

EDUARDO SAKAKIBARA
LUIZ EUGÊNIO MACCA
PEDRO HENRIQUE DA CRUZ MATHIAS

b, b (sus e sus)

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'A' followed by a large, sweeping loop.

**VEÍCULO OPERADO REMOTAMENTE PARA
TRABALHOS EXPLORATÓRIOS E DE
VERIFICAÇÃO
- VORTEX -**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de graduação em Engenharia

SÃO PAULO

2001

EDUARDO SAKAKIBARA
LUIZ EUGÊNIO MACCA
PEDRO HENRIQUE DA CRUZ MATHIAS

**VEÍCULO OPERADO REMOTAMENTE PARA
TRABALHOS EXPLORATÓRIOS E DE
VERIFICAÇÃO
- VORTEX -**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de graduação em Engenharia

Área de Concentração :
Engenharia Mecatrônica e de Sistemas
Mecânicos

Orientador :
Prof. Dr. Nicola Getschko

SÃO PAULO

2001

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer as seguintes pessoas:

Ao Prof. Dr. Nicola Getschko, pela orientação, valioso aconselhamento e autonomia concedida.

Aos ex-alunos Eduardo Aoun Tannuri, Mathias Juan Perazzo e Paulo Cezar Debenest pela referência e acompanhamento nas atividades.

Ao aluno e colega de turma Thiago de Castro Martins, pelas valiosas idéias e alternativas de implementação e pela ajuda na construção do protótipo.

Ao pessoal da oficina do Departamento pelo auxílio prestado, acompanhamento na construção do protótipo e pelas aulas sobre estilo de vida.

À TIGRE Tubos e Conexões pela doação de componentes necessários na etapa inicial do projeto.

DEDICATÓRIA

Luiz:

À toda minha família, mas em especial à minha mãe, Silvia Lúcia Zagati Macca, que não poupou esforços durante a sua vida para oferecer-me condições ideais a uma formação sólida e de princípios.

Eduardo:

Aos meus pais, Sigeo e Toshie, à minha esposa Cristiene e aos meus filhos Raquel e Gabriel.

Pedro:

Aos meus amados pais, colegas acadêmicos Eduardo e Luiz e professor Nicola, que tornaram este projeto possível.

RESUMO

A meta deste trabalho é projetar e implementar um veículo submarino motorizado para captura de imagens sub-aquáticas para uso em necessidades específicas frequentes neste ambiente e também atividades de lazer, o VORTEX. Para isto tal veículo será equipado com uma câmera de vídeo, para captura da imagem, lâmpada para iluminação do ambiente explorado, além dos motores para propulsão.

São previstos para o deslocamento espacial do veículo três graus de liberdade, a variação do ângulo de direção (plano X-Y) e deslocamento no eixo Z. Adicionaremos ainda um grau de liberdade à câmera que, para melhor cobertura da superfície observada, terá seu ângulo X-Z variável (figura 1).

São atividades que o veículo deve realizar, a checagem visual do casco, âncoras e conjunto eixo-hélice de embarcações a procura de avarias e problemas, avaliação periódica de instalações marinhas fixas, como cais e poitas (blocos submersos de concreto com arcos de metal, mantidos a uma certa distância da costa para ancoragem de barcos), além é claro da observação do leito marinho.

Outras possíveis aplicações deste produto seriam na área de pesquisa científica submarina, observação de ecossistemas marinhos e suas inter-relações, atividades de estudo do leito oceânico, etc.

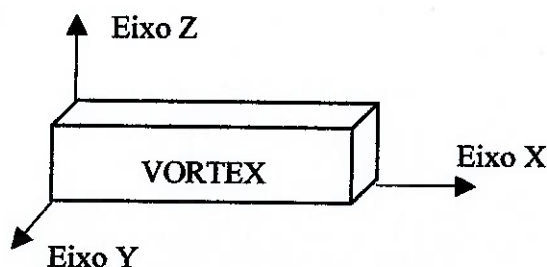


Figura 1 - Sistema de eixos do VORTEX

ÍNDICE

1	Projeto e Construção de um Veículo Submarino Operado Remotamente	1
1.1	Introdução	2
2	Estudo de Viabilidade	4
2.1	Estabelecimento da Necessidade	5
2.2	Formulação do Projeto	6
2.2.1	Características funcionais	6
2.2.2	Características Operacionais	8
2.2.3	Características Construtivas	9
3	Síntese de Soluções	10
3.1	Abordagem do trabalho	11
3.1.1	Alternativas operacionais	12
4	Projeto do Protótipo	13
4.1	Detalhamento das alternativas – Estrutura Externa	14
4.1.1	Forma	14
4.1.2	Material	16
4.1.3	Flutuabilidade	21
4.1.4	Submersão & Manobra	23
4.1.5	Propulsão	30
4.1.6	Propulsores	32
4.1.7	Iluminação	34

4.1.7	Iluminação	35
4.1.8	Cúpula dianteira.....	36
4.2	Detalhamento das alternativas – Estrutura Interna	37
4.2.1	Estrutura Interna	37
4.2.2	Sistema de Alimentação da Câmera de Vídeo.....	39
4.2.3	Geometria dos elementos estruturais	40
4.2.4	Sistema de estabilização Estática.....	41
4.2.5	Conexões e elementos de transmissão de sinais	43
4.2.5	Manipulação da Estrutura Interna.....	43
4.2.6	Seleção dos Materiais	43
4.2.7	Captura de imagens.....	44
4.3	Detalhamento das alternativas – Sistema de Controle.....	45
4.3.1	Transmissão de controle	45
4.3.2	Projeto do controle.....	47
4.3.3	Circuito de Controle.....	49
5	– Conclusões	50
6	- Bibliografia.....	53

1 Projeto e Construção de um Veículo Submarino Operado Remotamente

1.1 Introdução

Um R.O.V. (*Remote Operated Vehycle*), do inglês, veículo operado remotamente é um veículo com uma determinada função, tal como prospecção marítima, desarmamento de bombas, manipulação de materiais em locais perigosos (vulcões, etc.), entre outras que tem como principal característica o controle à distância, oferecendo ao operador condições seguras de trabalho.

A operação à distância é uma característica muitas vezes indispensável principalmente quando a vida de pessoas está em risco, porém em certas aplicações o conforto do operador é o objetivo do emprego destes veículos.

Em aplicações marítimas, como por exemplo, na procura de avarias nos cascos de embarcações, problemas com âncoras enroscadas, verificação de objetos presos ao eixo, ou outros problemas que fariam com que fosse necessário um mergulho, seria possível a utilização de um veículo operado à distância de dentro da embarcação, facilitando assim a realização de tais operações.

Este trabalho de formatura consiste no desenvolvimento de um veículo submarino operado à distância, capaz de se deslocar no meio aquático captando imagens submarinas e as transmitindo para um monitor junto ao operador. A idéia principal é facilitar atividades frequentes de verificação e exploração do meio submarino, com um veículo de pequeno porte e baixo custo.

O trabalho consiste de várias partes onde foram aplicados conhecimentos de várias áreas pertencentes à engenharia, entre outra:

- Mecânica dos fluidos
- Motores elétricos e suas características
- Propriedades mecânica dos materiais
- Processos e técnicas de fabricação

Seguindo o procedimento padrão em um projeto de engenharia, este projeto foi dividido em algumas etapas: Estudo de Viabilidade, Projeto Básico e Construção do protótipo.

Na primeira etapa foi realizada a análise do problema com o objetivo de conhecer os fatores relevantes no desenvolvimento do trabalho e estabelecer seus requisitos iniciais. Em seguida, iniciou-se o desenvolvimento de alternativas para a solução do problema.

Posteriormente, já no Projeto Básico, foi feito um refinamento no conjunto de soluções, procurando apenas considerar as alternativas que fossem exequíveis dentro dos objetivos do projeto. Como última tarefa desta etapa foi feita a escolha pelas alternativas mais adequadas, baseadas nos testes realizados em sub-sistemas construídos para este fim.

Finalmente, foi iniciada a construção do protótipo, que fora, para melhor eficiência, dividida em três frentes:

1. Estrutura Externa
2. Estrutura Interna
3. Sistema de Controle.

2 Estudo de Viabilidade

2.1 Estabelecimento da Necessidade

Como dito, em muitas situações seria interessante ter uma maneira de verificar componentes submersos sem a necessidade de se realizar mergulhos.

Usuários de barcos de pequeno e médio porte, freqüentemente se defrontam com as necessidades enumeradas a seguir:

- Checagem visual do casco a procura de avarias
- Conferência das condições das âncoras em caso de dificuldade no recolhimento
- Verificação da existência de objetos estranhos presos ao eixo do hélice em caso de mau funcionamento
- Avaliação periódica de instalações marinhas fixas, como cais e poitas

Além destes motivos, um outro que nos levou a direcionar nosso estudo a esta área foi a possibilidade de se realizar explorações e de conhecer as características do leito marinho, flora e fauna de uma posição segura e confortável, sem se expor aos perigos e dificuldades inerentes à atividade.

2.2 Formulação do Projeto

Antes de iniciar a procura de alternativas para o projeto, é necessário que o problema a ser atendido pelo produto seja totalmente identificado. Após esta descrição do problema com precisão suficiente é que poderemos começar a pensar nas soluções. A definição dos requisitos funcionais, operacionais e contrutivos será então a parte inicial deste projeto e parte indispensável para as etapas posteriores.

2.2.1 Características funcionais

2.2.1.1 Desempenho

O VORTEX deve ser capaz de atingir profundidades próximas a 10 metros sem prejuízo para sua estrutura ou estanqueidade. A imagem gerada não deve sofrer influências no mergulho e sua manobrabilidade deve garantir a facilidade de controle e posicionamento mesmo em condições de grande correnteza.

2.2.1.2 Conforto visual

As vibrações introduzidas ao sistema pelas partes móveis, que provocariam vibrações na imagem e consequente desconforto visual para o operador deverão ser minimizadas.

2.2.1.3 Segurança

A necessidade de se utilizar energia elétrica para alimentação e envio dos sinais da câmera para o monitor traz grandes riscos para o conjunto uma vez que todo o conjunto trabalhará imerso durante praticamente todo o tempo em água salgada, ambiente desfavorável para componentes eletrônicos, por ser altamente condutor. Portanto a estanqueidade do conjunto deve ser projetada com a finalidade de assegurar um volume pequeno de vazamentos internos durante um certo período de tempo, que será estipulado com base no tempo médio estimado de utilização do produto.

O protótipo não deve possuir partes cortantes expostas ou que ponham em risco o usuário durante a operação ou transporte.

2.2.1.4 Transporte

O desenho externo do protótipo deve facilitar ao máximo o transporte do conjunto. Modularização (corpo, cabos e controles desconectáveis) também é uma característica desejável.

2.2.2 Características Operacionais

2.2.2.1 Durabilidade

A durabilidade do VORTEX deve ser de no mínimo 1 ano.

Os componentes externos devem ser resistentes à corrosão.

O VORTEX deve suportar pressões maiores que as de operação; como medida de segurança e ainda ser resistente a choques, com reforços em pontos sensíveis.

2.2.2.2 Confiabilidade

As câmaras devem ser estanques, evitando a entrada de água nos compartimentos, principalmente o que abrigará a câmera.

2.2.2.3 Campo de observação

O campo de observação da câmera deve ser amplo, evitando manobras desnecessárias para observação.

Pelas características da observação, o VORTEX deverá ser capaz de, parado, fornecer imagens de objetos acima e abaixo deste, sem a necessidade de deslocamentos.

2.2.3 Características Construtivas

2.2.3.1 Velocidade de deslocamento - 1m/s

A velocidade do VORTEX deve ser superior às velocidades da corrente marinha observada na costa brasileira (inferiores a 1m/s), para poder, pela sobreposição de velocidades, manter-se com velocidade relativa nula em relação ao objeto observado. Além disto, uma velocidade de 1m/s corresponde à aproximadamente 3 vezes a velocidade de deslocamento de um ser humano na água, o que diminuiria o tempo gasto nas atividades de verificação feitas com o veículo .

2.2.3.2 Profundidade máxima - 30 m

A profundidade a ser atingida não deve ultrapassar os 10 metros, já que os cascos de barcos possuem um calado da ordem de metros e as instalações submersas, como as poitas, se encontram a menos de 10 metros de profundidade. É importante citar que na observação do leito marinho pode-se desejar atingir maiores profundidades, o que deve ser previsto no projeto.

2.2.3.3 Espaço físico e peso

Uma característica importante deste VORTEX deverá ser seu tamanho otimizado. Peso e medidas máximas foram estipuladas para que o transporte e manuseio do veículo fora da água não fosse de grande dificuldade para o usuário.

Peso	máximo de 15kg
Dimensões máximas	
Comprimento	500mm
Largura	500mm
Altura	500mm

3 Síntese de Soluções

3.1 Abordagem do trabalho

Com algumas características do projeto definidas, faz-se necessário coletar alternativas de soluções para as necessidades.

A combinação adequada de componentes existentes será a grande característica do projeto, não sendo aguardadas novos métodos de abordagem do tema ou invenções, o importante é que a funcionalidade e exequibilidade final do projeto seja assegurada de qualquer maneira.

Foram identificados pontos principais do projeto, pontos onde existem alternativas de solução. As alternativas foram consideradas tanto individualmente, procurando a melhor configuração para um veículo que suprisse a necessidade quanto em conjunto para que fosse assegurado o acoplamento das diferentes alternativas ao final do projeto.

Devido à grande quantidade de pontos a serem estudados, o projeto foi dividido em três frentes. O detalhamento das alternativas para cada tópico relativo às diferentes frentes foi feito a seguir assim como a escolha pela melhor alternativa.

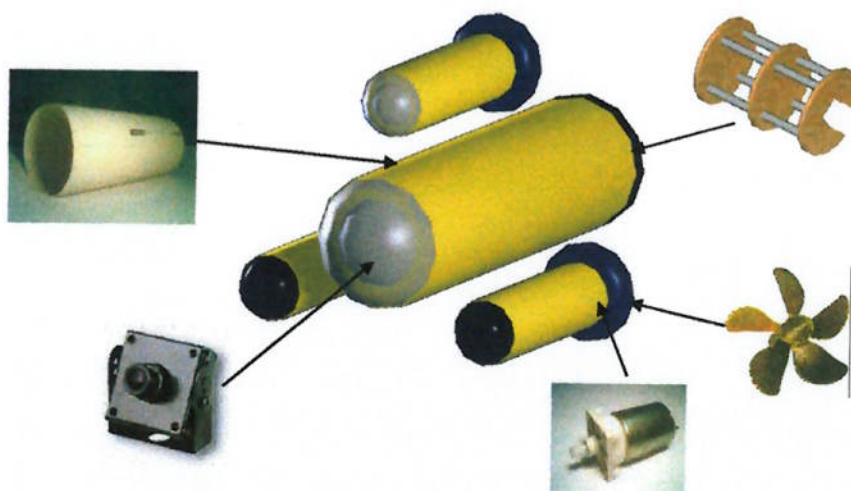


Figura 2 - Tópicos do projeto

3.1.1 Alternativas operacionais

Frente 1 – Estrutura Externa

Forma:	Cilíndrica, esférica ou formato de gota
Material:	PVC, metal ou fibra de vidro
Flutuabilidade:	Neutra, positiva ou negativa
Manobrabilidade:	Lemes ou disposição dos motores
Submersão:	Terceiro hélice, tanque de flutuação ou flaps
Propulsão:	Jatos de água ou ar; motores DC 12V ou AC 110V
Propulsores:	Número de pás, apêndices, etc
Iluminação:	Número de lâmpadas, cor, potência, etc

Frente 2 – Estrutura Interna

Estrutura interna	Desenho da melhor alternativa
Estabilização estática	Adição de massas, acionamentos de motores, etc
Captura de imagens:	Tipos de câmera, definição, etc
Movimentação da câmera	Tipo de mecanismos adequados

Frente 3 – Sistema de Controle

Transmissão do Controle:	Cabo ou ondas de rádio
Controle (Joystick):	Alternativas construtivas

4 Projeto do Protótipo

4.1 Detalhamento das alternativas – Estrutura Externa

4.1.1 Forma

Uma das primeiras decisões a ser tomada é a da forma escolhida para o VORTEX.

Observando as tabelas 1 e 2, derivadas de [BREUER] e [HOERNER], percebe-se que a frente de ataque é uma característica bastante importante no estudo do deslocamento do veículo, dependendo basicamente deste parâmetro fatores como força resistiva ao deslocamento e consequentemente a potência dos motores, etc.

Körper	Anströmung	C_W
Kreisplatte		1,17
Kugel		0,47
Halbkugel		0,42
60° Kegel		0,50
Würfel		1,05
Würfel		0,80
Kreiszylinder $L/D > 2$		0,82
Kreiszylinder $L/D > 1$		1,15
Stromlinienkörper $L/D = 2,5$		0,04
Halbkreisplatte am Boden		1,19
Halber Stromlinienkörper am Boden ($L/D = 2,5$)		0,09

Tabela 1 - Resistência ao deslocamento no ar para formas

É interessante que se faça uma análise comparativa entre as possíveis alternativas possíveis citadas anteriormente: forma cilíndrica, esférica e formato de gota. Podemos, então, aplicar os diferentes coeficientes de arrasto das tabelas acima para uma condição qualquer de trabalho (Velocidade = 1 m/s, diâmetro do módulo de 100 mm) obtemos o gráfico da página seguinte (Gráfico1)

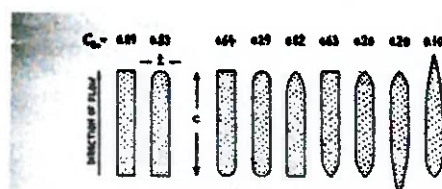


FIGURE 4. Trainée de différentes formes (7 a) dans un écoulement à deux dimensions, remorquées dans l'eau (entre des plaques d'extrémité):

$c \approx 1$ ft,
 $V = 12$ ft/sec,
 $R_e \approx 10^6$, $c/t = 6$.

Tabela 2 - Coeficientes de arrasto

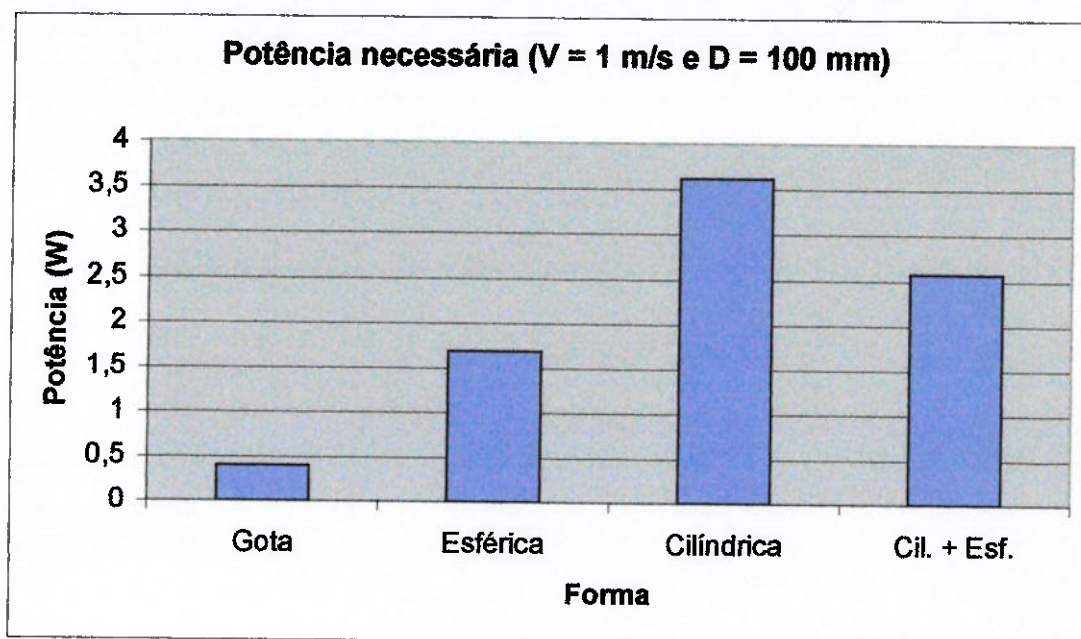


Gráfico 1 - Influência da forma

Nota-se as características favoráveis do formato em gota e do formato esférico. Faz-se importante notar, porém, que tais perfis, pelas suas características geométricas, apresentam dificuldades na implementação de sistemas internos.

O formato em gota introduziria dificuldades de construção do casco, enquanto a montagem esférica traria dificuldades de alocação de motores, estabilidade direcional e construção, além da impossibilidade de se aumentar o volume sem que se alterasse significativamente o arrasto, já que este depende diretamente da área de ataque do veículo.

Portanto foi escolhido um cilindro com uma cúpula na extremidade anterior, que possui um desempenho relativamente superior ao cilindro com frente plana (gráfico 1).

Em um cilindro, temos espaço para abrigar componentes eletrônicos, uma possível bateria de segurança, além de possuir um valor para o coeficiente de arrasto razoavelmente baixo e, como dito, a possibilidade de se aumentar o volume interno sem que sejam alterados os valores do arrasto hidrodinâmico.

A cúpula anterior, além de contribuir para a diminuição do coeficiente de arrasto, será de material transparente e abrigará a câmera de vídeo, que assim terá seu campo de atuação ampliado.

Um fator que foi considerado na escolha do formato do veículo, como foi dito, foi a disponibilidade deste. A facilidade de encontrarmos objetos da forma escolhida de diversos materiais foi de grande peso na escolha da configuração final.

4.1.2 Material

Fixada a forma externa do VORTEX temos algumas opções na escolha dos materiais. Um fator importante, que foi considerado nesta seleção, foi a exequibilidade das alternativas, assim alguns materiais foram descartados logo de início, por se mostrarem de difícil implementação no projeto.

Assim, dos materiais considerados, foram pré-selecionados:

PVC :

Resistência à corrosão

Alta resistência mecânica

Facilidade de fabricação e usinagem

Metais :

Dificuldade de montagem e fabricação

Alta resistência mecânica

Suscetíveis à corrosão

Fibra de vidro :

Dificuldade e tempo dispendido na fabricação

Citadas as características principais, pudemos com a ajuda de uma estrutura matricial, nos decidir pela alternativa mais viável

Necessidades	Metais	Metais (tratamento superficial)	PVC	Fibra de vidro
Resistência à corrosão	Nao	Sim	Sim	Sim
Resistência mecânica	-	Sim	Sim	Sim
Facilidade na fabricacao e usinagem	-	Sim	Sim	Nao
Disponibilidade do material	-	Sim	Sim	-
Geometrias disponíveis	-	Sim	Sim	-
Resultado	-	OK	OK	-

Tabela 3 - Matriz decisão - Materiais

Podemos então perceber que tínhamos duas alternativas para implementação no projeto. PVC ou Metais com recobrimento protetor.

Um outro fator foi então utilizado como como decisório, o custo de cada alternativa, o que nos direcionou ao uso do PVC, que além de economicamente mais atraente, poderia ser usinado nas dependências da EPUSP e ainda apresentava-se em algumas geometrias interessantes, que poderiam ser utilizados no projeto.

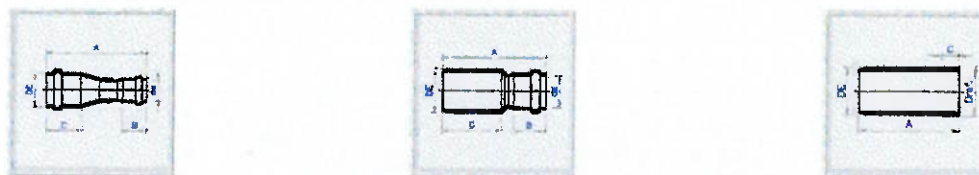


Figura 3- Formas pré-existentis em PVC

4.1.2.1. Cálculos Estruturais

Após análise mais aprofundada, considerando as opções existentes no mercado, o PVC Rígido foi considerada a melhor opção dentre as outras opções em PVC, já que enquadrou-se nas necessidades impostas no início do trabalho.

A análise que segue foi feita seguindo alguns métodos de cálculo para vasos de pressão, primeiramente a abordagem clássica simples, em seguida uma análise um pouco mais apurada, também seguindo métodos clássicos. Por último uma análise mais aprofundada utilizando um método empregado no cálculo de vasos de pressão com carregamento externo, considerando o comprimento como dimensão crítica na ocorrência do fenômeno da flambagem (figura 4)



Figura 4 - Fenômeno da flambagem

O coeficiente de segurança utilizado foi $\eta = 2$, calculado como média dos valores históricos utilizados na segunda guerra mundial por Alemães ($\eta = 2,5$) e Norte-Americanos ($\eta = 1,5$) no cálculo de cascos para submarinos.

Foram escolhidos para o teste dois tubos abaixo especificados, com espessuras razoavelmente grandes, pois além de resistir às pressões da água deseja-se uma boa estabilidade estrutural para que o conjunto mantenha sua integridade, quando sujeito a esforços diversos.

Módulo principal : $D = 150 \text{ mm}$, $e = 3,8 \text{ mm}$

Módulo dos motores : $D = 48 \text{ mm}$, $e = 4,4 \text{ mm}$

PVC Rígido

Características :

$$\sigma_{\text{comp}} = 76 \text{ MPa}$$

$$E = 2800 \text{ Mpa}$$

Método I

$$p < \frac{2 \cdot \sigma_{\text{comp}} \cdot e}{(d + 2 \cdot e)}$$

Módulo principal : $P_{\text{max}} < 18 \text{ atm}$ (Módulo Crítico)

Módulo motores : $P_{\text{max}} < 58 \text{ atm}$

Método II

Módulo principal : $P_{\max} < 40 \text{ atm}$

Método III

Comprimento Crítico : $L_c = 1,11.D_o.(d_o/t)^{1/2}$, $L_c = 1 \text{ m}$

Como o comprimento do módulo é de 500 mm, trata-se de um vaso curto, cujo equacionamento é :

$$P_c = \frac{2,8.E.(t/D_o)^{2,5}}{(L/D_o)}$$

Módulo principal : $P_{\max} < 2,4 \text{ atm}$

Assim percebemos aqui um fator importante a ser considerado, o cálculo pelo método III resultou em uma pressão máxima muito inferior as pressões máximas calculadas pelos outros métodos.

Pela grande diferença, percebe-se que este método não produz resultados aproveitáveis para este tipo de material, já que é um cálculo baseado em um método experimental. Assim é possível descartar este resultado, que possivelmente se aplica apenas à estruturas metálicas com paredes finas.

Conclui-se assim, que para a profundidade especificada de projeto esta configuração (material e dimensões) é satisfatória.

4.1.3 Flutuabilidade

A idéia de se estabelecer o conjunto com uma flutuabilidade nula (preferencialmente) ou levemente positiva deve-se ao fato de o conjunto no momento da imersão estar adicionando a massa do cabo de conexão à sua, aumentando assim a massa total do conjunto, o que será então compensada pela flutuabilidade positiva.

Além deste fator, existe ainda a possibilidade de uma pane do conjunto enquanto submerso, neste caso a flutuabilidade atuará como mecanismo de segurança trazendo lentamente o VORTEX para a superfície da água.

Assim podemos estabelecer a massa do conjunto relativamente à soma dos volumes de cada módulo. Portanto temos :

Módulo principal:

$$D = 150 \text{ mm}$$

$$L = 300 \text{ mm}$$

$$V = 7,06 \text{ dm}^3$$

Módulos secundários :

$$D = 48 \text{ mm}$$

$$L = 250 \text{ mm}$$

$$V = 0,45 \text{ dm}^3$$

Assim teremos um volume total de aproximadamente:

$\text{Vol.Total} > 8,42 \text{ dm}^3$
--

Este cálculo inicial para o volume do VORTEX deve ser feito para uma primeira checagem entre os requisitos iniciais e as considerações feitas. Adicionar-se-á a este valor o volume de conectores entre módulos e outros apêndices que venham ser agregados à estrutura.

Para este valor calculado inicialmente para o volume do veículo, teríamos um volume deslocado de água com massa equivalente à

$$M_{\text{água doce}} = 8,42 \text{ kg}$$

$$M_{\text{água salgada}} = 8,64 \text{ kg}$$

Percebe-se que o valor do VORTEX está dentro dos parâmetros iniciais e para atingir a flutuabilidade neutra ou levemente positiva deverão ser adicionadas massas cujas forças peso anulem o empuxo introduzido ao veículo na submersão.

A massa a ser adicionada deverá ser distribuída entre :

- baterias
- motores
- câmera
- estrutura
- lâmpada, etc.

4.1.4 Submersão & Manobra

Neste tópico do projeto podemos subdividir as soluções encontradas em dois grupos:

- Alternativas que dependem da velocidade do conjunto para atuarem (lemes e flaps)
- Alternativas que independem da velocidade do conjunto para agirem (disposição adequada dos motores ou tanques de submersão).

Por se tratar de um veículo de prospecção e captura de imagens é desejável que o posicionamento fino deste seja realizado com bastante facilidade e sem grandes deslocamentos, o que causaria a perda do objeto observado, por exemplo na aproximação do VORTEX ao casco de um barco para a checagem de uma possível fratura. Assim as alternativas que dependem do ganho de velocidade para agirem podem ser descartadas, restando assim as seguintes alternativas, que serão analisadas cuidadosamente, já que respondem por uma parte bastante importante do projeto.

- Disposição dos motores para maior facilidade na realização de manobras
- Submersão por um tanque de flutuação
- Submersão pela ação de um hélice

Deslocamento no plano X-Y

Para o deslocamento no plano paralelo ao leito marinho, a opção mais eficiente e utilizada em veículos desta natureza é a disposição dos motores de forma que a força de empuxo criada por estes crie um momento de giração em torno do centro de massa, mudando assim a direção do VORTEX. Atuando os dois motores, este momento é cancelado e o VORTEX se move para frente ou para trás em uma direção fixa.

Para que se tenha resultados mais pronunciados deste efeito causado pela disposição dos motores, decidiu-se posicioná-los a uma certa distância do centro de massa do conjunto, para que com um braço maior este momento de giração tenha seu valor elevado.

Decidiu-se, então, pela criação de módulos de propulsão. Estes módulos seriam presos ao módulo principal (que abrigaria a câmera, baterias, sistema de submersão, etc.) transferindo a este o empuxo dos motores (figura 4)

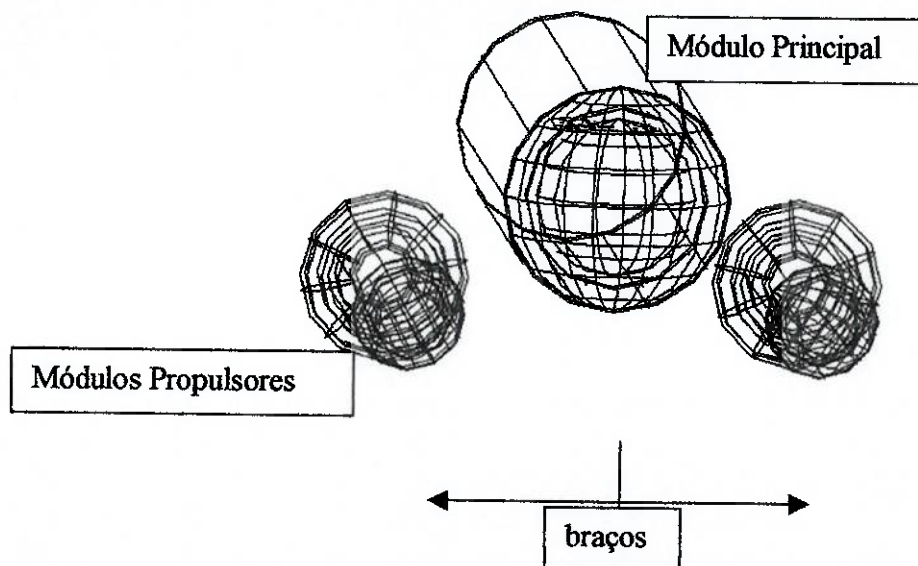


Figura 5 - Disposição dos módulos

Com tal construção teríamos :

- Resposta mais rápida à mudanças de direção
- Maior espaço no módulo principal para armazenamento das baterias.
- Incremento mínimo na força resistiva ao deslocamento

Além disto pelo desenho do conjunto, podemos abrigar as lâmpadas de iluminação externa na extremidade anterior dos módulos dos motores, facilitando trocas de calor com o meio, liberando espaço para a câmera no módulo principal, e tornando possíveis substituições em caso de queima mais simples, sem a necessidade de se abrir o módulo principal.

Além disto cada módulo possui agora apenas uma abertura para o ambiente, a abertura do eixo de transmissão de potência ao hélice (no caso do módulo dos motores), que serão vedados por anéis de borrachas (O rings)

Manobra no plano X-Y

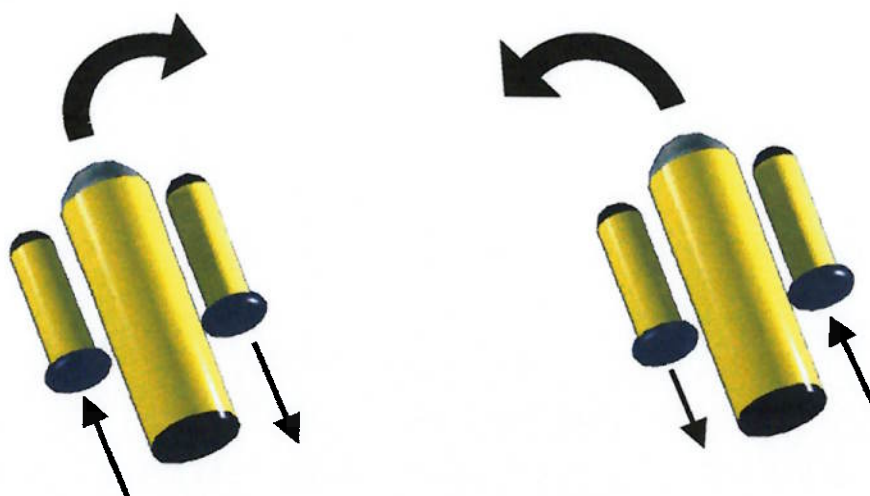


Figura 6 - Manobras no plano X-Y (Vista Superior)

Deslocamento no eixo Z

As opções, já citadas, são :

- Submersão por um tanque de flutuação
- Submersão pela ação de um hélice

Uma análise aprofundada para a escolha do mecanismo de submersão foi realizada com o objetivo de conhecer as características destes.

Um resumo desta análise nos mostra que a inclusão de um terceiro motor aliado à flutuabilidade neutra seria a alternativa mais viável, por ser a mais simples e prática destas.

Submersão pelo enchimento de um tanque

O mecanismo utilizado na grande maioria dos submarinos reais em operação hoje em dia, consiste na variação da massa do submarino pela entrada de água e armazenamento desta em tanques. Com esta adição de massa ao volume fixo do submarino aumenta-se a densidade deste, seu peso supera o empuxo da embarcação e o submarino submerge. Para voltar à tona, retira-se esta massa adicional de água dos tanques o que faz com que o empuxo atuante sobre a embarcação supere a força peso.

Várias alternativas de atuação com tanques de flutuação foram analisadas e são descritas a seguir.

Alternativa I - Injeção de ar comprimido no tanque para retirada da água. Esta alternativa foi brevemente discutida, e logo descartada perante outras, devido à grande complexidade de controle das várias válvulas e armazenamento do ar comprimido.

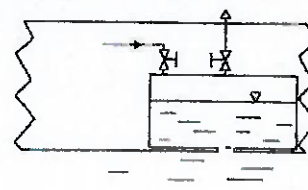


Figura 7 - Tanque de flutuação com injeção de ar comprimido

Alternativa II : Armazenamento da água, em um envólucro flexível, feito por uma bomba de duas vias. Esta alternativa nos pareceu bastante eficiente a princípio, principalmente pois problemas com vedação são poucos. A grande limitação imaginada aqui foi a complexidade do sistema de controle, com sensores de fim de curso e acionamento de uma bomba nos dois sentidos. Foi considerado bastante complicado realizar a manutenção profundidade, já que não se sabe se a resposta dinâmica deste sistema é adequada ao fenômeno, nem mesmo se o sistema de controle é estável.

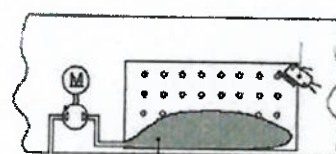


Figura 8 - Tanque de flutuação com armazenamento em envólucro flexível

Alternativa III : Acionamento de um pistão por um motor para a retirada da água do tanque. Esta solução se mostrou bastante interessante no princípio da discussão, porém dúvidas quanto à vedação das paredes do pistão e da junção entre o fuso e o êmbolo, além da dificuldade de controle devido à demora da resposta dinâmica do sistema para manutenção da cota Z, como dito anteriormente, nos fizeram abandonar esta alternativa.

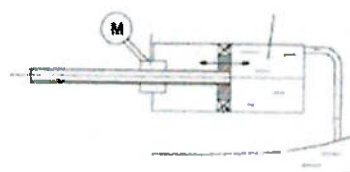


Figura 9 - Tanque de flutuação pelo acionamento de um pistão

Submersão pela ação de um hélice

A variação de profundidade nesta alternativa é feita pela ação de uma força introduzida por um hélice. Para isto é bastante interessante que o VORTEX tenha flutuabilidade neutra, assim qualquer força introduzida ao sistema varia sua cota Z (profundidade).

Esta foi a alternativa escolhida, primeiramente por apresentar um sistema de controle simples, um motor DC, além de se mostrar muito semelhante ao projeto do mecanismo propulsor (vedação, sistema de controle, tensão de operação, propulsores, etc).

Duas alternativas de implementação foram logo identificadas :

Alternativa semelhante a um helicóptero, com um hélice voltado à parte inferior

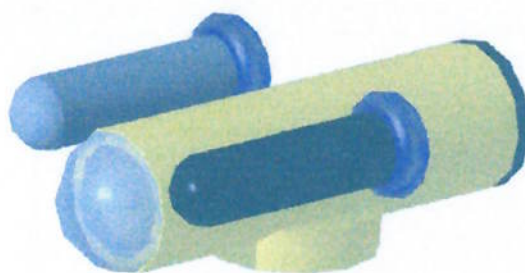


Figura 10 - Terceiro hélice - Alternativa 1

Terceiro motor paralelamente ao módulo principal na parte superior

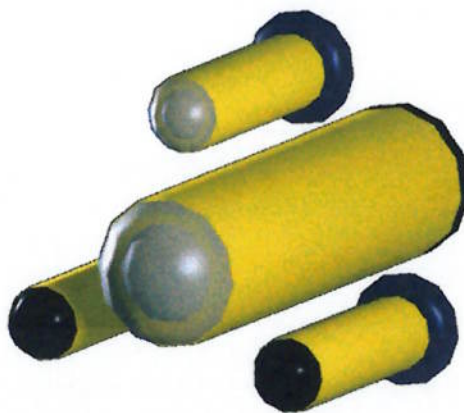


Figura 11 - Terceiro hélice - Alternativa 2

As alternativas construtivas nos pareceram bastante semelhantes no modo de operação e resultados previstos.

Um dos fatores que nos levaram à decisão pela segunda opção foi a facilidade na operação do módulo. Imagina-se neste ponto do projeto que a estrutura interna do VORTEX seja semelhante a uma gaveta e a disposição de um motor com seu eixo perpendicular a este eixo de deslizamento da gaveta faria com que conexões mecânicas fossem necessárias dificultando a construção do protótipo.

Assim pela maior facilidade na implementação e também na operação, escolheu-se a segunda alternativa, onde um terceiro módulo propulsor é incorporado à parte superior da estrutura.

A variação da profundidade é feita pelo acionamento ordenado dos motores

Variação da profundidade (eixo Z)

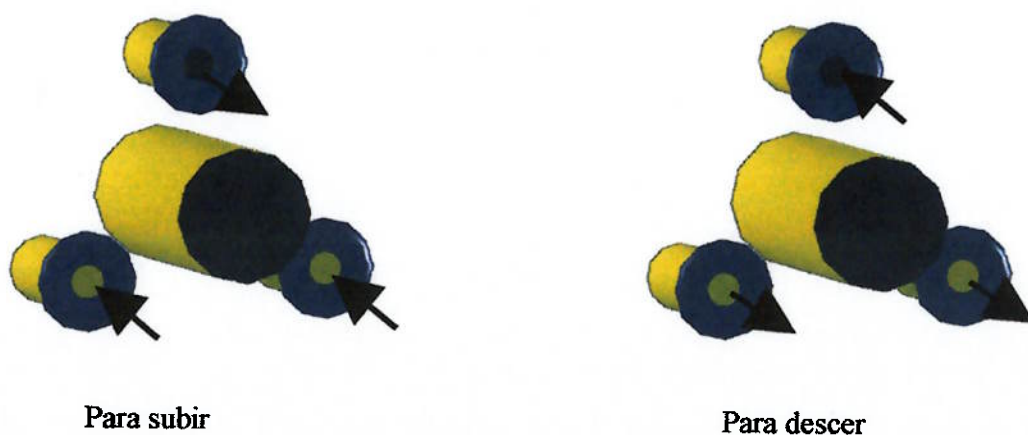


Figura 11 - Mecanismo de variação da profundidade (Vista traseira)

4.1.5 Propulsão

As alternativas identificadas para a propulsão do VORTEX foram enumeradas e suas principais características consideradas na escolha final

Jatos de água/ar:

- dificuldade de instalação e controle
- transporte de energia deficiente
- resistibilidade à água
- Outro tipo de energia utilizada (elétrica e potencial)

Motor DC:

- controle simples (PWM ou limitação de corrente)
- motores disponíveis (sem necessidade de compra)
- mesma tensão de trabalho da maioria das câmeras de vídeo encontradas
- Energia facilmente armazenável em baterias

Motor AC :

- tipo de energia nem sempre disponível nos barcos
- controle mais sofisticado
- conversão da energia das baterias necessária

Como podemos perceber os motores a corrente contínua são os mais adequados para a aplicação ao VORTEX, já que assim poderíamos com uma mesma instalação e conjunto de baterias alimentar os motores e a câmera.

Desvantagens perante os motores a jato (de ar ou água) são os problemas relacionados à presença de água salgada, o que poderia comprometer o desempenho do sistema. Porém a estanqueidade deverá garantir que o volume de água que entra na estrutura é mínimo, e poderá ser mantido à distância dos componentes eletrônicos.

Assim será utilizado no projeto o seguinte motor :

- Sumitomo P 30 - 30
- Tensão DC 12 V
- Potência máxima : 36W
- Torque de 3 kgf - cm



Figura 12 - Motor utilizado

Características dimensionais:

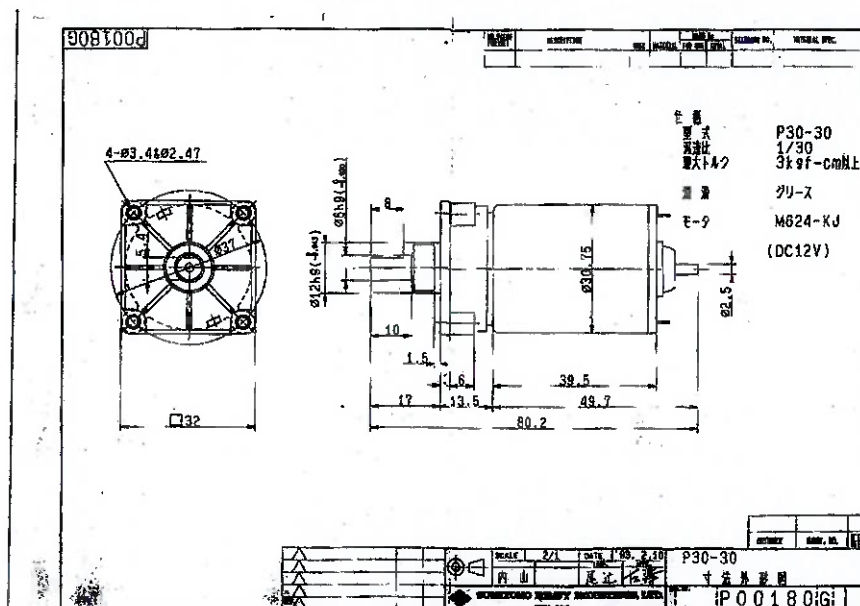


Figura 13 - Motor utilizado - Dimensões

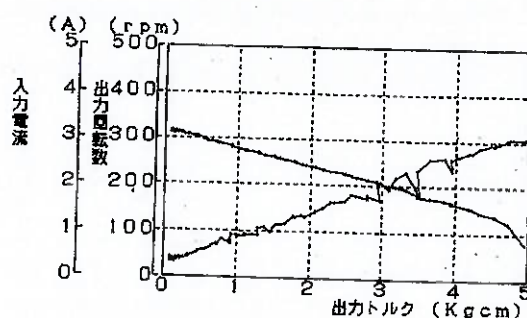


表 - 1 動作特性 P30-30-SB03TKD 30 H624KJ BRG FILE:3213002.1

出力トルク (kg cm)	電流 (A)	速度 (rpm)	入力電力 (W)	出力電力 (W)	効率 (%)
0.09	0.34	314.0	4.8	0.0	-0.1%
0.62	0.85	283.0	7.8	1.9	24.2%
1.25	0.98	245.7	11.8	3.6	29.5%
1.88	1.33	223.8	18.0	4.7	26.8%
2.50	1.75	200.3	25.1	6.4	25.7%
4.95	3.09	114.0	38.2	10.0	26.2%

Figura 14 - Motor utilizado - Características funcionais

4.1.6 Propulsores

Como visto no item anterior, o sistema propulsor é constituído por motores DC acoplados a hélices. O empuxo necessário é então criado pela rotação destes hélices.

O dimensionamento destes hélices é uma tarefa bastante interessante e também complexa. O completo dimensionamento destes se utiliza de teorias estudadas, como a teoria de semelhança e π de Buckingham. Com a utilização destas teorias foi possível um cálculo preliminar do diâmetro dos hélices e enquadramento dos hélices existentes nas condições de estudo

Um fato inesperado, foi a dificuldade do grupo em encontrar hélices adequadas ao projeto. Muito poucos hélices são produzidos em escala de venda. Pelas características do projeto destes componentes, o que ocorre normalmente é a construção dos hélices seguindo parâmetros e coeficientes estabelecidos no cálculo do conjunto. Como este aprofundamento foge às características do projeto em questão, foi realizado um estudo de conferência, onde características de alguns hélices foram analisados e confrontados com a necessidade.

Dos hélices disponíveis comercialmente, pudemos perceber semelhanças dimensionais em um exemplo:

- Desenho semelhante aos hélice dop tipo Wageningen
- 3 pás
- 60 mm de diâmetro
- 24 mm de passo
- $A_e/A_o = 0,50$

De posse das características do hélice pudemos aproximar suas características, para utilização na Teoria da Semelhança, por um hélice do tipo **Wageningen B3 - 50**

A utilização da Teoria das Semelhanças no forneceu valores para o rendimento do hélice próximos a 39%, o que nos possibilitou a conferência de uma das premissas iniciais, a velocidade de deslocamento.

A adição do terceiro motor garantirá a manutenção da velocidade a maiores profundidades (gráfico 2), anulando o arrasto introduzido pelo maior comprimento do cabo imerso.

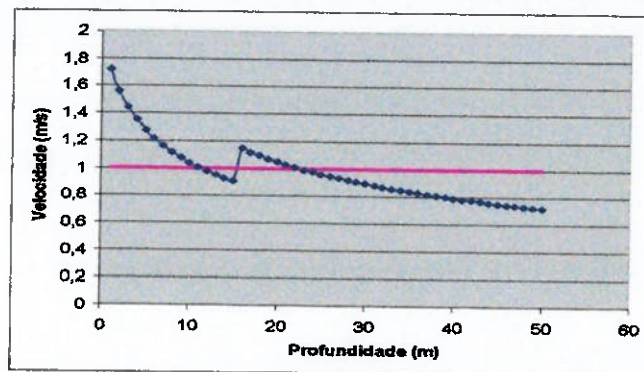


Gráfico 2 - Velocidade em dependência da profundidade

Existem dutos (conhecidos como *nozzles*), que quando montado em torno do hélice possibilitam uma otimização do rendimento (duto acelerativo) ou uma diminuição da cavitação local (duto desacelerativo) (figura 15).

Utilizando-se um duto acelerativo, mais conveniente para os objetivos do projeto, pode-se conseguir um adicional de rendimento de 15 a 25%. Isto aumentaria o rendimento global do sistema, o que é importante já que forças resistivas ao movimento rotacional do eixo, introduzidas pelos elementos de vedação são inevitáveis.

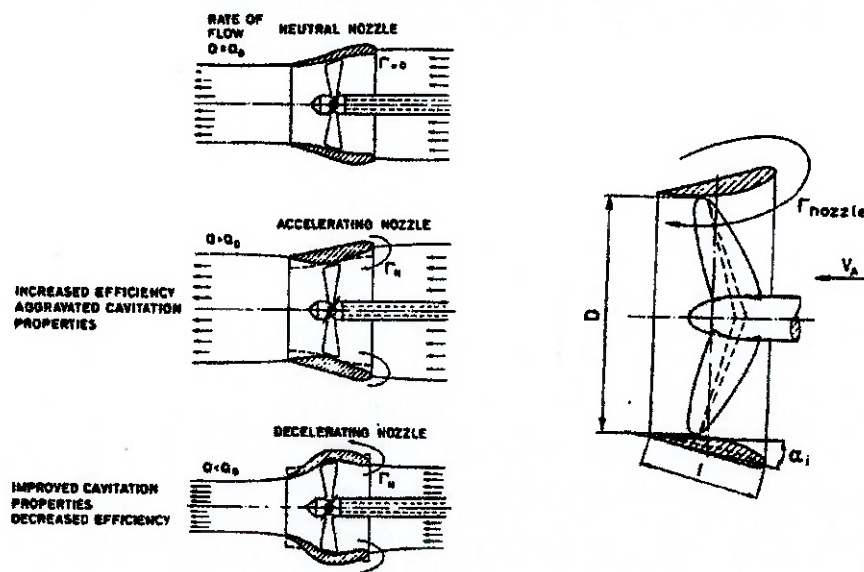


Figura 15 - Montagem In Nozzle

4.1.7 Iluminação

Algumas características das lâmpadas que serão utilizadas para iluminação do ambiente explorado deverão ser estudadas para maior eficiência do conjunto e consequente menor consumo de energia. Assim foram pesquisadas características como:

- cor da luz de maior penetração na água
- espalhamento da luz na água
- temperatura de trabalho da lâmpada
- consumo
- tensão de trabalho

Com base nestes parâmetros e pelo fato de a lâmpada não representar um fator crítico no projeto, foi escolhida uma lâmpada branca comum, do tipo dicróica DC 12V - 50W, cujas dimensões são compatíveis com o módulo de propulsão, a tensão de operação é igual à dos motores e da câmera, apresentando apenas um fator desfavorável, o consumo. Por ser uma lâmpada de 50 W, utilizaremos apenas uma lâmpada no VORTEX, para que não seja necessária uma bateria extra apenas para a iluminação. O calor gerado pela lâmpada, que também deve ser considerado, será dissipado na água pelas paredes do módulo e seu controle será feito pelo usuário.

Segundo algumas pessoas especializadas no assunto, a cor branca não é a cor mais indicada para este tipo de iluminação. Mesmo assim, por se tratar de uma lâmpada de potência média acreditamos que a necessidade será totalmente suprida pela utilização da lâmpada escolhida.

4.1.8 Cúpula dianteira

A proteção da câmera será feita por uma cúpula de acrílico, como o exemplo ao lado. Por estar em contato com o ambiente externo, deve-se proceder da mesma maneira que no cálculo das pressões críticas para os tubos, para verificar a resistência deste componente da estrutura.



Figura 16 - Cúpula de proteção da câmera

Um coeficiente de segurança mais elevado será aqui utilizado, considerando possíveis imperfeições e não homogeneidade do material utilizado neste tipo de construção.

Assim, para o acrílico multipolímero, temos :

$$\sigma_{\text{comp}} = 8000$$

$$\eta = 5$$

$$e = 2 \text{ mm}$$

Pelo Método clássico :

$$P_{\text{max}} = \frac{4.e.\sigma}{\eta.d}$$

O que nos fornece um resultado para a pressão admissível de $P < 9,7 \text{ atm}$ o que satisfaz as necessidades ainda com larga margem.

4.2 Detalhamento das alternativas – Estrutura Interna

4.2.1 Estrutura Interna

A função da estrutura interna é distribuir os sinais de alimentação para os motores de propulsão do VORTEX, lâmpada de iluminação do meio exterior e câmera de vídeo, assim como tornar possível a captura dos sinais de vídeo. Desse modo, a estrutura interna é uma interface entre os elementos da estrutura externa e o conjunto constituído pelo comando, alimentação e recepção de sinais de vídeo.

Localizada no compartimento central do VORTEX, a estrutura interna deve também desempenhar função estrutural, de maneira a preservar a integridade dos dispositivos que assessoram o funcionamento da câmera.

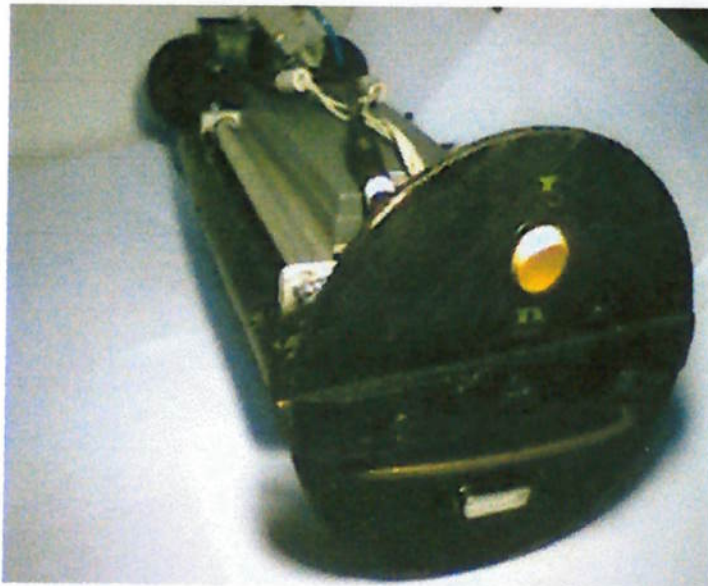


Figura 17 - Estrutura Interna

Enumeram-se algumas características construtivas, servindo de diretrizes principais para a elaboração do projeto:

- **Simplicidade:** face à necessidade de eventual substituição de dispositivos da estrutura interna, assim como aconselhável manutenção periódica para o bom funcionamento do VORTEX como um todo, é importante a facilidade de acesso, montagem e desmontagem do corpo da estrutura interna
- **Robustez:** com a exigência de proteger os elementos delicados da estrutura interna, por exemplo, câmera de vídeo, a estrutura interna deve possuir uma configuração que assegure robustez e segurança contra eventuais perturbações causadas pelo meio externo
- **Otimização Espacial:** é necessário otimizar a configuração geométrica da estrutura interna, visto ser limitado o espaço disponível, além do formato já estar determinado como cilíndrico, para a acomodação dos dispositivos.

Nesse enfoque optou-se pelo uso do sistema de gaveta, consistindo no encaixe e desencaixe sob a forma deslizante no interior do compartimento central do VORTEX.

4.2.2 Sistema de Alimentação da Câmera de Vídeo

Paralelamente, como será visto, foi feita criteriosamente a escolha de transmissão de sinais de comando e alimentação, assim como recepção dos sinais de vídeo, por intermédio de cabo manga. Surgiu, então, a necessidade de projetar a estrutura interna de maneira que atendesse a minimizar o quanto fosse possível o diâmetro desse cabo, de maneira a reduzir o arrasto fluidodinâmico causado pelo meio externo. Assim sendo, inseriu-se uma bateria de 12 V e 7 Ah para a alimentação da câmera de vídeo, de maneira a diminuir o número conexões pelo cabo manga.

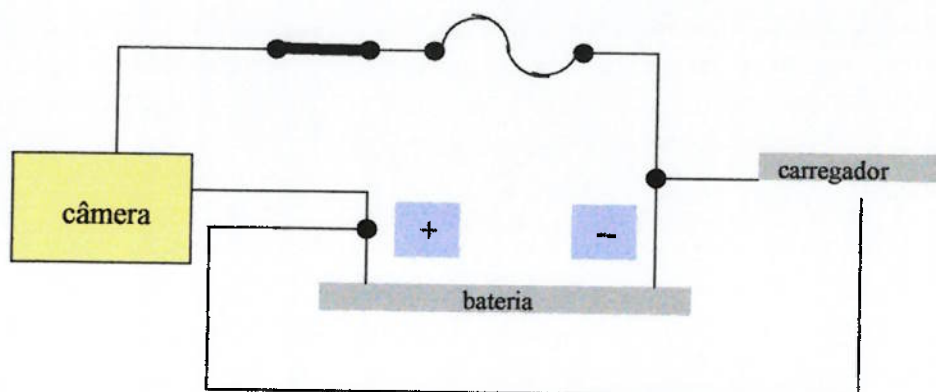


Figura 18 - Alimentação da Bateria

Participante também da estabilização estática do VORTEX, inserindo-se como elemento de grande importância na distribuição de massa, a bateria permite a simplificação do circuito de alimentação da câmera de vídeo.

Os controles locais, situados no painel traseiro do VORTEX, permitem o fácil manuseio do sistema de captura de vídeo e fácil acessibilidade por parte do usuário. No painel frontal da estrutura interna está localizada a câmera de vídeo, assim como seu sistema de movimentação que propicia aumento do ângulo de visualização.

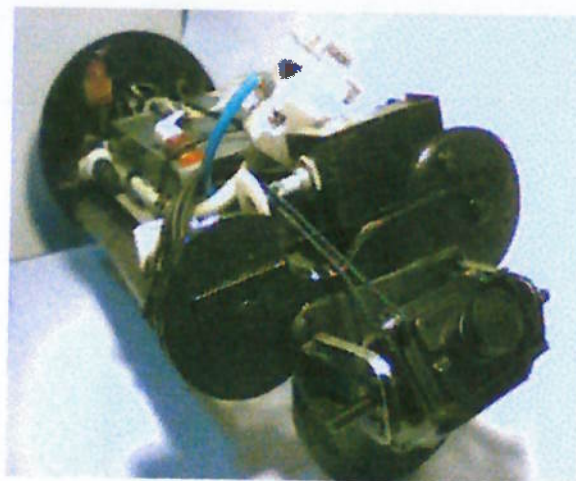


Figura 19 - Estrutura Interna II

4.2.3 Geometria dos elementos estruturais

Utilizando relações geométricas para garantir a integridade dos cabos de controle e alimentação dos motores (dispostos em 120° por critério de otimização de desempenho de manobra), além da alimentação da lâmpada de iluminação do meio externo, a estrutura interna se preza à estética, além da robustez, de maneira a contornar eventuais problemas com acabamento. Três circunferências tangentes duas a duas serviram de elementos para a configuração do painel dianteiro, onde será acoplada a câmera de vídeo. Unidas com barras

devem estar localizados o mais próximo possível do eixo de simetria do VORTEX, especialmente existente em projeto visando otimização de funcionamento, para assegurar a fácil manobrabilidade.

Com a intenção de tornar a densidade volumétrica de massa média do VORTEX próxima a da água, de maneira a propiciar flutuação ligeiramente positiva, foram inseridos pesos (barras) de chumbo (visto ser material de grande massa específica) longitudinalmente na estrutura interna, de maneira a posicionar otimamente o centro de massa do VORTEX.

Como chumbo é um material venenoso para o ser humano, houve preocupação com a geometria das barras, optando-se pela cilíndrica (minimização de arestas e cantos vivos), além de adequado acabamento para se evitar riscos de ferimentos.

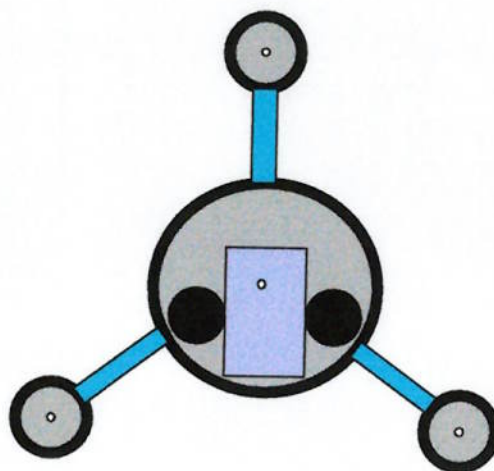


Figura 21 - Estabilidade Estática

alumínio na disposição de triângulo tendo como pontos de fixação os centros, as circunferências propiciam robustez, conforme a teoria da resistência dos materiais.

Para acomodar a bateria na estrutura interna optou-se por uma configuração que permitisse fixação sem necessidade de perfurações, visto ser a bateria elemento delicado, não sendo permitido vazamento da solução corrosiva que há nela internamente. Dessa maneira, o sistema de fixação por compressão, conforme princípio de funcionamento de tenaz ou morsa de bancada, permite a integridade e bom funcionamento da bateria interna. As barras longitudinais que suportam a bateria interna foram especialmente dimensionadas contra a flambagem, fenômeno de deformação quando se submete à compressão.



Figura 20 - Geometria

4.2.4 Sistema de estabilização Estática

Estudos comprovam que a distribuição da massa em determinado corpo é fator de grande importância na sua estabilização. Como em repouso o VORTEX deve ter comportamento determinado quando inserido em meio aquático calmo, a posição de cada elemento de massa considerável deve ser meticulosamente calculada. Para melhor estabilização estática, elementos de massa considerável devem estar o mais próximo possível da região que se determinou ser a inferior. Por outro lado, os mesmos elementos

4.2.5 Conexões e elementos de transmissão de sinais

As formas de conexão atendem ao critério de simplicidade, sendo utilizados terminais RCA para alimentação de câmera de vídeo, alimentação do motorreductor de movimentação da câmera e para a captura dos sinais de vídeo. Na alimentação dos motores de propulsão do VORTEX foram utilizadas conexões paralelas. Desse modo, assegura-se facilidade da instalação e desinstalação dos dispositivos acomodados na estrutura interna. Preocupação em especial houve com a integridade de isolamento elétrico das conexões e elementos de transmissão de sinais para evitar eventuais curto-circuitos e minimizar perda de sinal. Além disso, foram instalados elementos de proteção elétricos, fusíveis, no circuito de alimentação da câmera de vídeo.

4.2.5 Manipulação da Estrutura Interna

Para atender ao critério de remoção e inserção do módulo de estrutura interna no compartimento central do Vortex inseriu-se uma alça de manipulação, de maneira a evitar carregamentos por parte do usuário sobre os delicados componentes do sistema.

4.2.6 Seleção dos Materiais

Embora uma das principais metas do projeto seja estabelecer excelente vedação contra a entrada de água do meio externo (visando à integridade funcional dos dispositivos delicados como, por exemplo, câmera de vídeo), escolheram-se materiais não higroscópicos para a confecção da estrutura interna. Acrílicos e alumínio, principalmente.

4.2.7 Captura de imagens

A captura das imagens será feita por uma mini-câmera CCD, com foco fixo de aproximadamente 1m (que porém apresentou imagens excelentes para objetos a uma distância de 0,2 a 2,5m da

lente) .



Figura 22 -

Câmera CCD

A câmera será acoplada a uma base que será fixa na frente do VORTEX (protegida pela cúpula de acrílico). Um mecanismo simples acionado por um motorreductor com embreagem e curso de 300° dará a câmera o movimento axial desejado para que seja possível ao usuário o controle do ângulo de inclinação da câmera.

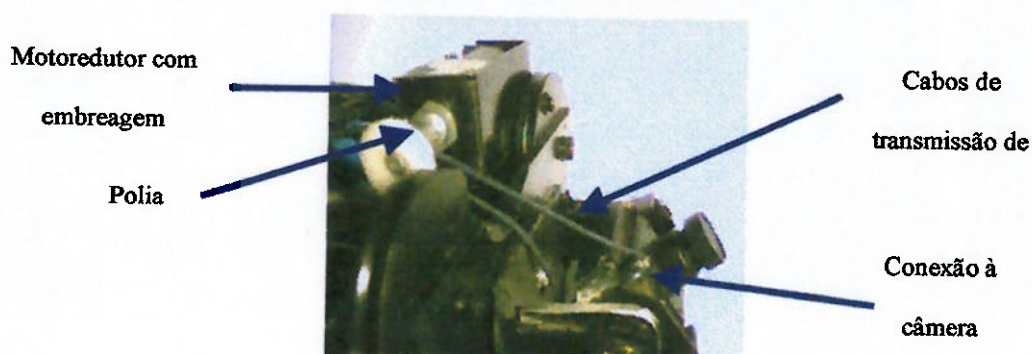


Figura 23 - Sistema de movimentação da câmera

Os sinais de vídeo serão enviados pelo cabo umbilical conectado a um monitor na base de comando, de onde será possível comandar a movimentação do VORTEX.

4.3 Detalhamento das alternativas – Sistema de Controle

4.3.1 Transmissão de controle

A escolha do sistema de transmissão de controle ponderou dois tipos distintos:

- Transmissão por Rádio Frequência
- Transmissão por cabo paralelo.

Para os dois tipos teríamos vantagens e desvantagens que podem ser enumerados como segue

4.3.1.1 Transmissão por Rádio Frequência:

Vantagens:

- Eliminação do arrasto do cabo – o arrasto do cabo implica em perda de velocidade do veículo;
- Requerer um furo a menos no corpo do VORTEX – Essa perfuração a menos possibilitaria uma garantia maior da estanqueidade do sistema. Vale ressaltar a importância das vedações em um sistema que será imerso em água.

Desvantagens:

- Perigo de perda do sinal de controle – o que implicaria no fim do controle do VORTEX, obrigando o usuário a fazer um mergulho para resgatá-lo. O que caso fosse feito em água turvas não seria de fácil execução

4.3.1.2 Transmissão por cabo:**Vantagens:**

- Maior garantia de controle – por ser um sistema sujeito a menos interferências e também por ser de mais simples execução a fim de se obter um controle confiável e de fácil utilização, esse fator influenciou grandemente na decisão (robustez)
- Conexão física com o VORTEX – na hipótese de perder o controle do veículo ele poderia ser facilmente resgatado ao se recolher o cabo que lhe é solidário

Desvantagens:

- Arrasto do cabo cresce com a profundidade
- Necessidade de um furo de passagem no corpo do VORTEX.

Por fim a escolha foi pelo sistema de transmissão de controle que utiliza o cabo paralelo, sendo um fator fundamental na escolha, a robustez.

A influência do diâmetro do cabo no arrasto total do veículo é grande e aumenta a maiores profundidades, uma vez que a área de ataque aumenta. Pelo gráfico 3, pode-se visualizar o quanto é importante escolher cabos com diâmetros pequenos.

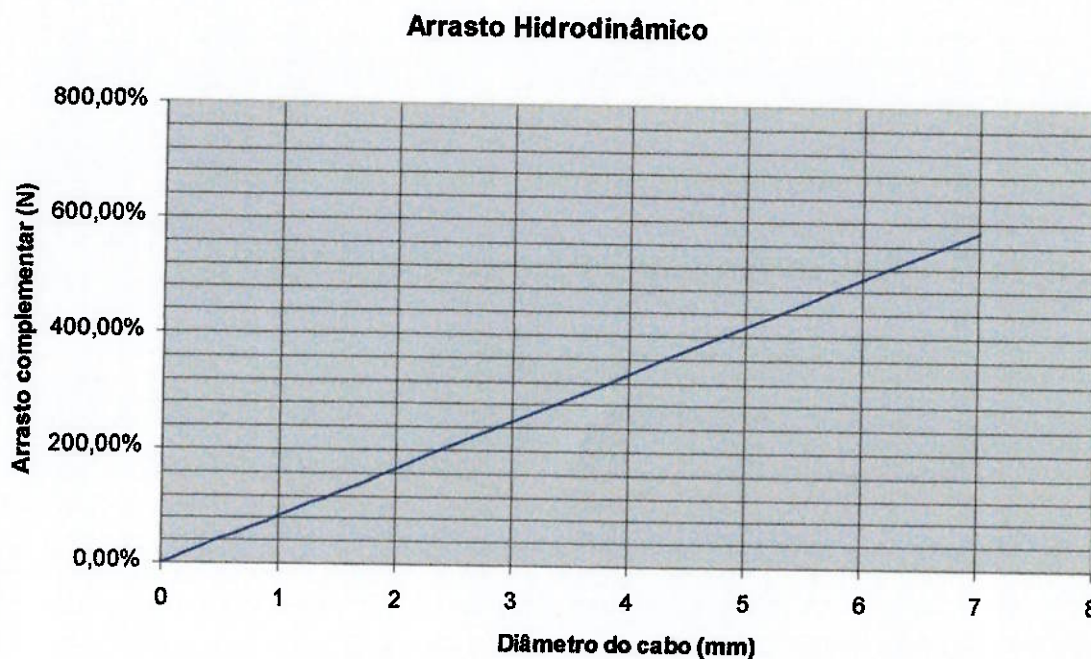


Gráfico 3- Arrasto Hidrodinâmico pelo diâmetro do cabo

4.3.2 Projeto do controle

Determinado que seria por cabo a transmissão de sinais de controle, foi feito um estudo quanto ao tipo de caixa de controle, tipos de chave, número de chaves, posicionamento dessas chaves na caixa de controle.

Já estava projetado a utilização de 4 motores, 3 para propulsão e 1 para movimentação da câmera de vídeo. Com isso, 8 vias de comunicação eram inicialmente necessárias.

Para a luz da lâmpada, duas vias foram inicialmente idealizadas, mas constatou-se que como a corrente elétrica seria muito alta e portanto a perda por efeito Joule poderia causar danos ao sistema, e assim foram reservadas 4 vias para esta..

Para o sinal do vídeo foram reservadas 2 vias.

Como a alimentação do vídeo seria feita por uma bateria interna ao VORTEX, o número total se limitou a 14 vias.

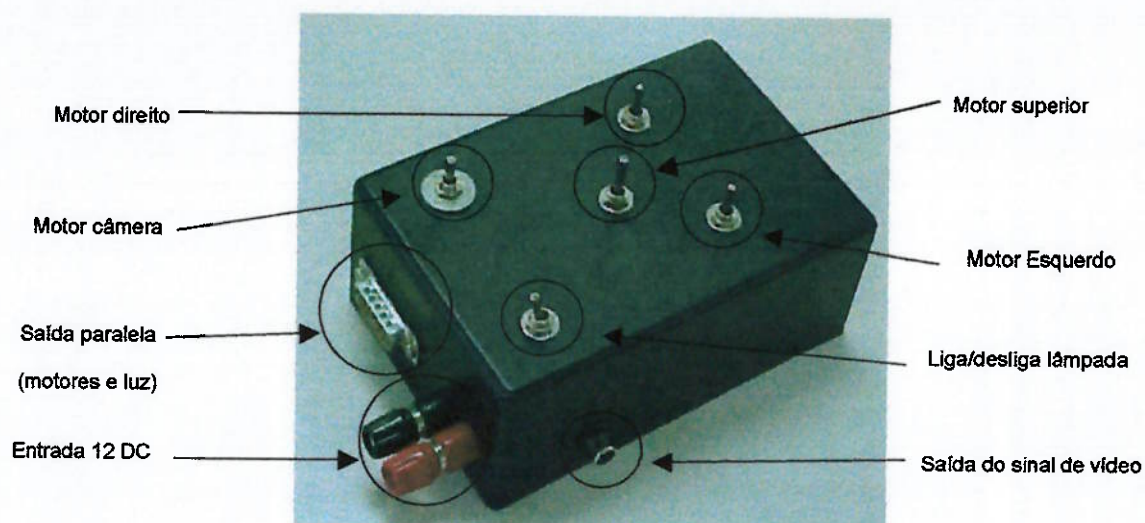
Foi determinado que as chaves para controle dos motores de propulsão seriam do tipo 3 posições – sem retorno.

Para o controle do motor da câmera, uma chave de 3 posições – com retorno. Já para a lâmpada, uma chave de 2 posições – sem retorno.

Terminais de saída de vídeo e entrada da alimentação (12 V DC) também foram selecionados. A conexão paralela entre o cabo e a caixa foi escolhida, para que se conseguisse a modularização do conjunto.

A escolha do cabo manga a ser utilizado se baseou nas vias necessárias para os motores, a lâmpada e para o sinal de vídeo, baseou-se também na necessidade de se buscar o menor diâmetro para o cabo, reduzindo os efeitos do arrasto.

No mercado foram encontrados apenas cabos manga de 15 vias que satisfizessem esses requisitos. Assim esse tipo de cabo manga passou a ser utilizado. Ao se determinar esse tipo de cabo foi possível determinar a conexão entre o cabo e a caixa de controle e chaves.



4.3.3 Circuito de Controle

O circuito de controle foi projetado, quanto a disposição das chaves, fusíveis, conexões, ligações na fase de projeto anteriormente citada, mas apresentamos agora em separado apenas para facilitar sua análise e observação. Trata-se de um circuito simples assim como foi proposto inicialmente.

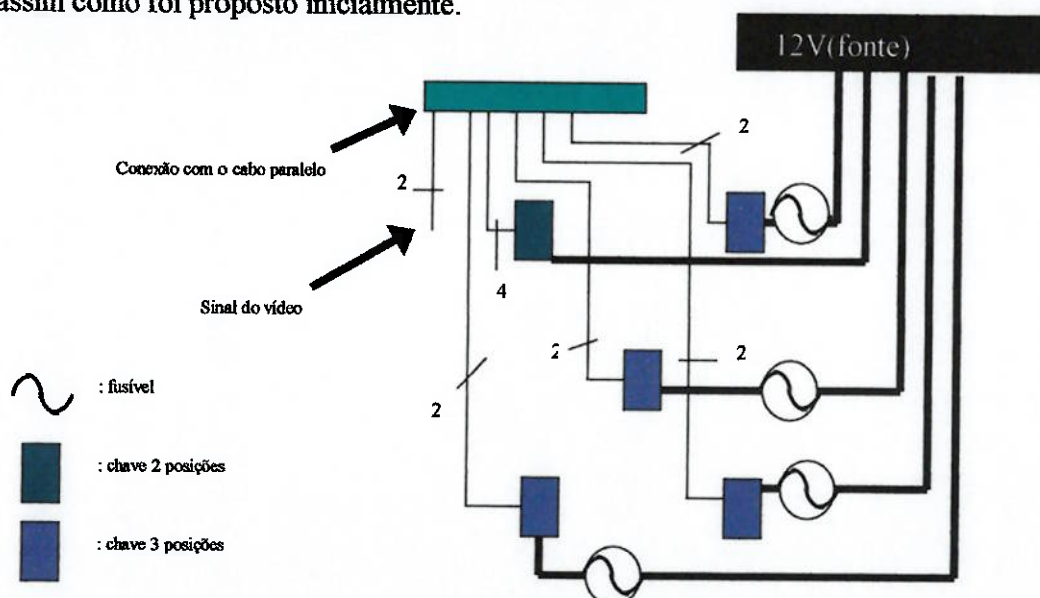


Figura 24 - Sistema de controle

5 – Conclusões

O projeto desenvolvido alcançou os objetivos almejados.

Inicialmente, foi feita uma análise das várias alternativas de soluções às necessidades encontradas para implementação do projeto. Em seguida, as alternativas consideradas mais viáveis foram detalhadas, baseando-se em sua exeqüibilidade física e resultado de teste em campo.

Com todas as decisões sobre as alternativas tomadas pôde-se iniciar a construção do protótipo nas dependências da Escola Politécnica, que ficou com a seguinte configuração:

Três módulos de propulsão e um central abrigando a câmera

- Forma dos módulos cilíndrica
- Material utilizado nos módulos PVC
- 3 motores propulsores de 36W cada de potência, 12V DC .
- Hélices com três pás e montagem *in nozzle*
- Lâmpada de 50W, 12V DC para iluminação externa
- Câmera CCD com 380x240 linhas de resolução, 12V DC
- Controle dos motores pela limitação da corrente
- Bateria interna para alimentação da câmera
- Inclinação variável da câmera controlada pelo operador



Figura 25 - Configuração Final

A construção foi feita em aproximadamente três meses, em tempo parcial. Durante sua execução nos defrontamos com inúmeros imprevistos, que acabaram por valorizar ainda mais a concretização final do trabalho.

Foi comprovada a viabilidade da construção modular e da disposição em triângulo dos módulos propulsores. Destaca-se ainda que as considerações feitas sobre a estanqueidade da estrutura foram seguidas e garantirão a integridade da estrutura em profundidades esperadas.

Destaca-se ainda que o custo do protótipo funcional foi bem inferior ao custo de equipamentos similares encontrados no mercado, apesar das limitações operacionais.

Possíveis modificações no projeto:

- Implementação de um controle proporcional de velocidade, para maior facilidade de controle pelo operador;
- Implementação de um sistema de coleta de dados, como pressão, temperatura e velocidade das correntes;
- Adição de uma garra na parte externa, para manipulação ou coleta de objetos do leito marinho

6 - Bibliografia

BAZZO, W.A. – Introdução à engenharia. 3ª Ed.- Florianópolis. Editora da UFSC, 1993

BREUER, B. – Unterlagem zur Vorlesung – Kraftfahrzeuge I und II. 22/10/99. Tu-Darmstadt, Darmstadt, Alemanha.

DEBENEST, P.C. e TANNURI, E.A. – Projeto de um Sensor de Orientação Angular Inercial de Baixo Custo. Trabalho de Formatura. EPUSP. São Paulo, 1998.

GABLE, Ulrich – Projeto de Submarinos 1a ed., São Paulo. AMRJ/ETCN, 1996

GILLMER, Thomas C. – Fundamentals of construction and stability of naval ships. The U.S. Naval institute, Annapolis, Maryland. 1956.

FOX, R.W. e McDONALD, A.T: - Introdução à mecânica dos fluídos. 4ª Ed. John Wiley & Sons, Inc. Rio de Janeiro, RJ.1998

HOERNER, S. – Fluid Dynamic Drag.

KAMINSKI, P.C: - Desenvolvendo produtos: planejamento, criatividade e qualidade. Rio de Janeiro , RJ. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000

KAUFFMANN, A. GARCEZ, C.C. FEGYVERES, F. RODRIGUES, G.H. – PROSUB- Propulsor Submarino Individual. Trabalho de Formatura. EPUSP. São Paulo, 1995

MARTINS, T.C. e PERAZZO, M.J – Anemômetro Digital. Trabalho de Formatura.

EPUSP. São Paulo. 2000

TAYLOR, David W. e FRITZ, J. – The Speed and Power of Ships : A Manual of Marine Propulsion – States Government Printing Office, 1943.

TELLES, Pedro C. S. – Vasos de pressão. 2ª ed. Livros técnicos e científicos editora LTDA: Rio de Janeiro.

TORNBLAD, Jan – Marine propellers and propulsion of ships. Me Laboratory KaMeWa AB. Kristinehamn, Suécia.

ULRICH, Werner – Konstruktionsgrundlagen für Schiffsschrauben und Berechnung eines Propellers nach der Wirbeltheorie. Fachbuch Verlag Leipzig.