

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO E EXECUÇÃO DE UM ASPIRADOR AUTÔNOMO DE  
PISCINAS.**

Leandro Tadao Miura  
Mario Zan Ferreira Junior

São Paulo  
2006

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO E EXECUÇÃO DE UM ASPIRADOR AUTÔNOMO DE  
PISCINAS.**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do título de Graduação em Engenharia.

Leandro Tadao Miura  
Mario Zan Ferreira Junior

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo Augusto Leal Alves

Área de concentração:  
Engenharia Mecânica

São Paulo  
2006

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Miura, Leandro Tadao**

**Ferreira Junior, Mario Zan**

**Projeto e execução de um aspirador autônomo de piscinas. /**

**L.T.Miura, M.Z.Ferreira Jr. – São Paulo, 2006.**

**p.129**

**Trabalho de conclusão de curso - Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia  
Mecânica**

**1.Aspirador de piscinas 2.Robô autônomo 3.Limpeza de  
piscinas.**

**I Miura, L. Tadao, Ferreira Jr., M. Zan II.Universidade de São  
Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia  
Mecânica III t.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus, pela força nos momentos difíceis, e às nossas famílias, Ferreira e Miura, pela estrutura e apoio dados aos nossos estudos.

Agradecemos também à Equipe Poli de Mini-Baja por termos utilizado as instalações da oficina e porque sem termos participado desta equipe não seríamos as pessoas que somos hoje, com conhecimentos técnicos e grande capacidade de trabalho em equipe.

À família Vioto Óbice, principalmente a Thiago Vioto Óbice, por ter nos ajudado nos testes deixando sua piscina sempre à disposição.

Aos Professores Marcelo Augusto Leal Alves e Antônio Luis Mariani, por terem nos orientado e nos ajudado ao longo deste trabalho.

Finalmente, à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo por ter nos dado conhecimento e experiência ao longo deste curso de graduação.



## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo projetar e construir um aspirador de piscinas totalmente autônomo. Através da análise do mercado constatou-se um número elevado de piscinas no Brasil e a baixa utilização de robôs aspiradores, por serem de custo elevado e/ou ineficientes. Visto isso, procurou-se projetar um robô dando ênfase no custo e na garantia de limpeza da piscina de forma cômoda para o proprietário da mesma.

Utilizou-se a energia da bomba para a aspiração da sujeira e movimentação do robô, e energia elétrica para a mudança de direção e controle do veículo. Para garantir a limpeza total da piscina o robô será controlado. O controle do robô é uma proposta para um próximo trabalho que venha a dar continuidade para este, ou seja, a este trabalho cabe apenas o projeto da parte mecânica do robô.

O projeto foi dividido em três etapas: análise de viabilidade, estudos sobre o mecanismo de propulsão, controle e estabilidade do veículo, e projeto básico do veículo.

Para o cálculo das forças atuantes no robô e dimensionamento dos componentes, utilizou-se a teoria da mecânica dos fluídos, mecânica geral e elementos de máquinas.

Construiu-se um protótipo.

## **ABSTRACT**

This work has the objective to design and build a pool cleaner totally autonomous. Through the analysis of the market, noticed that there are a great number of pools in Brazil and that pool cleaners are not commonly used because of the high cost and the low efficiency. Thus, the robot was designed with a emphasis in the cost and warranty of a cleaned up pool.

The energy of the bomb was used to clean the dirty and to move the robot, and electrical energy to change the direction and to control the robot. To warrant a efficient clean the robot will be controlled.

The project was divided in three parts: analysis of viability, a study about the mechanism of propulsion and control, stability of the vehicle, and the main project.

To calculate the forces acting on the robot, the fluids mechanics theory, mechanics, and machine elements were used.

## SUMÁRIO

### LISTA DE TABELAS

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE GRÁFICOS

<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>15</b>
<b>1 RESUMO.....</b>	<b>16</b>
<b>2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS A SEREM DESENVOLVIDAS.....</b>	<b>17</b>
<b>3 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA ECONÔMICA .....</b>	<b>18</b>
3.1 FLUXOGRAMA PARA O ESTUDO DE VIABILIDADE .....	18
3.2 ESTUDO DA NECESSIDADE.....	18
3.2.1 <i>Formas e dimensões</i> .....	20
3.2.2 <i>Limpeza da piscina</i> .....	21
3.2.2.1 Introdução.....	21
3.2.2.2 Mecanismo tradicional de limpeza.....	22
3.2.2.2.1 Equipamento para a recirculação.....	23
3.2.2.3 Mecanismo alternativo de limpeza.....	29
3.3 ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA .....	31
3.3.1 <i>Funcionais</i> .....	31
3.3.2 <i>Operacionais</i> .....	31
3.3.3 <i>Construtivas</i> .....	32
3.4 SÍNTESE DAS SOLUÇÕES.....	33
3.4.1 <i>Soluções</i> .....	35
3.4.1.1 Robô A.....	36
3.4.1.2 Robô B.....	37
3.4.1.3 Robô C.....	38
3.4.1.4 Robô D.....	39
3.4.1.5 Robô E .....	40
3.5 ANÁLISE ECONÔMICA .....	41
3.6 ANÁLISE TÉCNICA .....	43
3.6.1 <i>Seleção de materiais</i> .....	43
<b>4 PROJETO BÁSICO .....</b>	<b>44</b>

4.1	DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO.....	44
4.1.1	<i>Funcionamento geral</i> .....	46
4.1.2	<i>Funcionamento do robô</i> .....	47
4.2	DIMENSIONAMENTO .....	51
4.2.1	<i>Calculo da vazão de operação da bomba</i> .....	51
4.2.1.1	Instalação padrão adotada pelo grupo .....	51
4.2.1.2	Equacionamento da tubulação de sucção .....	54
4.2.1.2.1	Tubulação referente a instalação .....	54
4.2.1.2.2	Tubulação referente ao robô .....	56
4.2.1.3	Equacionamento da tubulação de retorno.....	56
4.2.1.3.1	Tubulação referente à instalação .....	56
4.2.1.3.2	Tubulação referente ao robô .....	58
4.2.1.4	Resultados.....	59
4.2.2	<i>Análise das forças resistivas e de propulsão</i> .....	61
4.2.2.1	Hipóteses adotadas .....	61
4.2.2.2	Desenvolvimento .....	61
4.2.2.2.1	Cálculo das pressões médias atuantes nas faces dos volumes de controle	
	62	
4.2.2.2.2	Volume de controle 1 .....	64
4.2.2.2.3	Componente x.....	65
4.2.2.2.4	Componente y.....	67
4.2.2.2.5	Volume de controle 2 .....	68
4.2.2.2.6	Componente Y .....	69
4.2.2.2.7	Componente X.....	71
4.2.2.2.8	Resultados.....	78
4.2.3	<i>Cálculo das engrenagens</i> .....	79
4.2.3.1	Critério de Lewis -Tensão de flexão.....	80
4.2.3.2	Critério de Hertz - Tensão de Contato.....	84
4.2.3.3	Material das engrenagens .....	86
4.2.3.4	Resultados.....	86
4.2.4	<i>Seleção do motor</i> .....	87
4.2.5	<i>Mecanismo</i> .....	88
4.2.6	<i>Material</i> .....	90
4.2.6.1	Propriedades térmicas.....	91

4.2.6.2	Resistência química .....	91
4.2.6.3	Características de processamento .....	92
4.2.7	Vedação .....	93
<b>5</b>	<b>TESTES INICIAIS.....</b>	<b>94</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	94
5.2	TESTE 1 .....	94
5.2.1	Objetivo .....	94
5.2.2	Peças utilizadas/montagem .....	94
5.2.3	Custos 99	
5.2.4	Metodologia.....	100
5.2.5	Conclusões.....	102
5.2.6	Ações de melhoria .....	102
5.3	TESTE 2 .....	103
5.3.1	Objetivo .....	103
5.3.2	Peças utilizadas/montagem .....	103
5.3.2.1	Mangueiras .....	103
5.3.2.2	Conjunto propulsão e sucção .....	103
5.3.3	Custos 105	
5.3.4	Metodologia.....	105
5.3.5	Conclusões.....	106
5.3.6	Ações de melhoria .....	107
5.4	TESTE 3 .....	108
5.4.1	Objetivo .....	108
5.4.2	Peças utilizadas/montagem .....	108
5.4.2.1	Mangueiras .....	108
5.4.2.2	Conjunto propulsão/base .....	109
5.4.2.3	Conjunto sucção .....	110
5.4.3	Custos 111	
5.4.4	Metodologia.....	111
5.4.5	Conclusões.....	115
5.4.6	Ações de melhoria .....	115
5.5	CONCLUSÕES DOS TESTES.....	116
<b>6</b>	<b>CONSTRUÇÃO.....</b>	<b>117</b>

6.1	FABRICAÇÃO .....	117
6.2	MONTAGEM.....	119
<b>7</b>	<b>CUSTOS .....</b>	<b>126</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>127</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>128</b>
<b>10</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>129</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Soluções propostas .....	35
Tabela 2 - Estimativa de gastos com o protótipo.....	42
Tabela 3 - Dados do fabricante.....	54
Tabela 4 - Perdas singulares .....	59
Tabela 5 - Perdas distribuídas.....	59
Tabela 6 - Ponto de operação .....	60
Tabela 7 - Cálculo das forças atuantes .....	67
Tabela 8 - Resistência ao arrasto .....	77
Tabela 9 - Propriedades .....	78
Tabela 10 - Arrasto total.....	78
Tabela 11 - Fator de aplicação.....	82
Tabela 12 - Fator de distribuição de carga .....	82
Tabela 13 - Fator dinâmico.....	83
Tabela 14 - Fator geométrico.....	83
Tabela 15 – Fator de confiabilidade .....	84
Tabela 16 - Efeito de cada monômero nas propriedades do ABS.....	90
Tabela 17 - Propriedades de ABS P400 .....	92
Tabela 18 - Custos referente ao teste 1 .....	99
Tabela 19 - custos referente ao teste 2.....	105
Tabela 20 - custos referente ao teste 3.....	111
Tabela 21 – Custo total do protótipo .....	126

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Piscina do tipo colher.....	20
Figura 2 - Piscina do tipo concha .....	21
Figura 3 - Desenho esquemático dos componentes de uma piscina.....	23
Figura 4 - vista explodida do motor.....	24
Figura 5 - Filtro .....	25
Figura 6 - Processo de filtração .....	26
Figura 7 - Retrolavagem .....	26
Figura 8 - Pré- filtrar.....	27
Figura 9 - Fechar .....	27
Figura 10 - Drenar .....	28
Figura 11 - recircular .....	29
Figura 12 - Os jatos d'água empurram a sujeira para o ralo.....	30
Figura 13 - A sujeira é empurrada para o ralo .....	30
Figura 14 - A sujeira é retida no filtro .....	30
Figura 15 - Exemplo de robô A .....	36
Figura 16 - Exemplo de robô B .....	37
Figura 17 - Exemplo de robô C .....	38
Figura 18 - Robô D .....	39
Figura 19 - Exemplo de robô E .....	40
Figura 20 - Ilustração do aspirador de piscinas .....	44
Figura 21 - Vista isométrica do robô .....	45
Figura 22 - Esquema de funcionamento .....	46
Figura 23 - Base do robô .....	47
Figura 24 - Componentes centrais .....	48
Figura 25 - Cruz de tubos .....	49
Figura 26 – Mecanismo .....	49
Figura 27 - Caixa de vedação .....	50
Figura 28 - instalação de piscina padrão adotada no trabalho .....	51
Figura 29 – desnível da bomba.....	52
Figura 30 - Bomba Millenium .....	53
Figura 31 - Tubulação da instalação referente a sucção .....	54



Figura 32 - Desenho esquemático da tubulação referente ao robô.....	56
Figura 33 - Tubulação da instalação referente ao retorno .....	57
Figura 34 - Desenho esquemático referente à tubulação do robô.....	58
Figura 35 - Desenho esquemático do volume de controle 1 e 2.....	61
Figura 36 - Desenho esquemático do volume de controle 1.....	62
Figura 37 - Somatória de forças. ....	69
Figura 38 - desenho esquemático do efeito de ventosa. ....	70
Figura 39 - vista frontal do veículo .....	73
Figura 40 - Base do robô .....	73
Figura 41 - Pára-choques.....	74
Figura 42 - Caixa de vedação .....	74
Figura 43 – Base .....	74
Figura 44 – Mecanismo .....	74
Figura 45 – Roda .....	75
Figura 46 - Cotovelo quadrado.....	75
Figura 47 - Cruz.....	75
Figura 48 - Porca espaçadora .....	75
Figura 49 – Motor.....	87
Figura 50 - Rampa .....	88
Figura 51 - Forças atuantes.....	89
Figura 52 - Estrutura do ABS .....	91
Figura 53 - Fita para vedação 3M.....	93
Figura 54 - Base do robô .....	95
Figura 55 - mangeira de sucção de 1 1/2" e aproximadamente 6m de comprimento.....	96
Figura 56 - Tubo de propulsão .....	96
Figura 57 - Conjunto de propulsão .....	97
Figura 58 - conexões com diâmetros de 1 1/2" e 3/4" .....	98
Figura 59 - Robô montado.....	98
Figura 60 - instalação de piscina padrão adotada no trabalho .....	100
Figura 61 - Preparação para os testes .....	101
Figura 62 - Adaptador de mangueira.....	102
Figura 63 - Conjunto teste 2 .....	104
Figura 64- Preparação da piscina.....	106
Figura 65 - conjunto propulsão/base .....	109

Figura 66 - conjunto sucção.....	110
Figura 67 - preparação do robô.....	112
Figura 68 - Problemas .....	112
Figura 69 - vedação .....	113
Figura 70 - Posicionamento do robô.....	114
Figura 71 - Movimentação e sucção.....	114
Figura 72 – Usinagem da caixa do motor.....	117
Figura 73 - Usinagem da Rampa. ....	118
Figura 74 - Usinagem do suporte da roda. ....	118
Figura 75 - Conjunto Motor-Caixa-Pinhão. ....	119
Figura 76 - Botões de acionamento. ....	120
Figura 77 - Torre. ....	120
Figura 78 - Conjunto inferior.....	121
Figura 79 - Pinhão-Engrenagem.....	121
Figura 80 - Conjunto sem carenagem.....	122
Figura 81 - Detalhe do conjunto inferior. ....	122
Figura 82 - Conjunto Completo (Lateral).....	123
Figura 83 - Conjunto completo (Superior). ....	123
Figura 84 - Conjunto inferior.....	124
Figura 85 - Conjunto completo.....	124
Figura 86 - Protótipo x CAD. ....	125

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva da bomba gerada através de dados do fabricante .....	53
Gráfico 2 - Curva para determinação do ponto de operação da bomba .....	60
Gráfico 3 - Coeficiente de arrasto.....	76
Gráfico 4 - Coeficiente de arrasto.....	77

## **1 Resumo**

Segundo a ANAPP (Associação Nacional dos Fabricantes e Construtores de Piscinas e Produtos Afins), o Brasil é o segundo maior produtor de piscinas do mundo somando 1,5 milhão, sendo 80% particulares. A maior quantidade de piscinas do mundo encontra-se nos Estados Unidos, 9 milhões. O mercado de piscinas no Brasil cresce em torno de 4% e 5% ao ano, o equivalente a 60 mil piscinas.

As paredes e o fundo das piscinas necessitam de limpeza periódica a fim de remover a gordura e a matéria orgânica que tendem a se acumular, além das poeiras e partículas diversas levadas à piscina e que aí se depositam. Através de pesquisas de mercado e de campo notou-se a presença de poucas empresas nacionais especializadas no ramo de limpeza de piscinas. Dentre elas somente uma apresentou um aparato capaz de limpar a piscina de forma autônoma. Apesar da existência, seu custo é extremamente elevado. É neste contexto que se formulou este projeto.

Este trabalho teve como objetivo o projeto e a execução de um aspirador de piscina autônomo, capaz de limpar uma gama de formatos padrões de piscinas domésticas existentes no mercado. O escopo deste trabalho engloba apenas o projeto e a construção da parte mecânica do robô, ficando o controle como sendo uma proposta para trabalhos futuros. Este aspirador deve possuir um sistema próprio de limpeza, locomoção e de controle de deslocamento. Produtos (que cumpram com a função de limpeza) existentes atualmente no mercado foram analisados, para que fosse possível entender o processo de limpeza, identificando os processos, suas necessidades e seus pontos positivos e negativos.

A partir dos dados obtidos na fase de projeto partiu-se para a realização de testes com o objetivo de confirmar os cálculos e identificar possíveis falhas. A idéia foi iniciá-los o mais rápido possível para que se adquirisse experiência e possíveis modificações sejam realizadas antes da construção do protótipo final. Através destes testes iniciais pode-se eliminar erros irreparáveis numa fase posterior a construção do protótipo.

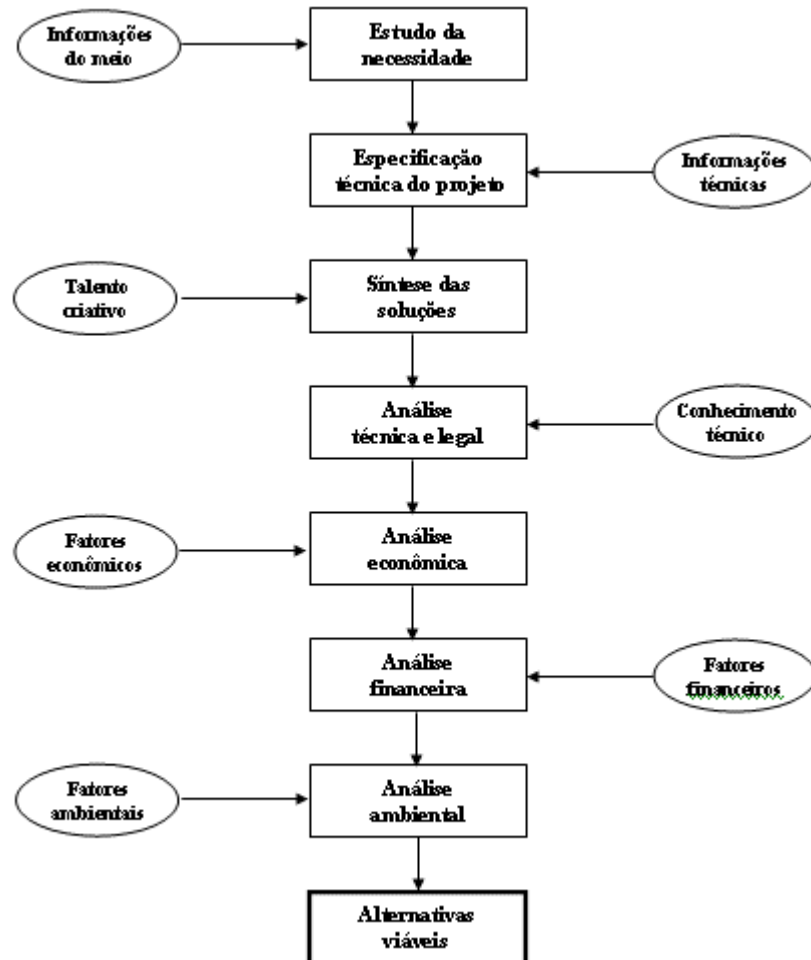
Construiu-se o protótipo.

## **2 Descrição das etapas a serem desenvolvidas**

- 1) Estudo da necessidade: nessa fase inicial estuda-se a existência da necessidade a qual o projeto se propõe a cumprir, incluindo estudo de mercado.
- 2) Geração de soluções: neste item, são feitas propostas de possíveis soluções de robôs. Há também um estudo para conhecer os robôs que já existem no mercado.
- 3) Estudo de viabilidade: o projeto será analisado e descrito de forma a mostrar que o mesmo é viável. A viabilidade econômica mostrará se o valor do projeto é condizente com a proposta do trabalho, e a viabilidade técnica, se é possível de ser fabricado. Possíveis soluções serão propostas, e uma pesquisa de mercado é feita.
- 4) Escolha da solução: dentre as soluções propostas, escolhe-se a que melhor se encaixa nos parâmetros de projeto.
- 5) Projeto básico: neste item, deve-se chegar numa solução dentre as propostas. Com a solução definida, inicia-se o projeto específico do robô. Serão definidos os componentes e as formas de funcionamento.
- 6) Geração de desenhos: aqui serão gerados os desenhos de fabricação do robô e listagem de peças.
- 7) Planejamento da fabricação: deve-se encontrar fornecedores para as peças e matéria prima que será utilizada. Deve-se fazer uma programação do tempo necessário para a logística desta etapa, incluindo o tempo de usinagem dentro da escola.
- 8) Fabricação do protótipo: início da usinagem e montagem das peças que compõe o robô.
- 9) Unificação dos projetos: junção do projeto do robô em si com o mecanismo/controle da movimentação do robô na água.
- 10) Testes do protótipo: realização de testes para garantir a conformidade do protótipo com os parâmetros de projeto. Realizar possíveis alterações e solucionar problemas que possam aparecer.

### 3 Avaliação da viabilidade técnica econômica

#### 3.1 Fluxograma para o estudo de viabilidade



#### 3.2 Estudo da Necessidade

Através de uma pesquisa, pode-se colher alguns dados sobre piscinas. Segundo a ANAPP (Associação Nacional dos Fabricantes e Construtores de Piscinas e Produtos Afins), o Brasil é o segundo maior produtor de piscinas do mundo somando 1,5 milhão, sendo 80% particulares. A maior quantidade de piscinas do mundo encontra-se nos Estados Unidos, 9 milhões. O mercado de piscinas no Brasil cresce em torno de 4% e 5% ao ano, o equivalente a 60mil piscinas.

Há cidades onde o número de piscinas chama a atenção, por exemplo, Brasília, onde por causa da aridez, 3,5% das residências têm piscinas. Isso faz de Brasília a campeã nacional de número de piscinas por habitante.

As paredes e o fundo das piscinas necessitam de limpeza periódica a fim de remover a gordura e a matéria orgânica que tendem a se acumular, além das poeiras e partículas diversas levadas à piscina e que aí se depositam. Através de pesquisas de mercado e de campo notou-se a presença de poucas empresas nacionais especializadas no ramo de limpeza de piscinas. Dentre elas somente uma apresentou um aparato capaz de limpar a piscina de forma autônoma. O aparelho da empresa Sodramar custa em torno de R\$5000,00, custo que é extremamente elevado.

Através de uma pesquisa realizada entre donos de piscinas, revendedores de equipamentos para limpeza de piscina e pessoas que trabalham com a limpeza e manutenção da mesma foi possível realizar o levantamento de dados que nos ajudaram a identificar o que é valor para o nosso cliente, isto é, tudo o que o cliente deseja em um aspirador autônomo de piscina e pelo o qual esteja disposto a pagar.

Abaixo estão listadas as necessidades identificadas:

Baixo custo – melhor relação custo x benefício;

Autonomia inteligente – independente, durante a limpeza, solicitando auxílio humano apenas quando for incapaz de continuar suas operações;

Eficiente – deve limpar o máximo possível em um único ciclo de trabalho;

Rápido – baixo tempo para realizar a limpeza;

Fácil utilização – simples e prático manuseio;

Durável – resistente à utilização de leigos e com manutenção simples;

Fácil transporte – leve, pequeno e fácil de ser carregado.

Para se ter uma noção mais apurada e precisa do problema em questão, foi feita um estudo sobre os mecanismos tradicionais de limpeza de piscina e seus formatos padrões.

### 3.2.1 Formas e dimensões

A forma mais habitual de uma piscina é retangular, podendo ser planejada uma piscina de forma variada e de dimensões diversas, de acordo com o fim a que se destina.

Nas piscinas para a natação desportiva, as dimensões oficiais previstas são de 25 metros de comprimento, por 12 a 18 m de largura, ou ainda, de 50x25m. As piscinas residenciais normalmente podem ter de 5 a 14 metros de comprimento, 3 a 6 metros de largura e 0,8 a 1,7 m de profundidade.

A profundidade mínima regulamentar para as competições natatórias é de 1,5m; no entanto, segundo o [3] aconselha-se no geral, 2,5 a 3 metros, de preferência profundidade uniforme. As piscinas mais rasas são naturalmente mais econômicas, seja quanto ao consumo de água, como também, ao material destinado para seu tratamento e purificação.

A forma do fundo tem ainda importância em face da higiene, na maior ou menor facilidade que possa apresentar para a limpeza. Existem também os fundos em forma de “colher” ou de “concha”. Estes formatos são normalmente utilizados para prática de saltos.

No primeiro caso, a rampa se inicia suave na cabeceira da parte rasa, aumentando a sua intensidade até atingir o ponto mais fundo, debaixo da torre de saltos, continuando num sentido ascendente até a outra cabeceira. Ver Figura 1.

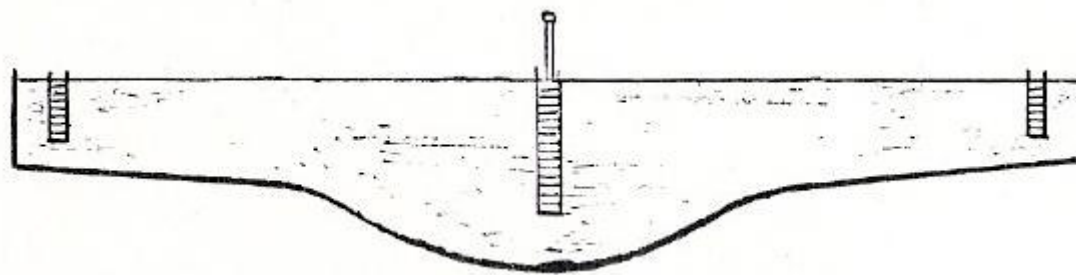


Figura 1 - Piscina do tipo colher

No segundo caso em “concha”, se caracteriza por apresentar declives moderados partindo das duas cabeceiras, dirigidos para a parte mais funda, no centro da piscina. Ver Figura 2.



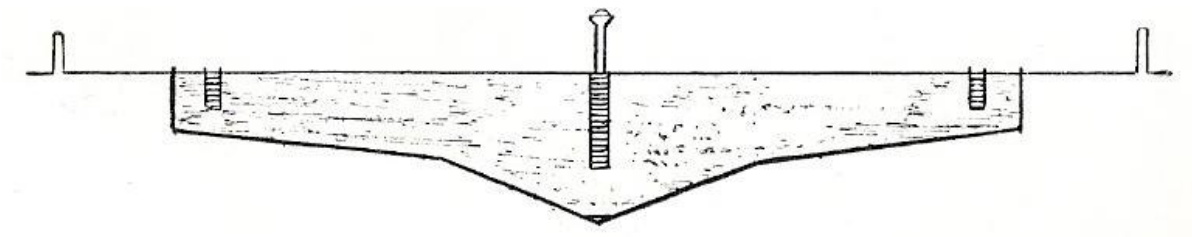


Figura 2 - Piscina do tipo concha

Em face da higiene, os dois tipos gerais são aceitáveis, porque favorecem o escoamento para o esgoto ou para a recirculação, auxiliando o trabalho do aspirador de fundo e facilitando assim as manobras de limpeza.

### **3.2.2 Limpeza da piscina**

#### **3.2.2.1 Introdução**

As paredes e o fundo necessitam de limpeza periódica a fim de remover a gordura e a matéria orgânica que tendem a se acumular, além das poeiras e partículas diversas levadas à piscina e que aí se depositam.

Nas piscinas de alimentação intermitentes, há o esvaziamento temporário, para uma limpeza completa, com renovação total da água; hoje, com o sistema de recirculação, as escovas e o aspirador de fundo, a piscina não necessita ser esvaziada, mantendo-se a mesma água indefinidamente, só completada nas perdas pelo uso. O esvaziamento só se verificará em casos de extrema necessidade, evitando-se assim, gasto considerável e periódico da água e do material de tratamento.

A limpeza das paredes, no mínimo 2 vezes por semana, segundo [3], de acordo com a maior ou menor frequência, se faz com a escova movida a motor ou com a simples e manual, dotadas de cabo longo.

Nas goteiras e ladrilhos acima do nível da água, até a borda, a zona de fácil acesso, a limpeza deve ser feita, e será mais favorável, pela própria mão do operador.

A limpeza do fundo é feita com os aspiradores próprios, aparelhos de sucção que acompanham o equipamento da piscina. Nas piscinas de recirculação, o aspirador é acionado pelo motor da casa de máquinas, a qual está ligado por tubulação própria; para

os outros tipos de piscinas, há aspiradores menores, funcionando pela ação de um moto-bomba portátil.

O trabalho do aspirador, segundo [3], no mínimo em dias alternados remove do fundo todas as impurezas depositadas, limpa também as paredes laterais e acarreta sempre numa certa perda da água aspirada, dirigida para o esgoto.

Em algumas piscinas bem tratadas, principalmente em piscinas internas, onde a poluição pelas poeiras é relativamente menor, a água da sucção pode ser aproveitada para a casa de máquinas, de onde será re-circulada, após filtração e esterilização. É um processo que economiza a água, porém acaba sobrecarregando os filtros.

Nas piscinas externas, o vento carrega uma serie de substancias estranhas, que permanecem muito tempo na superfície, algumas depositando lentamente no fundo, combinando-se após diluição, com a matéria orgânica existente na água. Folhas e pequenos galhos de árvores vizinhas, terra e saibro de campos próximos, papeis e outras partículas, causam um aspecto desagradável a água, além de constituírem elementos de maior consumo de cloro e, portanto, perturbadores do estado sanitário da piscina.

Para a limpeza superficial das piscinas, uns sistemas práticos e simples de peneira, que, ligada a um cabo longo, vai retirando todas as substancias estranhas flutuantes. A peneira é confeccionada com tela fina, protegida por uma moldura de alumínio, ou se resume na peneira comum.

### **3.2.2.2 Mecanismo tradicional de limpeza**

De acordo com o processo de suprimento da água, as piscinas podem ser catalogadas, de um modo geral, em 3 tipos:

De renovação total e periódica, piscinas de alimentação intermitente. Um exemplo são as piscinas de plástico de criança.

De renovação permanente, as de fluxo continuo, em que há entrada constante da água limpa e escoamento permanente do excesso. Um exemplo são as piscinas naturais.

De recirculação, em que a própria água usada é levada ao maquinário, para tratamento e esterilização, retornando ao tanque em condições satisfatórias para ser novamente aproveitada.

Para o trabalho, somente as piscinas de recirculação serão citadas, pois são encontradas em maior número.

Nas piscinas de recirculação, a água re-circulada pode ser mantida indefinidamente, bastando completar o nível quando necessário, em virtude do gasto natural pelas goteiras, pela evaporação, nas roupas dos banhistas, ou durante a sucção efetuada para a limpeza do tanque. A água recirculada sofre as varias etapas do tratamento, e após ser filtrada, volta a piscina novamente em condições de uso, diluindo, na proporção que chega, a água impura existente no tanque.

### 3.2.2.2.1 Equipamento para a recirculação

De um modo sucinto, esse equipamento compreende os grupos moto-bombas centrífugas, coadeira, dreno, dispositivos de aspiração, dispositivos de retorno e os filtros. Na figura a seguir pode-se observar tais componentes.

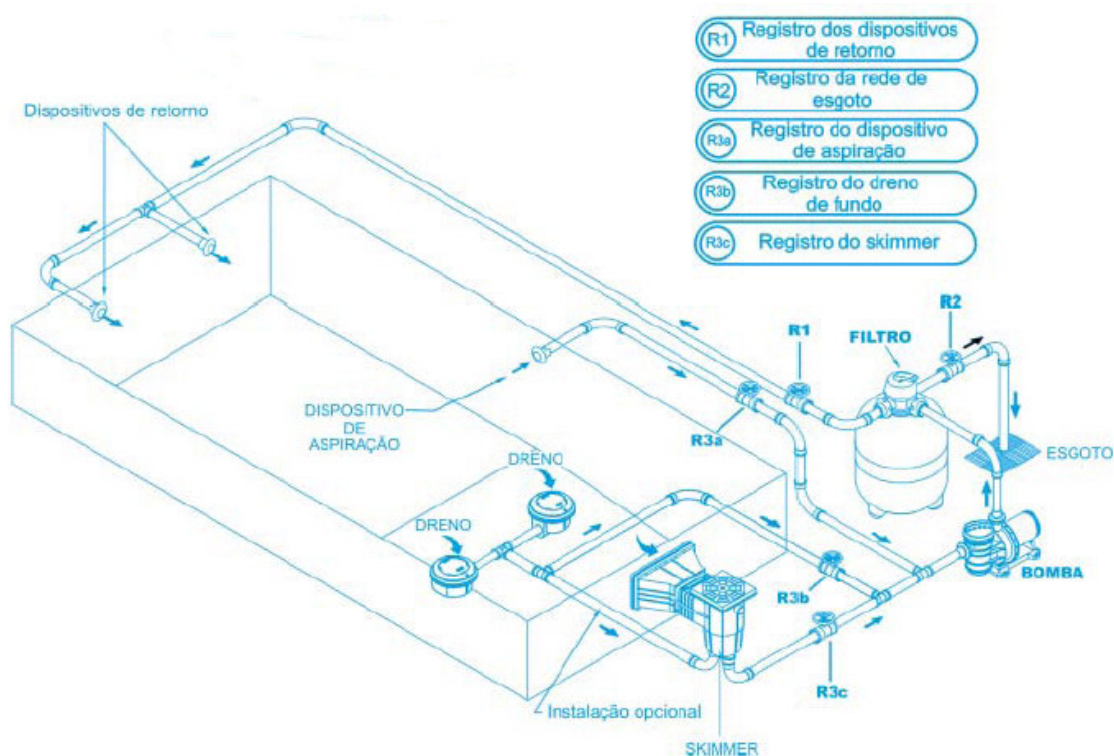


Figura 3 - Desenho esquemático dos componentes de uma piscina

O grupo moto-bomba centrífuga (ver Figura 4) constitui a força central de sistemas de recirculação, devendo apresentar um rendimento satisfatório na unidade de tempo, rendimento que será concordante com a capacidade de aço da bateria de filtros.

Tem a função de aspirar a água da piscina e depois manda - la para o filtro com pressão suficiente para fazer a filtração, aquecimento, sanitização e depois retornar para os jatos fixos de fundo e jatos fixos de parede.



Figura 4 - vista explodida do motor

O skimmer ou coadeira tem a função de fazer a sucção da superfície da piscina, sujeiras que por ventura ainda não afundarão, e por este motivo estão flutuando na superfície da água.

O dreno tem a função de aspirar a sujeira vinda da piscina como proporcionar a circulação.

O dispositivo de aspiração, normalmente localizado no meio de uma das paredes da piscina, tem a função de limpeza das paredes. É por este dispositivo que se conecta a vassoura ou eventualmente um robô que limpe as paredes e o fundo da piscina.

Um outro componente importante de se mencionar é o retentor ou pré-filtro ou cesto coletor, destinado a apreender cabelos, fios de malhas das roupas e outras substancias estranhas trazidas pela sucção através do ralo do fundo. É ele que inicia realmente a purificação da água, removendo uma grande parte de seus detritos, e aliviando o trabalho das bombas e dos filtros. Este se localiza no bocal da bomba. Ver Figura 4. A ausência do retentor permitirá a passagem de todas essas impurezas para o material filtrante que, desse modo ficaria intensamente impregnado. Este é constituído basicamente de uma câmara de metal, contendo no seu interior um cilindro de tela fina,

de material não corrosivo, por onde a água passa e deixa retidas as partículas estranhas. Normalmente este cilindro permite fácil remoção.

O filtro (ver Figura 5) vem do motor e tem a função de filtrar a água da piscina, através de agente filtrante (areia, cartucho e diatomita são os mais utilizados).

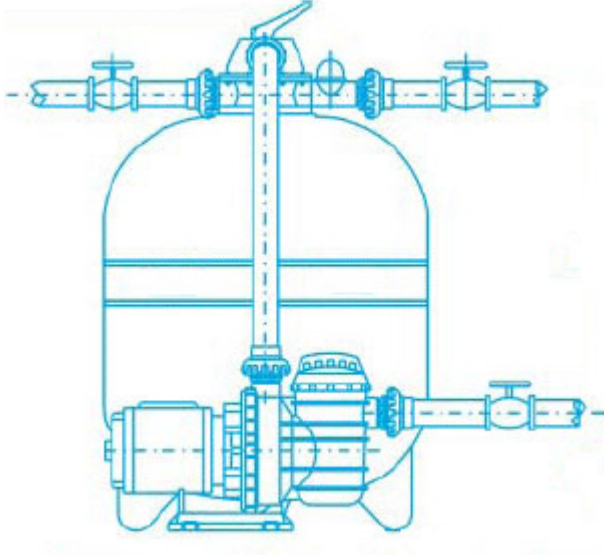


Figura 5 - Filtro

Normalmente os filtros de piscinas possuem as seguintes funções:

### **Filtrar**

A operação filtrar é realizada quando há a necessidade de retirar o acúmulo de sujeira do interior da piscina, possibilitando o retorno da mesma água, bem como, mantê-la sempre limpa e cristalina.

O material filtrante é alojado dentro de um cilindro de aço, onde a água entra sob pressão pelo tubo superior, saindo filtrada, no efluente que o conduzira a piscina. A figura a seguir mostra o processo.

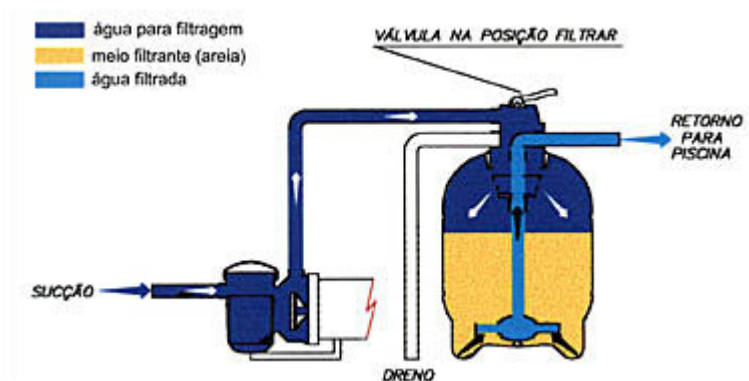


Figura 6 - Processo de filtração

## Retrolavar

É indispensável a lavagem diária do filtro ou quando a pressão do manômetro aumentar, realizada por inversão do fluxo, denominada retrolavagem. Essa manobra durará 5 a 10 minutos, segundo [3]

A operação retrolavar deverá realizar-se quando o meio filtrante (areia) estiver saturado por acúmulo de sujeira. Isto ocorrerá após diversos ciclos de filtração da água.

No caso de mais de um filtro, cada um deles será lavado com a água filtrada dos outros, sem interromper a recirculação e com o devido cuidado no controle das diversas válvulas, a fim de evitar um refluxo da água de lavagem para a piscina. A figura a seguir mostra o processo.

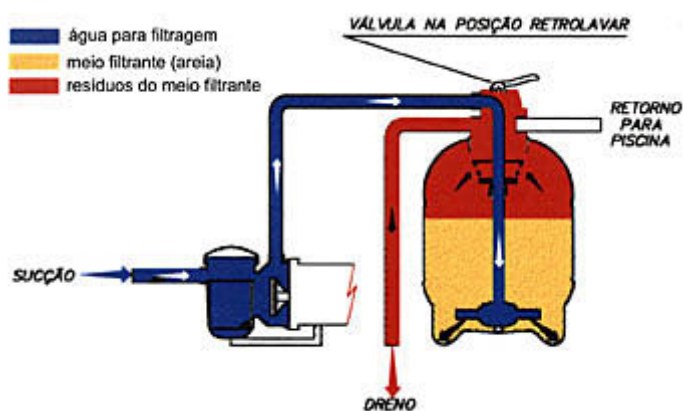


Figura 7 - Retrolavagem

## Pré-filtrar

Esta operação deve ser realizada após a retrolavagem, já que a mesma consiste em retirar qualquer resíduo que esteja alojado dentro do tanque, principalmente nas crepinas.

Através do visor, observa-se o aspecto da água que sai da pré-filtragem, onde a água deve mostrar-se transparente, sendo que o tempo de duração desta operação não deve ultrapassar a 1 minuto. A figura a seguir mostra o processo.

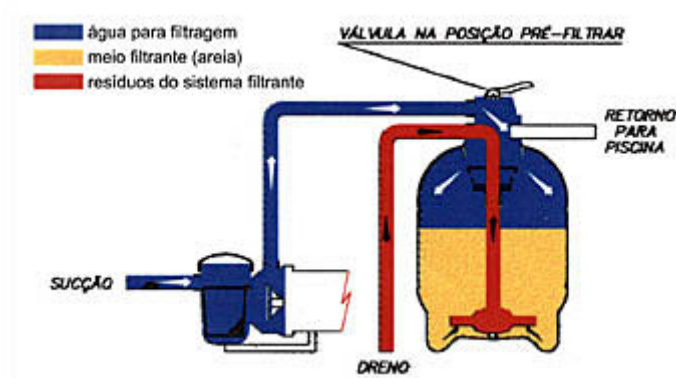


Figura 8 - Pré- filtrar

## Fechar

Esta operação tem o intuito de testar os equipamentos que trabalham em conjunto com o filtro, como a tubulação, a bomba e o próprio filtro. A figura a seguir mostra o processo.

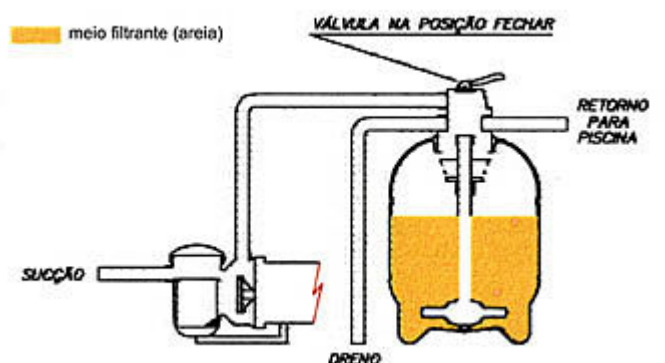


Figura 9 - Fechar

## Drenar

Esta operação é realizada quando há necessidade de esvaziar a piscina, ou quando a água estiver extremamente suja, por motivo de decantação através de produtos químicos ou por acúmulo natural de sujeira. Estas são situações em que deve ser utilizado o bom senso para que a aspiração com excesso de sujeira não passe pelo filtro, para não saturar o sistema, e sim, seja despejada no esgoto. Caso necessite esvaziar a piscina, somente o dreno deve executar a sucção e a piscina não pode ser utilizada por banhistas. A figura a seguir mostra o processo.

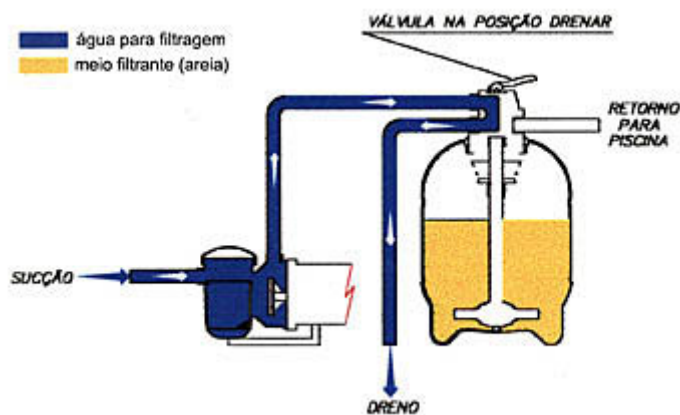


Figura 10 - Drenar

## Recircular

Esta finalidade é realizada quando há necessidade de misturar de forma homogênea os produtos químicos despejados na água da piscina, logo após sua adição. A figura a seguir mostra o processo.



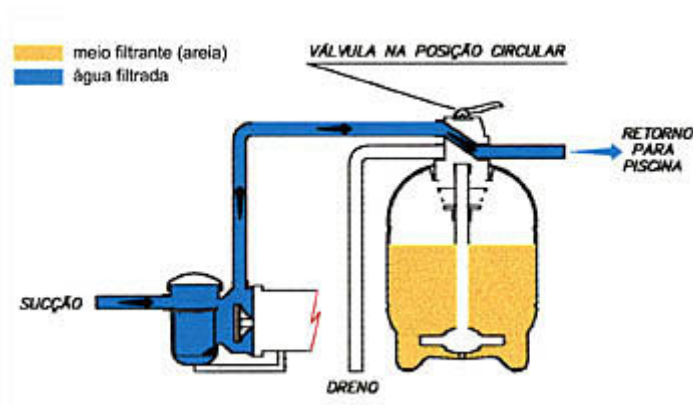


Figura 11 - recircular

### 3.2.2.3 Mecanismo alternativo de limpeza

Esta é uma das soluções para a limpeza autônoma de piscinas. Esta solução denominada de AutoPool executa o processo de limpeza física (aspiração) sozinho, por meio dos mesmos jatos de fundo que auxiliam no aquecimento. Estes jatos, através da pressão d'água, direcionam a sujeira física direto para o ralo.

Outro ponto a favor é a redução substancial na sanitização (cloro ou outro agente sanitizante). Isto porque, através da circulação da água o agente sanitizante (que é volátil) é misturado por toda a piscina, auxiliando na limpeza química. Isto é, a frequência do uso do cloro é reduzido.

O sistema AutoPool, é utilizado desde 1967 nos Estados Unidos e Europa. Mas aqui, ele ainda é barrado pela cultura do mercado brasileiro.

Apesar das vantagens mostradas, esta é um sistema que precisa ser instalado na piscina na época de construção da mesma. O custo, para as pessoas que já possuem piscinas, torna-se alto. Logo a gama de clientes em potencial torna-se limitada.

Para se ilustrar com clareza o funcionamento tem-se as ilustrações a seguir:

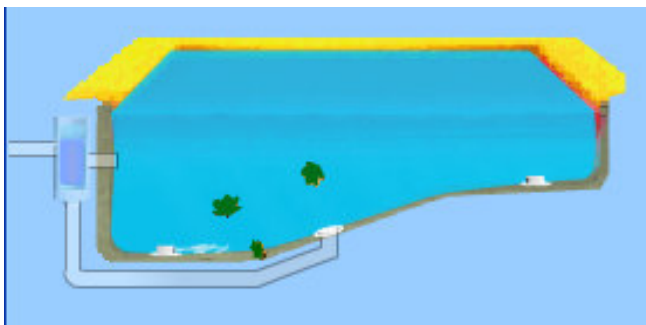


Figura 12 - Os jatos d'água empurram a sujeira para o ralo

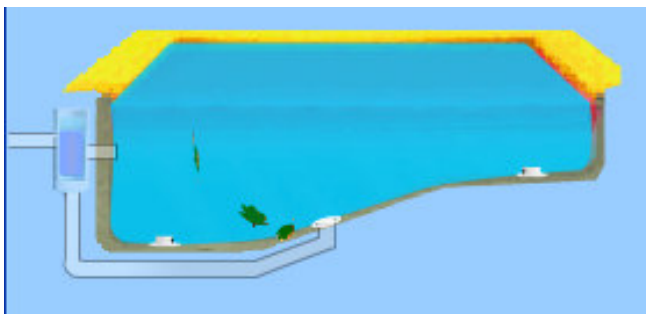


Figura 13 - A sujeira é empurrada para o ralo

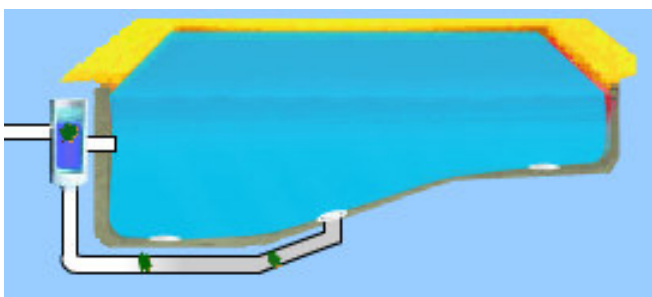


Figura 14 - A sujeira é retida no filtro

### **3.3 Especificação Técnica**

Através de pesquisas de mercado e de campo, foi possível atentar para alguns requisitos e exigências do cliente. Requisitos funcionais, operacionais e construtivos devem ser respeitados.

#### **3.3.1 Funcionais**

**Transporte** – o aparelho deve provir de uma alça ou um veículo que o transporte.

**Versatilidade** – o aparelho deve funcionar em piscinas de formato retangular e circular.

#### **3.3.2 Operacionais**

**Voltagem** – operável à 127 V ou 220 V

**Durabilidade** – vida útil dos principais componentes de no mínimo 3 anos, admitindo um uso em dias alternados.

**Confiabilidade** – nenhuma falha ocorra num período de 1 ano, portanto este sendo o período de garantia do fabricante, admitindo um uso em dias alternados.

**Autonomia** - uso contínuo do aparelho durante o período de limpeza, sem parada para limpeza do filtro, troca de baterias ou lubrificação dos componentes. Não há a necessidade de monitoramento durante o uso.

**Sucção** – Succiona detritos similares a grãos de areia.

**Região de cobertura** – o aparelho deve estar apto a trabalhar numa piscina de até 14x6x1,7m.

### **3.3.3 Construtivas**

**Peso máximo** – 8 kg para que a retirada do aparelho na piscina e sua locomoção seja facilitada.

**Dimensões** – 500 x 500 x 500 mm. O aparelho deve possibilitar que uma pessoa o transporte sozinha.

### 3.4 Síntese das soluções

Com os critérios de projeto definidos pela especificação de suas características, foi necessário conceber, inventar, adaptar, atrelar e sintetizar soluções concretas de sistemas que poderão gerar o produto final.

O robô em questão deve cumprir funções que podem ser realizadas de diversas formas possíveis. Abaixo segue uma descrição de diversas maneiras de construção do robô, variando formas de energia e componentes.

- **Energia para locomoção**

Energia elétrica da rede;

Baterias;

bomba da piscina;

Neste caso o robô não tem ligações com a rede elétrica e nem carrega baterias, por isso esta é considerada a solução de menor custo, visto que normalmente as piscinas já são providas de bombas.

- **Energia para aspiração**

Bomba da piscina;

Neste caso, a bomba tem a mesma função do caso em que utiliza-se aspiração manual.

Energia elétrica da rede;

O robô tem uma bomba que faz o papel da aspiração.

- **Forma de movimentação**

Rodas;

Rolos;

Nesse caso, os rolos têm cerdas que efetuam escovação da superfície.

hélice;

As hélices seriam usadas para movimentação na superfície, ou no fundo da piscina.

- **Regiões de limpeza**

Fundo;

Paredes;

Superfície;

- **Mecanismo de movimentação**

Turbina;

A sucção da bomba gira uma turbina que movimenta as rodas.

Motor elétrico;

O motor elétrico movimenta as rodas.

- **Destino dos resíduos**

Coletor da bomba;

Os resíduos aspirados vão para o coletor da bomba como no caso da aspiração manual.

Coletor do robô;

Os resíduos são armazenados no próprio robô ou numa rede ligada ao mesmo.

- **Sistema de limpeza**

Sucção simples;

Sucção simples com escovação;

Simultaneamente à sucção o robô escova a superfície sob a qual ele se locomove.

A partir dessas descrições, e da realização de Brainstorms, chegou-se nas seguintes possíveis propostas de solução, indicadas na tabela:

	<b>Robô A</b>	<b>Robô B</b>	<b>Robô C</b>	<b>Robô D</b>	<b>Robô E</b>
<b>Energia para locomoção</b>	Bomba da piscina	Rede elétrica	Bomba da piscina	Bomba da piscina	Bomba da piscina
<b>Energia para aspiração</b>	Bomba da piscina	Rede elétrica	Bomba da piscina	Bomba da piscina	Bomba da piscina
<b>Forma de movimentação</b>	Rodas	Rodas	Rolo	hélice	Roda
<b>Regiões de limpeza</b>	Fundo	Fundo e Paredes	Fundo	Fundos/Superfície	Fundo e Paredes
<b>Mecanismo de movimentação</b>	Turbina	Turbina	Turbina	hélice	Motor elétrico
<b>Destino dos resíduos</b>	Coletor Bomba da pisc.	Coletor do Robô	Coletor Bomba da pisc.	Coletor Bomba da pisc.	Coletor do Robô
<b>Sistema de limpeza</b>	Sucção simples	Sucção simples	Sucção e escovação	Sucção simples	Sucção simples

Tabela 1 - Soluções propostas

### 3.4.1 Soluções

Abaixo estão apresentadas as soluções da tabela de forma mais detalhadas e com exemplos de soluções que já existem. Essas soluções são de aparelhos fabricados e comercializados fora do Brasil.

### 3.4.1.1 Robô A

Temos como exemplo da solução “Robô A” o modelo ATV do fabricante Polaris. O preço deste robô na Austrália (onde é fabricado) é de U\$ 500,00.



Figura 15 - Exemplo de robô A

Este robô de 3 rodas têm como fonte de energia e aspiração somente a bomba da piscina. Utiliza rodas para se locomover e aspiração simples.

Este produto da Polaris tem como principais componentes:

- Carcaça superior;
- Carcaça inferior;
- Chassi;
- 3 Rodas;
- Propulsor central;
- Correias;
- 2 polias;
- 3 rolamentos
- Engate para mangueira.



### 3.4.1.2 Robô B

Para o Robô B, temos o exemplo do modelo 480 PRO, da empresa Polaris.



Figura 16 - Exemplo de robô B

Neste modelo, a energia de movimentação é feita por energia elétrica da rede. A aspiração vem de uma bomba interna ao robô que é movida por energia elétrica. A aspiração é simples. Este produto da Polaris tem como principais componentes:

- Carcaça superior
- Carcaça inferior;
- Chassis;
- 3 Rodas;
- Propulsor central;
- Corrente;
- Compartimento de depósitos;
- Redução;

### 3.4.1.3 Robô C

Para o robô da solução C, temos como exemplo o robô T4 da firma Aquabot.



Figura 17 - Exemplo de robô C

Neste modelo, a energia vem da bomba e a movimentação é por rolos.

O produto da Aquabot é composto por:

- Carcaça superior;
- Carcaça inferior;
- Chassis;
- Alça;
- Rolos de movimentação e limpeza;
- Esteiras/Correias dentadas;
- Propulsor central.

#### 3.4.1.4 Robô D

Como exemplo de solução D, tem-se o robô Turbo Turtle da firma Polaris.

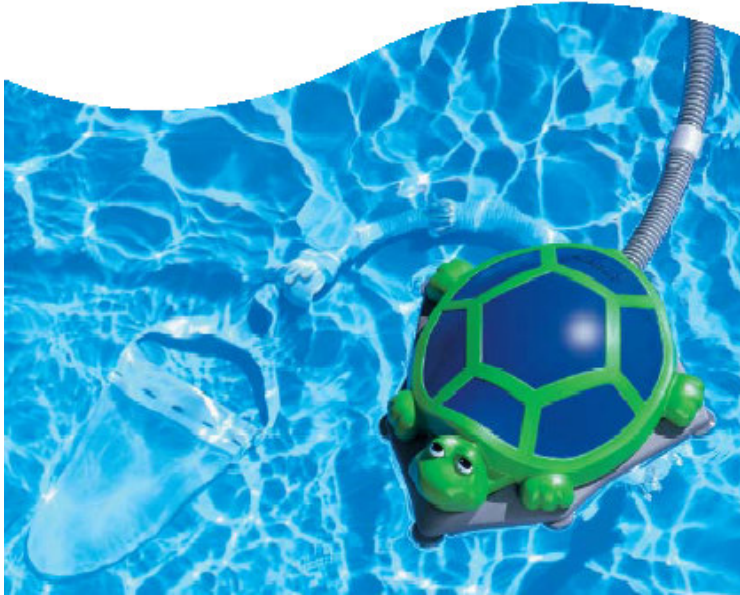


Figura 18 - Robô D

Neste modelo toda movimentação e energia provêm da bomba da piscina. Uma hélice faz com que o robô se mova na superfície limpando a mesma, enquanto uma rede varre o fundo da piscina.

O produto da Polaris é composto por:

- Carcaça superior;
- Chassis;
- Mecanismo de propulsão;
- Braço de suporte para rolo e compartimento de depósitos;
- Rolo;
- Compartimento de depósitos;
- Mangueira de ligação entre o chassi e o compartimento de depósitos.

### 3.4.1.5 Robô E

Um exemplo de solução E é o robô HP da empresa Mars.

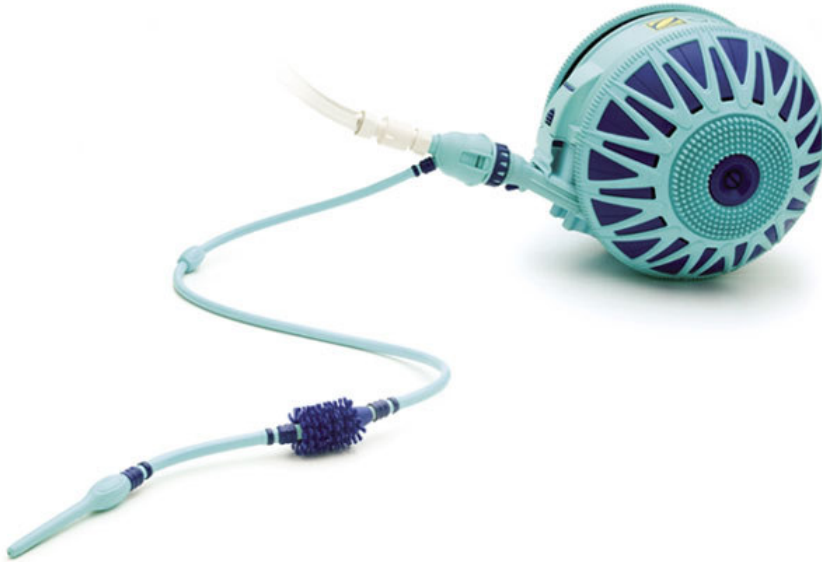


Figura 19 - Exemplo de robô E

Este Robô armazena os resíduos em seu próprio corpo, que gira. A energia para locomoção e sucção vem da bomba da piscina.

Este produto da Mars é composto basicamente por:

- Carcaça com entradas para os resíduos;
- Sistema propulsor;
- Cavidade interna para armazenar os resíduos;
- Eixo central.

### **3.5 Análise econômica**

Para a análise econômica, consideraram-se componentes básicos que certamente estarão presentes num robô, independentemente de qual solução será escolhida. Estes componentes são peças básicas como carcaças, rodas e parafusos.

Para tal estimativa, consultou-se um especialista da firma GTI Plásticos, o qual forneceu os preços médios dessas peças dadas as dimensões estimadas.

O custo com injeção por robô seria de R\$ 100,00, incluindo carcaça superior, inferior, chassi, 4 rodas e outros componentes menores.

O custo com ferramental de injeção, o que inclui moldes de qualidade para injetar um milhão de peças, sairia por volta de R\$ 400.000,00.

Considerando esses dados, e incluindo despesas como funcionários, instalações industriais, energia, aluguel e etc., pretende-se que o produto, no caso de uma produção em série, não ultrapasse o preço de custo de R\$ 500,00. Com isso espera-se obter um produto com um preço competitivo.

Analisando as soluções propostas, nota-se que a solução B é a que teria o custo mais elevado, pois contém peças a mais que as demais soluções, como por exemplo, o reservatório de armazenar resíduo. Já a solução E seria, numa primeira análise, a mais barata por ser um robô compacto construído com poucas peças.

No caso de uma análise econômica voltada para o protótipo que será fabricado, deve-se considerar a utilização de meios de fabricação de menor custo possível. Injeção é um meio de fabricação inviável para um único robô protótipo.

Será necessária a utilização de formas alternativas como, por exemplo, fabricar um molde em madeira e fazer a carcaça em fibra de vidro. Pode-se também usar pequenos componentes a partir de tarugos de polímeros.

Processos de usinagem serão realizados pelos próprios autores deste trabalho no Laboratório de Máquinas Operatrizes (LMO) da escola, contando com a ajuda dos técnicos do laboratório.

A tabela abaixo mostra uma estimativa de gastos na construção do protótipo:

Material/Operação	Preço unit. (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)
Resina e endurecedor	40/Kg	1Kg	40
Fibra de vidro	7,5/m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup>	75
Madeira MDF	20/m <sup>2</sup>	2m	40
Usinagem do molde	LMO	LMO	0
Parafusos	0,5	10	5
Arruelas	0,15	20	3
Porcas	0,4	10	4
Mangueira	1/m	20m	20
Conector de mangueira	5	2	10
Vassoura de sucção	10	1	10
Chapa de Al 5mm espes.	50/m <sup>2</sup>	0.5m <sup>2</sup>	25
Tarugo Al Diam. 1/2pol.	50/m	1	50
Rebites	0,2	30	6
Adaptação das rodas	5	4	20
Peças diversas*	x	x	100
<b>Total</b>			<b>408</b>

Tabela 2 - Estimativa de gastos com o protótipo

O item peças diversas contém as peças provenientes de adaptações e que não foram consideradas. É um valor para cobrir eventuais necessidades de peças.

A construção do protótipo será financiada pelos próprios autores do mesmo.

### **3.6 Análise técnica**

#### **3.6.1 Seleção de materiais**

Abaixo estão descritas as principais características de alguns polímeros que podem ser utilizados na fabricação do robô.

##### *Policloreto de Vinila Rígido (RPVC)*

Para que o robô seja de fácil manuseio e que qualquer pessoa possa carregá-lo, é importante que o produto seja de material leve. No entanto, para que o aparelho não se danifique facilmente, também é necessário um material de elevada resistência.

Entre os materiais pesquisados, estavam também o polietileno (PE), e o Acetato de Celulose. No entanto, o RPVC possui a melhor relação de dureza e densidade, ou seja, alia uma alta dureza e uma baixa densidade. O RPVC tem ainda como propriedades boa estabilidade dimensional e boa resistência à água. Esta última característica é a mais importante, dado que o robô estará sujeito a longas exposições imerso na água. Na sua forma rígida, é utilizado em peças moldadas de todos os tipos.

##### *Poliuretano (PUR)*

Em busca de uma solução para um robô que fosse simultaneamente leve e não facilmente quebrável, surgiu a idéia da utilização do poliuretano. Esse material apresenta densidade de apenas 0,032 a 0,040 g/cm<sup>3</sup>, segundo o livro “Handbook of Plastics Testing Technology”.

O poliuretano acaba se aproximando de um material não quebrável devido à sua excelente flexibilidade e à grande capacidade de suportar impactos sem deformação permanente. Apresenta boa estabilidade dimensional.

## 4 Projeto Básico

### 4.1 Desenvolvimento do Produto

Após analisar as soluções obtidas, houve uma série de mudanças e diversas versões foram geradas. Primeiramente adotou-se a solução mostrada na figura a seguir. Abaixo segue o desenho do layout dos principais componentes do robô desenhados no programa *Solidworks 2001*.

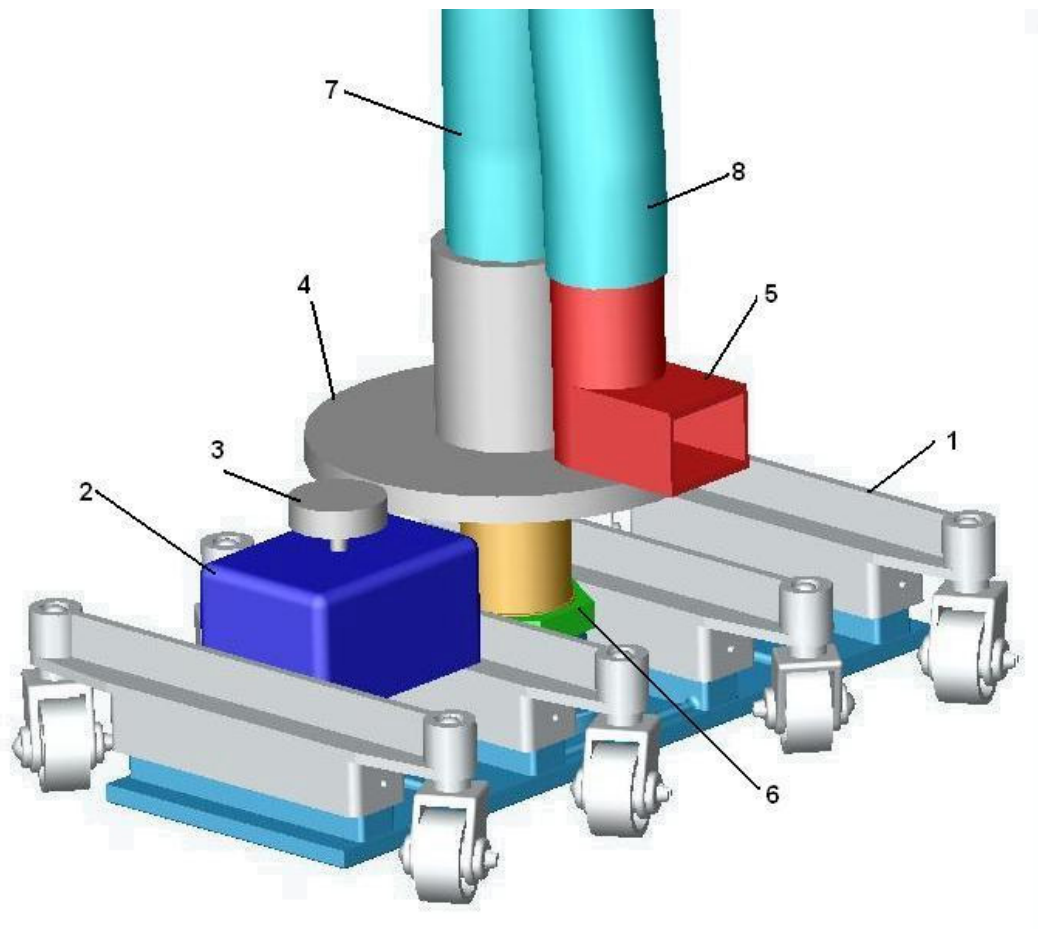


Figura 20 - Ilustração do aspirador de piscinas

Onde:

- 1- Estrutura do veículo. Base para montagem das demais peças e ligação com as rodas;
- 2- Caixa de vedação. No interior há o motor e a placa do controlador;
- 3- Pinhão. Saída do motor;
- 4- Engrenagem que, em conjunto com o pinhão do motor faz a redução que gira o jato de água;
- 5- Jato de água. Esta peça é colada à engrenagem, por este motivo tem o formato retangular, o que aumenta a área de contato;



- 6- Espaçador. Esta peça propicia maior rigidez e firmeza da tubulação central;
- 7- Tubulação de sucção, a qual aspira a sujeira da piscina;
- 8- Tubulação de retorno, a qual propicia o jato que impulsiona o robô.

Aparentemente mostrou-se eficiente, porém foi constatado que com o sistema de locomoção adotado, o aparelho dificilmente conseguiria mudar de direção abruptamente conforme era necessário.

Gerou-se então outras versões com diferentes mecanismos de locomoção, chegando assim na versão atual mostrada a seguir.

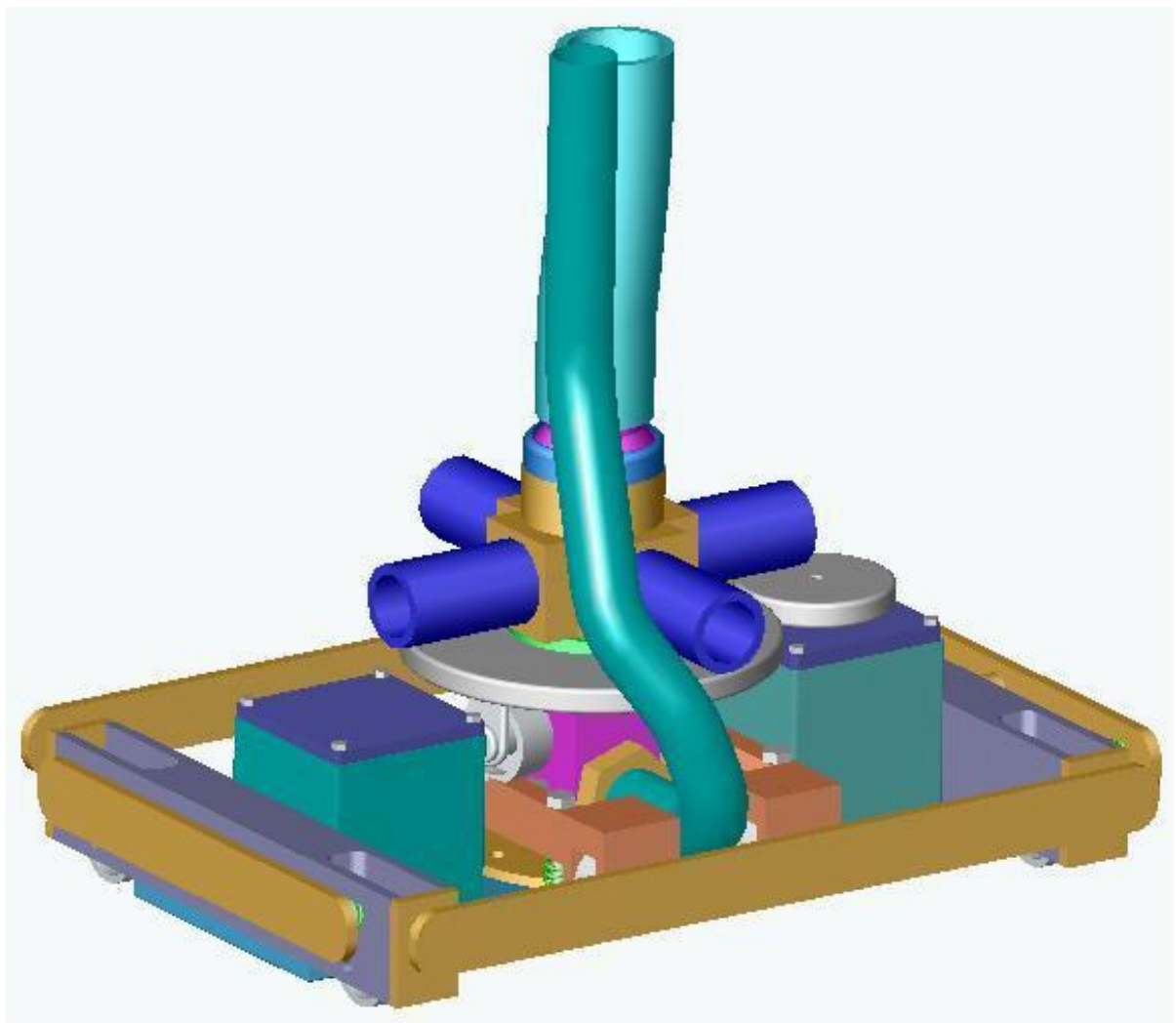


Figura 21 - Vista isométrica do robô

#### 4.1.1 Funcionamento geral

O princípio de funcionamento do robô utilizará a energia proveniente da bomba que equipa qualquer piscina existente no mercado, a partir de bombas de 1/2cv, o que é comumente encontrado em piscinas com dimensões a partir de 8x4m. O esquema básico de funcionamento entende-se a partir da figura seguinte:

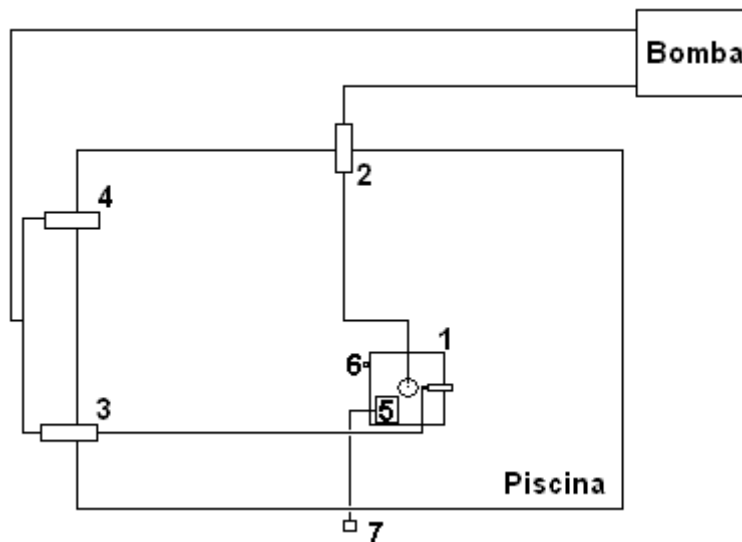


Figura 22 - Esquema de funcionamento

Onde:

- 1- Robô;
- 2- Ponto de sucção/aspiração da bomba;
- 3- Ponto de retorno da água;
- 4- Ponto de controle de vazão;
- 5- Caixa vedada para alojar o motor e outra caixa para alojar os fios;
- 6- Botão acionador.
- 7- Caixa para alocar o controlador e a fonte de energia elétrica.

O ponto 2 é o local onde normalmente se liga a mangueira usada na aspiração das piscinas. No caso, será ligada uma mangueira que irá até o centro do robô e fará a sucção da sujeira.

O ponto 3 é o local de retorno do fluxo de água, gerando assim um jato. Este fluxo será o responsável por impulsionar o robô.

No local indicado por 4, será instalada uma válvula manual que controlará a vazão conforme o usuário abrir ou fechar a mesma. Será possível assim, controlar a vazão que vai para o ponto 3 e com isso controlar a velocidade do robô.

Em 5, haverá uma caixa vedada, a qual irá conter em seu interior o motor de passo que controla a direção do fluxo de água. Haverá outra caixa para alojar a fiação do robô.

Seis, é um mecanismo de botão que será acionado por pára-choque e mandará o sinal para o microprocessador. Haverá um botão em cada lado do robô.

A indicação 7 é a fonte de energia elétrica de onde serão alimentados o controlador e o motor. Em 7 também será alojado o controlador.

Quando o botão for acionado, ou seja, o robô encontrar uma parede ou obstáculo, o microprocessador acionará o motor de passo. Este girará conforme a programação do microprocessador, mudando a direção do jato de água.

A ligação entre o jato de água e o motor será feita através de um par de engrenagens, calculados a partir do torque do motor e das resistências entre as peças poliméricas.

#### 4.1.2 Funcionamento do robô

A estrutura do veículo é formada por um chassi composto por uma base de sustentação e por barras de alojamento das rodas nas laterais.

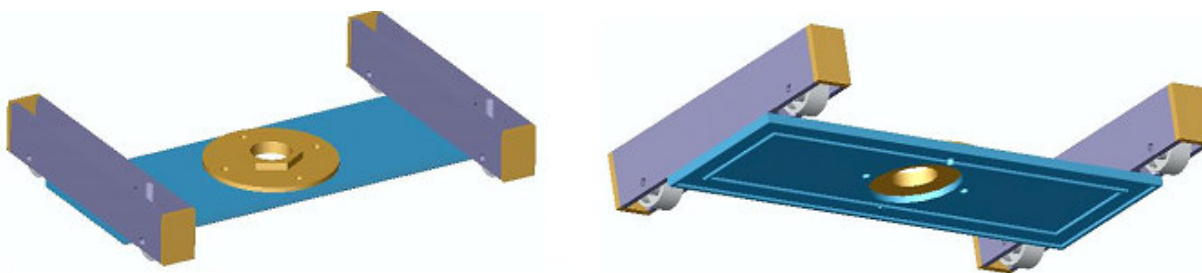


Figura 23 - Base do robô

O furo central é o local de passagem da sujeira que está na piscina. A partir deste centro monta-se o sistema de tubulação.

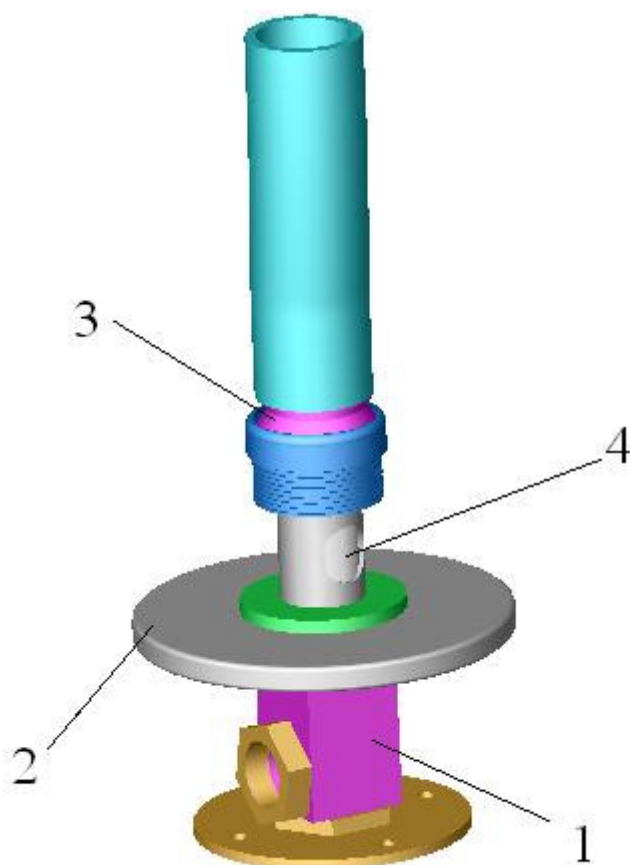


Figura 24 - Componentes centrais

Onde 1 é um cotovelo que tem a função de receber a tubulação de sucção e encaminhar esta pressão para o fundo da piscina onde a sujeira se encontra.

A peça 2 é a engrenagem que está ligada à tubulação de retorno. Quando é movimentada pelo motor a engrenagem gira a saída do fluxo, pois o furo indicado no ponto 4 troca de posição. O ponto 3 é o local de encaixe da tubulação de retorno no conjunto engrenagem/tubo.

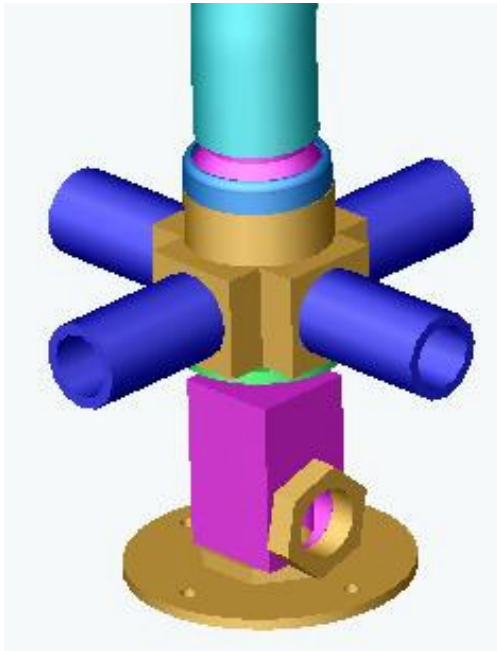


Figura 25 - Cruz de tubos

A cruz de tubos da figura é responsável por direcionar o fluxo de retorno nas quatro direções de movimentação do robô. Esta cruz é fixa no cotovelo da figura. A engrenagem, pelo seu furo central, movimenta-se girando o tubo que passa por dentro da cruz. Esse furo central permite a ligação e fixação da cruz ao cotovelo.

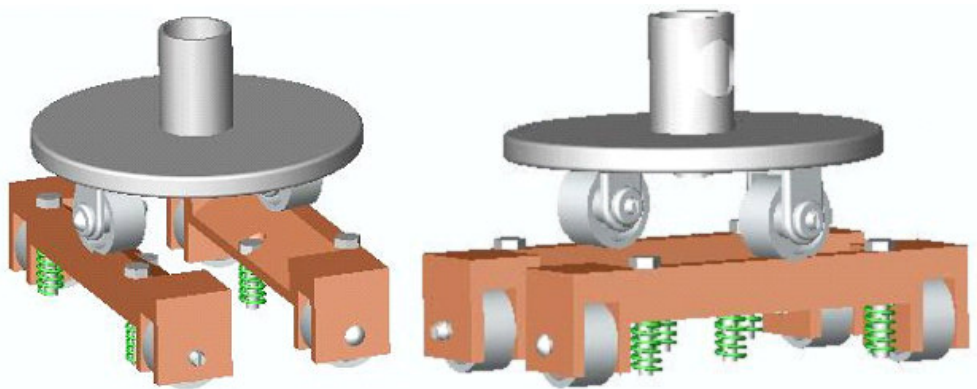


Figura 26 – Mecanismo

O mecanismo acima é o responsável por garantir a mudança de direção do robô sem desvios de roda. Quando o motor gira, os roletes fixos à engrenagem sobem uma rampa pressionando os dois conjuntos da figura até a parte plana dos conjuntos. Nesta posição, as rodas laterais externas não estão em contato com o chão, mas sim as rodas dos conjuntos. Estas rodas mudam a direção de movimento do robô. O mecanismo deve ser capaz de levantar o peso do robô.

Há duas caixas de vedação no veículo. Uma para abrigar o motor e outra para abrigar a fiação que vem dos botões e do motor. A caixa é provida de uma tampa que será aparafusada, contendo entre a tampa e as paredes, material impermeável.

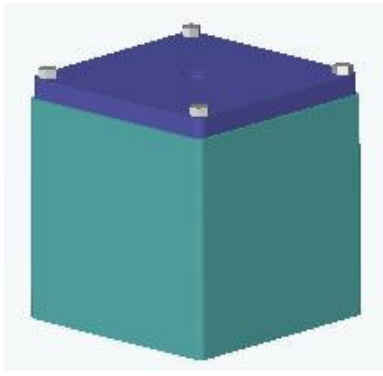


Figura 27 - Caixa de vedação

Há botões nas laterais do robô que são acionados quando encontram um obstáculo. Esses botões são separados por coifas para que não entrem em contato com a água.

## 4.2 Dimensionamento

### 4.2.1 Cálculo da vazão de operação da bomba

Para que se possa começar a analisar o robô é necessário conhecer a vazão em que a bomba irá trabalhar, fornecendo assim dados para a sucção e propulsão do aparelho.

#### 4.2.1.1 Instalação padrão adotada pelo grupo

Para este cálculo adota-se uma instalação de piscina padrão como mostrado na figura a seguir:

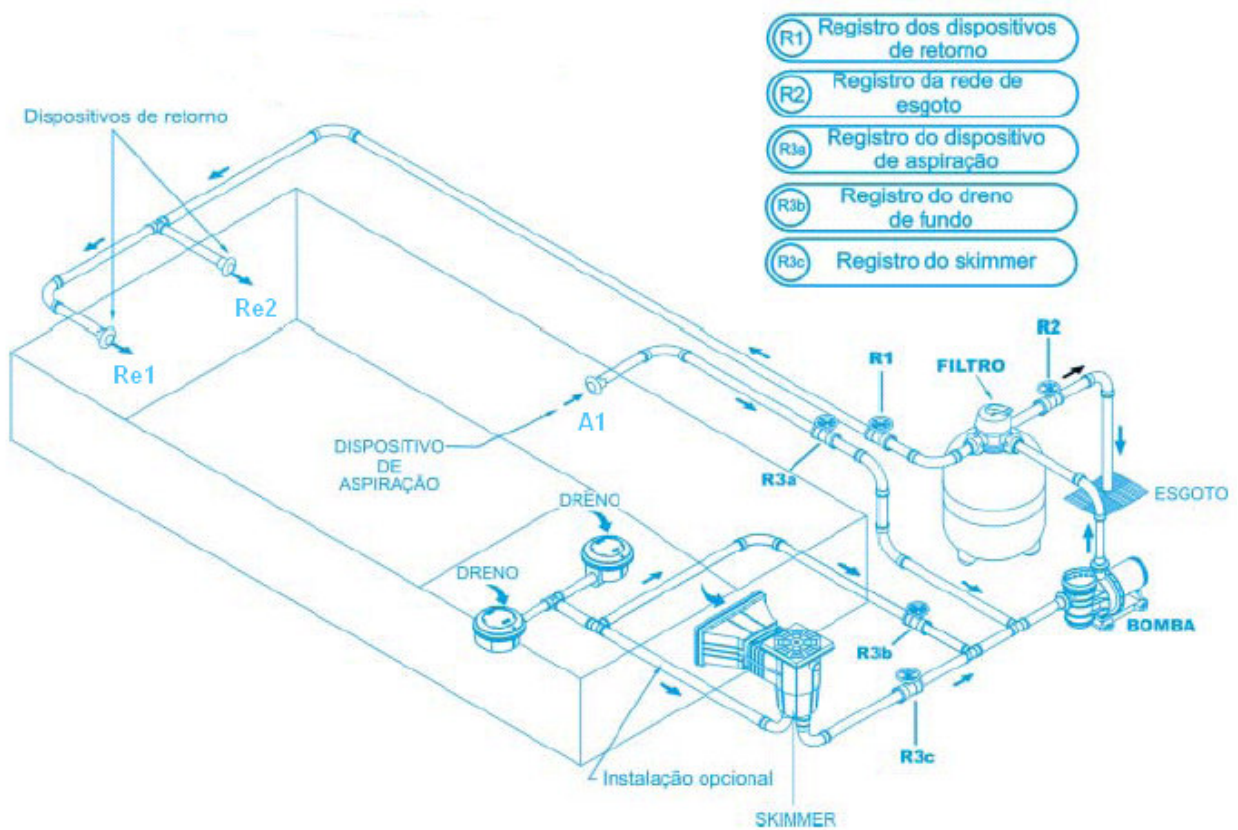


Figura 28 - instalação de piscina padrão adotada no trabalho

Adotaram-se as seguintes hipóteses:

- dimensões da piscina: (4x8x1,4)m
- comprimento total de tubulações na sucção: 15m

- comprimento total de tubulações no retorno: 23m
- número de cotovelos na sucção: 4
- número de cotovelos no retorno: 4
- as rugosidades da mangueira e da tubulação são semelhantes
- os registros R3b,R3c e R2 estão fechados
- desnível da bomba: 835mm

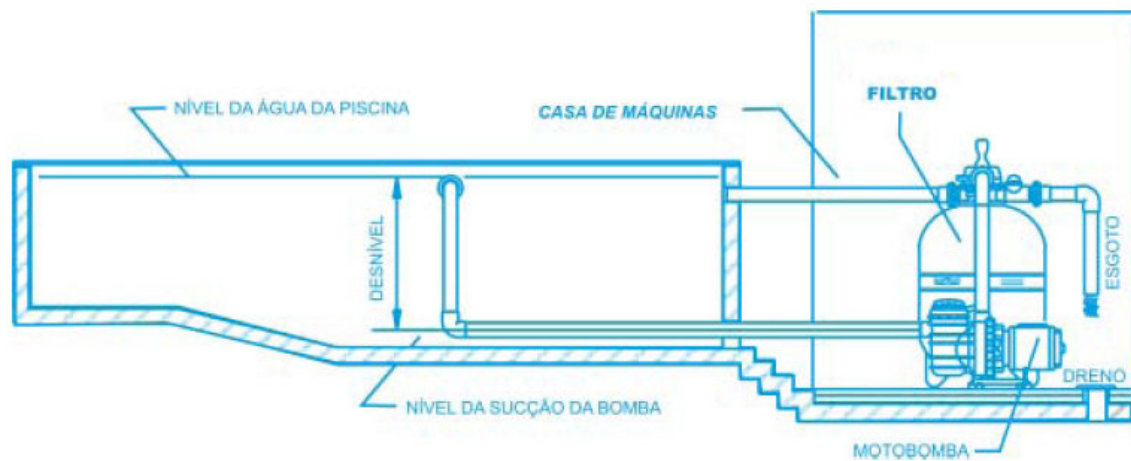


Figura 29 – desnível da bomba

Para a bomba adotou-se o seguinte modelo:

- bomba Millenium de ½ CV modelo BM50 de 60Hz.





Figura 30 - Bomba Millenium

Utilizando os dados do fabricante, gerou-se a seguinte curva característica da bomba:

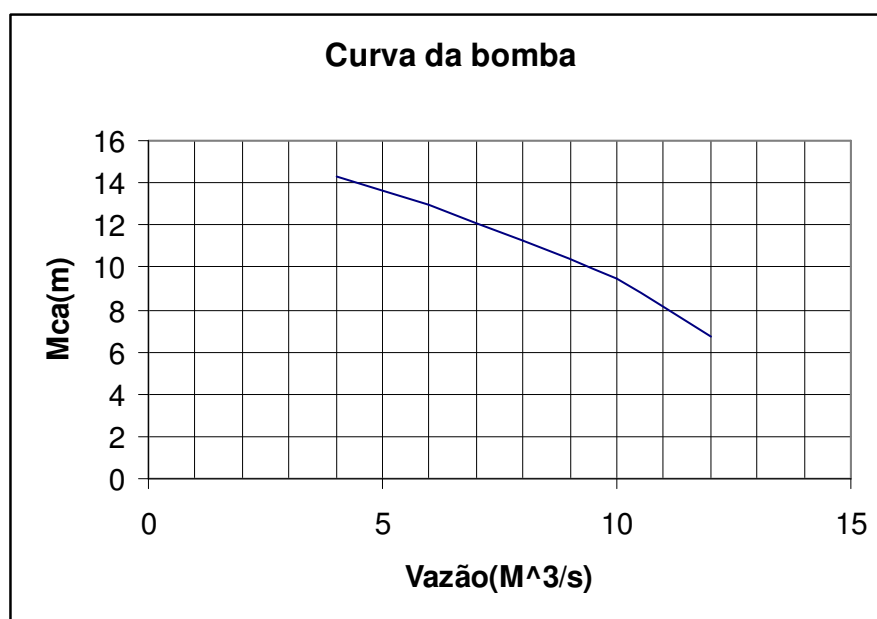


Gráfico 1 - Curva da bomba gerada através de dados do fabricante

Dados do fabricante	
Vazão(M <sup>3</sup> /h)	MCA(m)
4	14,3
6	13
8	11,22
10	9,5
12	6,75

Tabela 3 - Dados do fabricante

#### 4.2.1.2 Equacionamento da tubulação de sucção

Este item tem como objetivo calcular a queda de pressão devido as perdas de carga distribuída e localizada dos dutos referente à instalação da piscina e do robô.

##### 4.2.1.2.1 Tubulação referente a instalação

Para este cálculo adotou-se o seguinte trajeto do fluxo de água:

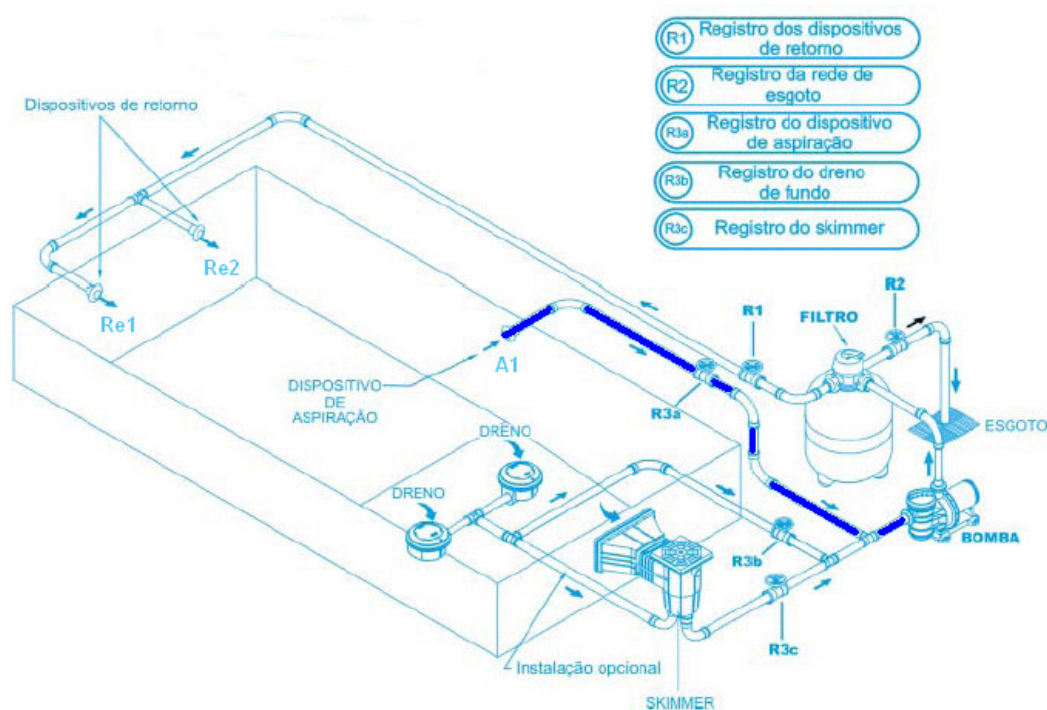


Figura 31 - Tubulação da instalação referente a sucção

Assumindo que o escoamento é turbulento utiliza-se a equação abaixo:

$$\frac{p_e}{\gamma} + \alpha_e \frac{V_e^2}{2g} + z_e = \frac{p_s}{\gamma} + \alpha_s \frac{V_s^2}{2g} + z_s + f\gamma \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum \rho K_L \frac{V^2}{2}$$

Admitindo que os coeficientes de energia cinética  $\alpha_e$  e  $\alpha_s$  são iguais a unidade, tem-se:

$$\frac{p_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} + z_e = \frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + z_s + f\gamma \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum \rho K_L \frac{V^2}{2}$$

Onde o fator de atrito f pode ser calculado utilizando-se a fórmula de Colebrook, como mostrado a seguir:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

Os coeficientes de perda de carga localizada são determinados com os fatores  $K_L$ , neste caso:

$K_L=1,5$  para cada curva ou cotovelo

$K_L=2,0$  para o registro R3a totalmente aberto

Admite-se que se tem 8 metros de tubulação e 4 cotovelos.

#### 4.2.1.2.2 Tubulação referente ao robô

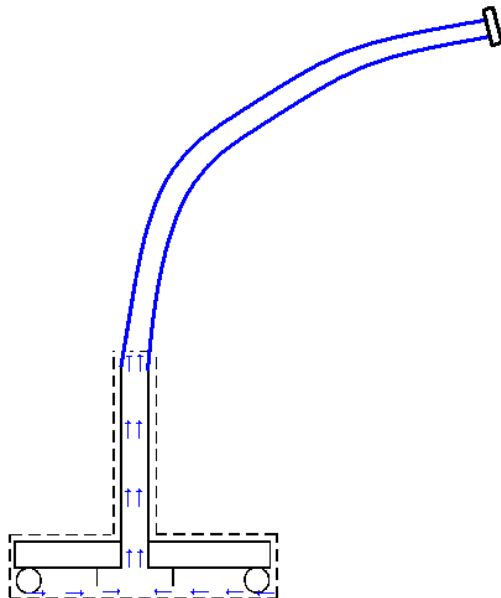


Figura 32 - Desenho esquemático da tubulação referente ao robô

Utilizando a mesma equação de perda de carga, admitiu-se uma tubulação de 9 metros de comprimento e considerou-se o efeito de ventosa que ocorre embaixo do robô.

#### 4.2.1.3 Equacionamento da tubulação de retorno

##### 4.2.1.3.1 Tubulação referente à instalação

Este item tem como objetivo calcular a queda de pressão devido às perdas de carga distribuída e localizada dos dutos referente à instalação da piscina e ao robô.

Para este cálculo adotou-se o seguinte trajeto do fluxo de água:

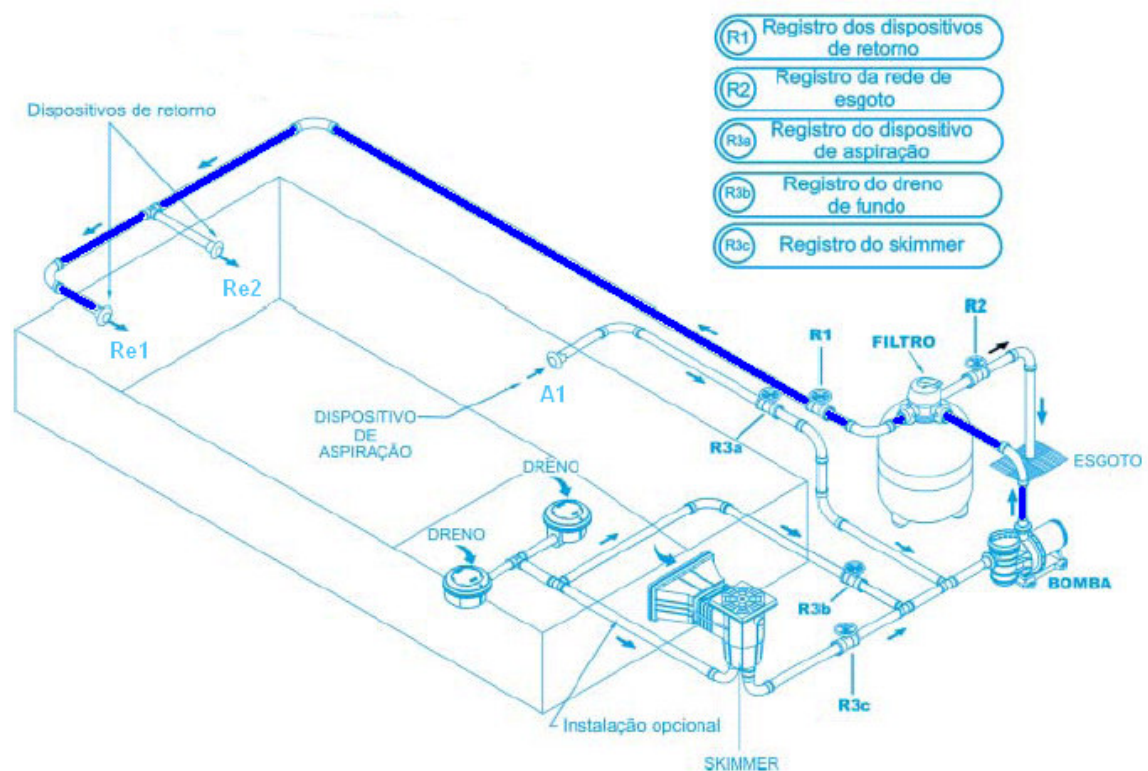


Figura 33 - Tubulação da instalação referente ao retorno

Assumindo que o escoamento é turbulento e utilizando as mesmas equações do item anterior calculou-se as perdas de cargas distribuídas e localizadas.

Os coeficientes de perda de carga localizada são determinados com os fatores  $K_L$ , neste caso:

$K_L=1,5$  para cada curva ou cotovelo

$K_L=2,0$  para o registro R1 totalmente aberto

$K_L=10$  para o filtro

Para o cálculo das perdas de carga distribuída, utilizou-se a equação de Colebrook. Adotou-se 11 metros de tubulação e 4 cotovelos.

#### 4.2.1.3.2 Tubulação referente ao robô

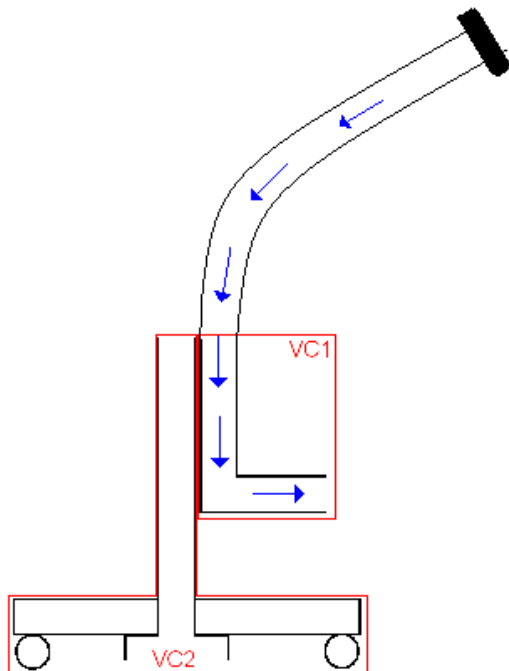


Figura 34 - Desenho esquemático referente à tubulação do robô

Utilizando a mesma equação de perda de carga, admitiu-se uma tubulação de 12 metros de comprimento e considerou-se a perda de carga localizada devido a 1 cotovelo.

Os coeficientes de perda de carga localizada são determinados com os fatores  $K_L$ , neste caso:

$K_L=1,5$  para cada curva ou cotovelo

#### 4.2.1.4 Resultados

As perdas de carga localizadas e distribuídas são mostradas na tabela abaixo:

Perdas Singulares			
descrição	$K_L$	qtde.	total
cotovelos	1,5	9	13,5
registro 100% aberto	2	2	4,0
filtro	10	1	10,0
contração brusca	0,5	1	0,5
contrações graduais	0,05	1	0,1
		TOTAL	28,1

Tabela 4 - Perdas singulares

Perdas distribuídas			
descrição	diâmetro(mm)	comprimento(m)	total
Tubulação da instalação	38,1	19	498,7
Tubulação do robô	38,1	21	551,2
		TOTAL	1049,9

Tabela 5 - Perdas distribuídas

Através destes dados gerou-se um gráfico contendo as curvas de carga da bomba e as curvas do sistema. A intersecção deste gráfico nos forneceu o ponto de operação da bomba, isto é, a vazão e a altura manométrica de coluna de água que a bomba irá trabalhar. Este gráfico é mostrado a seguir:

### Determinação do ponto de operação

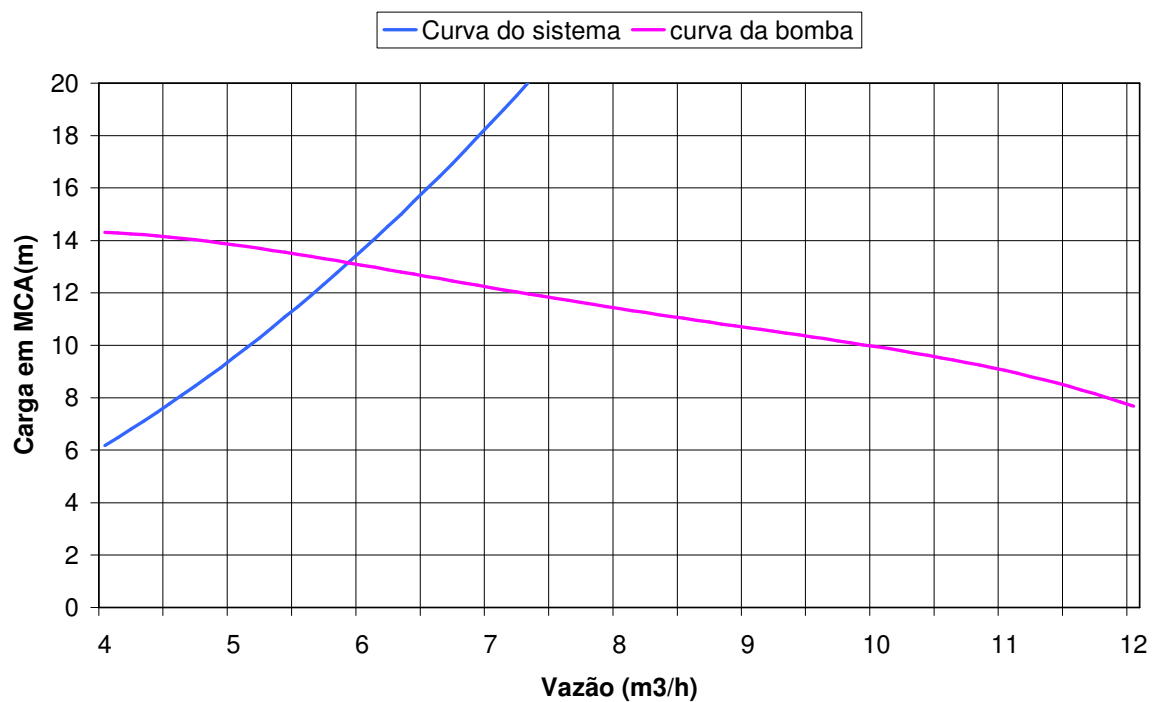


Gráfico 2 - Curva para determinação do ponto de operação da bomba

Logo se observa que:

Ponto de operação	
Vazão (m³/h)	8,2
MCA(m)	11,5

Tabela 6 - Ponto de operação



## 4.2.2 Análise das forças resistivas e de propulsão

### 4.2.2.1 Hipóteses adotadas

- escoamento uniforme em cada secção do volume de controle;
- escoamento incompressível;
- regime permanente;
- pressão de coluna de água nas áreas do volume de controle uniformes;
- o robô está em uma piscina com 1,4m de profundidade.

### 4.2.2.2 Desenvolvimento

Neste item verificou-se as condições mínimas para que o robô se locomova. Para que este cálculo se desenvolva de forma simples, foi feita uma divisão, como mostrado na figura a seguir.

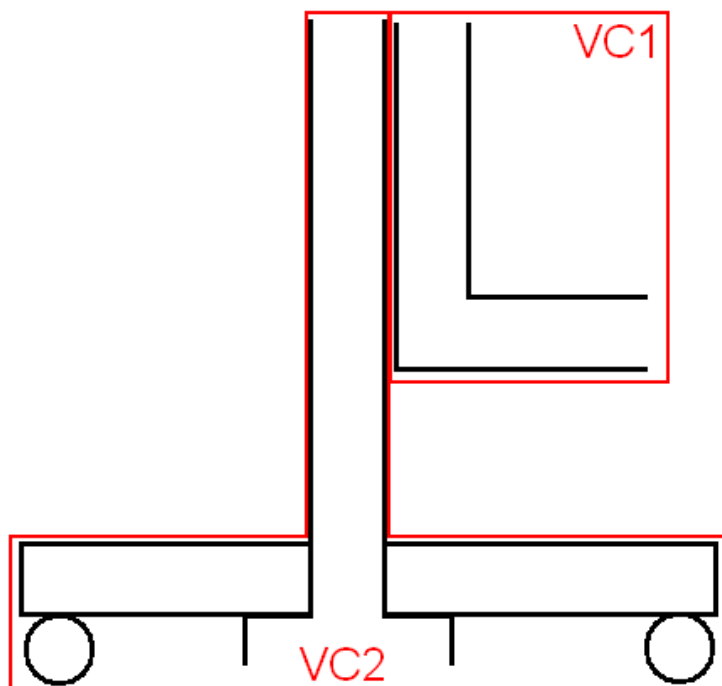


Figura 35 - Desenho esquemático do volume de controle 1 e 2

#### 4.2.2.2.1 Cálculo das pressões médias atuantes nas faces dos volumes de controle

O volume de controle 1 em questão é um cotovelo de 90° como mostrado na figura a seguir.

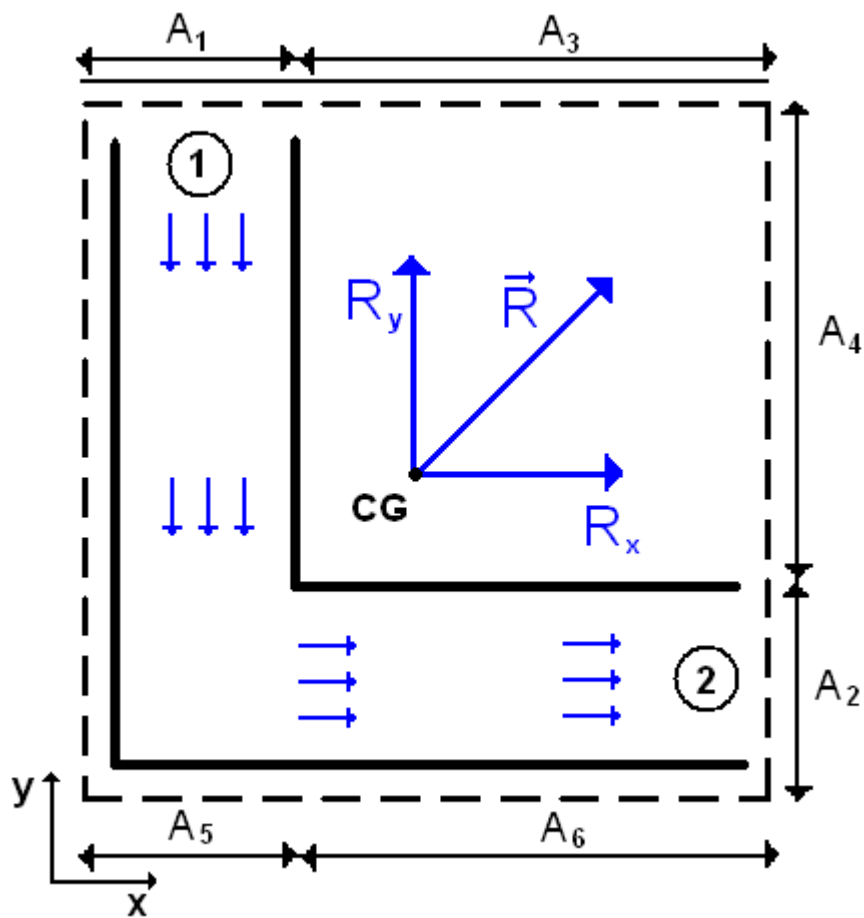


Figura 36 - Desenho esquemático do volume de controle 1

Onde:

- $R_x$  e  $R_y$  são forças reativas a variação da quantidade de movimento no volume de controle.
- $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  e  $A_4$  são as áreas das faces do volume de controle.

Para as áreas  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$ ,  $A_5$  e  $A_6$  tem-se respectivamente as pressões hidrostáticas  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ ,  $P_5$  e  $P_6$ .

Como se trata de um volume de controle pequeno assumiu-se que as áreas consideradas são de tamanhos pequenos, logo uma diferença de pressão entre o fundo e o teto é desprezada, ficando assim:

$$p_2 = p_3 = p_4 = p_5 = p_6 = P_{ATM} + \rho g h_2 = 101300 + 1000 \cdot 9,87 \cdot 1,286 = 113993 Pa$$

Para se obter a pressão na área 1 aplicou-se a equação de energia e suas devidas perdas e ganhos devido à bomba. Assumindo que o escoamento é turbulento utiliza-se a equação abaixo:

$$\frac{p_e}{\gamma} + \alpha_e \frac{V_e^2}{2g} + z_e = \frac{p_s}{\gamma} + \alpha_s \frac{V_s^2}{2g} + z_s + f\gamma \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum \rho K_L \frac{V^2}{2}$$

Admitindo que os coeficientes de energia cinética  $\alpha_e$  e  $\alpha_s$  são iguais a unidade tem-se:

$$\frac{p_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} + z_e = \frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + z_s + f\gamma \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum \rho K_L \frac{V^2}{2}$$

Logo, utilizando os dados de perdas singulares e distribuídas do sistema chegou-se a seguinte pressão:

$$\begin{aligned} \frac{p_s}{\gamma} &= \frac{p_e}{\gamma} + \left( \frac{V_e^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} \right) + (z_e - z_s) + h_{BOMBA} + f\gamma \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum \rho K_L \frac{V^2}{2} \\ &= 11,3 + 0 - 0,114 + 11,5 - 9,74 = 12,946m \end{aligned}$$

Logo,

$$p_s = 129460 Pa = p_1$$

#### 4.2.2.2.2 Volume de controle 1

Dada a fórmula genérica de volume de controle:

$$\left. \frac{dN}{dt} \right)_{SISTEMA} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \eta \rho dV + \int_{SC} \eta \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

Onde:

-  $\left. \frac{dN}{dt} \right)_{SISTEMA}$  é a taxa de variação total de qualquer propriedade extensiva

arbitrária do sistema

-  $\frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \eta \rho dV$  é a taxa de variação com o tempo da propriedade extensiva arbitrária,

N, dentro do volume de controle.

-  $\int_{SC} \eta \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$  é a taxa de fluxo, da propriedade extensiva, N, contida no volume

de controle.

Para uma análise da variação da quantidade de movimento em um volume de controle inercial tem-se que:

$$N = \vec{P} \text{ e } \eta = \vec{V}$$

Logo, tem-se:

$$\left. \frac{d\vec{P}}{dt} \right)_{SISTEMA} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{V} \rho dV + \int_{SC} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (2)$$

Como:

$$\left. \frac{d\vec{P}}{dt} \right)_{\text{SISTEMA}} = \vec{F} \Bigg)_{\text{SOBRE O VOLUME DE CONTROLE}}$$

Tem-se:

$$\vec{F} = \vec{F}_s + \vec{F}_B = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{V} \rho dV + \int_{SC} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

Onde:

-  $\vec{F}_s$  são as forças de superfície;

-  $\vec{F}_B$  são as forças de campo.

#### 4.2.2.2.3 Componente x

Portando, escrevendo na componente x a equação da quantidade de movimento para VC tem-se:

$$\vec{F} = \vec{F}_{s_x} + \vec{F}_{B_x} = \int_{SC} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = \int_{A_2} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

$$P_4 A_4 + P_2 A_2 - P_4 A_4 - P_2 A_4 + R_x = \int_{A_2} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

Como as pressões  $P_2$  e  $P_4$  são numericamente iguais no VC e  $\vec{V} \cdot d\vec{A}$  é positivo em 2, tem-se:

$$\begin{aligned} R_x &= V_2 |\rho V_2 A_2| \\ &= 20,22 N \end{aligned}$$

Como se percebe, a força de propulsão do robô é em função da velocidade ao quadrado. Portanto quanto menor a área da secção de saída maior será esta força. Em contrapartida, maior vai ser a carga do sistema para a dada bomba. Para se chegar a esse valor de 20,22N foi preciso adotar várias áreas da secção de saída para que se obtivesse um valor otimizado. O diâmetro de saída do bocal que proporcionou a maior força de propulsão foi de 13 mm. Através da planilha a seguir, esta otimização foi feita.

dados gerais		efeito ventosa	
gama( $\gamma$ )(N/m <sup>3</sup> )	9774,800	perimetro do robo(m)	0,8500
gravidade	9,800	altura livre do solo(m)	0,0050
fator de atrito(f)	0,020	area lateral(m <sup>2</sup> )	0,0043
somatória de (l/D)	1049,869	pressão no inferior(Pa)	111358,56
$\Sigma$ das perdas singulares	28,050		
pressão atm(Po)	101300,000		
altura da piscina(m)	1,400	dados dos bocais	
diâmetro do bocal de saída(m)	0,013	área da entrada(m <sup>2</sup> )	0,0043
diâmetro do bocal da intalação(m)	0,038	área da saída(m <sup>2</sup> )	0,0001327
diametro da mangeira(m)	0,03175	area da instalação(m <sup>2</sup> )	0,0011395
area da base(m <sup>2</sup> )	0,0351	área da mangeira (m <sup>2</sup> )	0,0007913

Perdas Singulares			
descrição	K <sub>L</sub>	qtde.	total
cotovelos	1,5	9	13,5
registro 100% aberto	2	2	4,0
filtro	10	1	10,0
contração brusca	0,5	1	0,5
contrações graduais	0,05	1	0,1
		TOTAL	28,1

Perdas distribuídas			
descrição	diâmetro(mm)	comprimento(m)	total
tubulação da instalação	38,1	19	498,7
tubulação do robô	38,1	21	551,2
		TOTAL	1049,9

respostas		Calculo	
Vazão(m <sup>3</sup> /s)	0,00164	[z <sub>2</sub> - z <sub>1</sub> ](m)	0,114
Força de propulsão(N)	20,2	(P <sub>2</sub> - P <sub>1</sub> )/ $\gamma$	0,114

Forças na vertical(N)		Dados do fabricante	
Variação Quant. Mov. VC1	-15,63	Vazão(M <sup>3</sup> /h)	MCA(m)
peso(N)	-27	4	14,3
F( $\Delta P$ ) (N)	-127,3	6	13
Total	-169,91	8	11,22
		10	9,5
		12	6,75

forças horizontais(N)	
força de arrasto	19,8
força de propulsão	20,2
força de resist. Ao rolamento	0,38

Tabela 7 - Cálculo das forças atuantes

#### 4.2.2.2.4 Componente y

Escrevendo o equacionamento na componente y, a equação da quantidade de movimento para VC, tem-se:

$$\vec{F} = \vec{F}_{S_x} + \vec{F}_{B_x} = \int_{SC} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = \int_{A_2} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

$$P_1 A_1 + P_3 A_3 - P_3 A_1 - P_3 A_3 + R_y = \int_{A_1} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

$\vec{V} \cdot d\vec{A}$  é negativo em 1, portanto tem-se:

$$\begin{aligned} R_y &= -(p_1 - p_3) A_1 - V_1 |\rho V_1 A_1| \\ &= -15,65 N \end{aligned}$$

#### 4.2.2.2.5 Volume de controle 2

Para o volume de controle 2 trata-se de uma somatória de forças tanto na horizontal quanto na vertical. Neste item, forças resistivas como de arrasto e de rolamento e o efeito de ventosa são levadas em conta. O desenho esquemático a seguir mostra as forças envolvidas no cálculo.



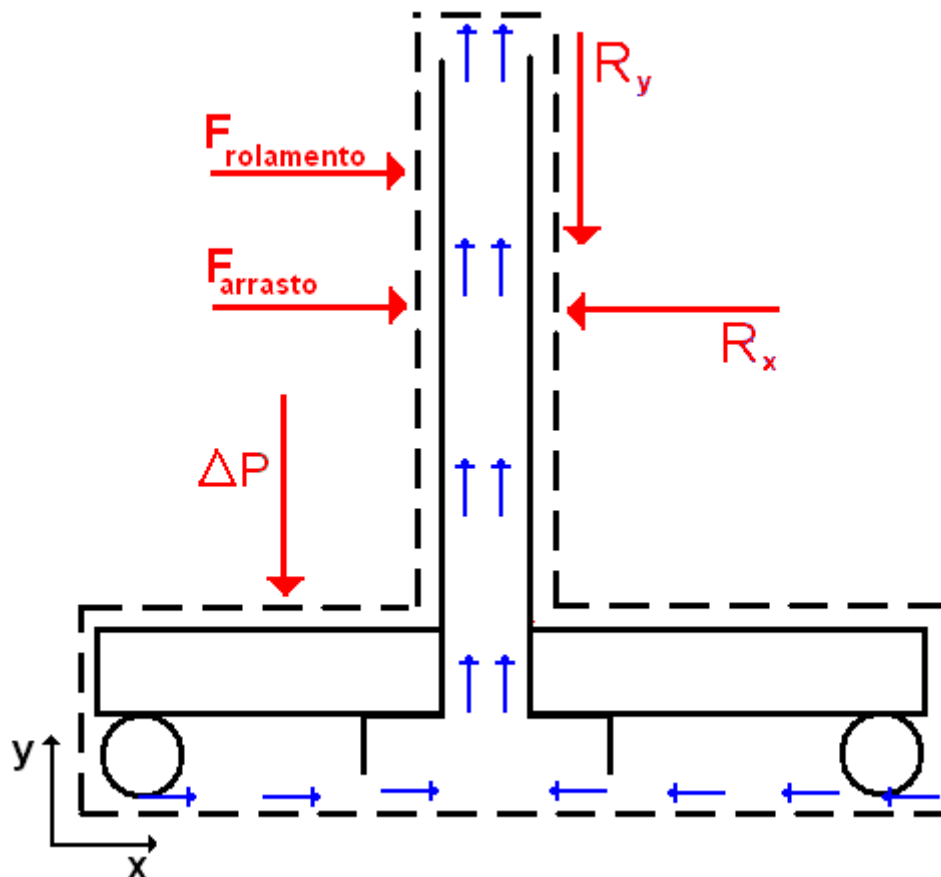


Figura 37 - Somatória de forças.

#### 4.2.2.2.6 Componente Y

##### -efeito ventosa ( $\Delta P$ )

Este fenômeno ocorre porque existe uma diferença de pressão. Quanto mais perto o bocal de sucção estiver do chão, mais preso ao chão o robô irá estar. Para este fenômeno adotaram-se as seguintes hipóteses:

- as perdas são desprezadas;
- pressão uniforme na parte de baixo do robô;
- escoamento uniforme ;
- regime permanente;
- área na secção de entrada:  $2898\text{mm}^2$ .

Utilizando a equação da energia para o robô entre o ponto B e o infinito como mostrado no desenho a seguir, tem-se:

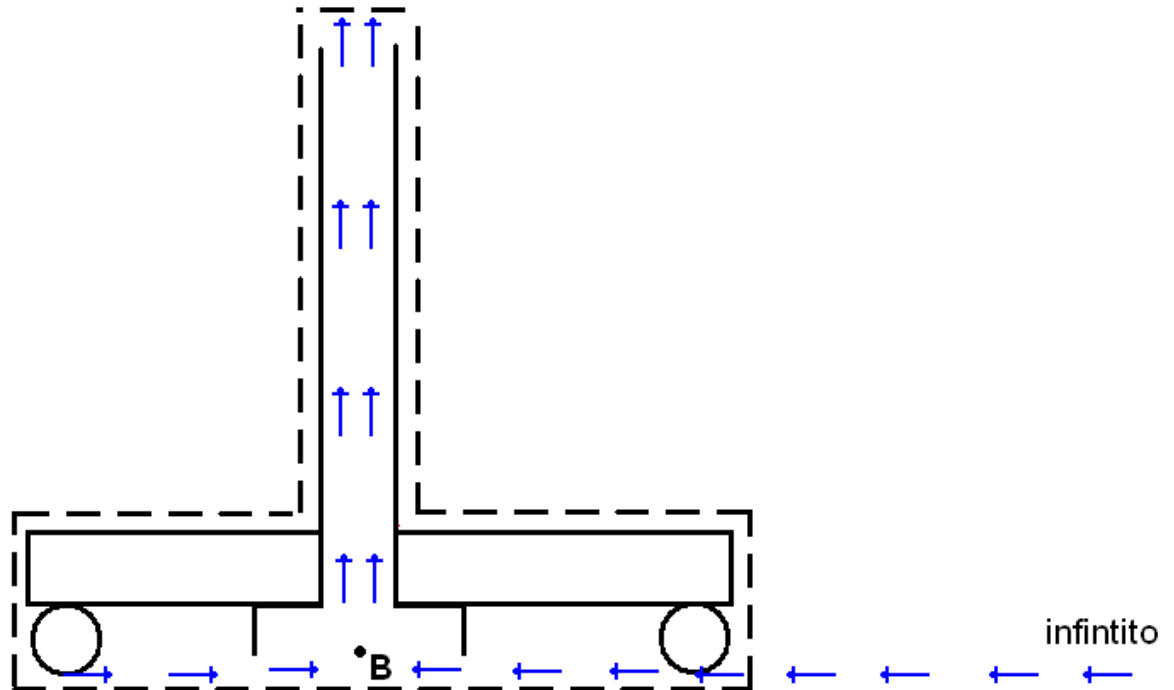


Figura 38 - desenho esquemático do efeito de ventosa.

$$\frac{p_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B = \frac{p_\infty}{\gamma} + \frac{V_\infty^2}{2g} + z_\infty$$

$$\frac{p_B}{\gamma} = -\frac{V_B^2}{2g} + \frac{p_\infty}{\gamma}$$

$$\frac{p_B}{\gamma} = -\frac{Q^2}{A_B^2 2g} + 10 + 1,4$$

$$p_B = 111358,6N$$

Logo, na parte inferior do robô haverá uma pressão menor do que o ambiente ao redor do volume de controle 2, resultando assim numa força vertical para baixo.

$$\begin{aligned} \Delta P &= p_3 - p_B \\ &= 114984 - 111358,6 = 3625,4N \end{aligned}$$

Logo a força resultante devido a essa diferença de pressão é:

$$F_{\Delta P} = \Delta P \cdot A_{base}$$

$$= 2634,4 \cdot 0,035821 = 94,3N$$

#### **-peso do robô**

Com o auxílio do programa Solidworks, foi possível estimar a massa do robô. O valor obtido foi de 2,05Kg, que somado a massa do motor(0,65Kg) nos fornece uma força peso total de  $P=27N$ . Assumiu-se a hipótese de que todas as peças do aparelho eram de polímeros.

#### **Resultado**

Fazendo a somatória de forças na componente y tem-se:

$$\sum F_y = F_{\Delta P} + R_y + P =$$

$$= -94,3 - 15,65 - 27$$

$$= 137,01N$$

#### **4.2.2.2.7 Componente X**

#### **-Resistência ao rolamento**

Para esta força adotou-se a hipótese de que o fator de atrito seria menor ou igual ao de um rolamento axial autocompessador de rolos, por se tratar do maior coeficiente de atrito encontrado no catálogo da NSK rolamentos. Através da experiência nota-se que a resistência ao rolamento neste rolamento é maior.

Logo  $\mu = 0,0028$  segundo o catálogo da NSK.

Portanto:

$$F_{ROLAMENTO} = \mu \cdot N = 0,0013 \cdot 137,01 = 0,38N$$

-Resistência ao arrasto

Arrasto é definido como a componente da força, paralela à velocidade de aproximação, que o fluido em movimento exerce sobre o corpo.

A força de arrasto  $F_d$  é dada por:

$$F_d = \frac{C_d * A * \rho * V^2}{2}$$

Onde:

$C_d$  - Coeficiente de arrasto retirado de tabelas;

$A$  - Área frontal do corpo;

$V$  - Velocidade do escoamento;

$\rho$  - Densidade do meio.

Para o cálculo da força de arrasto separou-se o robô nas diferentes peças que causam esta resistência ao avanço. A seguir estão listadas as peças. O quadrado indicativo mostra a região da peça que contribui para o arrasto por fazer parte da área frontal do robô quando este se movimenta.

Para a realização dos cálculos considerou-se a pior condição para o robô, a condição onde ele se movimenta na direção em que a área frontal é maior.

A vista frontal do robô nesta condição esta indicada abaixo.

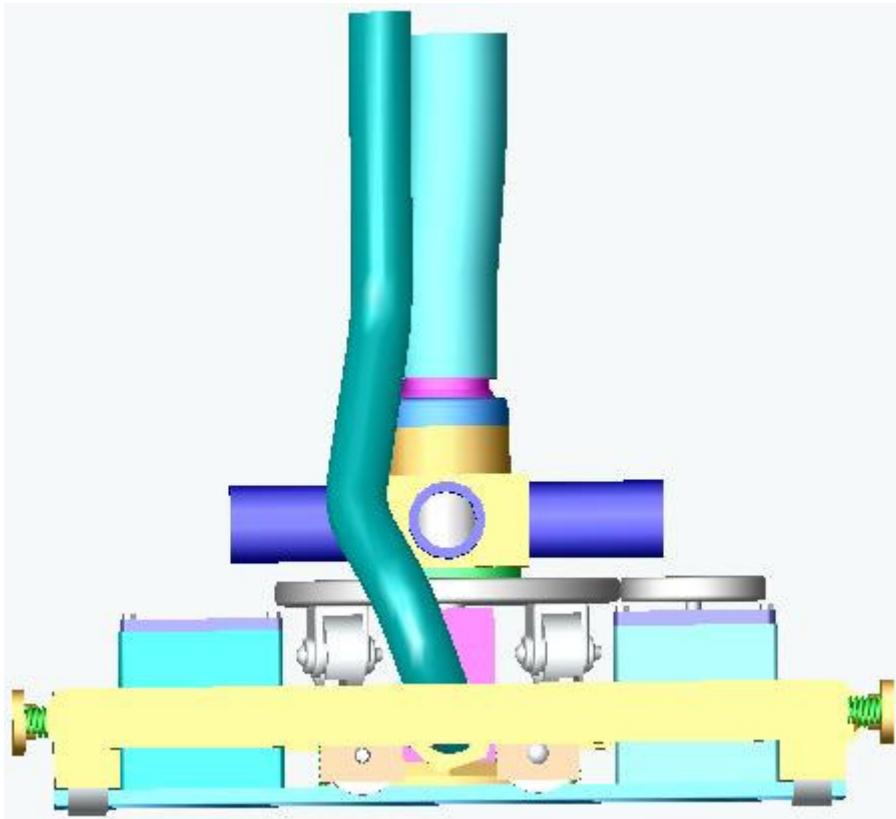


Figura 39 - vista frontal do veículo

**Peças que foram modeladas como placas planas.**

- Base \_Rodas

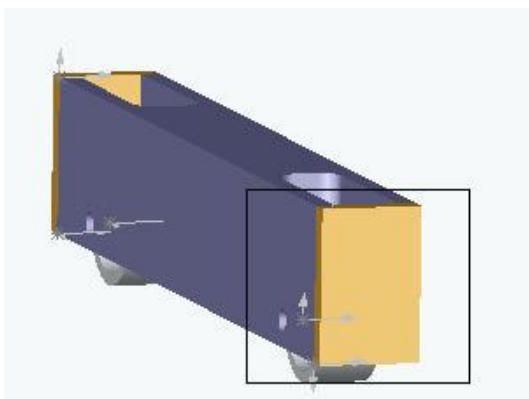


Figura 40 - Base do robô

- Pára choques

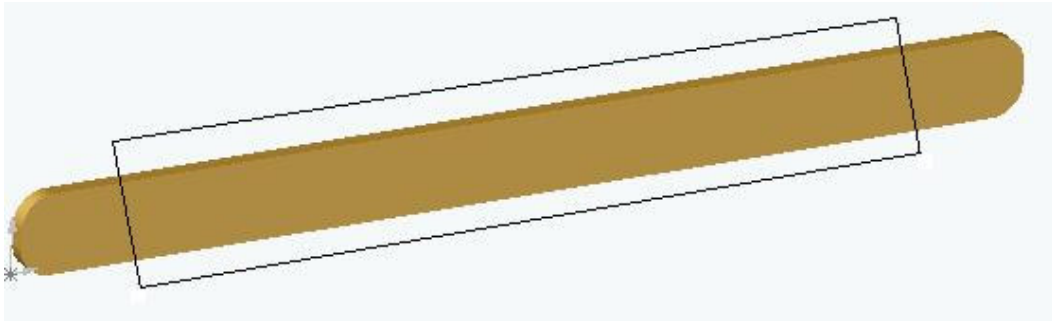


Figura 41 - Pára-choques

- Caixa de vedação

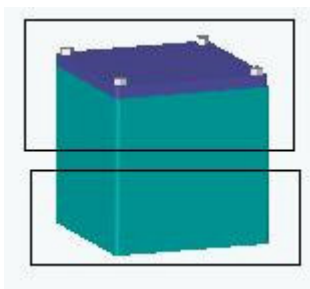


Figura 42 - Caixa de vedação

- Base

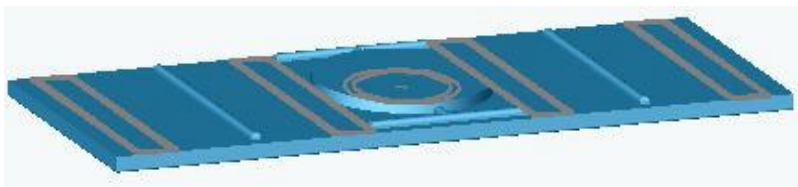


Figura 43 – Base

- Mecanismo

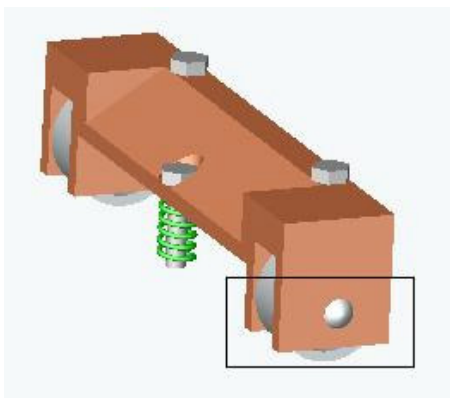


Figura 44 – Mecanismo

- Rodas do mecanismo

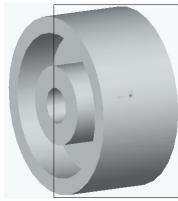


Figura 45 – Roda

- Cotovelo quadrado

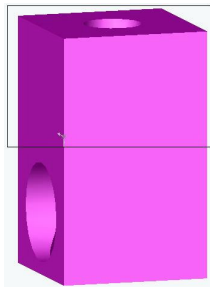


Figura 46 - Cotovelo quadrado

- Cruz

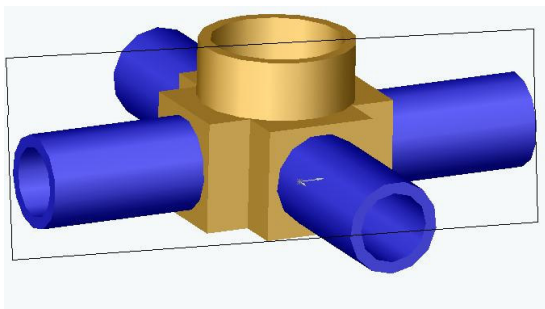


Figura 47 - Cruz

### **Peça modelada segundo o formato sextavado**

- Porca espaçadora

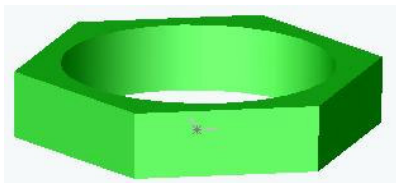


Figura 48 - Porca espaçadora

As tubulações de sucção e retorno, e as engrenagens foram modeladas como cilindros.

Obtiveram-se os coeficientes de arrasto a partir da comparação das peças do robô com uma placa plana e com um cilindro.

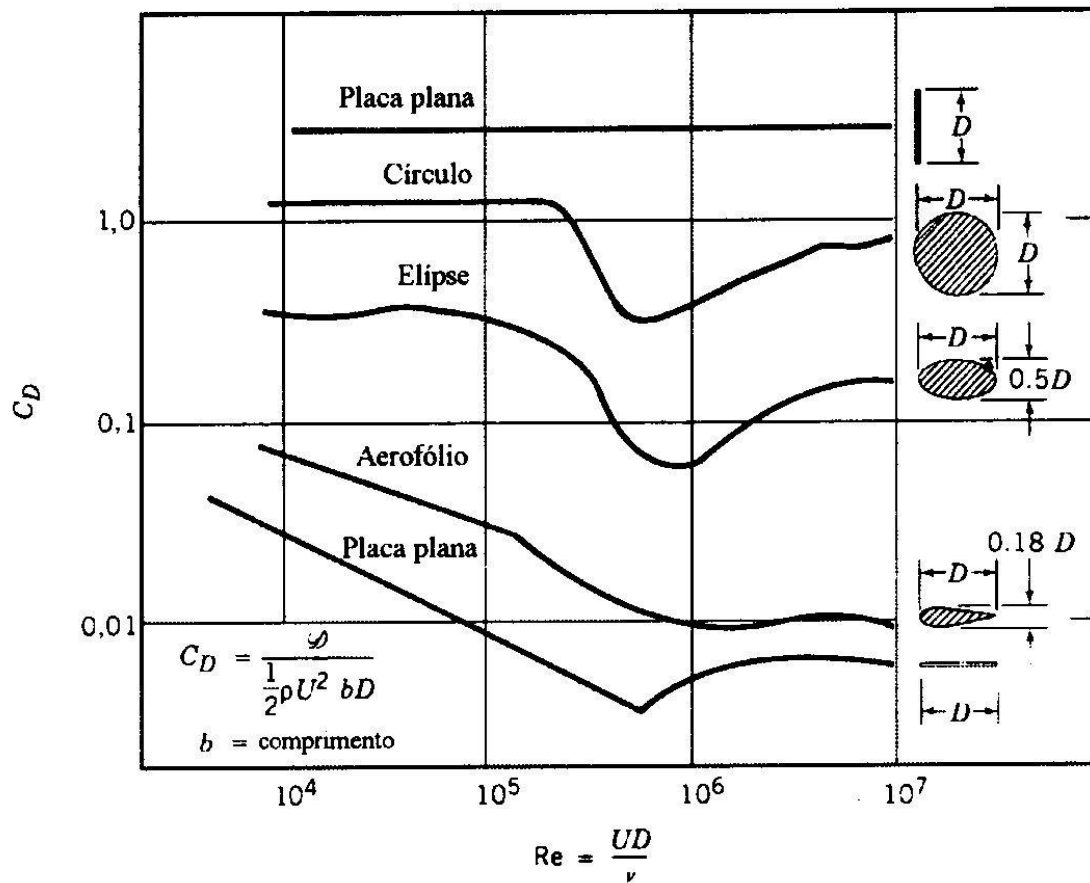


Gráfico 3 - Coeficiente de arrasto



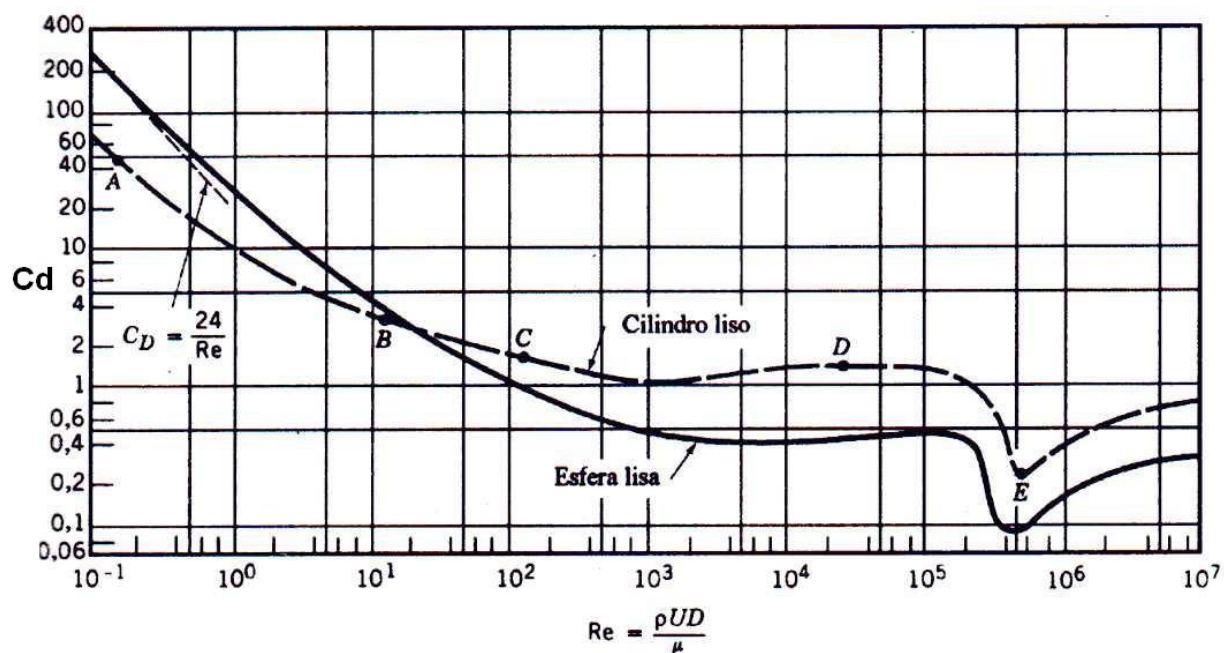


Gráfico 4 - Coeficiente de arrasto

### Cálculos

A tabela abaixo mostra o cálculo da área frontal das peças, o cálculo do número de Reynolds, o valor de Cd em cada situação e finalmente a força de arrasto.

Peça	Área (mm <sup>2</sup> )	Dimensões (mm)		D	Re	Cd	Fd (N)
Base_rodas	1107	41	27	27	11588	1,4	0,14287
Pára-choques	6750	270	25	25	10729	1,4	0,871156
2xCaixa vedaç.	4718	70	67,4	67,4	28926	1,4	1,217811
Base	1950	325	6	325	139480	1,4	0,251667
2xMecanismo	544	34	16	34	14592	1,4	0,140417
2xRoda_mec.	512	32	16	16	6867	1,4	0,132158
Cotovelo quad.	1900	50	38	38	16308	1,4	0,490428
Cruz	6764	178	38	178	76392	1,4	1,745925
Porca	550	55	10	55	23604	1	0,050702
engrenagem	1780	178	10	178	76392	1,2	0,196909
pinhao	220	22	10	22	9442	1,2	0,024337
Tubo de sucção	46000	2000	23	23	9871	1,2	5,088656
Tubo propulsão	85800	1950	44	44	18883	1,2	9,49145

Tabela 8 - Resistência ao arrasto

Nota-se da tabela, que os maiores responsáveis pelo arrasto são as tubulações. Elas acompanham o robô do fundo da piscina até a superfície da água, o que ocasiona uma grande área frontal.

Como mostra a tabela abaixo, utilizou-se a velocidade de 0,43m/s, que é a velocidade na qual produz uma força de arrasto de tal forma que a somatória das forças na horizontal é zero. Isto é:

$$\sum F_x = F_{ARRASTO} + R_{ROLAMENTO} - R_x = 0$$

$$F_{ARRASTO} = 19,8N$$

<b>v</b>	0,4296	m/s
<b>σ</b>	999	Kg/m^3
<b>μ</b>	0,001	kg/(m*s)

Tabela 9 - Propriedades

Chega-se a uma força de arrasto total de:

<b>Fd total (N)</b>	19,84
---------------------	-------

Tabela 10 - Arrasto total

Uma alternativa para diminuir o coeficiente de arrasto é utilizar uma carenagem com formato fluidodinâmico. Com isso, melhora-se também o aspecto visual do produto.

#### 4.2.2.2.8 Resultados

Através da força de arrasto, pode-se provar que o robô anda e determinar a velocidade do robô de 0,43 m/s. Nota-se também que a força resistiva de maior intensidade é o arrasto, principalmente referente a mangueira do robô.

### 4.2.3 Cálculo das engrenagens

O dimensionamento das engrenagens consistiu basicamente em obter o módulo, largura do dentado, diâmetro primitivo e ângulo de pressão.

O dimensionamento utilizado é o sugerido pela norma AGMA, e consiste basicamente na aplicação do Critério de Lewis e do Critério de Hertz.

O diâmetro primitivo é dado por:

$$d_0 = m * z$$

Onde:  $d_0$  – diâmetro primitivo;

$m$  – módulo normal;

$z$  – número de dentes.

Serão utilizadas duas engrenagens para o aumento do torque que vem do motor. A relação desejada é de 1:8, pois se pretende obter o maior torque possível.

$$i = 8 \quad ;$$

Onde  $i$  é a relação de transmissão.

$$i = \frac{N_g}{N_p} = \frac{d_g}{d_p}$$

Onde:

$N_g$  - número de dentes da engrenagem;

$N_p$  - número de dentes do pinhão;

$d_p$  - é o diâmetro primitivo do pinhão;

$d_g$  - é o diâmetro primitivo da engrenagem.

A distância entre centros deve ser de  $c = 100mm$  e temos a relação:

$$c = \frac{(d_p + d_g)}{2}$$

Temos:

$$2 * c = (d_p + i * d_p)$$

E então,

$$d_p = \frac{2 * c}{(1 + i)}$$

De onde tiramos  $d_p = 22mm$  e  $d_g = 178mm$

Os módulos da engrenagem e do pinhão devem ser iguais e são dados por:

$$m = \frac{d_p}{N_p} = \frac{d_g}{N_g}$$

Utilizando um módulo  $m = 2$ , temos o número de dentes do pinhão e da engrenagem.

$$N_p = 11 \text{ e } N_g = 89$$

O ângulo de pressão será o normalmente utilizado,  $\alpha = 20^\circ$

#### **4.2.3.1 Critério de Lewis -Tensão de flexão**

O primeiro critério de resistência que foi considerado faz uma avaliação estática, pois se refere ao cálculo da tensão de flexão máxima do dente. Primeiramente calculou-se a tensão atuante no dente.

$$\sigma = \frac{W_t * k_a * k_s * k_m}{K_v * F * m * J}$$

Onde:  $W_t$  – Força tangencial;

$k_a$  – fator de aplicação;

$k_s$  – fator de tamanho;

$k_m$  – fator de distribuição de carga;

$K_v$  – fator dinâmico;

$F$  – largura do dente;

$m$  – módulo;

$J$  – fator geométrico.

A força tangencial é retirada a partir do momento em que se sabe o torque do motor e a redução. Optou-se numa primeira análise na utilização de um motor com 5Kgf\*cm, para a movimentação do robô. Como alguns esforços durante a movimentação são imprevisíveis, como o possível emaranhamento da mangueira, optou-se pela utilização de uma redução de 8.

$$W_t = \frac{T * i}{r_e}$$

Onde:  $T$  – torque;

$i$  – redução;

$r_e$  – raio da engrenagem.

O fator de aplicação ( $k_a$ ) relaciona a intensidade da força tangencial calculada e a que realmente irá atuar. No caso, utilizou-se um fator de 1,25, dadas as condições de possíveis sobrecarga do sistema. Este valor foi obtido da tabela abaixo.

Source of Power	Driven Machinery		
	Uniform	Moderate Shock	Heavy Shock
Uniform	1.00	1.25	1.75
Light shock	1.25	1.50	2.00
Medium shock	1.50	1.75	2.25

Tabela 11 - Fator de aplicação

O fator de tamanho ( $k_s$ ) está relacionado com o quanto as propriedades do material influem na tolerância dimensional da peça. Para o caso adota-se o valor um.

O fator de distribuição de carga ( $k_m$ ) é determinado pela precisão necessária no desenvolvimento do projeto.

Condição de montagem	F - Largura do dentado (mm)			
	<50	150	225	>400
Engrenagens de precisão, mínima deflexão	1,3 [1,2]	1,4 [1,3]	1,5 [1,4]	1,8 [1,7]
Montagens menos rígidas, engrenagens menos precisas	1,6 [1,5]	1,7 [1,6]	1,8 [1,7]	2,0 [2,0]
Montagem em que não há contato completo entre as superfícies dos dentes	>2,0 [>2,0]			

Tabela 12 - Fator de distribuição de carga

Da tabela acima, adota-se o valor 1,5, pois a montagem não é de grande precisão.

Por sua vez, o fator dinâmico ( $K_v$ ) é o responsável por manter sob controle o desbalanceamento das engrenagens e o desalinhamento dos eixos, assim como o desgaste, a deformação permanente e a deflexão dos dentes. Obteve-se esse valor do gráfico abaixo.

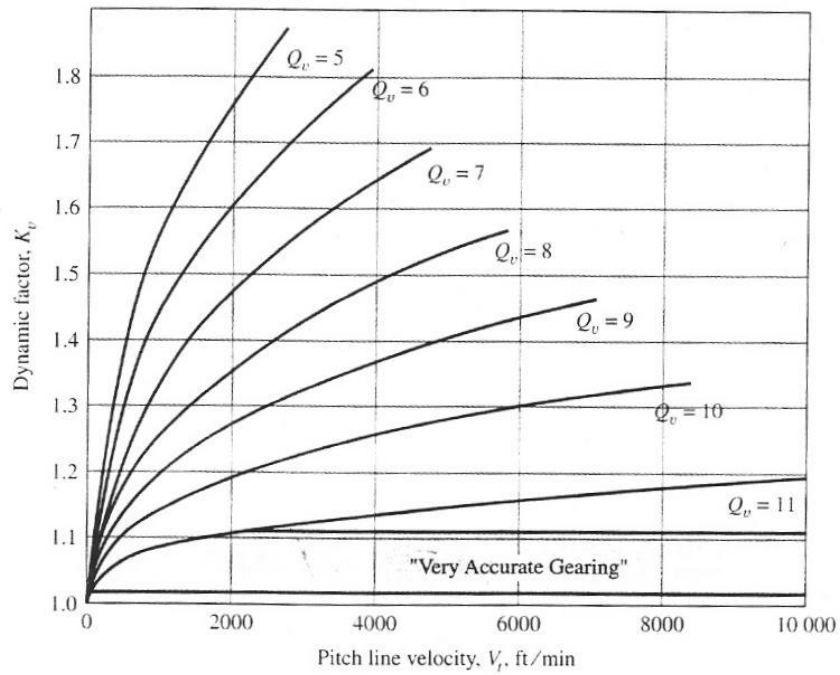


Tabela 13 - Fator dinâmico

Por operar em baixa rotação, optou-se por um  $K_v=1$ .

O fator geométrico ( $J$ ) foi retirado do gráfico abaixo. Obteve-se para o pinhão o valor de 0,225 e para a engrenagem o valor de 0,42.

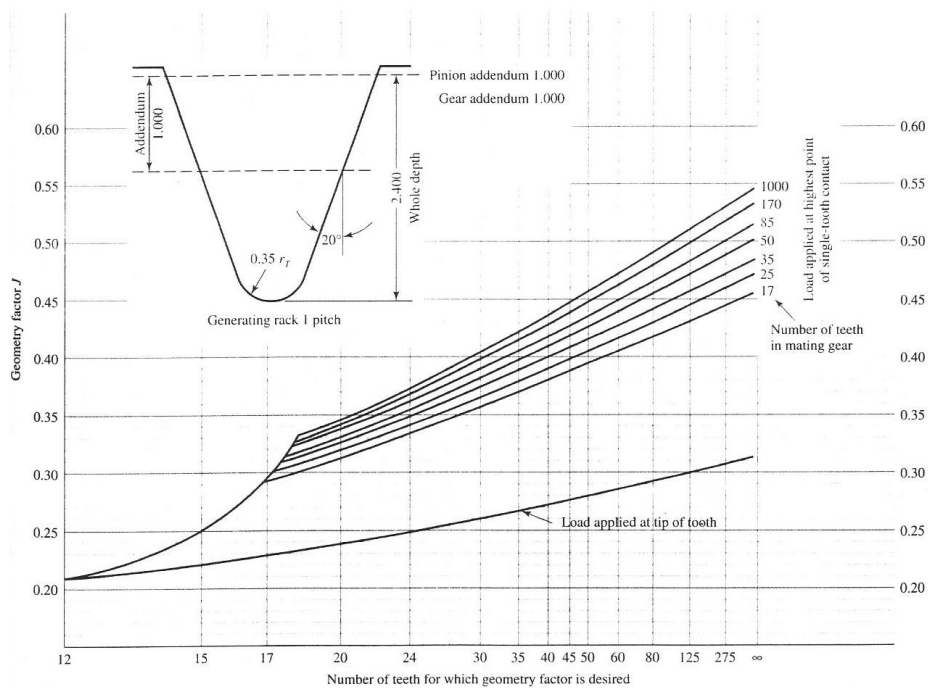


Tabela 14 - Fator geométrico

Depois de calculado, é necessário impor que essa tensão seja menor ou igual à tensão admissível para garantir as mínimas propriedades da peça de forma a resistir os esforços por flexão.

$$\sigma_{adm} = \frac{S_t * k_l}{k_t * k_r}$$

Onde:  $\sigma_{adm}$  - tensão admissível;

$S_t$  – tensão de flexão do material;

$k_l$  – fator de vida;

$k_t$  – fator de temperatura;

$k_r$  – fator de confiabilidade.

O fator de vida ( $k_l$ ) depende do número de ciclos da engrenagem em questão e foi adotado o valor 1.

O fator de temperatura ( $k_t$ ) pode ser considerado unitário uma vez que a temperatura de trabalho é inferior a 120°C.

Por fim, o fator de confiabilidade ( $k_r$ ) está relacionado com o quanto se deseja evitar as falhas e é retirado da tabela abaixo.

Confiabilidade	Cr
0,9	0,85
0,99	1,00
0,999	1,25
0,9999	1,50

Tabela 15 – Fator de confiabilidade

Utilizou-se um Cr=0,85.

#### 4.2.3.2 Critério de Hertz - Tensão de Contato

Verificou-se a tensão de fadiga devido à pressão de contato, definida pelo critério de Hertz.

$$\sigma_c = C_p * \left( \frac{W_t * k_a * k_s * k_m * C_f}{K_v * F * d * I} \right)^{\frac{1}{2}}$$



Onde:  $\sigma_c$  - tensão de contato de fadiga;

$C_p$  – coeficiente elástico;

$C_f$  – fator de condição superficial;

$I$  – fator geométrico.

O coeficiente elástico está relacionado à rigidez e à elasticidade do material a ser utilizado na confecção das engrenagens e pode ser calculado por:

$$C_p = \left[ \frac{1}{\pi * \left( \frac{1 - \nu_p^2}{E_p} + \frac{1 - \nu_c^2}{E_c} \right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Onde:  $C_p$  – coeficiente elástico;

$E$  – módulo de elasticidade longitudinal;

$\nu$  – coeficiente de Poisson.

O fator de condição superficial ( $C_f$ ) é unitário. A AGMA sugere que seja maior que a unidade quando defeitos forem visíveis na superfície

Por fim, há ainda o fator geométrico ( $I$ ), dado por:

$$I = \frac{\cos \phi * \sin \phi}{2} * \frac{i}{i + 1}$$

Onde:  $\phi$  - ângulo de pressão;

$i$  – relação de transmissão.

Uma vez obtida a tensão de contato, deve-se então compará-la com a tensão admissível de contato:

$$\sigma_{c,adm} = \frac{S_c * k_L * C_H}{k_T * k_R}$$

Onde:  $\sigma_{c,adm}$  - tensão admissível de contato;

$S_c$  – tensão de contato do material;

$C_H$  – fator de dureza.

A tensão de contato do material, assim como a tensão de flexão, depende apenas da dureza.

O fator de razão de dureza é definido basicamente pela relação de transmissão (i) e as durezas da coroa e do pinhão na escala Brinell (HB), é dado pela equação:

$$C_H = 1,0 + A * (i - 1)$$

$$\text{Onde: } A = 8,98 * 10^{-3} * \left( \frac{HB_{PINHÃO}}{HB_{COROA}} \right) - 8,29 * 10^{-3}.$$

#### **4.2.3.3 Material das engrenagens**

Por ser de fácil acesso e custo relativamente baixo, o material das engrenagens será, a princípio, Poliacetal comum, e suas características estão listadas no anexo.

#### **4.2.3.4 Resultados**

Realizaram-se os cálculos por ambos os critérios a partir de uma planilha no Excel e notou-se que a largura de dente deve ser maior ou igual a 4mm, o que satisfaz tranquilamente os dois critérios. Porém optou-se por um valor maior para que houvesse uma maior facilidade de montagem e uma maior faixa de erro fosse permitida na fase de ajustes. Apesar de ser muito maior do que o mínimo, não há problemas como peso, pois o material polimérico é leve quando comparado a metais. Este valor foi adotado também como segurança, pois os esforços envolvidos caso o mecanismo trave são difíceis de se prever.

#### 4.2.4 Seleção do motor

A partir do site da loja Tekkno Mecatrônica, foi possível escolher o motor desejado. O motor escolhido é um motor de passo 1.8° - 5Kgf NEMA 23.

Este motor fornece um torque de 5Kgf\*cm e pesa 0,65Kg. As características estão apresentadas abaixo:

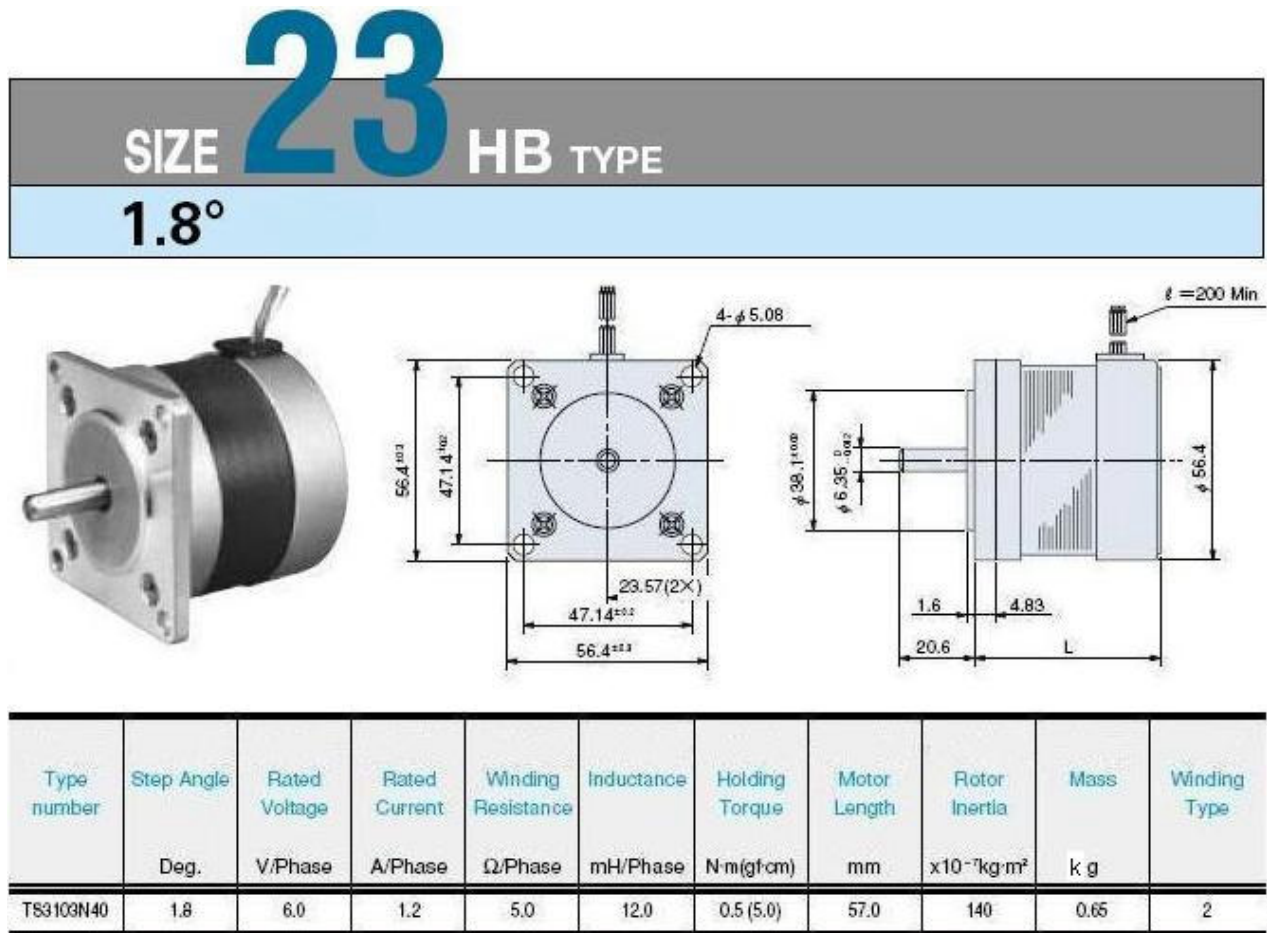


Figura 49 – Motor

Este motor mostrou-se suficiente para realizar as tarefas de movimentação do robô. Seu custo nesta loja é de R\$93,00 o que se mostra viável com relação aos objetivos do trabalho.

#### 4.2.5 Mecanismo

Com o auxílio do programa Solidworks, foi possível estimar a massa do robô. O valor obtido foi de 2,05Kg, que somado à massa do motor(0,65Kg) nos fornece uma força peso de  $P=27N$ . Portanto, para que o mecanismo funcione, é necessário que o torque do motor gere uma força vertical que consiga superar o peso do robô.

O motor fornece um torque de 5Kgf\*cm, ou 0,5N\*m. A partir deste valor e do raio do pinhão(11mm), temos a força lateral dada por:

$$F = \frac{T}{r} = \frac{0,5}{0,011} = 45,45N$$

Considera-se que esta é a força que a roda do mecanismo aplica na rampa para forçá-la na direção de acionamento e levantamento do robô.

As reações na rampa estão esquematizadas na figura abaixo.

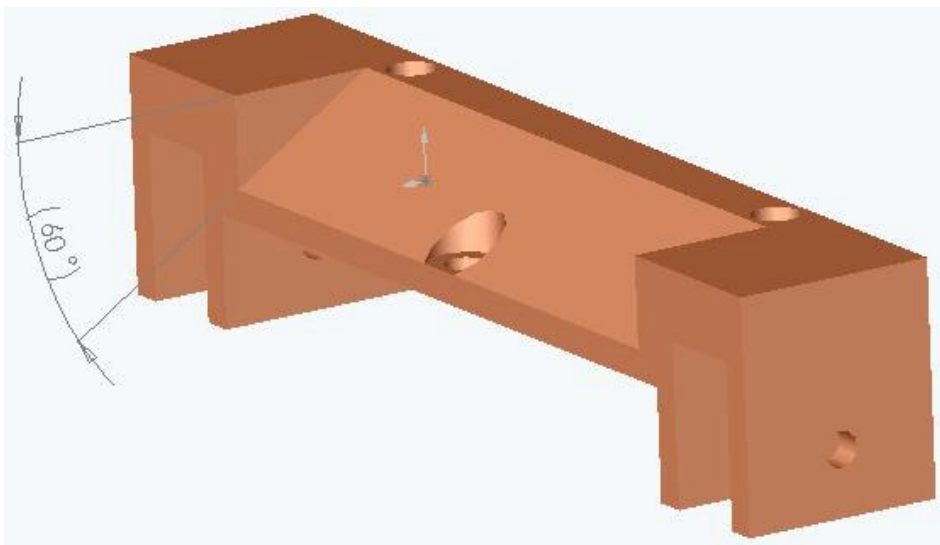


Figura 50 - Rampa

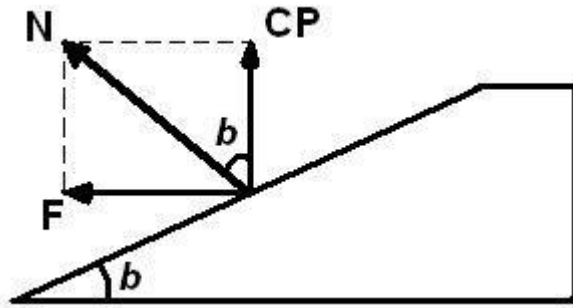


Figura 51 - Forças atuantes

Onde:

b- Ângulo de inclinação da rampa;

F - Força de acionamento do mecanismo causada pelo motor;

CP - Força gerada que age contra o peso do robô;

N - Força normal.

Temos então,

$$N = \frac{F}{\cos(90 - b)^0}$$

De onde obtemos, finalmente,

$$CP = N * \cos b$$

O valor de CP deve ser maior que a força peso do veículo para que o mecanismo funcione e o robô seja levantado.

Para o caso de uma inclinação de  $30^0$  obtemos uma força normal de  $N = 90,9N$  e uma força contra peso de:

$$CP = 78,7N$$

Que é maior que o Peso  $P = 27N$  do robô, garantido o funcionamento do mecanismo.

#### 4.2.6 Material

Neste ponto, o material deve ser analisado em dois casos, o caso de uma produção em série e o caso da fabricação de um protótipo.

No caso de fabricação em série será utilizado o ABS(Acrilonitrila-butadieno-estireno) na maior parte dos componentes do robô. No caso da fabricação de um protótipo serão utilizados diversos materiais que serão citados mais adiante neste texto.

O ABS é um termoplástico de engenharia muito versátil. A combinação de três monômeros (acrilonitrila, butadieno e estireno), garante uma grande faixa de combinação de características funcionais. O ABS propicia uma excelente combinação entre acabamento superficial, rigidez, resistência química e facilidade de processamento. Além disso, peças fabricadas com este polímero têm uma boa estabilidade dimensional e baixo escoamento.

Monômero	Efeito
Acrilonitrila	Resistência ao calor Resistência química Resistência mecânica
Butadieno	Resistência ao impacto Retenção das propriedades a baixa temperatura Flexibilidade
Estireno	Rigidez Aparência superficial Processabilidade

Tabela 16 - Efeito de cada monômero nas propriedades do ABS

#### Composição química

O Termoplástico ABS consiste em duas fases, uma continua composta por acrilonitrila estireno, e uma fase dispersa de partículas de polibutadieno.

A estrutura desses três monômeros que constituem o ABS é mostrada na figura abaixo:

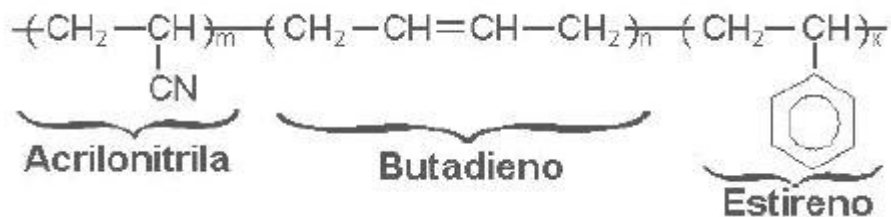


Figura 52 - Estrutura do ABS

A fase acrilnitrila estireno compõe de 70 a 90% do ABS, o que propicia características de fácil processamento, rigidez, resistência química e bom acabamento superficial.

A fase composta pelo butadieno em conjunto com a outra fase gera um produto rígido e resistente ao impacto. A manipulação da composição de cada fase gera características diferentes.

#### 4.2.6.1 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas do ABS são boas para a aplicação do robô, pois apresenta uma baixa distorção, e uma boa resistência à variação de temperatura. Como o produto estará exposto a diferentes condições térmicas (Interior da piscina ou borda da piscina exposto ao sol) essas características são importantes.

#### 4.2.6.2 Resistência química

O termoplástico ABS é resistente a ácidos, meios alcalinos, sais, óleos, e uma grande faixa de produtos usados na indústria farmacêutica e alimentícia. Essas características são excelentes para a aplicação deste material no robô, pois na piscina há uma grande variedade de produtos químicos.

A tabela abaixo mostra algumas propriedades do ABS P400 ensaiado na forma de filamentos.

Propriedades	Valor	Unidade
Tensão de ruptura a tração <sup>A</sup>	34,45	MPa
Módulo de elasticidade longitudinal <sup>C</sup>	2495	MPa
Módulo de elasticidade transversal <sup>C</sup>	833	MPa
Coeficiente de Poisson <sup>C</sup>	0,3	--
Resistência ao impacto (Teste Izod) <sup>A</sup>	107	J/m
Dureza shore D <sup>A</sup>	78	--
Densidade <sup>B</sup>	1,05	g/cm <sup>3</sup>
Condutividade térmica <sup>B</sup>	0,177	W/m.K
Calor específico <sup>B</sup>	2020	J/kg.K
Temperatura de deflexão ao calor (HDT) <sup>A</sup>	93,3	°C

Tabela 17 - Propriedades de ABS P400

#### 4.2.6.3 Características de processamento

Em comparação com outros termoplásticos, o ABS requer baixas temperaturas de processamento e é pouco sensível a mudanças nas condições de processamento. Normalmente as peças em ABS são produzidas pelos processos de injeção ou extrusão.



#### 4.2.7 Vedação

Para vedação será utilizada uma fita da empresa 3M que é de borracha. A fita Mastic 7661 é auto-aderente, apresenta alta conformabilidade e excelente vedação contra a passagem de líquidos e resíduos.



Figura 53 - Fita para vedação 3M

Esta fita será utilizada entre a tampa e a base das duas caixas. Essas tampas serão aparafusadas nas bases das caixas. Pode-se também aplicar silicone para garantir a vedação.

Para vedar a interface do eixo do motor com a água, será utilizado um anel de borracha do tipo o'ring. Para alojar este anel, é necessário usinar uma cavidade na tampa das caixas. O anel utilizado tem 6mm de diâmetro.

## **5 Testes iniciais**

### **5.1 Introdução**

A partir dos dados obtidos na fase de projeto partiu-se para a realização de testes com o objetivo de confirmar os cálculos e identificar possíveis falhas.

A idéia foi iniciá-los o mais rápido possível para que se adquirisse experiência e possíveis modificações fossem realizadas antes da construção do protótipo final. Através destes testes iniciais pode-se eliminar erros que podem ser irreparáveis numa fase posterior à construção do protótipo.

Como campo de provas utilizou-se sempre a mesma piscina com 4x8 metros provida de uma bomba de 1/2cv de potência, com uma profundidade que vai de 1.2 metros a 1.8 metros.

Foram realizados 3 testes nos quais os objetivos, metodologias, peças utilizadas e conclusões serão citados nos próximos itens.

### **5.2 Teste 1**

#### **5.2.1 Objetivo**

Por ser o primeiro teste a ser realizado, teve como objetivo confirmar a capacidade do sistema de movimentar o robô bem como realizar a aspiração da sujeira. A familiarização com as peças e com o procedimento (manuseio da bomba e da piscina) dos testes também fez parte deste objetivo.

#### **5.2.2 Peças utilizadas/montagem**

Buscou-se simular as condições reais de funcionamento utilizando para isso peças e equipamentos que se aproximassem do projetado. Por se tratar de um protótipo inicial buscou-se a praticidade na seleção das peças envolvidas. Foram utilizadas peças que se encontrassem no mercado com facilidade.

**-Base do robô:** utilizou-se como estrutura a base de um aspirador manual comum. As hastes das rodas, mostradas na figura a seguir, foram coladas para garantir a movimentação em apenas uma direção;

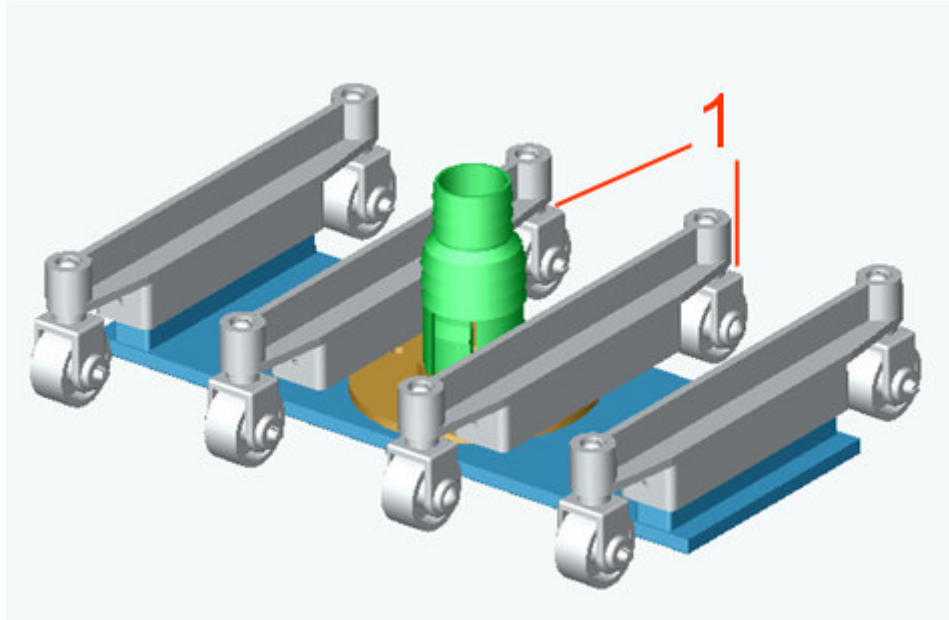


Figura 54 - Base do robô

Onde:

1 – haste da roda

**-Mangueira de sucção:** sua fabricação em PVC do tipo flutuante com diâmetro de 1 1/2" e 2", possuem alta flexibilidade, resistência à abrasão, e aos raios ultra violetas. É utilizada para fazer a aspiração da sujeira da piscina, interligando o aspirador e a sucção da bomba (através do dispositivo de aspiração). A mangueira escolhida foi de 1 1/2" e de aproximadamente 6m de comprimento.



Figura 55 - mangeira de sucção de 1 1/2" e aproximadamente 6m de comprimento

-**Mangueira de propulsão: 1"** com aproximadamente 6m de comprimento. Esta mangueira é do tipo utilizado em partes elétricas de construções e foi utilizado por seu baixo custo e por ser mais compacta gerando assim menor arrasto.



Figura 56 - Tubo de propulsão

-**Bocal propulsor:** para a conexão entre a mangueira de propulsão e a saída da propulsão utilizou-se a montagem do conjunto abaixo:

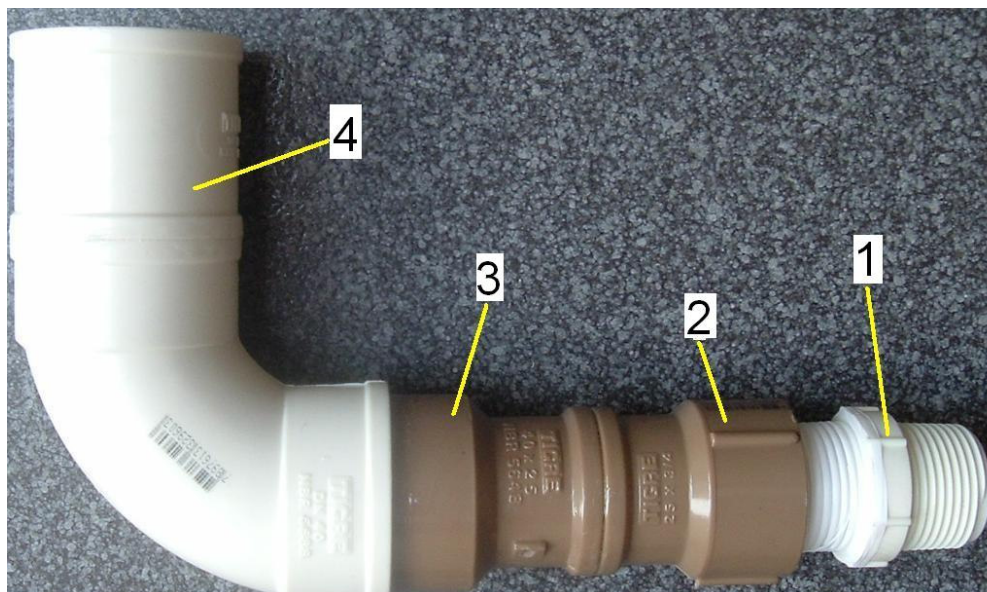


Figura 57 - Conjunto de propulsão

Onde:

- 1 - Nípel roscável de 3/4;
- 2 - Luva de redução roscável de 1"1/2 para 1";
- 3 - Luva de redução soldável de 1"1/2 para 1";
- 4 - Cotovelo de 1"1/2.

As interfaces entre as peças 2-3 e 3-4 foram coladas com adesivo próprio para tubos. A ligação 1-2 foi feita através de rosca.

Outros diâmetros para o bocal de propulsão foram testados, como mostrado a seguir:





Figura 58 - conexões com diâmetros de 1 1/2" e 3/4"

Através dos cálculos feitos na fase de dimensionamento, sabe-se que a variação destes diâmetros influencia na força de propulsão e conseqüentemente na velocidade do robô.

**-Cintas plásticas:** foram utilizadas para fixar a mangueira de sucção à de propulsão e dar rigidez ao conjunto.

Uma foto do robô montado segue abaixo:



Figura 59 - Robô montado

### 5.2.3 Custos

Nesta fase inicial, comprou-se as peças citadas acima bem como materiais auxiliares como colas, veda-rosca e etc. A seguir tem-se uma lista de materiais comprados.

Descrição	Qtde.	Custo unitário	Custo total
nípel paralelo c/roscas 3/4"-tigre	2	R\$ 1,80	R\$ 3,60
bucha de redução c/roscas 1.1/2"x1.1/4"-tigre	1	R\$ 2,35	R\$ 2,35
bucha de redução c/roscas 1"x3/4"-tigre	1	R\$ 2,90	R\$ 2,90
bucha de redução c/roscas 1"x1/4"x1"-tigre	1	R\$ 1,87	R\$ 1,87
curva 45° soldável diam. 20mm - tigre	1	R\$ 1,30	R\$ 1,30
joelho 90° soldável c/roscas 20mm x 3/4" - tigre	1	R\$ 1,60	R\$ 1,60
joelho 90° soldável c/roscas 32mm x 3/4" - tigre	1	R\$ 1,80	R\$ 1,80
luva soldável de 32mm - tigre	1	R\$ 1,80	R\$ 1,80
luva soldável de 25mm - tigre	1	R\$ 1,50	R\$ 1,50
luva soldável diam. 40mm - tigre	2	R\$ 1,00	R\$ 2,00
fita veda rosca - tigre	1	R\$ 3,50	R\$ 3,50
luva de redução roscável 25mm x 3/4" - tigre	1	R\$ 2,30	R\$ 2,30
luva de redução roscável 25mm x 40mm - tigre	1	R\$ 2,63	R\$ 2,63
joelho 90° soldável diam. 40 mm - tigre	1	R\$ 2,60	R\$ 2,60
adesivo PVC bisnaga 75g - tigre	1	R\$ 8,00	R\$ 8,00
cola super bonder 3g - loctite	2	R\$ 3,00	R\$ 6,00
abraçadeira de nylon 4,6x200mm - bemfixa	1	R\$ 6,30	R\$ 6,30
silicone 50g - brascola	1	R\$ 7,00	R\$ 7,00
mangueira (eletroduto) corrugado 1"x50m - tusa	1	R\$ 17,00	R\$ 17,00
aspirador manual	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
		<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 91,05</b>

Tabela 18 - Custos referente ao teste 1

### 5.2.4 Metodologia

Após a montagem do robô partiu-se para a preparação da piscina. Primeiramente a mangueira de sucção de 1 ½” foi conectada ao robô.

Depois a mangueira de propulsão de diâmetro 1” foi conectada a uma das saídas de retorno da água para a piscina. Como há duas saídas de retorno, mostrada na figura a seguir, uma foi tampada de modo que a máxima velocidade possível fosse atingida. Essa velocidade pode ser diminuída posteriormente com a abertura gradual desta saída.

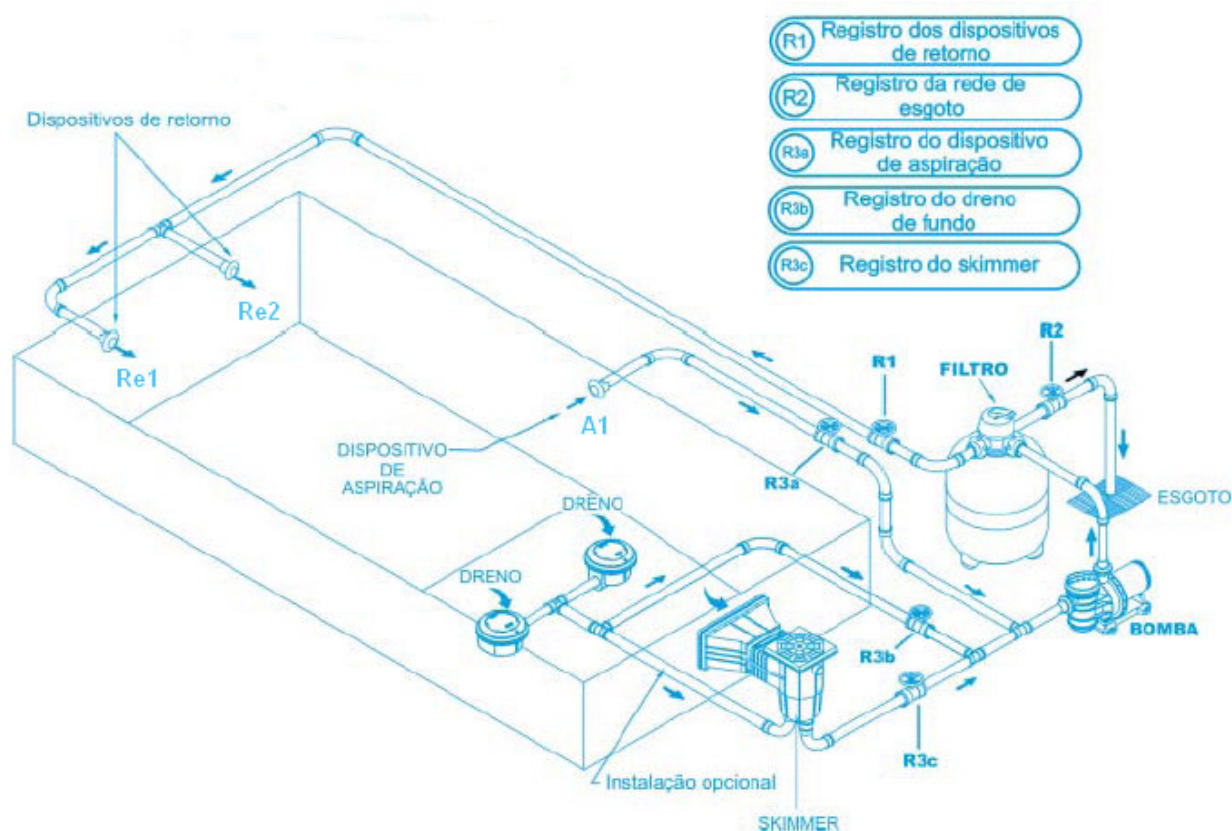


Figura 60 - instalação de piscina padrão adotada no trabalho

Com as mangueiras conectadas, guiou-se o robô até o fundo da piscina e após seu posicionamento a bomba foi ligada.





Figura 61 - Preparação para os testes

Ao ligar a bomba pela primeira vez o robô movimentou-se por aproximadamente 3 segundos e depois parou. A princípio desconfiou-se da perda de carga devido às curvas excessivas da mangueira e então estas foram posicionadas da forma mais retilínea possível. Dessa vez ao religar a bomba o robô não se mexeu.

De forma subjetiva, ergueu-se o robô até uma posição onde fosse possível verificar com as mãos a pressão do jato de propulsão e notou-se que este era fraco (subjetivamente).

A seguir os bocais de propulsão foram trocados. Inicialmente foram usadas de 1 “  $\frac{1}{2}$  pois não se sabia a reação da bomba quanto a mais uma restrição no sistema. A bomba poderia queimar. Trocou-se para o bocal de 1” e depois para o de  $\frac{3}{4}$ ”. Em nenhum destes casos o robô voltou a andar.

O primeiro teste encerrou-se neste ponto.

### 5.2.5 Conclusões

A partir dos testes notou-se que uma mangueira corrugada de 1", apesar de compacta, tem uma perda de carga grande por causa de seu diâmetro quando comparada à mangueira padrão normalmente utilizada na aspiração de piscinas. Por isso, a bomba trabalha numa faixa de operação fora do ideal. Havia uma perda de carga distribuída muito grande, pois além de ser extensa, o tubo era corrugado.

Concluiu-se também que uma redução de diâmetro na saída do conjunto de propulsão poderia ser mais vantajosa por aumentar a pressão na saída do sistema.

Outro problema detectado foi na instalação das mangueiras, pois as extremidades não eram rotulares. Quando rosqueada, a mangueira tendia a ficar torcida.

### 5.2.6 Ações de melhoria

Troca da mangueira corrugada de 1" por uma mangueira padrão de piscina de 1"1/2. Para o próximo teste, adotou-se o mesmo procedimento quanto a troca dos bocais de propulsão variando os tubos de 3/4" para 1"1/2. Para facilitar a instalação das mangueiras e, conseqüentemente a redução de tempo nos testes, comprou-se adaptadores que permitem rosquear as mangueiras sem girar-las. Ver figura a seguir.



Figura 62 - Adaptador de mangueira

## **5.3 Teste 2**

### **5.3.1 Objetivo**

Visto que no primeiro teste o objetivo não foi alcançado, buscaram-se modificações para que neste teste fosse possível movimentar o robô. Desta vez utilizou-se ambas as mangueiras de diâmetro 1 1/2". Aqui mais uma vez o objetivo foi checar a propulsão e a sucção do robô.

### **5.3.2 Peças utilizadas/montagem**

#### **5.3.2.1 Mangueiras**

-A mangueira de sucção é a normalmente utilizada de 1 1/2" e aproximadamente 6m de comprimento;

-Desta vez utilizou-se a mangueira de retorno padrão de 1 1/2" e aproximadamente 6m de comprimento;

#### **5.3.2.2 Conjunto propulsão e sucção**

A figura abaixo mostra as peças que compõem o conjunto:

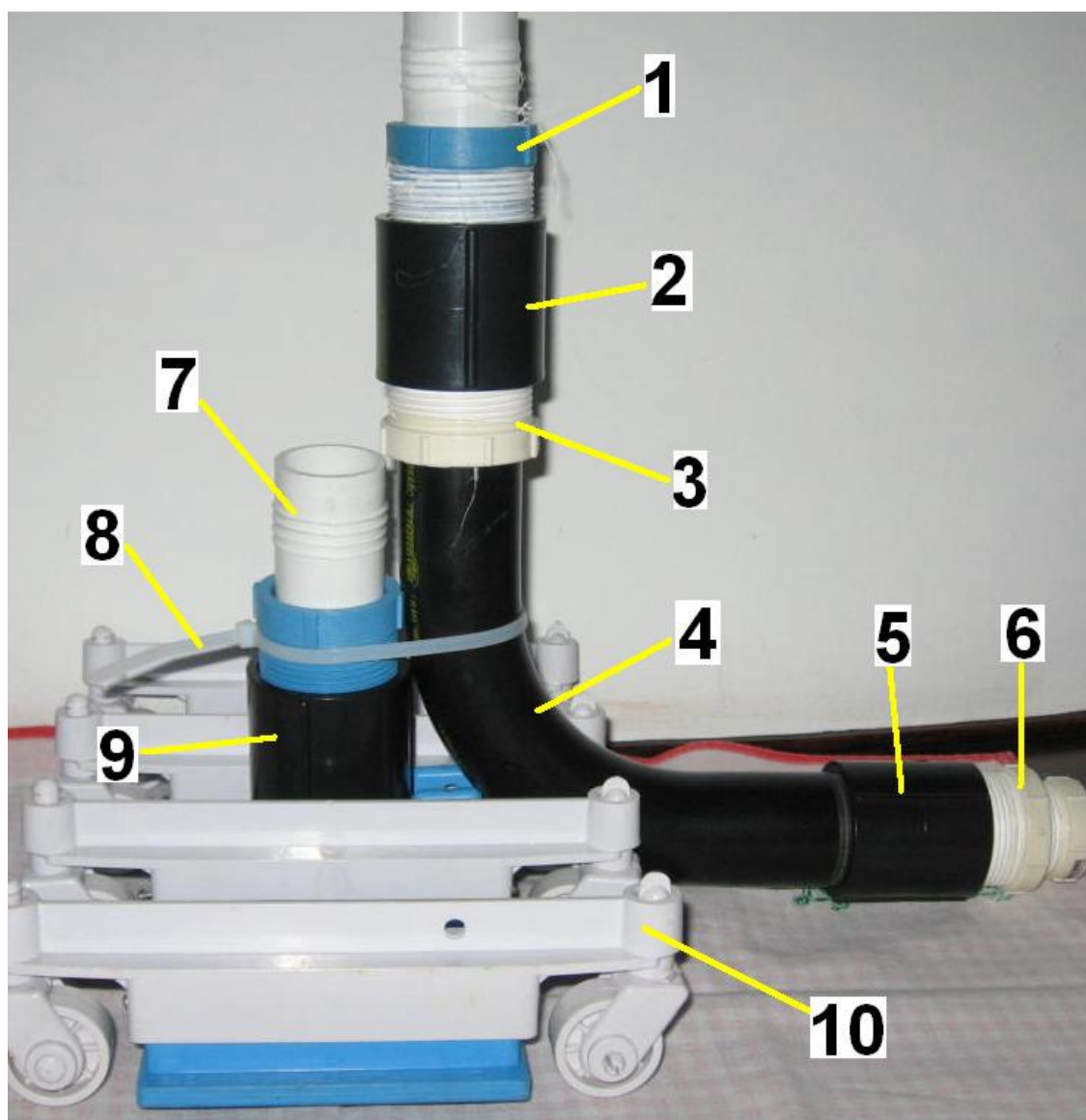


Figura 63 - Conjunto teste 2

Onde:

- 1-Luva plástica 1 1/2" para adaptar a mangueira;
- 2-Luva roscável 1 1/2";
- 3-Bucha de redução roscável 1 1/2" x 1 1/4";
- 4 -Curva 1 1/4";
- 5 -Luva roscável 1 1/2";
- 6 -Redução roscável variável de 1 1/4" a 3/4";
- 7- Luva plástica 1 1/2" para adaptar a mangueira;
- 8 -Cinta plástica;
- 9 -Luva roscável 1 1/2";

10-Aspirador padrão;

Nota-se neste robô que diferentemente do teste 1, aqui foi possível manter o diâmetro de 1 1/2" até a saída da propulsão, reduzindo de diâmetro somente na saída.

Aqui foi utilizada também luvas plásticas (posições 1 e 7) para facilitar a montagem das mangueiras em ambas as posições, de propulsão e sucção, evitando que as mangueiras ficassem torcidas.

### 5.3.3 Custos

Abaixo estão listadas todas as peças que foram compradas para a realização do teste.

Descrição	qtde.	custo unitário	custo total
adaptador de mangueira 1.1/2"-sodramar	2	R\$ 7,50	R\$ 15,00
curva 90° eletroduto roscável 1.1/4" - tigre	1	R\$ 2,90	R\$ 2,90
bucha de redução c/roscas 1.1/2"x1.1/4"-tigre	1	R\$ 2,35	R\$ 2,35
luva eletroduto pesado 1.1/2" -tigre	1	R\$ 2,15	R\$ 2,15
TOTAL			R\$ 22,40

Tabela 19 - custos referente ao teste 2

### 5.3.4 Metodologia

Repetindo-se o mesmo procedimento de preparação citado no Teste 1, iniciou-se os testes do robô.



Figura 64- Preparação da piscina

Ao contrario do primeiro teste, aqui o robô iniciou a movimentação e sucção assim que a bomba foi ligada. Testou-se a movimentação tanto na subida da parte inclinada quanto na descida e em ambas a movimentação foi satisfatória.

Com o bocal de propulsão de 1" o robô movimentou-se com uma velocidade razoável que pode ser controlada ainda por uma válvula na segunda posição de retorno de água( que encontrava-se totalmente fechada como no teste1). Já com o bocal de 3/4" o robô movimentou-se muito rapidamente levantando muita sujeira e dificultando a aspiração.

### 5.3.5 Conclusões

Uma bomba de  $\frac{1}{2}$  cv é suficiente para movimentar o robô desde que as perdas de carga do sistema sejam minimizadas. Foi comprovado que a mangueira corrugada de eletroduto gera uma perda de carga excessiva.

Nota-se também que uma grande redução no bocal de propulsão gera velocidades excessivas, o que não é bom, pois dessa maneira a sujeira é agitada no fundo e a sucção perde eficiência.

### **5.3.6 Ações de melhoria**

Apesar de o robô ter se movimentado, as conexões com diâmetros maiores não estavam sendo fidedignos ao projeto.

O próximo passo é reduzir o diâmetro da tubulação nas proximidades do robô, pois do contrário seriam necessários conectores maiores na interface mangueira/robô o que seria inviável dado que esta é uma região em que as peças se encontram muito próximas.

## **5.4 Teste 3**

### **5.4.1 Objetivo**

Neste ultimo teste, o objetivo foi testar os tubos e mangueiras do robô nas condições mais próximas do projetado, respondendo assim, a indagação do grupo quanto à força de propulsão. Para isso utilizou-se a mesma mangueira corrugada de eletroduto do teste 1 com diâmetro reduzido, porém com um comprimento menor. Este pedaço foi alocado no robô conforme a figura 67.

A idéia é reduzir o diâmetro da tubulação nas proximidades do robô, pois do contrário seriam necessários conectores maiores na interface mangueira/robô e portanto, seria gerado um robô maior, diferente do projetado.

### **5.4.2 Peças utilizadas/montagem**

Para explicitar as peças utilizadas, o robô será dividido em dois grupos, o de propulsão/base e o de sucção.

#### **5.4.2.1 Mangueiras**

-A mangueira de sucção é a normalmente utilizada de 1 1/2" e aproximadamente 6m de comprimento;

-Desta vez utilizou-se a mangueira de retorno padrão de 1 1/2" e aproximadamente 6m de comprimento;



#### 5.4.2.2 Conjunto propulsão/base

A figura abaixo mostra o grupo de propulsão/base:

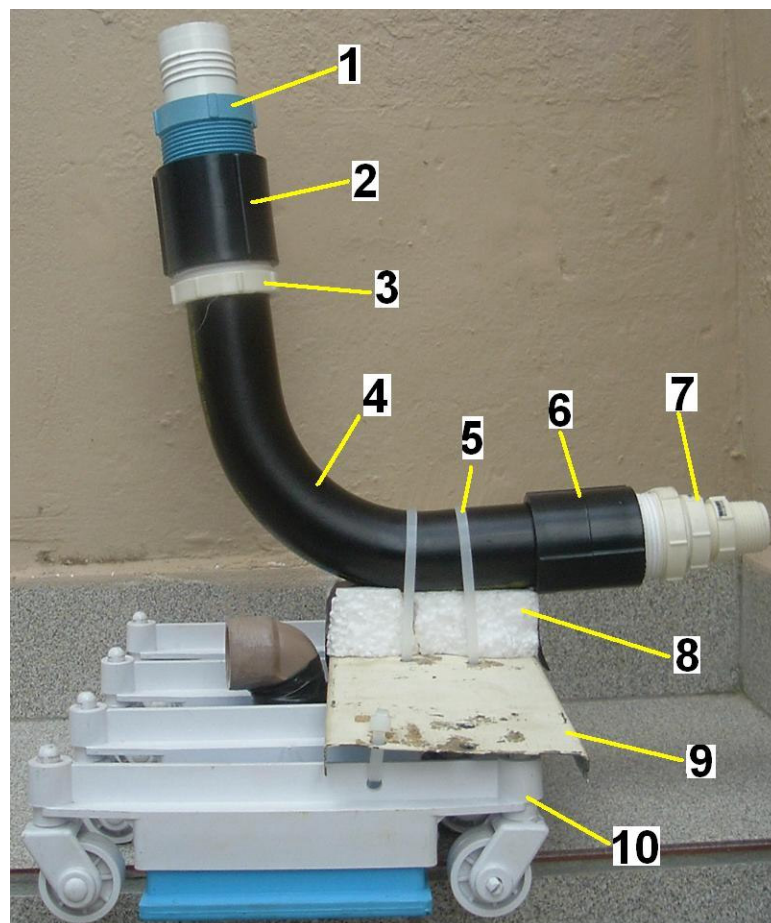


Figura 65 - conjunto propulsão/base

Onde:

- 1-Luva plástica 1 1/2" para adaptar a mangueira;
- 2-Luva roscável 1 1/2";
- 3-Bucha de redução roscável 1 1/2" x 1 1/4";
- 4-Curva 1 1/4";
- 5 -Cinta plástica;
- 6 -Luva roscável 1 1/2";
- 7-Redução variável de saída de 1 1/2" a 3/4";
- 8- Calço;

9-Base estrutural metálica;

10-Aspirador padrão;

O calço em 8 tem a finalidade de manter o jato de água numa altura aproximada à que será empregada no protótipo final.

#### 5.4.2.3 Conjunto sucção

O conjunto de sucção está indicado abaixo:

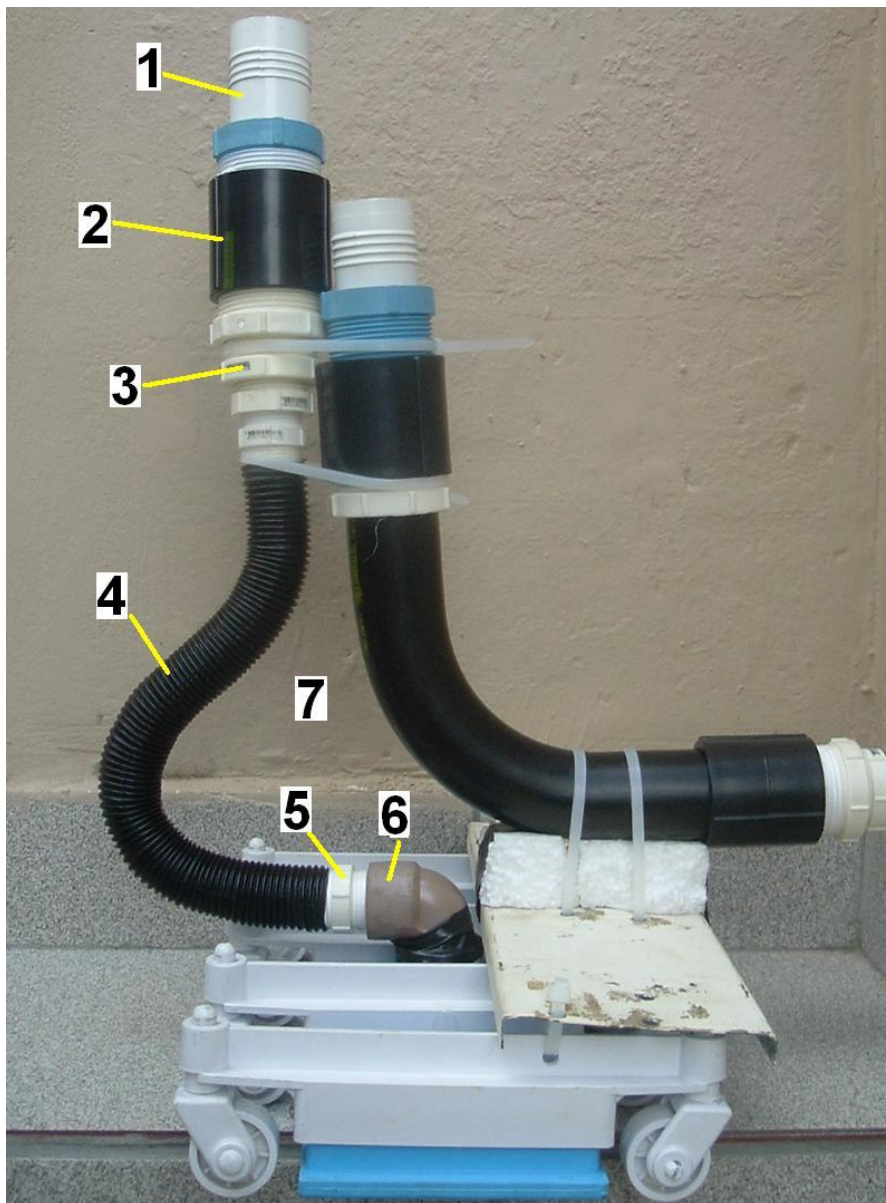


Figura 66 - conjunto sucção

Onde:

1-Luva plástica 1 1/2" para adaptar a mangueira;

2-Luva roscável;

3-Conjunto de reduções roscáveis de 1 1/2" a 3/4";

4-Eletroduto flexível 1";

5-Nípel roscado de 3/4";

6-Cotovelo de 3/4";

7-Esta região indica a localização do conjunto central do robô, o que justifica a curva do tubo de 1".

### 5.4.3 Custos

Abaixo estão listadas todas as peças que foram compradas para a realização do teste.

Descrição	qtde.	custo unitário	custo total
nípel paralelo c/rosca 3/4"-Tigre	2	R\$ 1,80	R\$ 3,60
bucha de redução c/rosca 1"x3/4"-Tigre	1	R\$ 2,90	R\$ 2,90
bucha de redução c/rosca 1"1/4x1"-Tigre	1	R\$ 1,87	R\$ 1,87
luva eletroduto pesado 1.1/2" -Tigre	1	R\$ 2,13	R\$ 2,13
luva eletroduto pesado 1.1/4" -Tigre	1	R\$ 1,60	R\$ 1,60
abraçadeira de nylon 4,6x200mm - Bemfixa	1	R\$ 6,30	R\$ 6,30
adaptador de mangueira 1.1/2"-Sodramar	1	R\$ 7,50	R\$ 7,50
abraçadeira de nylon 4,6x300mm - Bemfixa	1	R\$ 8,50	R\$ 8,50
		<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 34,40</b>

Tabela 20 - custos referente ao teste 3

### 5.4.4 Metodologia

Repetindo-se o mesmo procedimento de preparação citado no Teste 1 iniciou-se os testes do robô.



Figura 67 - preparação do robô

A princípio o robô se movimentou, porem não se observava a limpeza da piscina.

Com a movimentação, algumas vezes o robô pendia para algum lado por ficar preso às mangueiras. Quando isso ocorria o jato de impulsão saia da posição correta e o robô parava de se locomover, agitando a sujeira do fundo. Nota-se na figura seguinte que o jato não está na posição correta e as mangueira atrapalham o movimento.

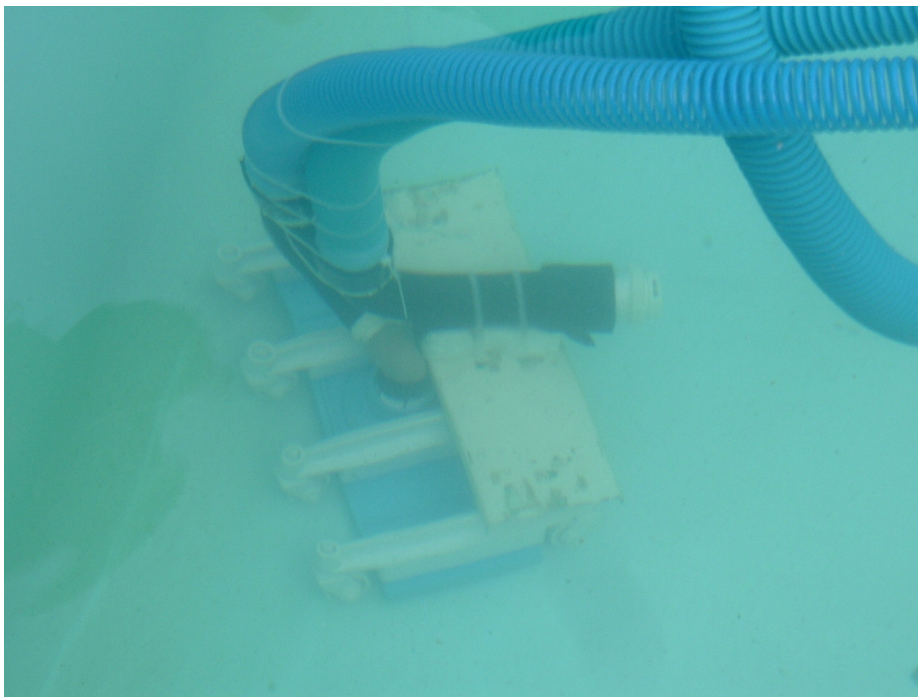


Figura 68 - Problemas



Um dos integrantes do grupo adentrou na piscina para conferir a sucção na interface robô/fundo da piscina e notou que não havia pressão suficiente para limpá-la. Ao procurar entender o porquê da diminuição da sucção, notou-se que havia vazamentos em algumas conexões roscadas.

Para eliminar estes vazamentos, utilizou-se uma fita veda-rosca e uma fita isolante para garantir que energia não fosse perdida. Pode-se notar a vedação a partir da figura abaixo.

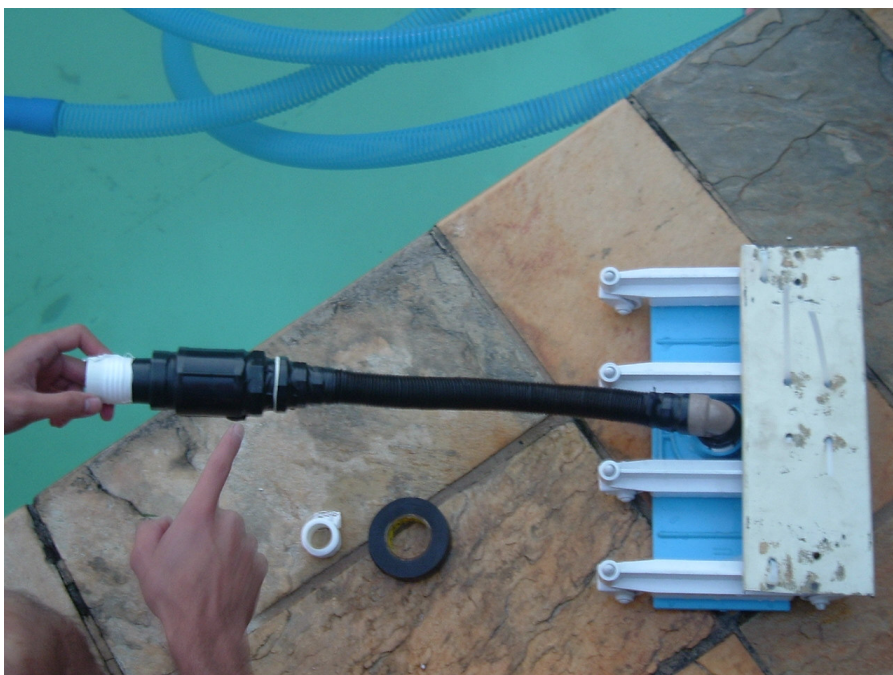


Figura 69 - vedação

Após melhorar a vedação e posicionar o robô de forma correta, o robô se movimentou e sugou a sujeira da forma esperada.

A figura abaixo ilustra a atenção na hora de posicionar o robô corretamente.



Figura 70 - Posicionamento do robô

Na figura abaixo, apesar da água estar bastante turva, é possível notar que o robô se movimenta e limpa a região por onde passa, deixando um rastro na parte de trás do movimento.

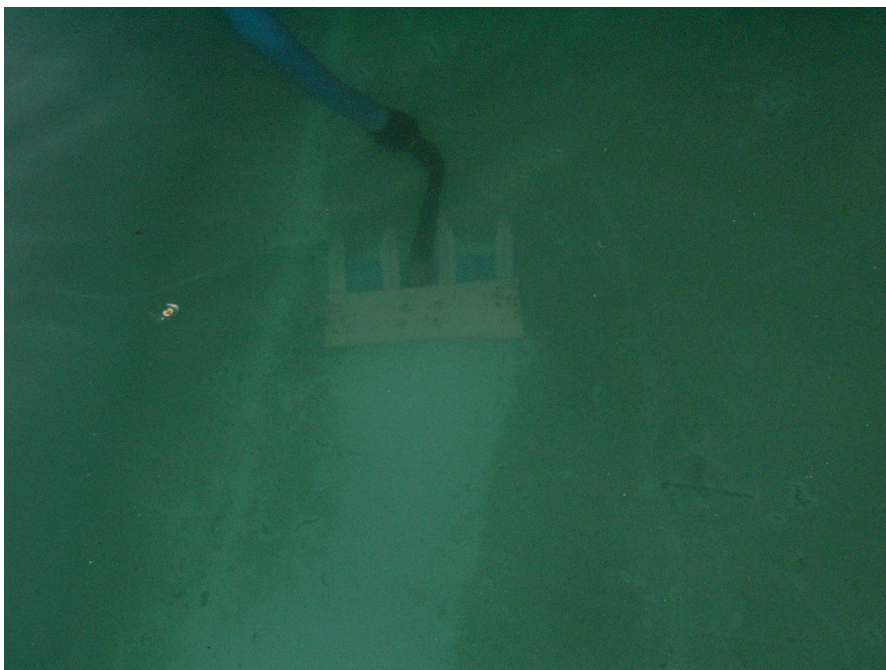


Figura 71 - Movimentação e sucção

#### **5.4.5 Conclusões**

A partir deste último teste notou-se que é possível utilizar um tubo de 1" apenas nas proximidades do robô conforme indicado, de forma a permitir um robô mais compacto.

Notou-se também que a vedação é de suma importância para que a pressão do escoamento não se perca através das diversas conexões.

É importante também atentar para o fato do robô não ficar estável em algumas condições. Isso deve ser corrigido pensando numa forma que as mangueiras não atrapalhem a movimentação, e numa boa distribuição de peso do robô.

Outro ponto é o fato de que o jato de propulsão levanta a sujeira no fundo da piscina.

#### **5.4.6 Ações de melhoria**

Pesquisar novas mangueiras para que minimize a influência da mangueira na locomoção do robô. Outro ponto importante é inclinar o jato propulsor para que não levante a sujeira no fundo da piscina. Vazamentos nas conexões devem ser eliminados.

## 5.5 Conclusões dos testes

A partir dos testes realizados os seguintes pontos foram levantados:

- Havia uma perda de carga distribuída muito grande no tubo corrugado do eletroduto, pois além de ser extensa, o tubo era corrugado.
- Notou-se também que a vedação é de suma importância para que a pressão do escoamento não se perca através das diversas conexões.
- É importante também atentar para o fato do robô não ficar estável em algumas condições. Isso deve ser corrigido pensando numa forma que as mangueiras não atrapalhem a movimentação, e numa boa distribuição de peso do robô.
- Outro ponto é o fato de que o jato de propulsão levanta a sujeira no fundo da piscina (quando fora da posição correta).

Apesar dos problemas encontrados foi verificado que a propulsão gerada por um motor de  $\frac{1}{2}$  cv é suficiente para movimentar o robô, comprovando assim a veracidade dos cálculos feitos no primeiro semestre.

Portanto, deste trabalho, os estudos, pesquisas e desenvolvimentos serão prosseguidos com o objetivo maior de concluí-lo ao final do curso de graduação em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.



## 6 Construção

### 6.1 Fabricação

Para a usinagem das peças utilizou-se o laboratório de máquinas operatrizes (LMO) da Escola Politécnica da USP e a sala dos técnicos do laboratório da área Térmica da mesma escola.

As principais máquinas utilizadas foram: Fresa, Torno, Furadeira de bancada, Guilhotina, Serra de fita e Dobradeira.

A infra-estrutura da oficina da Equipe Poli de Mini-Baja também foi utilizada. Abaixo seguem algumas fotos da fase de usinagem.



Figura 72 – Usinagem da caixa do motor.



Figura 73 - Usinagem da Rampa.



Figura 74 - Usinagem do suporte da roda.

Somente as duas engrenagens foram usinadas sob encomenda, sendo que o restante foi usinado pelos próprios componentes do grupo.



## 6.2 Montagem

Após a usinagem das peças e a compra dos componentes foi possível iniciar a montagem do protótipo.

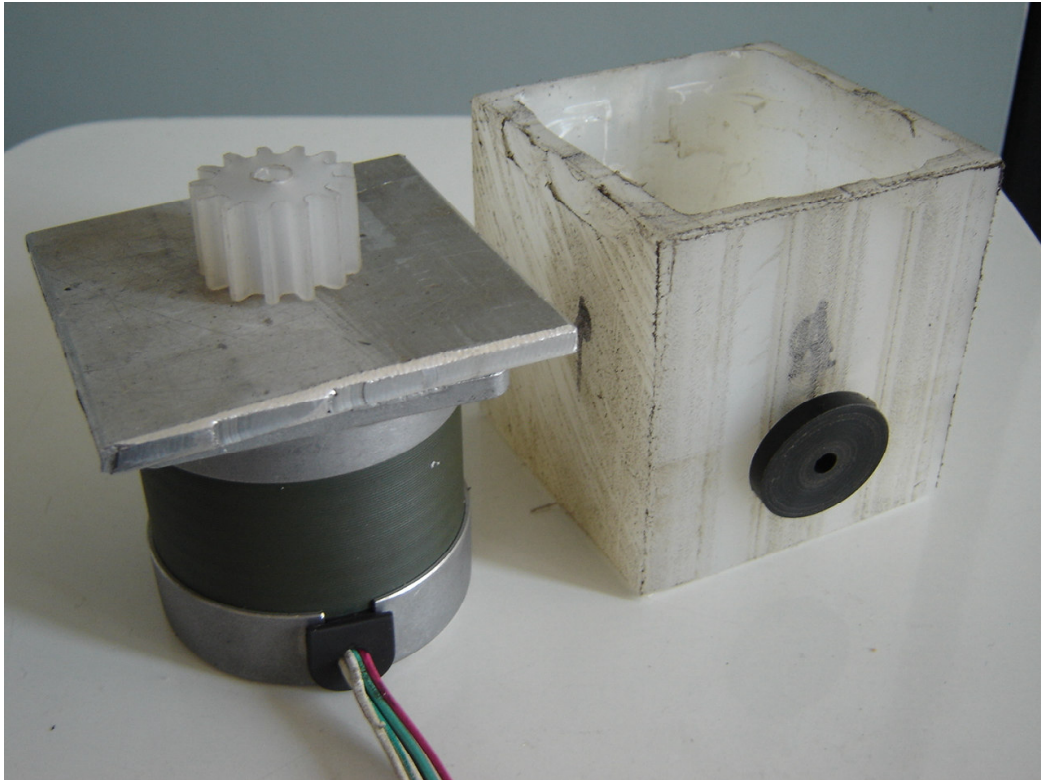


Figura 75 - Conjunto Motor-Caixa-Pinhão.



Figura 76 - Botões de acionamento.

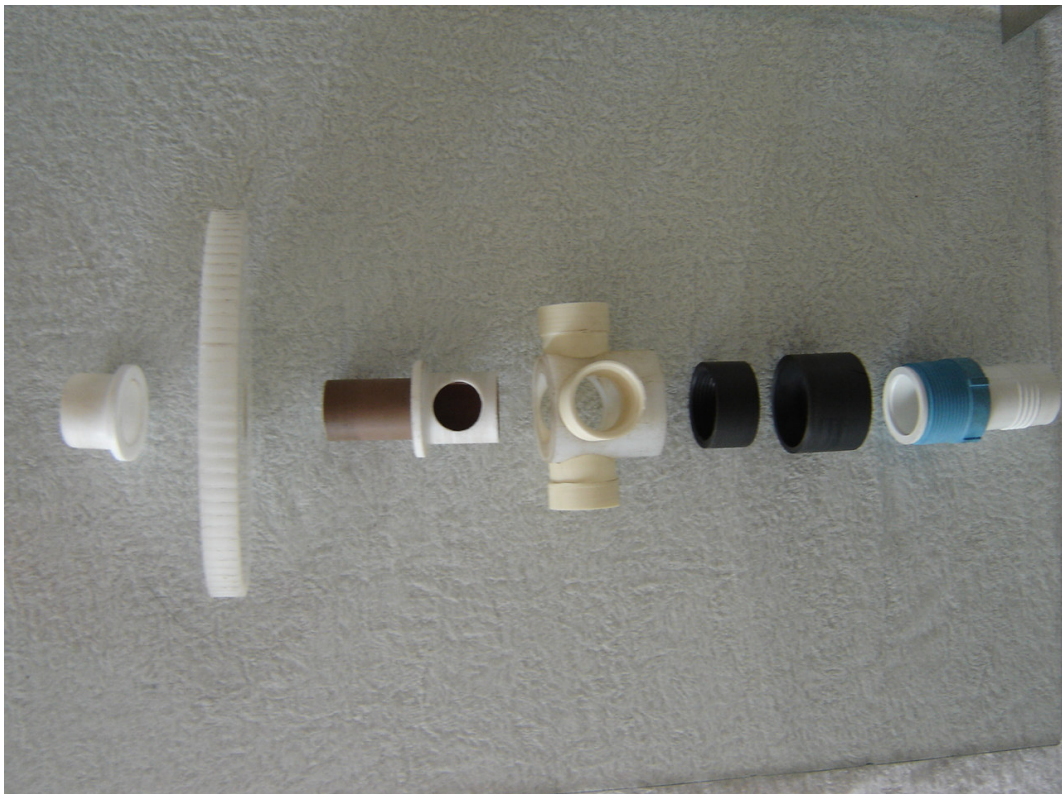


Figura 77 - Torre.



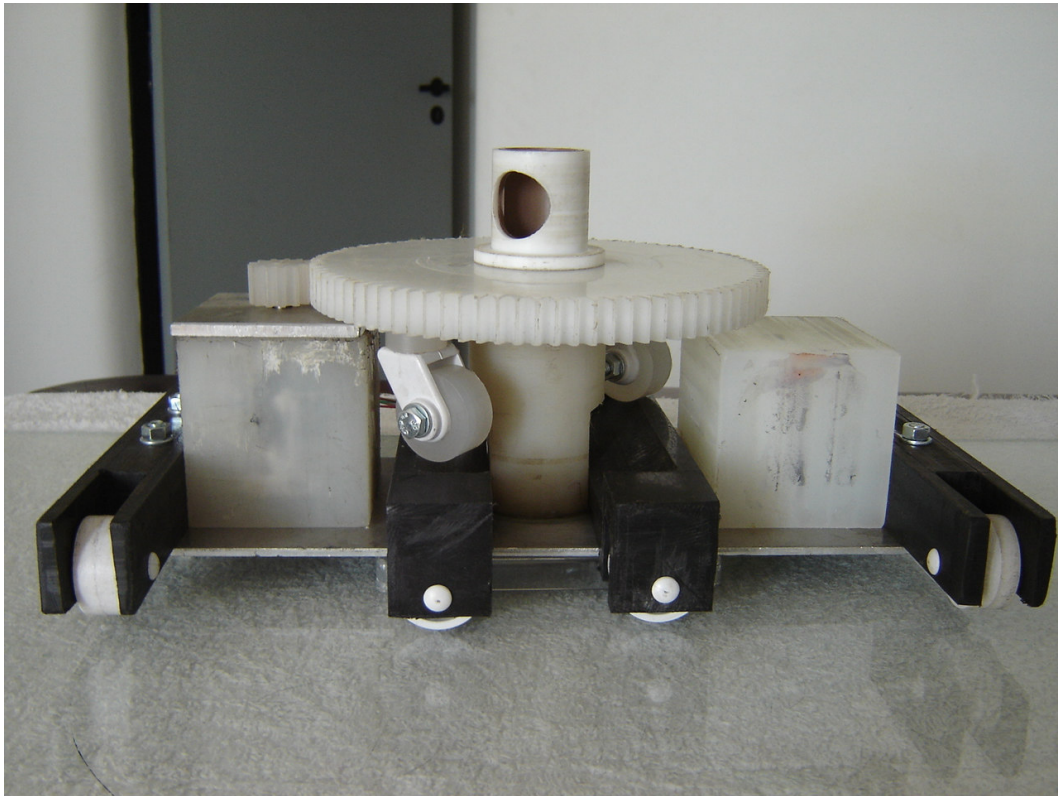


Figura 78 - Conjunto inferior.

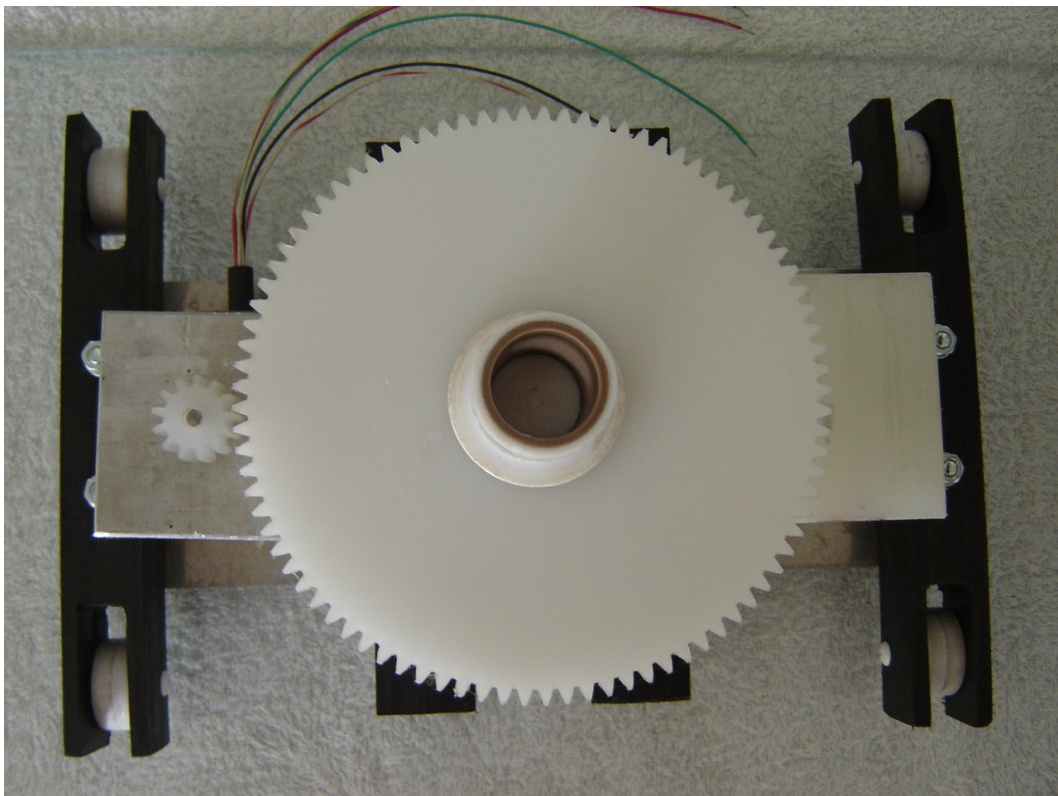


Figura 79 - Pinhão-Engrenagem.

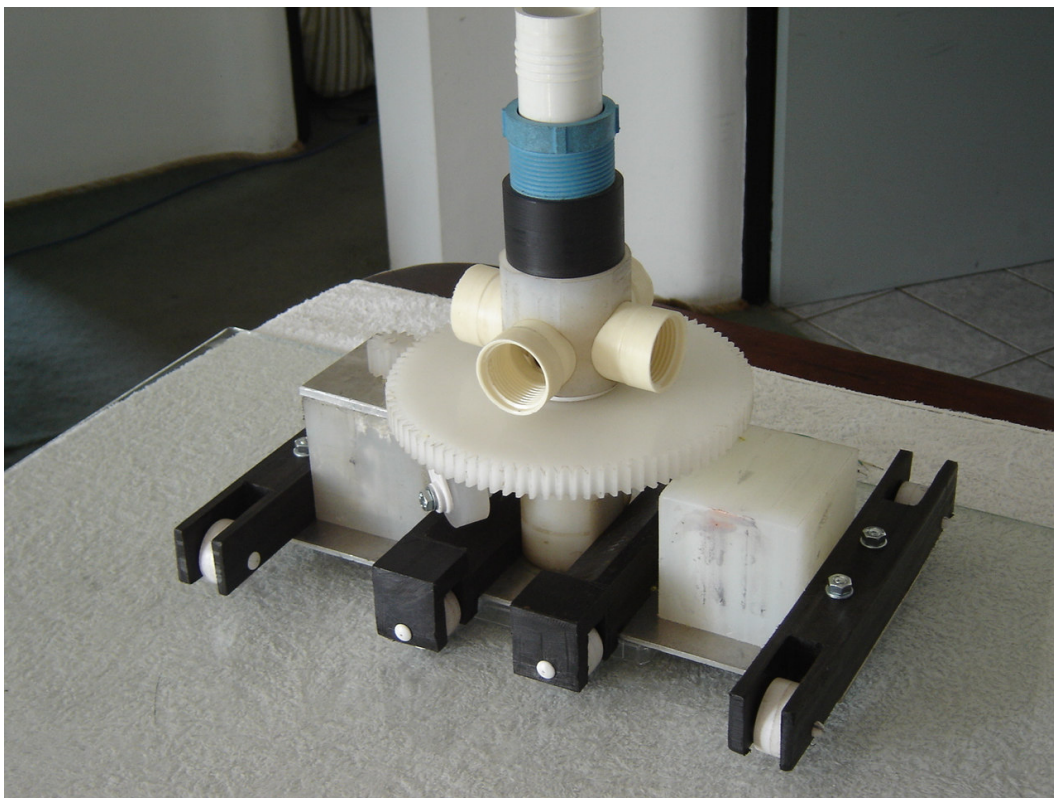


Figura 80 - Conjunto sem carenagem.

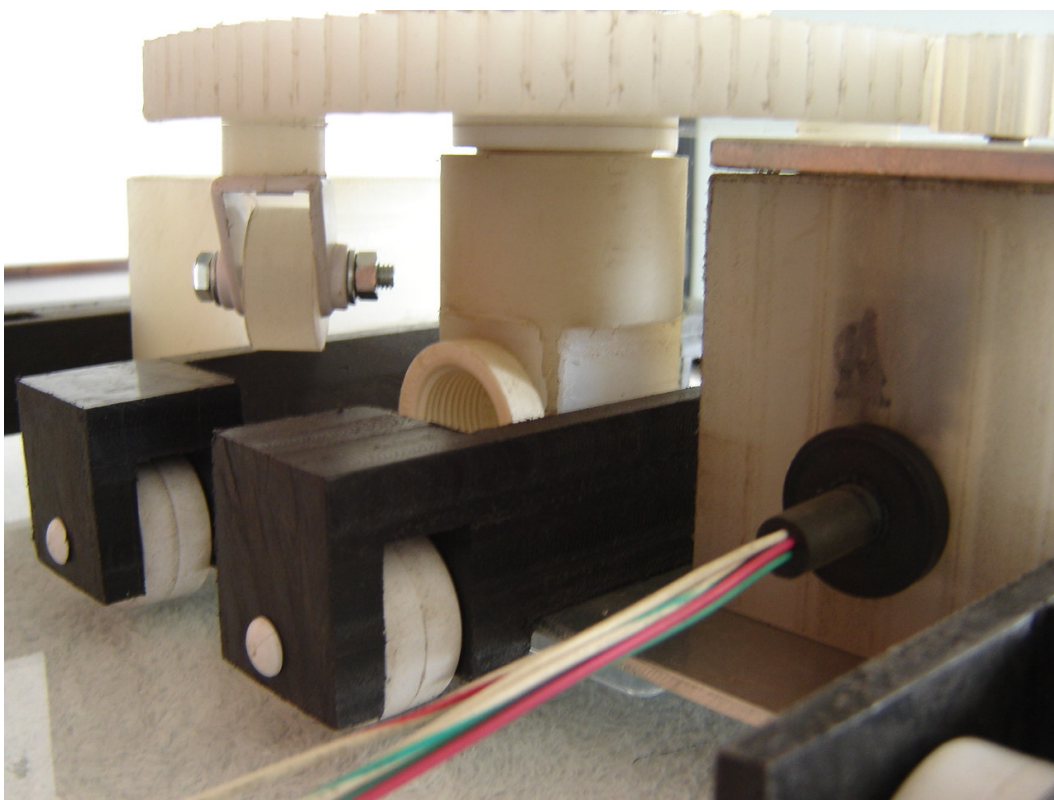


Figura 81 - Detalhe do conjunto inferior.



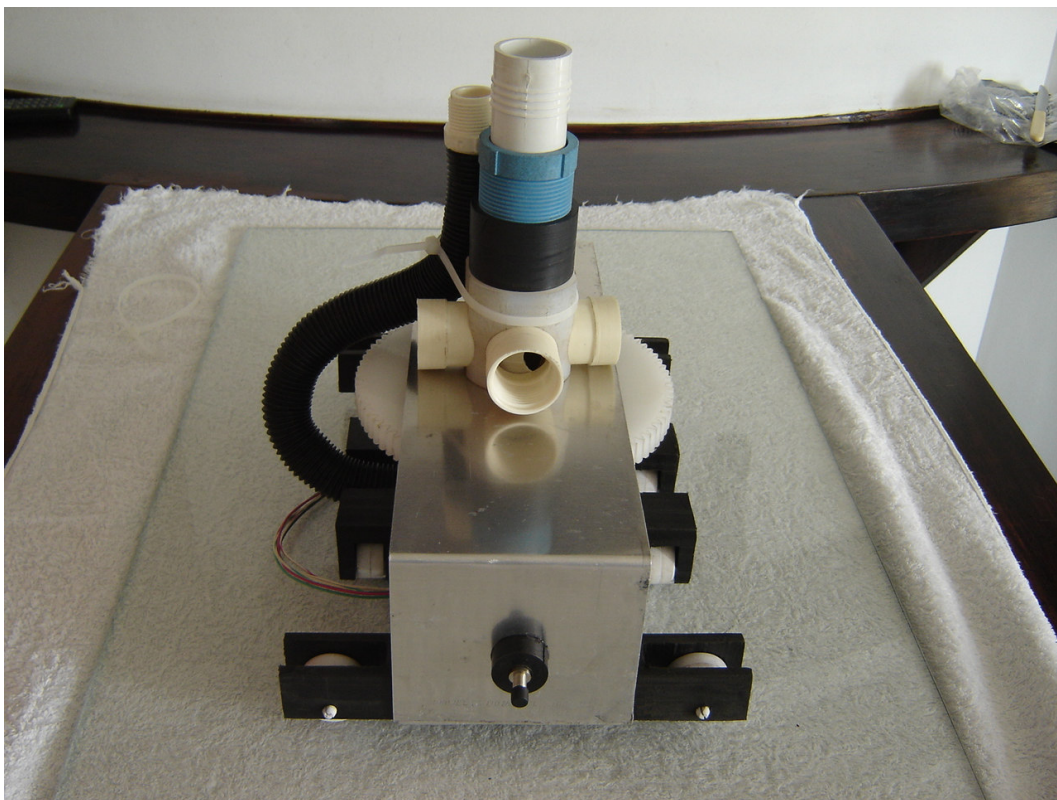


Figura 82 - Conjunto Completo (Lateral).

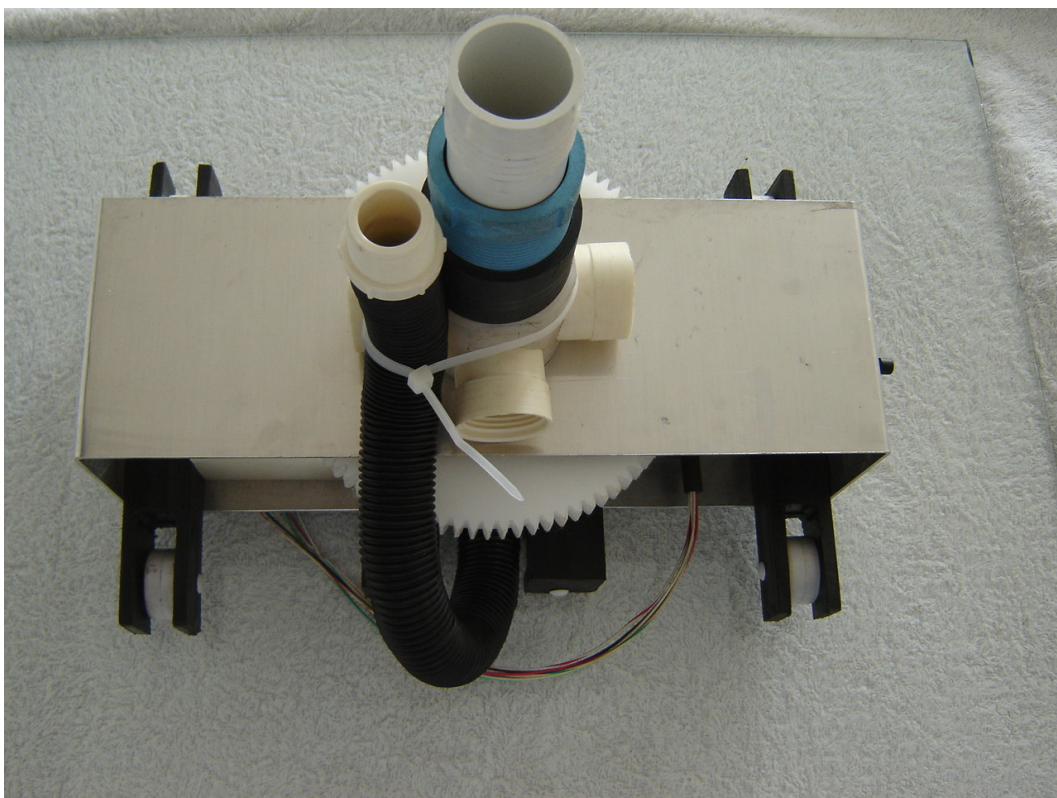


Figura 83 - Conjunto completo (Superior).



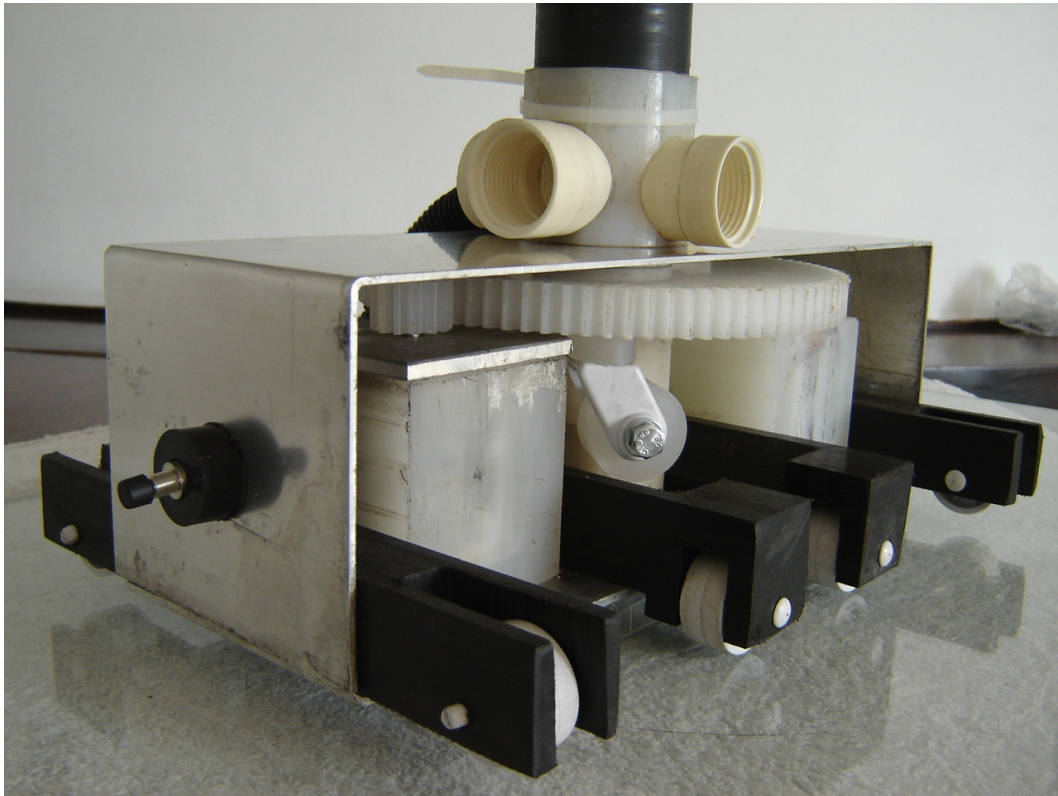


Figura 84 - Conjunto inferior.

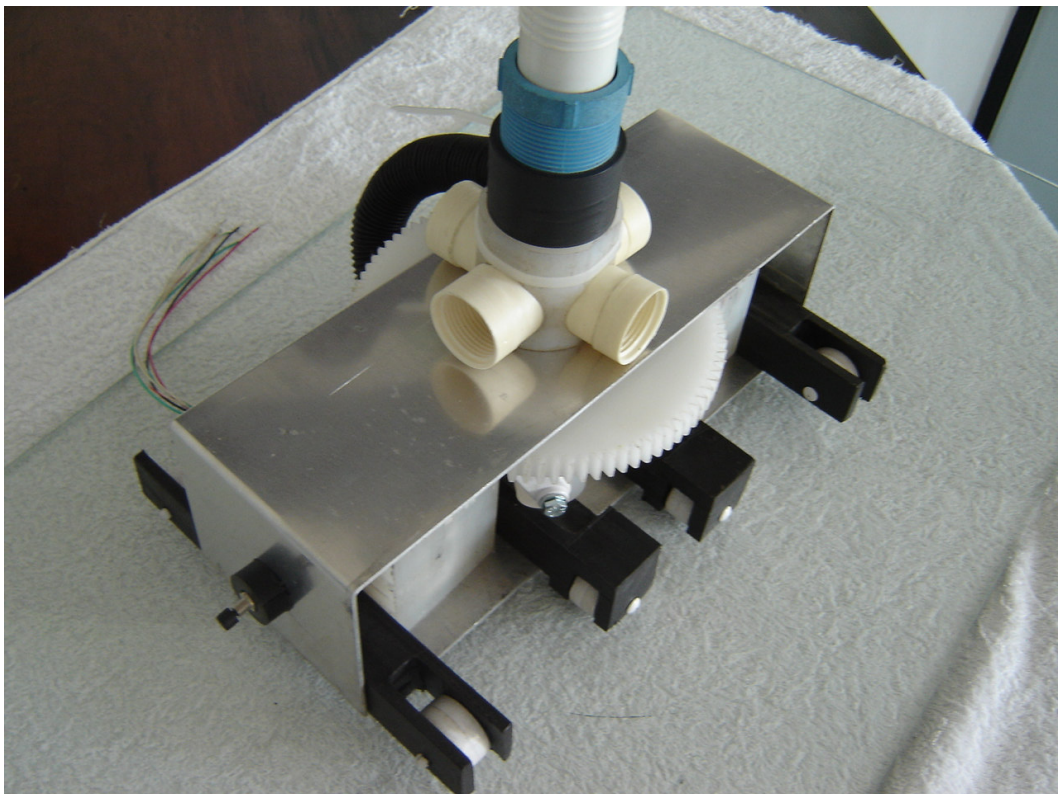


Figura 85 - Conjunto completo.



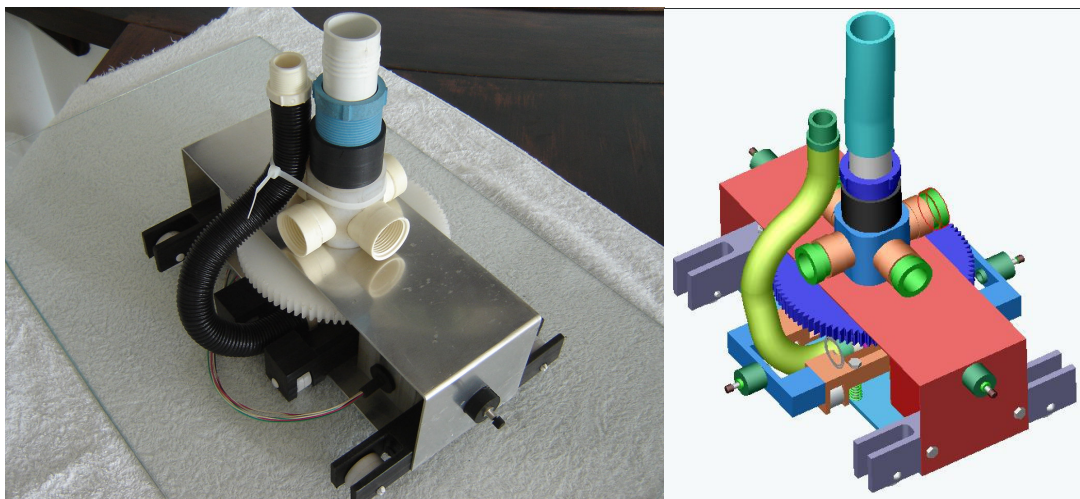


Figura 86 - Protótipo x CAD.

## 7 Custos

A tabela abaixo mostra os gastos com material utilizado na fabricação do protótipo.

Peça	Material	Qtde	Custo unit.(R\$)	Custo Total (R\$)
Engrenagem	PP	1	80/pç	80
Pinhão	PP	1	70/pç	70
Rampa	PP	2	20/Kg	20
Suporte Roda	PP	2	20/Kg	20
Cruz	Nylon	1	25/Kg	6,25
Base sucção	Nylon	1	25/Kg	6,25
Caixa motor	Nylon	1	25/Kg	6,25
Caixa Central	Nylon	1	25/Kg	6,25
Tubo corrugado		1	1,4/m	0,7
Motor		1	93/unid	93
Conexão	PVC	1	10/unid	10
Carenagem	Alumínio	1	8/chapa	8
Bucha 1'3/4'	PVC	4	0,8/unid	3,2
Bucha 1'1/4'	PVC	1	0,8/unid	0,8
Conexão 1'	PVC	2	0,8/unid	1,6
Rodas	Nylon	10	1,5/unid	15
Botão		4	5/unid	20
Parafusos		14	0,6/unid	8,4
Cola PVC		1	8/unid	8
Araudite		1	15/unid	15
Buchas		4	20/Kg	4
Bucha 2'		2	1,5/unid	3
			<b>Total(R\$)</b>	<b>405,7</b>

Tabela 21 – Custo total do protótipo

O custo total obtido foi bastante satisfatório estando dentro da faixa esperada, pois se deseja um valor final do produto caso seja fabricado em série, de R\$500,00( Preço ao consumidor). Apesar do valor mostrado na tabela não incluir mão-de-obra, o custo total foi condizente com os gastos num protótipo.

## 8 Conclusões

O relatório aqui apresentado buscou mostrar a viabilidade do projeto proposto. A partir da idéia inicial, diversas modificações foram realizadas até a construção do protótipo final, mostrando uma melhoria a cada volta na espiral de projeto.

O projeto detalhado realizado na primeira metade do ano foi de extrema valia para o correto funcionamento do robô e para garantir sua execução no tempo previsto.

Os testes preliminares serviram para mostrar as limitações e chamar a atenção para detalhes não antes notados.

Os testes com o protótipo final mostraram que o robô é capaz de garantir a limpeza total de uma piscina de 10x4m num tempo máximo de 1h30min, o que está de acordo com os objetivos do projeto.

É possível visualizar um vídeo do teste final no site [www.youtube.com](http://www.youtube.com) buscando pelo vídeo “Robô Aspirador Poli”.

Na parte de custos do protótipo o valor foi de R\$405,70. Colocado inicialmente como meta um valor abaixo de R\$500,00, o valor está dentro da meta. Este valor tende a decrescer quando se pensar numa produção em larga escala.

O protótipo funciona perfeitamente quanto à parte mecânica. Com relação ao controle do robô, haverá uma continuidade do projeto no ano seguinte onde melhorias serão feitas para que o conjunto todo atinja seus objetivos de projeto.

## 9 Referências Bibliográficas

- [1] KAMINSKI, P.C. **Desenvolvendo produtos, planejamento, criatividade e qualidade**. LTC Editora S.A., 1.ed. Rio de Janeiro, 2000.
- [2] SERVIÇO DE BIBLIOTECAS DA EPUSP. **Diretrizes para apresentação de trabalhos Finais**. São Paulo, 2005.
- [3] ARENO, W. **Higiene das piscinas**. 1 ec. Rio de janeiro 1949.
- [4] <http://www.polarispool.com> (acessado em março de 2006)
- [5] <http://www.sodramar.com.br> (acessado em março de 2006)
- [6] <http://www.baracuda.com/mars.htm> ( acessado em abril de 2006)
- [7] <http://www.primeiromundo.com.br> ( acessado em abril de 2006)
- <http://www.mercadobr.com.br/loja.php?loja=13001797835&produto=7005&vid=10708633>
- [8] HARPER, C. A. **Modern Plastic Handbook**. New York. McGraw-Hill. 2000.
- [9] MARGOLIS, J.M. **Engineering Thermoplastics**. New York. Marcel Dekker . 1985.
- [10] JUVINALL, R.C., MARSHEK, K. M. **Fundamentals of Machine Component Design**. 3.ed. Danvers, John Wiley & Sons, Inc., 2003
- [11] STIPKOVIC, M. **Engrenagens**. 1.ed. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1978.

## **10 Anexos**

Aqui seriam expostos os desenhos de fabricação do protótipo, porém por questões de sigilo, estes foram omitidos.