

Capítulo 4

Desenvolvimento do Sistema

4.1. Introdução

Neste capítulo serão mostradas, detalhadamente, as etapas de desenvolvimento do SABIO. Conforme descrito no capítulo anterior, o sistema proposto foi dividido em duas partes principais: *hardware* e *software*.

4.2. Unidades de *hardware*

As unidades de *hardware* do sistema são compostas por:

- Suporte móvel;
- Câmeras de vídeo;
- Caixa estanque a prova d'água;
- Sistema de estímulo visual;
- Marcadores externos e internos.

4.2.1. Suporte Móvel

A princípio foi desenvolvido um suporte com tubos de PVC semelhante ao do sistema da *Total Performance Inc*, chamada *Power Cam*TM (Figura 4.1). Porém, o equipamento projetado (Figura 4.2) não apresentou resistência para suportar o empuxo de uma câmera

com dimensões maiores do que uma *webcam*. Ao empurrá-lo, o braço, onde deveria ficar a filmadora inferior, sofria deformações e isto prejudicaria a captura das imagens, sendo obtidas em ângulos diferentes daqueles esperados e propostos para análise. Provavelmente a estrutura de pvc da *Total Performance* não sofria deformações porque a *Power Cam™* utiliza uma *webcam* para filmar.



Figura 4.1. Power Cam™ [100].

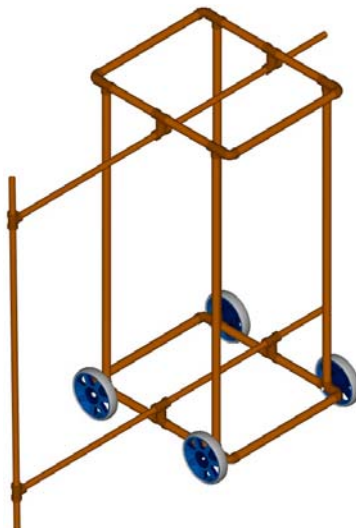


Figura 4.2. Projeto do suporte em PVC.

Então projetou-se e desenvolveu-se outro protótipo, com suporte rígido para suportar o peso da câmera superior e o empuxo causado pela caixa estanque presa ao seu “braço”

dentro da água, e ao mesmo tempo leve para que possa ser conduzido sem muito esforço pelo indivíduo que irá empurrá-lo.

Como o suporte corre na beira da piscina e não por dentro da água, não seria necessário escolher um material antioxidante para a construção do protótipo. Para tanto este foi desenvolvido com *metalon* (Figura 4.3) e pintado com tinta esmalte para proteção e maior durabilidade do material caso este tenha contatos ocasionais com a água durante seu funcionamento. O *metalon* foi escolhido por ser rígido, apresentar peso e estabilidade necessária para suportar as cargas sem sofrer deformações, além de ter um custo inferior do que algum outro material que poderia também ser aproveitado, como o aço, por exemplo.



Figura 4.3. Construção do suporte de *metalon* sem pintura.

As medidas das bases do suporte foram escolhidas de acordo com a estabilidade. Neste sentido, a base inferior possui 50cm x 50cm, a do meio, 46,5cm x 46,5cm e a superior, 40cm x 40cm. A inferior e a do meio possuem a função de ajustar as distâncias do braço do suporte. A superior serve para apoio de câmera, para tanto, foi feito um protetor em EVA para a câmera, em amarelo na Figura 4.4. Este material foi escolhido por ser relativamente poroso por reduzir os impactos que a filmadora pudesse sofrer durante os testes e ao mesmo tempo, resistente, mantendo-a estável e alinhada.



Figura 4.4. Foto do suporte demonstrando as bases e a estrutura de EVA na superior.

Como as piscinas diferem em tamanho, em distância da borda até a superfície da água, em piso, entre outros fatores, o comprimento dos braços do suporte pode ser ajustado para regular a profundidade da filmadora dentro da caixa estanque, bem como a distância desta ao suporte. (Figura 4.5)

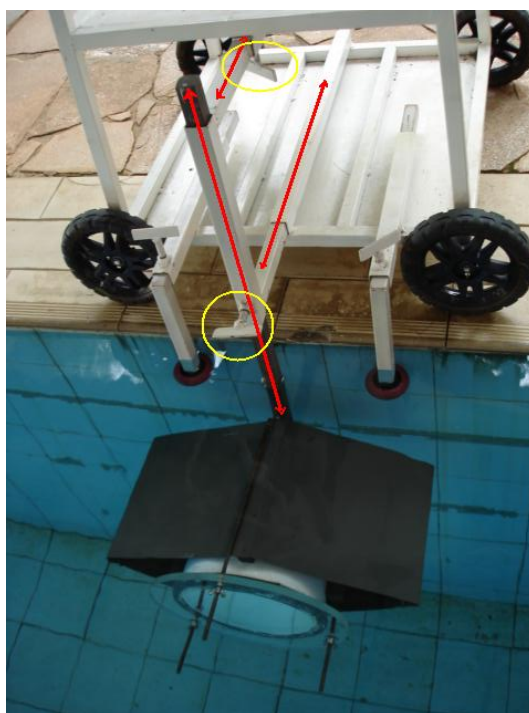


Figura 4.5. As setas vermelhas indicam os ajustes do braço, o horizontal (distância da caixa estanque até o suporte) e o vertical (profundidade da caixa), os círculos amarelos indicam os parafusos que mantêm o braço imóvel após o ajuste.

Para o deslocamento da estrutura descrita anteriormente, foram usadas rodas de carrinho de bebê. Outras de tamanhos especiais, possivelmente, teriam um custo mais elevado se comparado com as mesmas, porém, é necessário analisar o modelo da roda de carrinho, já que um raio maior proporciona maior facilidade no deslocamento. As primeiras rodas testadas não apresentaram um bom desempenho, o esforço que o condutor fez ao empurrar o suporte foi considerável. Em nados mais rápidos, o indivíduo não conseguia acompanhar a velocidade de nado do atleta.

Como o suporte percorre horizontalmente na lateral da piscina, as rodas foram colocadas num eixo fixo sem articulação, desta forma, o suporte somente se desloca em linha reta (Figura 4.6).



Figura 4.6. Foto do eixo soldado na estrutura e sem articulação.

Ao empurrar o suporte móvel, a pessoa poderia aplicar mais força de um lado da estrutura, isto causaria um desvio do caminho paralelo à borda da piscina, conseqüentemente, poderia variar também o ângulo das câmeras que capturariam imagens não perpendiculares, gerando assim, erros na aquisição dos dados. Pensou-se então em construir um trilho para que este tipo de problema não ocorresse, porém, uma solução bem mais simples foi encontrada. Duas pequenas rodas de patins *roller* foram adaptadas, paralelas entre si a uma distancia de 30cm uma da outra, na lateral da base inferior do suporte, posicionadas para baixo (Figura 4.7), a fim de girarem na lateral interna da piscina para manter o suporte se deslocando em linha reta, sem distorções angulares nas filmagens. Desta forma, mesmo que ocorresse algum desvio por parte do condutor, estas rodas de patins impediriam a ocorrência do erro.

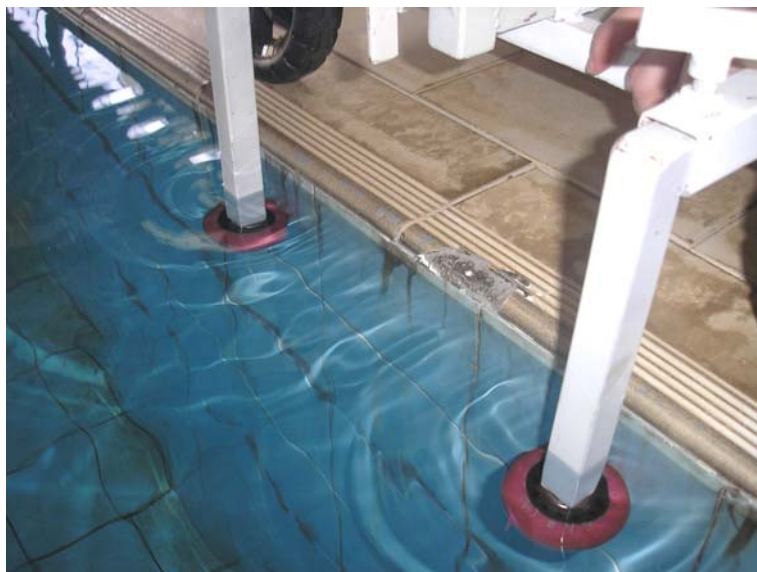


Figura 4.7. Rodinhas de patins.

4.2.2. Câmeras de Vídeo

A câmera que filma a fase aérea do nado é a JVC GX-DV 300U, disponível no laboratório de Biomecânica da Faculdade de Educação Física da Universidade Federal de Uberlândia. A filmadora que fica na caixa estanque é a Panasonic PV GS-150 (Figura 4.8).



Figura 4.8. Filmadora Panasonic PV GS-150 com dimensões de 71mm de largura, 73mm de altura e 123mm de extensão.

A caixa, como será discutido adiante, não poderia ter um tamanho grande para suportar a JVC, por causa da força de empuxo provocada no suporte móvel e aumento na dificuldade de arrasto do mesmo. No entanto, ambas as câmeras podem ser usadas para captura de

imagens de diversas modalidades esportivas, pois permitem ao usuário alterar o tempo de abertura do obturador (*shutter*).

Para a captura de movimentos mais rápidos em determinados esportes, é preciso diminuir o tempo de abertura para o dispositivo CCD (*Charge Coupled Device*) capturar as imagens com maior nitidez. O CCD está presente nas câmeras digitais, consiste em um dispositivo ótico que detecta energia luminosa e codifica em impulsos eletrônicos correspondentes (da mesma forma que um *scanner*). As câmeras descritas neste trabalho possuem 3CCDs para melhor qualidade das imagens. Os CCDs produzem ruídos em altas temperaturas, como as do nosso ambiente, saturando as imagens com ruído quando o tempo de exposição aumenta.

Neste trabalho, as análises foram feitas por imagens capturadas a uma frequência de 60Hz. De acordo com [101] a frequência de 60Hz fornece uma resolução temporal suficiente para grande número de análises biomecânicas.

4.2.3. Caixa Estanque

Existem caixas para mergulho e sacolas a prova d'água disponíveis para compra no mercado. A *Sony* dispõe da maior variedade de tipos de caixas, porém, cada uma é específica para um modelo de câmera e possuem custos elevados, como a *Sport Pack* (Figura 4.9) [102].



Figura 4.9. Caixa de Mergulho *Sport Pack* da *Sony*.

A empresa *Croma*, no entanto, fabrica uma caixa estanque compatível com várias câmeras de vídeo (Figura 4.10), porém, o valor continua sendo elevado [103].



Figura 4.10. Caixa Estanque *Croma*.

As sacolas (Figura 4.11), apesar de terem um custo bem menor [104], são maleáveis e qualquer flexão do plástico frente à lente da câmera poderia gerar uma distorção da imagem. Elas são normalmente utilizadas para armazenar documentos e máquinas fotográficas.



Figura 4.11. Sacola a prova d'água.

Baseado nestas características criou-se uma caixa estanque a base de um tubo de pvc de 200mm de diâmetro. Uma das extremidades foi vedada com vidro de 8mm de

espessura, cortado do mesmo tamanho da circunferência do tubo e o silicone para fixação do vidro (Figura 4.12).



Figura 4.12. Tubo de pvc usado para construção da caixa estanque.

Na outra extremidade, como deveria ser móvel para abertura e introdução da câmera dentro da caixa, foi projetada uma tampa de acrílico transparente, com espessura de 10mm, para o perfeito encaixe (Figura 4.13).

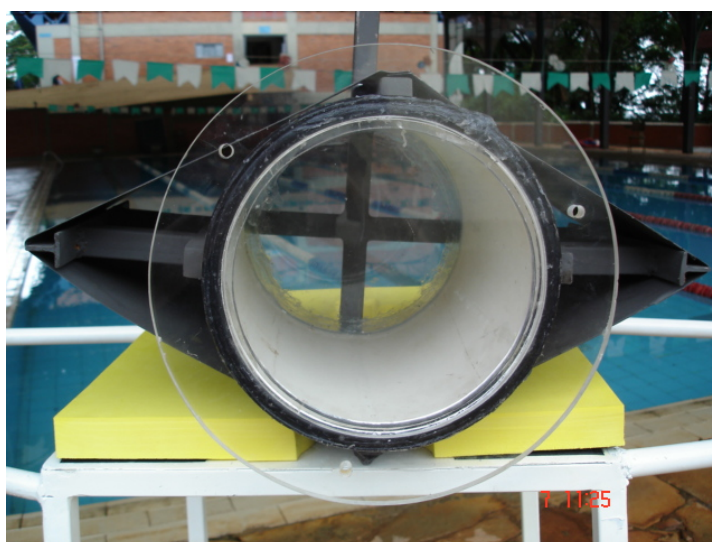


Figura 4.13. Tampa de acrílico.

Uma borracha foi posta na borda do tubo para dar pressão ao encaixar a tampa de acrílico e não permitir a entrada de água (Figura 4.14).



Figura 4.14. Borracha para vedação da tampa.

A tampa poderia desencaixar no movimento do suporte, neste sentido, colocou-se três parafusos, distanciados 120° entre si, para pressionar a tampa contra a borracha (Figura 4.15), assegurando a vedação por completo. Para apoiar a câmera dentro do tubo, de modo que a filmadora ficasse alinhada e imóvel, um suporte com material chamado *EVA* foi instalado (Figura 4.16).

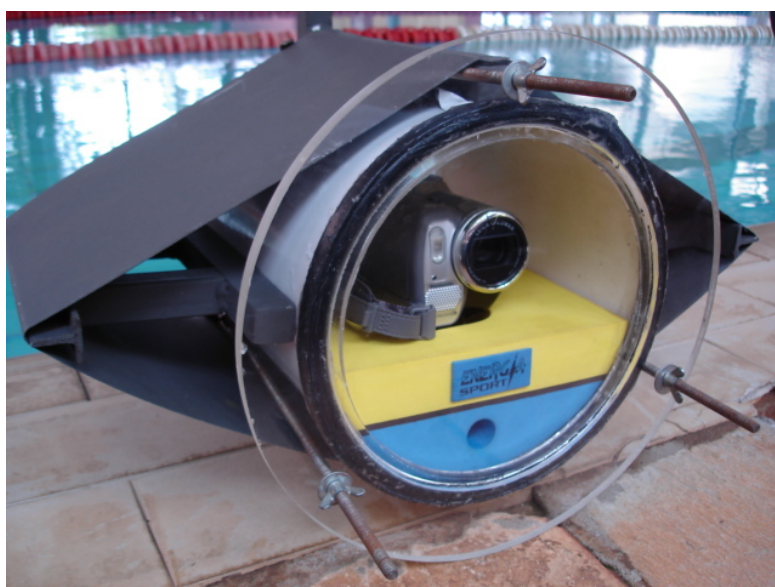


Figura 4.15. Tampa vedada com parafusos distanciados 120° entre si.



Figura 4.16. Suporte em EVA desenvolvido especialmente para encaixe da câmera

Como a caixa não atingirá profundidades elevadas não houve a preocupação com a pressão hidrostática, pois esta seria praticamente desprezível, considerando a profundidade máxima que poderia atingir e o volume de água na qual seria submersa, ou seja, a caixa ficaria apenas entre 15cm a 30cm abaixo da superfície da água e dentro de uma piscina que poderia ser de 25m x 12,5m com variação de 1,30m a 1,80m de profundidade ou de 50m x 25m com 2m de profundidade.

Um modelo semelhante foi desenvolvido para mergulho em mar (Figura 4.17), onde o autor deste protótipo atingiu uma profundidade de 15m e obteve um bom resultado [105].



Figura 4.17. No detalhe em amarelo, caixa estanque projetada para mergulho em mar [105]. Para reduzir a força de atrito com a água, ao redor do tubo colocou-se uma estrutura em forma

de losango que facilita a passagem do fluxo da água durante os deslocamentos laterais da câmara subaquática (Figura 4.18).



Figura 4.18. Estrutura ao redor da caixa, pontiaguda nas laterais para facilitar a passagem do fluxo da água.

4.2.4. Sistema de Estímulo Visual microcontrolado

Este sistema divide-se em:

- Mangueira;
- Blocos de peso;
- Lâmpadas automotivas;
- Fios;
- Circuito com microcontrolador.

4.2.4.1. Mangueira

Consiste em uma mangueira cristal de 5cm de diâmetro e 30m de comprimento. Fica disposta ao longo do fundo da piscina de 25m entre as raias (Figura 4.19). Por dentro dela passam as lâmpadas e os cabos para transmissão de energia e acionamento das mesmas (Figura 4.20).



Figura 4.19. Sistema de estímulo visual em funcionamento.



Figura 4.20. Lâmpada conectada aos fios por dentro da mangueira

4.2.4.2. Blocos de peso

São oito blocos de concreto retangulares com medidas de 30cm de comprimento, 20cm de largura e 15cm de altura (Figura 4.21). Na base inferior de cada bloco, há um espaço semicircular de 8cm de diâmetro, este espaço é utilizado para encaixar a mangueira segurando-a no fundo da piscina, já que esta, além das lâmpadas e fios, possui um volume de ar por dentro que facilita sua flutuação.

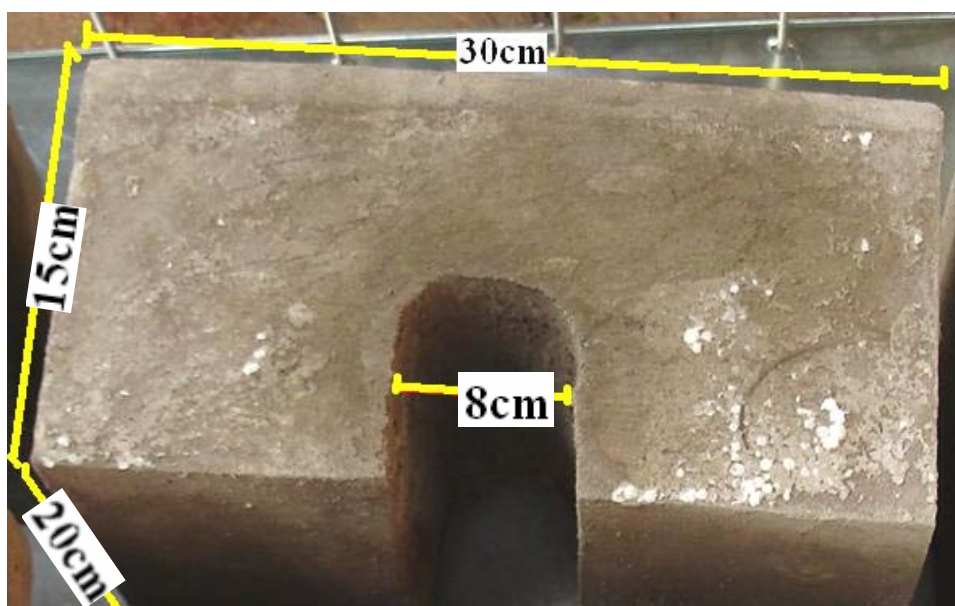


Figura 4.21. Vista lateral do Bloco de Peso

4.2.4.3. Lâmpadas automotivas

A escolha por lâmpadas automotivas se deve ao fato de que estas não promovem risco à saúde do atleta por requererem uma baixa potência, inofensiva ao ser humano. Portanto, não haverá risco caso aconteça, por exemplo, de alguma corrente passar pela água por algum furo na mangueira.

Ao todo, são dez lâmpadas colocadas dentro de capas protetoras que auxiliam na distribuição da luz e promovem a cor vermelha para facilitar a visualização dentro da água (Figura 4.22). Para acionamento das mesmas, foram usados fios e bateria automotiva (Figura 4.23). As lâmpadas ficam a 2m de distância uma da outra, sendo que a primeira e a última lâmpada estão a 3,5m de distância até a borda de saída e de virada, respectivamente.



Figura 4.22. Lâmpada automotiva dentro da capa protetora vermelha.



Figura 4.23. Fios e bateria automotiva usada para alimentação das lâmpadas e do circuito.

4.2.4.4. Fios

São cerca de duzentos metros utilizados, considerando que são necessários onze fios de energia, ou seja, um fio para cada lâmpada e mais um para o terra. Cada cabo possui um tamanho diferente, pois cada lâmpada está disposta em uma determinada posição na mangueira. O fio da primeira lâmpada possui cerca de 8m, o da segunda, 10m, o da terceira 12m e assim sucessivamente até a décima lâmpada e o terra, ambos com 26m, totalizando 196 metros. Nestes valores estão considerados alguns metros a mais de cabo para a distância do fundo da piscina até o circuito do lado de fora (Figura 4.24).



Figura 4.24. Fios saindo da mangueira até o circuito com a bateria.

4.2.4.5. Circuito com microcontrolador

Para construção e desenvolvimento do circuito (Figura 4.25) para controle de acendimentos das lâmpadas através da mangueira, foram usados os seguintes itens:

- Microcontrolador PIC16F877[®];
- Fonte 5V,12V(2A);
- Microcomputador padrão IBM-PC para plataforma de desenvolvimento;
- MPLAB[®] ambiente integrado de desenvolvimento;
- Compilador C para o PIC;
- Osciloscópio;
- Teclado Matricial;
- *Display* LCD;
- Dez Relés;
- Bateria 12V;
- Estação de solda padrão

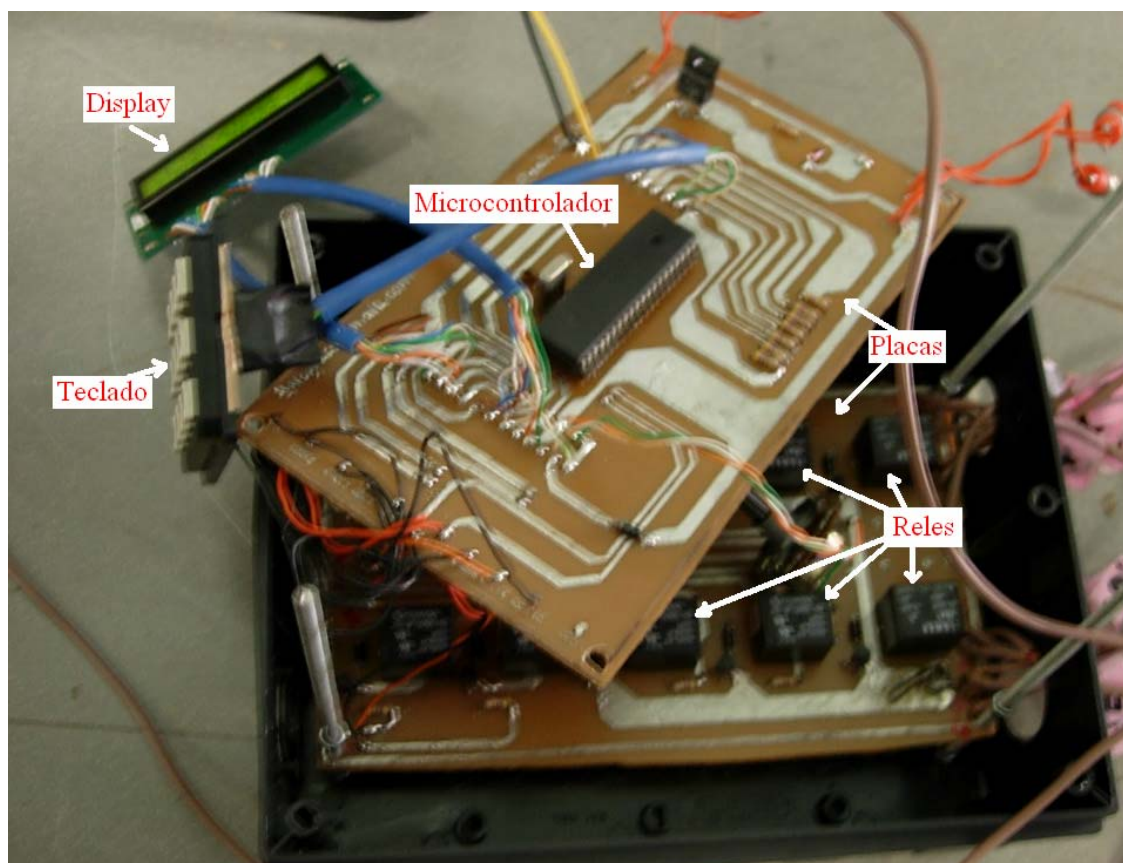


Figura 4.25. Circuito com todos os componentes

Inicialmente o protótipo foi montado no *protoboard* e posteriormente foi passado para uma placa de circuito impresso. A linguagem de programação utilizada para o PIC foi C, e para compilar o programa foi utilizado o Compilador C. O controle do PIC e o desenvolvimento das placas foram feitos por alunos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, bolsistas do projeto de CNPq aprovado pela nossa equipe.

O teclado e o *display* são utilizados para digitar e visualizar dados, respectivamente, o botão vermelho é para reiniciar o sistema (Figura 4.26). Ao iniciar, o *display* exibe uma tela com três dados (1 Velocidade, 2 Tempo, 3 N° Voltas) para escolha (Figura 4.27), apertando a tecla “1” é possível especificar a velocidade no qual o treinador deseja que o atleta nade (Figura 4.28). Feito isso, pode-se clicar na tecla “2” para colocar o tempo que o nadador deverá percorrer (Figura 4.29) e na tecla de número 3, o número de voltas a serem dadas pelo mesmo na piscina (Figura 4.30), ou seja, o atleta deverá acompanhar o acendimento das lâmpadas em uma determinada velocidade por um determinado tempo,

especificados pelo técnico (Figura 4.31). Após o treino do atleta, os dados armazenados no PIC podem ser transferidos ao computador por porta paralela ou serial para que possam ser comparados e analisados no *software*.



Figura 4.26. *Display, teclado e botão reset.*



Figura 4.27. *Display para visualização dos dados de treinamento.*