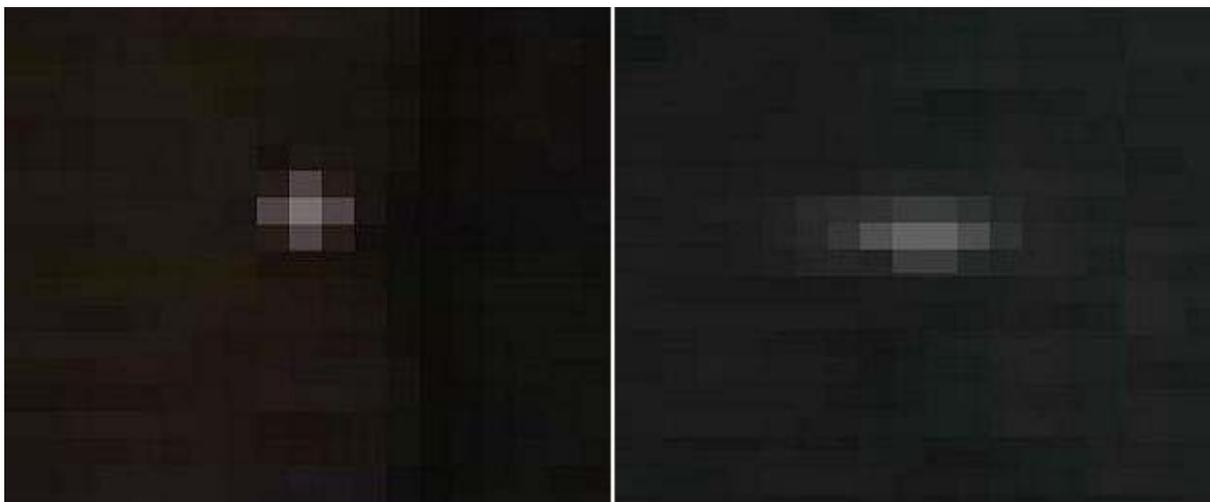


FIGURA 25: Visualização do marcador para a situação estática (esquerda), e para a situação dinâmica (direita). Visualizado em 3x de aproximação ($\frac{1}{4}$ de pixel).

A presença dos “borrões” explica o aumento do EQM e, em maior destaque, do erro máximo, pela dificuldade gerada na digitalização dos pontos, induzindo ao maior erro.

Isto poderia ser resolvido utilizando-se de câmeras de maior frequência de aquisição de imagens. Entretanto, não seria algo necessário em se analisar a escora. A escora é o principal movimento a ser analisado e é definida como uma postura estática ou pseudo-estática (BOJSEN-MØLLER E BOJSEN-MØLLER, 1995; SHERPHARD, 1997; MACKIE E LEGG, 1999; MAÏSETTI, ET. AL., 2002; MACKIE, 2003). Tendo isto, a frequência de aquisição das câmeras utilizada seria suficiente para a análise das posturas de escora.

Os demais gestos realizados são quantificados apenas em número de vezes e duração de tempo (BLACKBURN, 1994; LEGG, MACKIE & SMITH, 1999; SCHÜTZ et. al., 2004) e não teriam problemas quando a frequência de aquisição das imagens.

4.2.3 Visor da lente.

O uso de caixa estanque também pode gerar erros pela possível distorção gerada pelo visor da lente (KWON, 1999a; KWON, 1999b), que venham a acarretar erros nas análises seqüenciais.

O uso da caixa estanque ou de visores nas laterais de piscinas é mais comum, o que gera uma interface ar–visor–água, como observados nos trabalhos de Cappaert, Pease e Troup (1995), Yanai, Hay e Gerot (1995), Araújo (2004), Nikodelis, Kollias e Hatzitaki (2005), Hubert (2005) e Souza (2006), entretanto, referências quanto ao erro gerado por esta interface não são relatadas nos trabalhos.

Somente Kwon (1999a; 1999b) buscou soluções para a interface ar–visor–água em análises bidimensionais e Kwon (2005) e Kwon e Ball (2005) em análises tridimensionais.

Entretanto, neste estudo as caixas estanque serviam unicamente para proteção das câmeras da água, sem serem submersas, ficando uma interface ar–visor–ar. Qualquer distorção por diferença dos meios, como a refração da água, não ocorreria.

Foram verificados os erros de acordo com a compatibilidade das câmeras e das caixas estanques.

O EQM e o erro máximo para a reconstrução das dimensões (x e y), para cada combinação câmera e caixa estanque, são apresentados na tabela 12.

Tabela 12: EQM e erro máximo para as câmeras sem e com o visor da lente [m].

| | | MiniDV | MiniDV (vidro) | MiniDV handycam | MiniDV handycam (acrílico) | SVHS | SVHS (acrílico) |
|---|--------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 3 | EQM | 0,002± 0,000 | 0,003± 0,001 | 0,003± 0,000 | 0,003± 0,000 | 0,004± 0,001 | 0,003± 0,000 |
| | máximo | 0,007 | 0,015 | 0,011 | 0,012 | 0,017 | 0,012 |
| 5 | EQM | 0,003± 0,000 | 0,005± 0,001 | 0,004± 0,000 | 0,006± 0,001 | 0,006± 0,001 | 0,006± 0,001 |
| | máximo | 0,012 | 0,025 | 0,010 | 0,023 | 0,029 | 0,027 |
| 7 | EQM | 0,007± 0,002 | 0,005± 0,000 | 0,007± 0,001 | 0,008± 0,000 | 0,012± 0,0 01 | 0,013± 0,002 |
| | máximo | 0,028 | 0,014 | 0,018 | 0,021 | 0,032 | 0,051 |

Na Tabela 13 são apresentados os valores relativos para a reconstrução das dimensões (“x e y”), para cada combinação de câmera e caixa estanque.

Tabela 13: EQM e erro máximo relativo para as câmeras sem e com o visor da lente [%].

| | | MiniDV | MiniDV (vidro) | MiniDV handycam | MiniDV handycam (acrílico) | SVHS | SVHS (acrílico) |
|---|--------|----------------|----------------|-----------------|----------------------------|----------------|-----------------|
| 3 | EQM | 1,5±0,1 | 1,8±0,2 | 1,4±0,3 | 1,9±0,3 | 1,8±0,3 | 1,9±0,3 |
| | máximo | 4,9 | 4,9 | 5,9 | 7,2 | 3,9 | 6,8 |
| 5 | EQM | 1,9±0,1 | 2,5±0,6 | 2,8±0,3 | 3,6±0,5 | 3,4±1,1 | 3,0±1,0 |
| | máximo | 7,9 | 13,1 | 7,8 | 11,8 | 13,4 | 15,0 |
| 7 | EQM | 3,9±0,9 | 2,9±0,3 | 4,8±0,5 | 4,7±0,3 | 7,2±1,7 | 6,6±0,9 |
| | máximo | 10,5 | 8,3 | 12,0 | 10,2 | 25,4 | 19,8 |

Não foi observado nenhum padrão de distorção pelo uso dos visores. Ocorreu uma variação de 0,1 a 1,0%, sendo que aleatório, por vezes com o visor, por vezes sem.

Não foi observada diferença na variação pelo uso do visor da caixa estanque profissional (vidro) e as desenvolvidas para este estudo (acrílico).

O EQM e o erro máximo para a reconstrução dos ângulos, para cada combinação câmera e caixa estanque, são apresentados na tabela 14.

Tabela 14: EQM e erro máximo para as câmeras sem e com o visor da lente [graus].

| | | MiniDV | MiniDV (vidro) | MiniDV handycam | MiniDV handycam (acrílico) | SVHS | SVHS (acrílico) |
|---|--------|----------------|----------------|-----------------|----------------------------|----------------|-----------------|
| 3 | EQM | 0,7±0,2 | 1,1±0,1 | 0,7±0,2 | 0,8±0,1 | 0,7±0,1 | 0,8±0,2 |
| | máximo | 1,9 | 3,0 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,5 |
| 5 | EQM | 0,9±0,1 | 1,4±0,2 | 0,9±0,2 | 0,9±0,1 | 1,0±0,3 | 1,1±0,2 |
| | máximo | 1,8 | 3,1 | 3,2 | 2,6 | 2,7 | 2,5 |
| 7 | EQM | 1,3±0,1 | 1,1±0,3 | 1,0±0,1 | 0,9±0,3 | 1,2±0,3 | 2,0±0,2 |
| | máximo | 2,6 | 2,5 | 2,7 | 2,4 | 3,3 | 4,3 |

Na Tabela 15 são apresentados os valores relativos para a reconstrução dos ângulos para cada combinação de câmera e caixa estanque.

Tabela 15: EQM e erro máximo relativo para as câmeras sem e com o visor da lente [%].

| | | MiniDV | MiniDV (vidro) | MiniDV handycam | MiniDV handycam (acrílico) | SVHS | SVHS (acrílico) |
|---|--------|----------------|-------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|--------------------|
| 3 | EQM | 1,2±0,5 | 1,6±0,2 | 0,9±0,4 | 1,1±0,2 | 1,0±0,2 | 1,2±0,4 |
| | máximo | 4,3 | 5,5 | 3,9 | 3,4 | 3,4 | 5,3 |
| 5 | EQM | 1,5±0,2 | 2,0±0,3 | 1,6±0,3 | 1,3±0,2 | 1,6±0,4 | 1,9±0,3 |
| | máximo | 7,0 | 5,3 | 6,9 | 4,4 | 6,9 | 6,4 |
| 7 | EQM | 2,0±0,4 | 1,6±0,5 | 1,7±0,1 | 1,3±0,5 | 2,3±0,9 | 3,3±0,6 |
| | máximo | 9,3 | 3,9 | 5,9 | 5,2 | 12,7 | 13,5 |

Para os ângulos também não foi observado nenhum padrão de distorção pelo uso dos visores. Ocorreu uma variação de 0,2 a 1,0%, sendo que aleatório, por vezes com o visor, por vezes sem.

Não foi observada diferença na variação pelo uso do visor da caixa estanque profissional (vidro) e as desenvolvidas para este estudo (acrílico).

4.3 ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA NO BARCO

Para a fixação de cada conjunto câmera e caixa estanque, optou-se em posicioná-las uma à frente e outra no mastro.

Para a fixação da câmera que foi instalada à frente do barco foi desenvolvido um gurupés. Gurupés é um mastro (haste) que sai da proa na direção do eixo longitudinal da embarcação (CIVITA, 1975). A câmera foi fixada na ponta desta haste para permitir uma visualização bastante ampla da movimentação do velejador (FIGURA 26).



FIGURA 26: Gurupés e câmera posicionada.

Para fixar a câmera que foi utilizada no mastro foi confeccionado um suporte. Um pequeno corte foi feito na parte superior da vela com o cuidado de não mudar o seu desenho. Este suporte ficou fixado na ponta do mastro (FIGURA 27) e adquiriu a imagem de cima.



FIGURA 27: Câmera posicionada no mastro.

Foram realizadas 4 coletas, tendo duas coletas com velejadores amadores, 1 com um velejador de outra classe (é comum, atletas de outras classes utilizarem o Laser como meio de treinamento devido a maior exigência física imposta por este, e, portanto o velejador estaria acostumado a este tipo de barco) e 1 velejador representante nacional da classe em campeonatos mundiais.

Todos foram questionados com observações pessoais e analisadas as imagens obtidas.

O método elaborado para posicionamento das câmeras e exemplos das imagens obtidas, foi apresentado na forma de artigo no XI Congresso Brasileiro de Biomecânica (ROESLER et al., 2005). Apesar de não ser objetivo deste estudo, também foi apresentado um método para o posicionamento da câmera para um barco tipo catamaran, sendo um Tornado (SCHUTZ, HAUPENTHAL & ROESLER, 2005).

4.3.1 Câmera de baixo.

A câmera posicionada à frente foi utilizada primeiramente alinhada ao centro do barco e num segundo momento alinhada a somente um dos bordos do barco.

Foi observado que com a câmera alinhada ao centro, por vezes, o velejador sai do quadro de filmagem. E para a câmera voltada a um dos bordos do barco, se perdia o que era executado no outro bordo.

Optou-se então em proporcionar um pequeno recuo na câmera, que resultaria em um aumento no campo de visão e se enquadraria a posturas de escoras mais estendidas. Como solução, a câmera foi posicionada um pouco mais adentro na caixa estanque. A caixa estanque desenvolvida permite tal tipo de modificação, solucionando o problema de enquadramento e possibilitando a análise dos dois bordos.

Exemplos das imagens obtidas podem ser vistos na s Figuras 28 e 29.



FIGURA 28: Imagem obtida da câmera posicionada à frente com um velejador amador.



FIGURA 29: Imagem obtida da câmera posicionada à frente, para o velejador profissional.

Das imagens obtidas foi observada a possibilidade de quantificar todos os movimentos realizados pelo velejador, assim como, o tempo de duração destes.

Tal quantificação não foi realizada por não ser objetivo principal deste trabalho. Para a quantificação podem ser seguidos os métodos propostos por Blackburn (1994), Legg, Mackie e Smith (1999), Mackie, Sanders e Legg (1999), Le Deroff e Ianchkin (2001), Cunningham e Hale (2003), Moraes et. al. (2003) e Schütz et. al. (2004), onde são verificadas, principalmente, a posição de escora e suas variações (quanto a ângulo de joelho, ângulo de quadril, posicionamento do quadril sobre a borda do barco), as caçadas as velas, a montagem de bóias, cambadas, entre outros.

O relatado pelos velejadores apontou que o gurupés e a caixa estanque posicionada à frente do barco não interferiam no “seu velejar”. Uma ressalva ao gurupés foi salientada por um dos velejadores, que em condições com ondas maiores, os barcos “embicam” (mergulhar maior superfície da proa que da popa devido ao balanço – CIVITA, 1975). Desta forma, caso a coleta venha a ser realizada nestas condições, há a necessidade de se desenvolver um novo gurupés.

4.3.2 Câmera de cima.

Foram testadas duas possibilidades de posicionamento da câmera de cima. Uma primeira com a câmera voltada para um dos bordos e uma segunda tentativa,

com a câmera voltada para frente do barco, na tentativa de serem visualizados os dois bordos.

Com a câmera voltada para uns dos bordos obtive as imagens como exemplificados nas figuras 30 e 31. Quando da câmera voltada para frente às imagens não permitiram a visualização dos dois bordos como esperado.



FIGURA 30: Imagem obtida da câmera posicionada no mastro.



FIGURA 31: Imagem obtida da câmera posicionada no mastro, para o velejador profissional.

Entretanto estas imagens somente eram obtidas em determinados percursos, nos quais o velejador utilizava o bordo que a câmera estava voltada. Nos instantes contrários, a vela cobria toda a imagem.

Com este procedimento para a fixação da câmera no mastro, nas imagens obtidas é perceptível que a câmera gira junto com o mastro de acordo com o posicionamento das velas e da retranca. Não é possível interferir neste fato e por tal, será necessário em futura análise à calibração das imagens quadro a quadro. Porém para uma completa análise seria necessário a presença de duas câmeras, cada uma voltada para um bordo.

Pode-se observar nas imagens obtidas, que na postura de escora, o velejador realiza um movimento de rotação de tronco. Em uma análise cinemática da postura de escora, isto deve ser levado em conta, e por consequência, a necessidade que a análise seja tridimensional.

Foi relatado pelos velejadores que a câmera posicionada no mastro atrapalhava, principalmente nas cambadas, onde o velejador deve mudar de rumo. Este fato ocorre devido ao momento gerado pelo peso da caixa estanque na ponta do mastro. Foi sugestionada a utilização de câmeras de menor peso.

Também apontaram que a câmera posicionada no mastro, com a passagem do velcro pelo corte feito, não interferia na movimentação da vela e da retranca.

4.4 PROPOSTA DE PROCEDIMENTO PARA CALIBRAÇÃO NO BARCO

Pelo momento gerado pelo uso da câmera no mastro, a necessidade de duas câmeras (para que se possa visualizar os dois bordos do barco) e pelo relatado pelos velejadores, descartou-se a utilização da câmera de cima.

Sugere-se a utilização de microcâmeras para este fim. O armazenamento de imagens poderia ser realizado utilizando-se da telemetria, existindo equipamentos comerciais que possibilitariam isto. Ou ainda, posicionar dentro do cockpit do barco, ligado as microcâmeras, câmeras que gravariam as imagens obtidas pelas microcâmeras. Para qualquer uma das soluções se faz necessário o desenvolvimento de um sistema de proteção do equipamento, além de visores da lente específicos para as microcâmeras.

Pelos melhores resultados obtidos com a utilização da câmera de baixo, optou-se em aprofundar a análise para esta.

Como discutido anteriormente, com as imagens obtidas já torna possível a quantificação dos movimentos executados. Para sua utilização na Biomecânica, se faz necessário determinar parâmetros para que uma análise cinemática seja realizada.

Foi observada a constante movimentação do sistema (barco, câmera, velejador) e a utilização de um ambiente de calibração único se torna inviável. É necessário que a calibração ocorra quadro a quadro.

Duas possibilidades de calibração foram levantadas. Uma possibilidade seria o posicionamento de um calibrador no barco, entretanto pelas posturas de escora, o ambiente de calibração deveria ir além das dimensões do barco, o que seria mais um empecilho a normal ação do velejador. Descartou-se então esta alternativa.

Uma segunda possibilidade, a qual se mostrou mais eficiente, foi à definição do ambiente de calibração como todo o quadro da imagem. O sistema (barco, câmera, velejador) se movimenta de forma única, ou seja, qualquer adernamento do barco é acompanhado pela câmera.

Por este procedimento proposto, a partir do calibrador é reconstruído o quadro de imagem (320x240pixels) e, como este quadro não varia na aquisição das imagens, pode ser utilizado como parâmetro de calibração. Os quatro cantos do quadro seriam os 4 pontos de controle (8 parâmetros), citados por Walton (1981), necessários ao 2D-DLT. Este método ainda apresenta como vantagem o posicionamento do eixo óptico da câmera não tem a necessidade de estar perpendicular ao plano de movimento (KWON, 1999b), dando liberdade de posicionamento da câmera em relação ao objeto.

Para testar o procedimento de calibração a partir do quadro de imagem foi posicionado um calibrador para cada eixo (posicionado na região do barco mais utilizada pelo velejador, observado nas imagens obtidas anteriormente e variando na direção lateral) e definidos os valores em metros referentes a 1 pixel de imagem. Com este valor foi determinado em metros o quadro de imagem (320x240pixels). O valor final foi determinado pela média dos 8 parâmetros obtidos em 30 quadros para 3 diferentes avaliadores. As dimensões do quadro (calibrador) apresentaram desvio-padrão de 2 pixels (0,024m em um ambiente de 3,156x2,334m) o que corresponde a uma variação de 0,9% do quadro de imagem.

Com as dimensões do quadro e os parâmetros 2D-DLT definidos, foi realizada a reconstrução do objeto de controle (pêndulo), utilizando os mesmos procedimentos

e processos de análise de dados para a verificação dos componentes do sistema. O pêndulo foi posicionado nos diferentes bordos, em cima do barco, com metade acima do barco e metade além da dimensão do casco e por ultimo, totalmente além das dimensões do bordo, totalizando 10 situações. À distância entre o objeto e a câmera era de aproximadamente 5m.

Os valores do erro quadrático médio e máximo, absoluto e relativo, são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: EQM e erro máximo para a reconstrução pelo procedimento do quadro de imagem.

| | [m] | [%] | [graus] | [%] |
|--------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| EQM | 0,005± 0,001 | 2,9±0,5 | 1,2±0,2 | 1,8±0,4 |
| máximo | 0.029 | 12,9 | 3,8 | 9,5 |

Os valores obtidos pelo procedimento foram então comparados aos encontrados para a situação: em laboratório com distância câmera-objeto de 5 metros, câmera SVHS e visor de acrílico.

A resultados dos procedimentos ficou sempre enquadrada na variação apresentada por eles. O EQM entre as distâncias foi de $0,005\pm 0,001\text{m}$ para o novo procedimento e $0,006\pm 0,001\text{m}$ em laboratório em valores absolutos, e em valores relativos de $(2,9\pm 0,5\%$ para o novo procedimento e $3,0\pm 1,0\%$ em laboratório. Os valores do erro máximo também foram próximos ($0,029 - 12,9\%$ e $0,027 - 15,0\%$ no novo procedimento e em laboratório respectivamente). Não foi observada diferença entre os EQM e máximo quando comparados os eixos de coordenadas “x” e “y”.

Situação semelhante ocorreu na comparação dos ângulos. O EQM foi de $1,2\pm 0,2^\circ$ para o novo procedimento e $1,1\pm 0,2^\circ$ em laboratório em valores absolutos e, em valores relativos, de $1,8\pm 0,4\%$ para o novo procedimento e $1,9\pm 0,3\%$ em laboratório. Nos valores do erro máximo ($3,8^\circ - 9,5\%$ e $2,5^\circ - 6,4\%$ no novo procedimento e em laboratório respectivamente) foi observado que o novo procedimento tende a proporcionar erros máximos maiores. Aparentemente, o controle da luminosidade possível em laboratório e que não é possível quando da câmera posicionada no barco, interfere na localização do ponto na digitalização, podendo gerar erros maiores.

Os valores do EQM encontrados com o procedimento proposto também foram comparados aos resultados apresentados por Richards (1999), que verificou sistemas de cinematria comerciais. Foram comparados os EQM relativos, baseado na citação de Allard, Blanchi e Aïssaoui (1995), que a comparação de sistemas de cinematria devem ser expressos somente pelo EQM e em percentagem, ou seja, em valores relativos.

Para uma medida de referência de 0,500m, Richards (1999), apresentou erros menores ou iguais a 1,0%, referenciando maior exatidão que o procedimento proposto com o EQM relativo de 2,9%. Entretanto, para uma medida de referência de 0,090m distancias o EQM relativo dos sistemas variou de 1,4 a 5,0%. O EQM relativo do procedimento proposto estaria enquadrado nesta variação. O erro máximo relativo apresentado pelo autor para a medida de referência de 0,500m variou de 0,4 a 3,3% e para a medida de referência de 0,090m de 5,5 a 17,9%. O procedimento proposto apresentou um erro máximo relativo de 12,9%. Na reconstrução pelo procedimento proposto foram utilizadas diferentes distâncias (0,450, 0,225 e 0,123m) e não foram apontadas diferenças.

Com um ângulo de $95,8^\circ$ como medida de referência, Richards (1999) apresentou uma variação de 1,8 a 4,7% para os sistemas analisados. O EQM relativo de 1,8% encontrado para o procedimento proposto se enquadram os valores apresentados pelos sistemas mais exatos. Soma-se o fato de não ter sido verificado somente um valor de ângulos e sim uma variação de 25° a 180° . Para erro máximo relativo o autor apresentou uma variação de 4,8 a 20,1% e o erro máximo relativo encontrado no procedimento proposto foi de 9,5%. Cabe ressaltar que o trabalho de Richards (1999) analisou sistemas tridimensionais e para neste estudo sendo bidimensional a análise.

Para verificar a repetibilidade (capacidade do instrumento de reproduzir as mesmas medidas, quando os mesmos procedimentos e cuidados são aplicados, na mesma seqüência e nas mesmas condições ambientais) do procedimento proposto, 3 avaliadores, em diferentes dias, realizaram a reconstrução do objeto controle utilizando os mesmos procedimentos e processos de análise de dados para a verificação dos componentes do sistema. A variação entre os 3 avaliadores na reconstrução do objeto para as distâncias foi de 0,002m (0,4%) e para os ângulos menor que $0,1^\circ$ (0,1%), valores que apontam pequena variação quando operacionalizado por diferentes pessoas e garantem repetibilidade ao procedimento.

5. CONSIDERACOES FINAIS

Neste estudo foi desenvolvida uma instrumentação para aquisição de imagens na Vela, sendo composta por duas caixas estanque para proteção das câmeras, confeccionadas com fibra de vidro e com o visor da lente de acrílico.

Foram testados os componentes câmera e visor da lente em uma análise cinemática bidimensional. Entre as câmeras analisadas, as de padrão digital apresentaram uma qualidade superior. Os visores desenvolvidos não geraram distorção para a reconstrução das medidas de referência. Foram quantificados o erro quadrático médio e o erro máximo para as câmeras e combinadas com os visores da lente.

Com o equipamento desenvolvido foi desenvolvido um procedimento para o posicionamento do equipamento do barco, sendo uma câmera posicionada à frente e a segunda, no mastro.

A câmera posicionada no mastro interferia na movimentação normal do velejador, e desta forma foi descartada sua utilização. Com as imagens obtidas pela câmera posicionada à frente observou-se a possibilidade da quantificação dos movimentos realizados pelo velejador.

Para possibilitar uma posterior análise cinemática das posturas de escora do velejador foi proposto um procedimento para calibração a partir do quadro de imagem. O procedimento se mostrou eficiente para uma análise bidimensional das posturas de escora. Entretanto, além das extensões das articulações de quadril e joelho, o velejador executa também a rotação do tronco, o que torna uma análise tridimensional mais adequada.

6. SUGESTOES

Devido aos diversos fatores participantes e influenciadores durante o velejar, um sistema para a avaliação da performance com garantia de precisão, especificamente para a classe Laser, deveria ser composto pelas seguintes sugestões:

- Composto por pelo menos 3 câmeras, uma posicionada à frente e duas no mastro, sendo uma para cada bordo e preferencialmente microcâmeras, para diminuição da massa na ponta do mastro;
- Um procedimento de calibração quadro a quadro e sincronização das imagens;
- Que a determinação do centro de gravidade seja realizada por uma análise cinemática tridimensional;
- Que sejam controlados os graus de adernação do barco, para a determinação do centro de gravidade do barco, a partir de um procedimento validado;
- Que seja associado à quantificação das forças exercidas pelo velejador na alça de escora, a partir de uma instrumentação validada;
- Somado a quantificação de variáveis fisiológicas;
- Que o sistema também esteja associado ao uso do GPS, para controle da velocidade nos diferentes percursos e pela velocidade e direção do vento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, P.; BEYER, N.; SIMONSEN, E. B.; LARSSON, B.; MAGNUSSUN, S. P.; KJAER, M. Isokinetic muscle strength and capacity for muscular knee joint stabilization in elite sailors. **International Journal of Sports Medicine**, v. 18, p. 521-525, 1997.

AAGAARD, P.; BEYER, N.; SIMONSEN, E. B.; LARSSON, B.; MAGNUSSUN, S. P.; KJAER, M. Isokinetic muscle strength and hiking performance in elite sailors. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 8(3), p. 138-144, 1998.

ABDEL-AZIZ, Y. I.; KARARA, H. M. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry. 1971.

ALLARD, P.; BIANCHI, J. P.; AÏSSAOUI, R. **Bases of three-dimensional reconstruction**. In: ALLARD, P.; STOKES, I. A. F.; BIANCHI, J. P (editors). **Three-Dimensional Analysis of Human Movement**. United States of America: Human Kinetics, second edition, 371p., 1995.

ALLARD, P.; STOKES, I. A. F.; BIANCHI, J. P (editors). **Three-Dimensional Analysis of Human Movement**. United States of America: Human Kinetics, second edition, 371p., 1995.

ALLEN, J. B. Sports medicine and sailing. **Recreational Sports Injuries**, v. 10(1), p. 49-65, 1999.

ALLEN, J. B. Sports injuries in the America's Cup 2000. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003 (a). p. 45-46.

ALLEN, J. B. Sports injuries in disabled sailing. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003 (b). p. 58.

ARAUJO, L. G. Análise biomecânica da virada no nado crawl. **Dissertação de Mestrado**, UDESC, 2004.

ARAUJO, D.; DAVIDS, K.; SERPA, S. An ecological approach to expertise effects in decision-making in a simulation sailing regatta. **Psychology of Sports and Exercise**, v. 6, p. 671-692, 2005.

ÁVILA, A. O. V.; AMADIO, A. C.; GUIMARÃES, A. C. S.; DAVID, A. D.; MOTA, C. B.; BORGES, D. M.; GUIMARÃES, F. S. P.; MENZEL, H. J.; CARMO, J.; LOSS, J. F.; SERRÃO, J. C.; SÁ, M. R.; BARROS, R. M. L. Métodos de medição em Biomecânica do esporte: descrição de protocolos para aplicação nos Centros de Excelência Esportiva. **Revista Brasileira de Biomecânica**, v.3 (4); p. 57-67, 2002.

BAUMANN, W. Métodos de medição e campos de aplicação da Biomecânica?: estado da arte e perspectivas. (tradução: Corrêa, S. C.; Barros, R. M. L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 6, Brasília. **Anais...** Brasília: SBB, 1995.

BARROS, R. M. L. Concepção e implementação de um sistema para análise cinemática de movimentos humanos. **Tese de doutorado**. Universidade Estadual de Campinas, 1997.

BEALE, R. Presenting appropriate information: a case study. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 87-91.

BEILLOT, J.; ROBHCONGER, P.; BRIEND, G.; MAZER, J.; LEBARS, R. Approche biomecanique de la position de rappel. **Lyon Méditerranée Medical**, v. 15, p. 1279-1283, 1979.

BEILLOT, J.; ROCHCONGAR, P.; GOUARD, P.; SIMONET, J.; BRIEND, G.; LE BARS, R. Le rappel sur Finn: Approche biomecanique. **Cinésiologie**, v. 80, p. 179-191, 1981.

BERNARDI, E.; FONTANA, G.; DELUSSU, A. S.; QUATTRINI, F. M.; BERNARDI, M.; MADAFFARI, A. Nutritional requirements for na America's Cup crew. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003 (a). p. 38-41.

BERNARDI, M.; FONTANA, G.; RODIO, A.; MADAFFARI, A.; BRUGNOLI, M.; MARCHETTI, M. Physiological characteristics of Americas's Cup sailors. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003 (b). p. 31-35.

BESSER, M.; ANTON, N.; DENNY, M.; QUAILE, S. Criterion validity of the Ariel performance Analysis System (APAS) for the calculation of joint angles using APAS and GAITLAB software. In: **20th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics**, Atlanta, Georgia. October 17-19, 1996.

BLACKBURN, M. Physiological responses to 90 min of simulated dinghy sailing. **Journal of Sports Sciences**, v. 12(4), p. 383-390, 1994.

BOJSEN-MØLLER, F.; BOJSEN-MØLLER, J. Biomechanis of Sailing. In: SJØGAARD, G. **Sailing & Science: in na interdisciplinary Perspective**. Institute of Exercise and Sports Science, University of Copenhagen, Denmark, 1999.

BRONNER, S. **Instrumented analysis of human movement**. Disponível em <<http://www.brooklyn.liu.edu>> Acessado em 11/11/2005.

CAPPAERT, J. M.; PEASE, D. L.; TROUP, J. P. Three dimensional analysis of the men's 100-m freestyle during the 1992 Olympic Games. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 11, p. 103-112, 1995.

CARROT, G. L'effort en solitaire dans la brise: Bilan d'une étude en situation de régate. **Cahiers ENV**, p. 59-64, 1990.

CASTAGNA, O.; GUEZENNEC, C. Y.; DEVIENNE, M. F. J.; LACOUR, J. R.; BRISSWALTER, J. Analyse de la sollicitation physiologique lors de la navigation en laser. **Science & Sports**, v. 19, p. 317-323, 2004.

CHÈZE, L. Comparison of different calculations of three-dimensional joint kinematics from video-based system data. **Journal of Biomechanics**, v. 33, p. 1695-1699, 2000.

CIVITA, V. **Dicionário ilustrado de navegação a vela**. São Paulo: Abril Cultural, 1975.

CUNNINGHAM, P.; HALE, T. Physiological responses to 30 minutes of dynamic simulated dinghy sailing. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 19-24.

DE DAVID, A. C. Um novo método fotogramétrico adequado a análises Biomecânicas: comparação com o método DLT (Transformação Linear Direta). **Dissertação de Mestrado**. Universidade federal de Santa Maria, 1992.

DE VITO, G.; DI FILIPPO, L.; FEKICI, F.; MACHETTI, M. Assessment of energetic cost in laser and mistral sailor. **International Journal of Sport Cardiology**, v. 5 (2), p. 55-59. 1996.

DE VITO, G. L.; DI FILIPPO, F.; MARCHETTI, M. Hiking mechanics in Laser athletes. **Medical Science Research**, v. 10(23), p. 859-861, 1993.

DESHORS, M. **O Grande Livro da Vela: Aventura e prática**. Lisboa: Charles Ferreira Publicações, 1998.

DEVIENNE, M. F.; GUEZENNEC, C. Y. **Energy expenditure of sailing**. Disponível em: <<http://www.medicalcup.org>>. Acessado em 30 de Junho de 2004.

DUMORTIER, B.; IANCHKINE, P. **Mesure du couple de rappel en 470**. 2001. Disponível em: <<http://www.env.jeunesse-sports.fr>>. Acesso em 26 de Julho de 2004.

EHARA, Y.; FUJIMOTO, H.; MIYAZAKI, S.; TANAKA, S. YAMAMOTO, S. Comparison of the performance of 3D camera systems. **Gait & Posture**, v. 3, p. 166-9, september, 1995.

EHARA, Y.; FUJIMOTO, H.; MIYAZAKI, S.; TANAKA, S. YAMAMOTO, S. Comparison of the performance of 3D camera systems II. **Gait & Posture**, v. 5, p. 251-5, 1997.

FELICI, F.; RODIO, A.; MADAFFARI, A.; ERCOLANI, L.; MARCHETTI, M. The cardiovascular work of competitive dinghy sailing. **The Journal os Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 39(4), p. 309-314, 1999.

FONTOURA, H. S.; OLIVEIRA, R. J.; Prevalência de lesões no pé, tornozelo, joelho e coluna vertebral no iatismo. **EF Deportes – Revista Digital**. Buenos Aires, ano 10, n. 87, Agosto, 2005.

GALLOZZI, C.; FANTON, F.; DE ANGELIS, M.; DAL MONTE, A. The energetic cost of sailing. **Medical Science Research**, v. 21, p. 851-853, 1993.

GRESS, F. A. G.; OLIVEIRA, F. R.; PEREIRA, S. M.; SCHUTZ, G. R. Nivel de intensidad Del esfuerzo de practicantes de vela de la classe Laser em situación de regata. **EF Deportes – Revista Digital**. Buenos Aires, ano 10, n. 82, marzo, 2005.

HEIMBERG, F. Untersuchungen zum operationellen Einsatz des Differential GPS. **Doktor dissertation**, Universität Hannover, 1994.

HINRICHS, R. N.; MCLEAN S. P. NLT AND Extrapolated DLT: 3-D Cinematography Alternatives for enlarging the volume calibration. **Journal of Biomechanics**, v. 28, p. 1219-1223, 1995.

HUBERT, M. Estudo do procedimento para coleta de dados biomecânicos das saídas no nado Crawl. **Dissertação de Mestrado**, UDESC, 2005.

ILHA, N.; STREPPEL, A. Apostila de técnicas e táticas de regatas de Laser ABCL 1999. Disponível em: <http://www.laser.org.br>, acessado em 26 de julho de 2004.

KARRAS, G. E.; MAVROMMATI, D. Simple calibration techniques for non-metric cameras. In: **Proceedings of** International Committee for Architectural Photogrammetry (CIPA) International Symposium. Postdam University, Germany, 2001.

KLEIN, P. J.; DEHAVEN, J. J. Accuracy of three-dimensional linear and angular estimates obtained with the Ariel performance analysis system. **Arch Phys Med Rehabil**, v.76, p. 183-9, 1995.

KOCH, D. B. Técnicas e Táticas de Regatas. Disponível em: <http://www.laser.org.br>, acessado em 26 de julho de 2004.

KWON, Y. H. A camera calibration algorithm for the underwater motion analysis. In R.H. Sanders & B.J. Gibson (Eds.), Scientific Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports. Perth, Australia: Edith Cowan University, p. 257-260, 1999(a).

KWON, Y. H. Object plane deformation due to refraction in two-dimensional underwater motion analysis. *Journal of Applied Biomechanics*, v. 15, p. 396-403, 1999(b).

KWON, Y. H. A 3-Dimensional camera calibration algorithm for underwater motion analysis with refraction correction capability. In: Scientific Proceedings of ISB XXth Congress – ASB 29th Annual Meeting, Cleveland, USA, p. 831, 2005.

KWON, Y. H.; BALL, S. T. Applicability of 4 Localized-calibration methods in underwater motion analysis. Disponível em:

<<http://www.coachesinfo.com/category/swimming/158>> acessado em novembro, 2005.

LARSSON, B.; BEYER, P.; BAY, P.; BLOND, L.; AAGAARD, P.; KJAER, M. Exercise performance in elite male and female sailors. **International Journal of Sports Medicine**, v. 17, p. 504-508, 1996.

LE DEROFF, J. Y.; IANCHKINE, P. **Mesure du couple de rappel en Laser**. 2001. Disponível em: <<http://www.env.jeunesse-sports.fr>>. Aceso em 26 de Julho de 2004.

LE GOFF, P. Biomécanique du rachis lombaire et navigation à voile. **Revue du Rhumatisme**, v. 55(5), p. 411-4, 1988.

LEGG, S. J.; MACKIE, H. Change in knowledge and reported use of sport science by elite New Zealand Olympic class sailors. **Applied Human Science – Journal of Physiological Anthropology**, v. 19(2), p. 83-92, 2000.

LEGG, S. J.; MACKIE, H. Development of knowledge and reported use of sport science by elite New Zealand Olympic class sailors. **Applied Human Science – Journal of Physiological Anthropology**, v. 18(4), p. 125-133, 1999.

LEGG, S. J.; MACKIE, H.; SLYFIELD, D. A. Changes in physical characteristics and performance of elite sailors following introduction of a sport science programme priro the 1996 Olympic Games. **Applied Human Science – Journal of Physiological Anthropology**, v. 18(6), p. 211-217, 1999.

LEGG, S.; MACKIE, H. SMITH, P. Temporal patterns of physical activity in Olympic dinghy racing. **The Journal os Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 39(4), p. 315-20, 1999.

LEGG, S. J.; MILLER, A. B.; SLYFIELD, D.; SMITH, P.; GILBERD, C.; WILCOX, H.; TATE, C. Physical performance of elite New Zealand Olympic class sailor. **The Journal os Sports Medicine and Physical Fitnes**, v. 37(1), p. 41-49, 1997.

LEGG, S. J.; PARK, N. Characteristic of twelve New Zealand champion Olympic class sailor. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 53-57.

LINDEN, D. W. V.; CARLSON, S. J.; HUBBARD, R. L. Reproducibility and accuracy of angle measurements obtained under static conditions with the Motion Analysis video system. **Physical Therapy**, v. 72 (4), p. 300-6, April, 1992.

LUGER, T. J.; GINER, R.; LORENZ, I. H. Cardiological monitoring of sailors via offshore internet connection. **Journal Sports Med Phys Fitness**, v. 41 (4), p. 486-490, 2001.

MAÏSETTI, O.; GUÉVEL, A.; IANCHKINE, P.; LEGROS, P.; BRISWALTER, J. Le maintien de la position de rappel en dériveur solitaire. Aspects théoriques et propositions méthodologiques d'évaluation de la fatigue musculaire. **Science & Sports**, v. 17, p. 234-46, 2002.

MACKIE, H. Useful biomechanics for sailing – development of technique analysis protocol for Europe and laser sailors. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 71-75.

MACKIE, H.; LEGG, S. Preliminary assessment of force demands in laser racing. **The Australian Journal of Science and Medicine in Sports**, v. 2(1), p. 78-85, 1999(a).

MACKIE, H.; LEGG, S. Development of knowledge and reported use of sports science by elite new Zealand olympic class sailors. **Journal of Physiological Anthropology**, v. 18(4), p. 125-133, 1999(b).

MACKIE, H.; SANDERS, R.; LEGG, S. The physical demands of Olympic yacht racing. **The Australian Journal of Science and Medicine in Sports**, v. 2(4), p. 375-388, 1999.

MARCHETTI, M.; FIGURA, F.; RICCI, B. Biomechanics of two Fundamentals sailing potures. **J. Sports Méd.**, v. 20, p. 325-332, 1980.

MOLLER, J. B.; LARSSON, B.; MAGNUSSON, S. P.; AAGAARD, P. Strength and endurance profiles of elite Olympic class sailors. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 97-111.

MORAES, J.; NERY, C.; FONTEL, E.; MORAIS,; COSENDEY, F.; ROSSATTO, S.; COSENDEY, A. Multidisciplinary assesment of the Brazilian Olypic sailing team. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 92-95.

NEVILLE, V.; MOLLOY, J.; WOOD, I.; SPEEDY, D. The pain of pin. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 65.

NIGG, B. M., HERZOG, W. **Biomechanics of the Músculo-skeletal System.** England: John Wiley & Sons, 1995.

NIGG, B. M., HERZOG, W. **Biomechanics of the Músculo-skeletal System.** England: Second edition, John Wiley & Sons, 1999.

NIINIMMA, V.; WRIGHT, G.; SHEPHARD, R. J.; CLARKE, J. Characteristics of the successful dinghy sailor. **Journal Sports Medicine**, v. 17, p. 83-96, 1977.

NIKODELIS, T.; KOLLIAS, I.; HATZITAKI, V. Bilateral inter-arm coodination in freestyle swimmimng: effect of skill level and swimming speed. **Journal of Sports Sciences**, v. 23 (7), p. 737-745, 2005.

PEREIRA, S. M.; GRESS, F. A. G.; OLIVEIRA, F. R.; SCHÜTZ, G. R. Faixas de intensidade de esforço de velejadores da classe Laser em situação de regata. In: Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 56, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2004.

PORTIER, H.; GUEZENNEC, C. Y. Estimation de la dépense énergétique lors d'une régate en dériveur. **Science & Sports**, v. 18, p. 111-113, 2002.

PRINCI, T.; ACCARDO, A.; NEVIEROV, L.; PETEREC, D. Linear and non-linear parameters of hearth rate variability in a high performance world class sailor. **International Journal of Bioelectromagnetism**, v. 5 (1), 145-146, 2003.

POLINER, J.; WILMINGTON, R.; KLUTE, G. K.; MICOCCI, A. Evaluation of Lens Distortion Errors in Video-Based Motion Analysis. **NASA Technical Paper 3266**, 1993.

PUTNAM, C. A. A mathematical model of hiking positions in a sailing dinghy. **Medicine and Science in Sport**, v. 11(3), p. 288-292, 1979.

REIS, D. C.; NASSER, J. P.; MORO, A. R. P. Calibrador de fios-de-prumo para sistemas de reconstrucao 3D. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 11, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBB, 2005.

RICHARDS, J. G. The measurement of human motion: A comparison of commercially available systems. **Human Movement Science**, v. 18 p. 589-602, 1999.

RIECKERT, H. Sports medical aspects os sailing and windsurf. **Dtsche Z. Sportmed**, v. 44, p. 301-303, 1993.

ROESLER, H., HAUPENTHAL, A., FAQUIN, A. Desenvolvimento de técnica dinamométrica para mensuração do momento de escora em veleiros do tipo catamaran. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 10, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: SBB, 2003. v1. p. 399 – 402.

ROESLER, H., HAUPENTHAL, A., SCHUTZ, G. R.; PEREIRA, S. M. Proposição de método dinamométrico para avaliação da escora em atletas de iatismo em barcos tipo Catamaran, s/d. **No prelo**.

ROESLER, H.; SCHUTZ, G. R.; HAUPENTHAL, A.; MENEZES, F. S.. Método de instrumentação para análise de movimentos de velejadores da classe Laser. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 11, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBB, 2005.

SAUDERS, N. R.; BETHWAITE, F. D.; HABGOOD, M. D.; BINNS, J. Development of the virtual sailing dinghy simulator. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 112-116.

SCHAEFER, O. Injuries sustained in dinghy-sailing by beginners: an analysis. **Sportverletz Sportschaden**, v. 14(1), p. 25-30, 2000.

SCHMIDT, J. G. **Do optimist ao iate de oceano: tudo sobre vela**. Rio de Janeiro: Edições Marítimas, 1990. 284 p.

SCHOLZ, J. P. Reliability and validity of the WATSMART Three-dimensional Optoelectric Motion Analysis System. **Physical Therapy**, V. 69 (8), P. 679-90, August, 1989.

SCHUTZ, G. R, ROESLER, H., HAUPENTHAL, A.. Proposal of dynamometric method for evaluation of the hiking in sailing athlete, s/d. **No prelo**.

SCHÜTZ, G. R., ROESLER, H., HAUPENTHAL, A., BERTACCO, C. L., PEREIRA, S. M. Quantificação de movimentos em regata da classe Laser. In: Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 56, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2004.

SCHUTZ, G. R.; HAUPENTHAL, A., PEREIRA, S. M; ROESLER, H. Mechanical Efficiency Analysis of Hiking in Hobie Cat 16 Athletes, **The FIEP Bulletin**, v. 76, p. 309-312, 2006.

SCHUTZ, G. R.; HAUPENTHAL, A.; ROESLER, H. Método de instrumentação para análise de movimentos de velejadores em barcos do tipo Catamaran. **Acta do Movimento Humano**, v. 1 (2), 2005. *In press*.

SHEPHARD, R. J. Biology and medicine of sailing. **Sports Medicine (Auckland, NZ)**, v. 9(2), p. 86-99, 1990.

SHEPHARD, R. J. Biology and medicine of sailing. An update. **Sports Medicine (Auckland, NZ)**, v. 23(6), p. 350-356, 1997.

SJØGAARD, G. **Sailing & Science: in na interdisciplinary Perspective**. Institute of Exercise and Sports Science, University of Copenhagen, Denmark, 1999.

SLATER, G.; TAN, B. An assessment of dietary practices among club-level Laser class sailors. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 42-44.

SLEIGHT, S. **Manual de Navegação a Vela**. Porto: Civilização Editora, 1999. 320 p.

SOUZA, P. V. Estudo da marcha de crianças no ambiente aquático. **Dissertação de Mestrado**, UDESC, 2006.

SPALDING, T.; MALINEN, T.; TOMSON, M.; GOERTZEN, M.; SINCLAIR, R.; ALLEN, A. Analysis of medical problems during the 2001-2002 Volvo Ocean Race. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 47-50.

SPURWAY, N. C. The physiological challenge of hiking. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 1-18.

SPURWAY, N. C.; BURNS, R. Comparison of dynamic and static fitness-training programmes for dinghy sailors – and some questions concerning the physiology of hiking. **Medical Science Research**, v. 10(23), p. 865-867, 1993.

TAN, B.; AZIZ, A. R., SPURWAY, N.C.; TOH, C.; MACKIE, H.; WEI, X.; WONG, J.; FUSS, F. K., CHUAN, T. K. Determinants of maximal hiking performance in Laser sailors. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 25-30.

THOMAS, J. R., NELSON, J. K. **Research Methods in Physical Activity**. Champaign: Human Kinetics, 1996.

TILLMAN, D. **Laser Sailing for Beginners and Experts**. New York, Ziff-davis, 1975.

TOKI, S.; SAKURAI, S. Quantitative Match Analysis of Soccer Games with Two Dimensional DLT Procedures. In: **ISB XXth Congress - ASB 29th Annual Meeting**. Cleveland, Ohio, July 31 - August 5, 2005.

VALPORTO, O. **O iatismo**. Disponível em: <http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/artecult/esporte/modalesp/iatismo/apresent.htm>. Acessado em: 05-04-2005.

VANGELAKOUDI, A.; VOGIATZIS, I. Anaerobic capacity, isometric endurance and performance of greek Laser class sailors. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 77-81.

VOGIATZIS, I.; DE VITO, G.; MARCHETTI, M. The physiological responses of upwind versus downwind sail pumping on Olympic level windsurfers. In: HUMAN PERFORMANCE IN SAILING CONFERENCE, Auckland. **Conference Proceedings of...**, Auckland: 2003. p. 82-86.

VOGIATZIS, I.; ROACH, N. K.; TROWBRIDGE, E. A. Cardiovascular, muscular and blood lactate responses during dinghy 'hiking'. **Medical Science Research**, v. 10(23), p. 861-863, 1993.

VOGIATZIS, I.; SPURWAY, N.C; JENNETT, S.; WILSON, J.; SINCLAIR, J. Changes in ventilation related to changes in electromyograph ctivity during repetitivebouts

exercise in simulated dinghy. **European Journal of Applied Physiology**, v.72, p. 195-203, 1996.

VOGIATZIS, I.; SPURWAY, N. C.; WILSON, J.; BOREHAM, C. Assessment of aerobic of anaerobic demands of dinghy sailing at different wind velocities. **The Journal os Sports Medicine and Physical Fitnes**, v. 35(2), p. 103-107, 1995a.

VOGIATZIS, I.; SPURWAY, N. C.; WILSON, J.; SINCLAIR, J. The physiological demands of dinghy sailing. **The Scottish Sports Council, Research Report** v. 40, p. 1-37, 1995b.

VUOLO, A. F. **Fundamentos da Teoria dos Erros**. São Paulo. Edgard Blücher, 1996.

WALTON, J. S. Close-range cine-photogrammetry: A generalized technique for quantifying gross human motion. **Unpublished dissertation at the Pennsylvania State University**, 1981.

WENHAO, F.; JIANSONG L. I.; & LI, Y. CREATION OF DISTORTION MODEL FOR DIGITAL CAMERA (DMDC) BASED ON 2D DLT. In: **XXth ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) Congress**. Istanbul, Turkey, July, 2004.

WINTER, D. A. **Biomechanics and Motor Control of Human Movement**. United Satates of America: John Wiley & Sons, 1990.

WINTER, D. A. **Biomechanics and Motor Control of Human Movement**. United Satates of America: John Wiley & Sons, Third Edition, 2005.

WRIGHT, G.; CLARKE, J.; NIINIMAA, V.; SHEPHARD, R. J. Some reactions to a dry-land training programme for dinghy sailors. **British Journal os Sports Medicine**, v. 10(1), p. 4-10, 1976.

YANAI, T.; HAY, J. G.; GEROT, J. T. Three-dimensional videography of swimming with panning periscopes. **Journal of Biomechanics**, v. 29 (5), p. 673-78, 1996.