



**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**  
**PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**



**ADRIANO BORN**

**DESENVOLVIMENTO DE UM GERADOR ACIONADO PELAS**  
**ONDAS DO MAR**

Canoas, dezembro de 2008

**ADRIANO BORN**

**DESENVOLVIMENTO DE UM GERADOR ELÉTRICO  
ACIONADO PELAS ONDAS DO MAR**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Elétrica da ULBRA como  
um dos requisitos obrigatórios para a  
obtenção do grau de Engenheiro  
Eletricista

**Departamento:**

Engenharia Elétrica

**Área de Concentração**

Energia Renovável

**Professor Orientador:**

[MSc.] Eng. Eletr. Luis Fernando Espinosa Cocian – CREA-RS: 088866-D

Canoas

2008



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Nome do Autor:** ADRIANO BORN

**Matrícula:** 932100393-2

**Título:** DESENVOLVIMENTO DE UM GERADOR ACIONADO PELAS ONDAS DO MAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

**Professor Orientador:**

ME Eng. Eletr. Luis Fernando Espinosa Cocian

CREA-RS: 088866-D

**Banca Avaliadora:**

Dr. Eng. Eletr. Marília Amaral Silveira

CREA-RS: 050909-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Dr. Eng. Eletr. Adriane Parraga

CREA-RS: 107196-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

**Assinaturas:**

---

Autor  
Adriano Born

---

Orientador  
Luis Fernando Espinosa Cocian

---

Avaliador  
Marília Amaral Silveira

---

Avaliador  
Adriane Parraga

Relatório Aprovado em:



## **DEDICATÓRIA**

Dedico aos meus pais e  
a minha namorada pela  
paciência e o incentivo.



## **AGRADECIMENTOS**

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

A minha família pelo apoio e compreensão. Muito obrigado.

Agradeço a professora Marília Amaral Silveira que me ajudou como co-orientadora

Ao professor Cocian que se tornou meu orientador nesse processo final, auxiliando-me de forma a possibilitar a conclusão deste projeto.

Agradeço aos professores Augusto, Godoy, Valner, Cocian, Balbinot, Vernetti, Mirian e todos os outros que me auxiliaram neste longo caminho.



## **EPÍGRAFE**

*“Procure ser uma pessoa de valor,  
em vez de procurar ser uma pessoa  
de sucesso. O sucesso é só  
conseqüência”.*  
*Albert Einstein.*



## RESUMO

BORN, Adriano. **DESENVOLVIMENTO DE UM GERADOR ELÉTRICO ACIONADO PELAS ONDAS DO MAR.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2008.

Este trabalho apresenta o estudo e o desenvolvimento de um gerador elétrico que funciona pelo acionamento das oscilações das ondas do mar. O gerador em questão possui bobinas enroladas separadas por uma pequena distância, e um conjunto de cinco ímãs permanentes de formato cilíndrico. Quando há movimento relativo entre os ímãs permanentes e as bobinas, nestas são induzidas forças eletromotrizes.

O gerador em questão foi construído e testado. Os testes indicaram que essas forças eletromotrizes são capazes sob a ação de uma carga manter uma potência através da frequência de oscilação das ondas.

**Palavras chave:** Energia dos oceanos. Gerador elétrico. Energia elétrica. Gerador elétrico *ironless*.



## **ABSTRACT**

BORN, Adriano. DEVELOPMENT OF A ELETRIC GENERATOR OPERATED BY the WAVES OF the SEA. XX p. Work of Conclusion of Course in Electrical Engineering - Electrical Engineering Department. Lutheran University of Brazil. Canoas, RS. 2008

This work presents the study and the development of an electric creator who works for the actuation of the oscillations of the waves of the sea. The creator open to question has complicated reels separated by a small distance, and a set of five constant magnets of cylindrical format. When there is relative movement between the constant magnets and the reels, in this strength is induced eletromotrizes.

The creator open to question was built and tested. The tests indicated that this strength eletromotrizes is able under the action of a load maintains a power through the frequency of oscillation of the waves.

**Keywords:** Energy of the oceans, electric generator, electric energy, electric generator ironless.





## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Vista do litoral brasileiro	15
Figura 2-Diagrama de Bloco dos dados que serão avaliados	16
Figura 3-Potencial de energia (kW/m de onda)	18
Figura 4-Modelo de sensoriamento com bóia	19
Figura 5-Modelo esperado formado pela movimentação das ondas	20
Figura 6-Mapa de Hogben e Lumb :	21
Figura 7-Tecnologias em uso na geração de energia no mar	24
Figura 8-Somatório de ondas senoidais	27
Figura 9-Forma de onda com variáveis	29
Figura 10-Potência por Densidade de Onda	30
Figura 11- Potência por metro de frente de Onda	31
Figura 12-Princípio de Funcionamento da lei de Faraday	34
Figura 13-Ímã num tubo metálico	36
Figura 14-Momento magnético	37
Figura 15-Linhas de campo magnético produzido pelo imã	37
Figura 16-Variáveis do modelo	38
Figura 17-Modelo matemático	39
Figura 18-Modelo de dipolo magnético e variáveis	41
Figura 19-Variáveis para avaliar o fluxo	41
Figura 20-Corpo oscilando no mar	44
Figura 21-Desenho esquemático do gerador elétrico desenvolvido.	47
Figura 22-Princípio de funcionamento levando em conta a média das oscilações para a geração de energia	48
Figura 23-Sistema idealizado pela Universidade do Oregon	49
Figura 24-Criando campo em bobina com pilha	53
Figura 25-Bússola orientada pelo campo da bobina	53
Figura 26-Montagem das bobinas	54
Figura 27-Montagem do protótipo	54
Figura 28-Montagem das bobinas	55
Figura 29-Dispositivo visto de lado sem a ponteira	55
Figura 30-Eixos do modelo	56
Figura 31-Montagem da fonte	57
Figura 32-Lógico do AD 22151	57
Figura 33-Montagem de acordo com modelo	58
Figura 34-Montagem em do sensor Hall	59
Figura 35-Aquisição de dados	60
Figura 36-Montagem da ponteira para medição do fluxo magnético em Tesla	60
Figura 37-Modelo inicial	67
Figura 38-Curso do modelo criado	69
Figura 39-Protótipo montado	70
Figura 40-Simulação para aquisição do modelo	71
Figura 41-Geração de Tensão a 60 Hz	74
Figura 42-Geração de Tensão a 50 Hz	75
Figura 43-Geração de Tensão a 40 Hz	75
Figura 44-Geração de Tensão a 30 Hz	76
Figura 45-Geração de Tensão a 20 Hz	76
Figura 46-Geração de Tensão a 10 Hz	77
Figura 47-Modelo montado com 2 bobinas	78
Figura 48-Modelo montado com 1 bobina	79



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Gráfico médio na zona 40 e 44 Altura x Período.....	22
Tabela 2- Variáveis da onda. ....	28
Tabela 3: Cálculo do FLUXO (T) x DISTÂNCIA(mm) .....	62
Tabela 4- Simulação do FLUXO (T) x DISTÂNCIA(mm) .....	63
Tabela 5-Medida do FLUXO (T) x DISTÂNCIA(mm) .....	64
Tabela 6-Comparativo dos valores do campo em Tesla .....	65
Tabela 7- Valores da potência .....	78



## **LISTA DE ABREVIATURAS e SIGLAS**

ABNT : Associação Brasileira de Normas Técnicas.

M.H.S : Movimento Harmônico Simples

f.e.m : força eletro motriz

$\delta$  : Desvio químico ( expresso em ppm)

$\Delta$  : Aquecimento

$\eta$  : Rendimento ( expresso em %)

$\mu$  : Micro, fator 10-6

$^{\circ}\text{C}$  : Temperatura em graus centígrados

$u_{\text{max}}$  : Número de onda

Hz : Hertz

PPM : Parte por milhão



## LISTA DE SÍMBOLOS

Carga elétrica	(Q)	C
Densidade de carga	( $\rho$ )	C m <sup>-3</sup>
Potencial elétrico	(V)	V
Diferencial de potencial, voltagem	(DV)	V
Campo elétrico	(E)	V m <sup>-1</sup>
Capacidade	(C)	F
Permissividade elétrica	( $\epsilon$ )	F m <sup>-1</sup>
Permissividade relativa	( $\epsilon_r$ )	1
Momento dipolar elétrico	(p)	C m
Fluxo magnético	(F)	Wb
Campo magnético	(B)	T
Permeabilidade	( $\mu$ )	H m <sup>-1</sup> , N A <sup>-2</sup>
Permeabilidade relativa	( $\mu_r$ )	1
Resistência	(R)	W
Resistividade	( $\rho$ )	W m
Auto-indução	(L)	H
Indução mútua	(M)	H



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	Definição do Escopo do Projeto.....	14
1.2	Justificativa Técnica e Econômica para a Solução Escolhida .....	14
1.3	Índices de Qualidade.....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1	Conceitos Básicos e Estudos Preliminares .....	16
2.2	Energia Oceânica.....	17
2.3	Análise do Comportamento no Mar.....	19
2.4	Determinação da Onda de Projeto .....	22
2.5	Vantagens e Desvantagens do Gerador.....	23
2.6	As Várias Tecnologias de Energias das Ondas .....	24
2.7	Fatores a serem considerados para o projeto.....	25
2.8	Determinação da Energia das Ondas .....	28
2.9	Detalhamentos Teóricos.....	31
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
3.1	Descrição Geral do Sistema .....	47
3.2	Metodologia .....	48
3.3	Avaliação do Tipo de Ímã .....	50
3.4	Procedimentos para execução do projeto .....	50
3.5	Características Construtivas .....	51
3.6	Procedimentos para Orientar do ímã na hora da montagem.....	52
3.7	Procedimentos para Orientar a bobina com o maior rendimento de fluxo.....	52
3.8	Construção do Gaussímetro por efeito Hall.....	55
3.9	Cálculos Para determinação da densidade de campo do ímã.....	61
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
4.1	Modelos.....	69
4.2	Simulações – Métodos Numéricos.....	70
4.3	Metodologia dos Testes Integrados no Sistema Físico.....	71
4.4	Resultados .....	74
4.5	Problemas Encontrados .....	79
4.6	Avaliação dos Objetivos Propostos.....	80
4.7	Conclusões .....	80
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>82</b>
<b>6</b>	<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE A – DADOS DO INVERSOR.....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO A – DADOS DO FORNECEDOR .....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXO B – DADOS DO FORNECEDOR .....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXO C – DADOS DO FORNECEDOR .....</b>	<b>89</b>
	<b>ANEXO D – MODELO DA UNIVERSIDADE DO OREGON.....</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXO E-DATASHEET LM 7805 E AD22151 .....</b>	<b>91</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Este projeto trata do desenvolvimento de um protótipo que explora a geração de energia por meio de um recurso renovável, o mar. Procurando por detalhes específicos frente às várias tecnologias existentes pensou-se em implementar algo que poderia ser usado para esse fim. Isto levou a questionamentos, que levaram a desenvolver um gerador que funcionasse com a oscilação das ondas do mar.

Neste projeto, são apresentados os estudos na implementação para o desenvolvimento de um gerador elétrico que funcionará acionado pelas ondas do mar transformando-as, pela movimentação, em energia.

Sendo construído de forma simples, este é o primeiro protótipo para aquisição de dados para projetos futuros.

Criaram-se muitos dispositivos e métodos para esta tomada de dados que vai desde a caracterização dos campos magnéticos dos ímãs permanentes, medições, viabilidade de construção e gráficos de resultados.

O projeto consiste em gerar um protótipo analisando-se os modelos existentes para buscar um que, ao ser montado atenda os custos e os objetivos do trabalho. Os dados no presente momento já foram adquiridos e equacionados sendo aqui detalhados como uma proposta futura para realização na continuidade e melhoramento para um novo protótipo.

Os maiores interessados neste dispositivo serão as comunidades isoladas que necessitam de desenvolvimento, mas que devido à baixa renda da população não o possibilitam ainda vivendo em sistema precário sem luz nem elétrica energia. Isso abrangeria comunidades próximas às zonas litorâneas ou as que ficam em ilhas ou plataformas marinhas como no caso da Petrobrás.

O mérito deste projeto está no baixo custo e no retorno rápido de resultados, podendo ser uma alternativa de geração de energia onde não existam linhas de transmissão eficientes podendo gerar a concentração de renda em regiões de pouco recurso. Assim para que a renda possa permanecer na região e, associada à



ampliação do dia pela presença de luz artificial poderá estimular o desenvolvimento destas comunidades.

Quando isso ocorrer, de forma controlada a demanda energética aumentará, mas então a atividade econômica já justificará o custo de implementação para soluções maiores.

## ***1.1 Definição do Escopo do Projeto***

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral para este trabalho foi:

\*Implementar um dispositivo para geração de energia elétrica à partir da oscilação das ondas do mar.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos definidos para este trabalho foram:

\*Fazer medições com dispositivos próprios que permitam obter dados do protótipo e compará-los com os dados teóricos;

\*Escolher um modelo de atuação do protótipo, seu arranjo físico e definir um método de cálculo e procedimentos para o projeto elétrico.

## ***1.2 Justificativa Técnica e Econômica para a Solução Escolhida***

A geração de energia elétrica em comunidades isoladas tem sido um desafio constante. Soluções como geradores a diesel, micro centrais hidroelétricas ou térmicas a biomassa, eólica e solar vêm sendo aplicadas. Devido à baixa renda da população, iniciativas que acarretem em gasto de combustível ou alto custo de equipamentos são pouco viáveis (Diesel pelo combustível e solar pelo custo) uma

vez que o alcance dos subsídios do estado nas comunidades é limitado. A inexistência de quedas d'água inviabiliza micros centrais hidroelétricas comuns. Nem sempre há vento disponível superior a 5 m/s para viabilização de energia eólica. As térmicas, biomassa, exigem investimento e manutenção especializada, além de não serem convenientes onde não há sobra de biomassa de outros processos. Por outro lado temos nosso litoral que vai da região norte até região sul e é onde as comunidades se instalam Na figura 1 temos uma visão do litoral brasileiro que possibilita uma grande área de aplicações deste modelo.

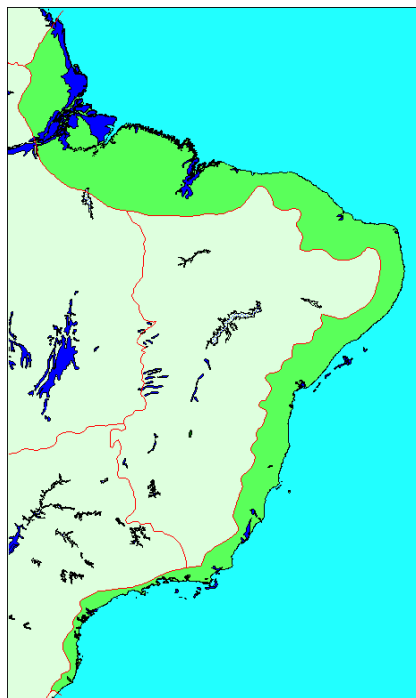


Figura 1-Vista do litoral brasileiro

Para a escolha do modelo foram analisadas as várias tecnologias existentes e o modelo tipo corpo oscilante flutuante essencialmente translação vertical, foi o escolhido para o projeto. Sendo um sistema de fácil construção qualquer adaptação era realizada de forma rápida sem afetar o protótipo e sua funcionalidade.

### ***1.3 Índices de Qualidade***

Neste trabalho, foram atingidos todos objetivos propostos. Foram necessárias várias adaptações e estudos de aplicação que geraram dados para manter uma carga de relativa potência.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Conceitos Básicos e Estudos Preliminares

Ao desenvolver o protótipo foi necessário criar um fluxograma para determinar os passos necessários para o seu desenvolvimento. Na Figura 2 temos esse fluxograma que permitiu fazer um método de análise:

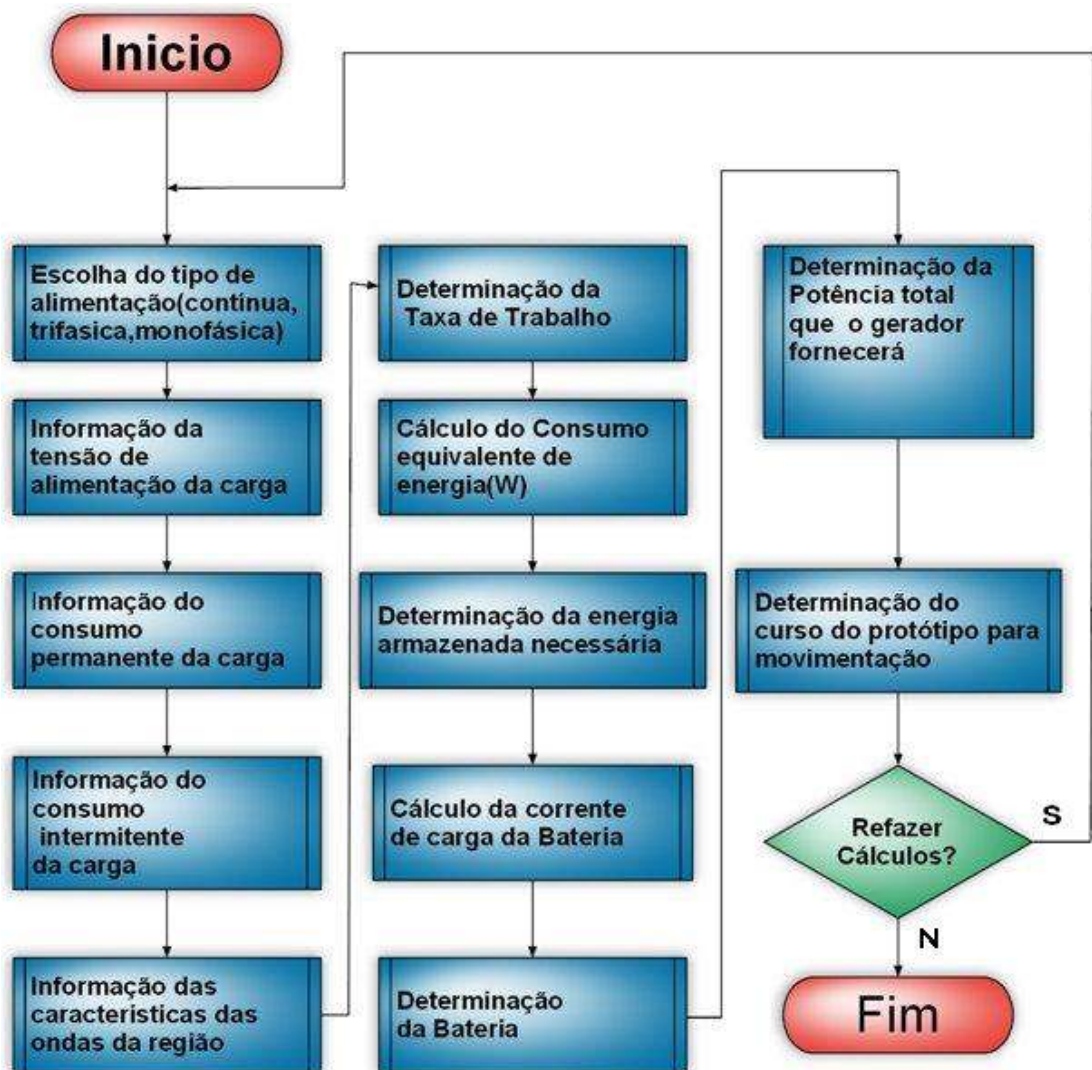


Figura 2-Diagrama de Bloco dos dados que serão avaliados



Através dessa estrutura todos os dados foram levados em conta o que permitiu definir todos os passos para o desenvolvimento do protótipo.

## **2.2 Energia Oceânica**

A energia oceânica é gerada e absorvida de diferentes formas: através das correntes, das marés, ventos, efeitos geotérmicos e ondas. Segundo dados do Instituto Thorpe os mesmos, são provenientes de um efeito solar ou gravitacional. A energia das ondas tem de 15 a 20 vezes mais energia por metro quadrado que o vento ou o Sol.

Existem dois tipos diferentes de corrente oceânica: correntes marinhas e correntes das marés. Ambos os tipos são influenciados pela rotação da terra e são altamente previsíveis. Correntes marinhas precisam do fluxo do golfo no atlântico originário da diferença de temperatura no oceano. Enquanto a água quente vai subindo nessas correntes, a água originária dos pólos frios afunda e sobe retornando ao equador formando uma troca cíclica, mantendo-se por até 10 anos. As correntes produzidas pelas marés ocorrem de maneira diferente das correntes marinhas, pois essas ocorrem pelo efeito de atração gravitacional da lua. Dependendo do local e da geografia, as marés vem no meio do dia ( semi-diurnas ), diariamente (diária) e em 14 dias de ciclos. Diferentemente das correntes marinhas, as marés vão a uma direção no início do ciclo e retornam no final deste. Estimativas da Universidade de Wisconsin Madison dizem que correntes marinhas e marés combinadas contém aproximadamente mais de 50 TW de potência energética que é a escala atual do consumo médio mundial. Protótipos de geradores de corrente marinha têm sido desenvolvidos na Europa, Estados Unidos, Alemanha e demais países desenvolvidos como uma solução para seus problemas energéticos, pois com a crescente busca de recursos e conforto tem na energia a fórmula capitalista necessária para se ter a chave para se ter ou não uma economia estável.

A tecnologia usada para armazenar essa energia é similar a uma hidrelétrica, e alguns modelos podem ser descritos como turbinas de vento imersas.

As ondas oceânicas provêm da transferência de energia do sol para o vento e então desce para a água. A energia solar cria o vento, enquanto este cria oscilações na água que vão convertendo a energia do vento em energia para as ondas. Uma vez

convertida, essa energia pode atravessar milhares de quilômetros com pequenas perdas. Mais importante ainda são regulares, as ondas são uma fonte de força regular com uma intensidade que pode ser prevista por vários dias. Assim, a energia das ondas é mais previsível que a energia do vento ou solar.

A avaliação do Instituto Thorpe é: O valor se aproxima de 8 A 80 T Wh/ano ou de 1-10 TW de potência oceânica na média. Cada crista de onda transmite 10 a 50 kW por metro.

Através de vários estudos, em 1999 o Instituto Thorpe elaborou um mapa que mostra o quanto se pode obter de energia e o quanto se perde por perdas friccionais decorrentes da linha costeira.

A figura 3 mostra a energia em kW/m de crista de onda em kW/m de onda.

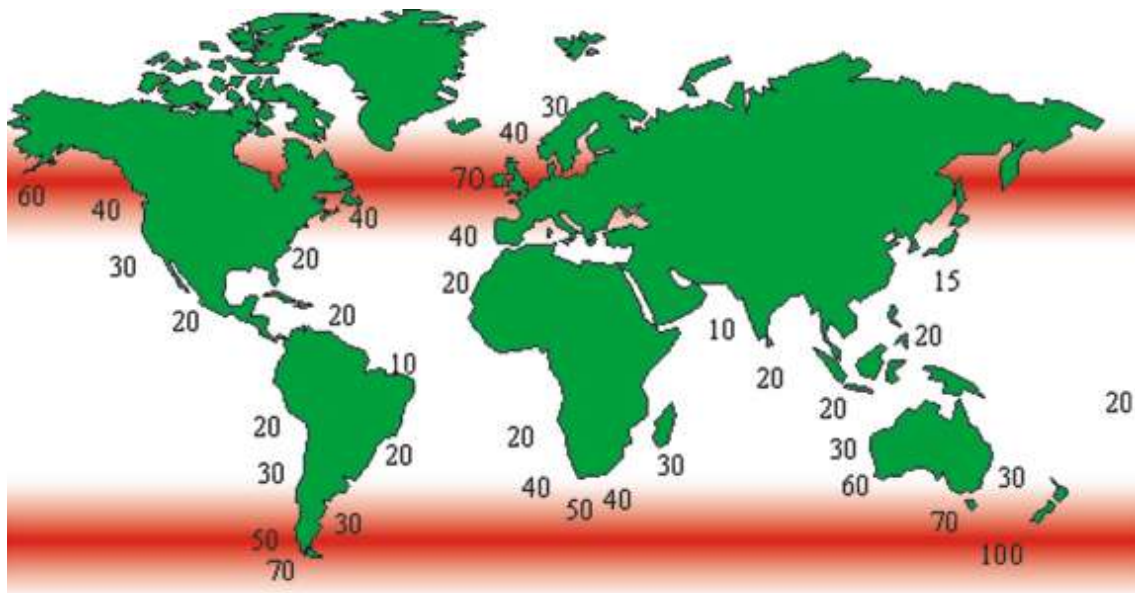


Figura 3-Potencial de energia (kW/m de onda)  
T.W.Thorpe, ETSU, Novembro 1999

Conforme se podem notar os maiores valores potenciais se encontram longe das zonas costeiras uma vez que estas tendem a ter perdas por inibir a força das ondas. Também nota-se que os maiores valores se situam na zona escura perto dos trópicos. Isto acontece pela alta movimentação das correntes nestes pontos fato esse que mostra o quanto as marés são influenciadas pela temperatura.

## 2.3 Análise do Comportamento no Mar

Para se saber como determinar o projeto deve ser determinada a região do mar, deve-se fazer observações, e reuni-las adequadamente. Estas observações podem ser feitas através de registros com equipamentos tipo o sextante e, na impossibilidade de assim proceder, através de observações visuais. Como feito por Hogben e Lumb. Neste trabalho utilizou-se os dados de suas observações para determinar as ondas características para a realização do projeto.

A aquisição de dados também pode ser feita através de uma bóia contendo sensores, GPS e transmissor de rádio enviando dados para uma estação em terra, que processa e viabiliza os dados pela internet. O equipamento de US\$ 50.000 faz parte de um sistema que requer *know-how* específico para operar. A figura 4 mostra um desenho do sistema.

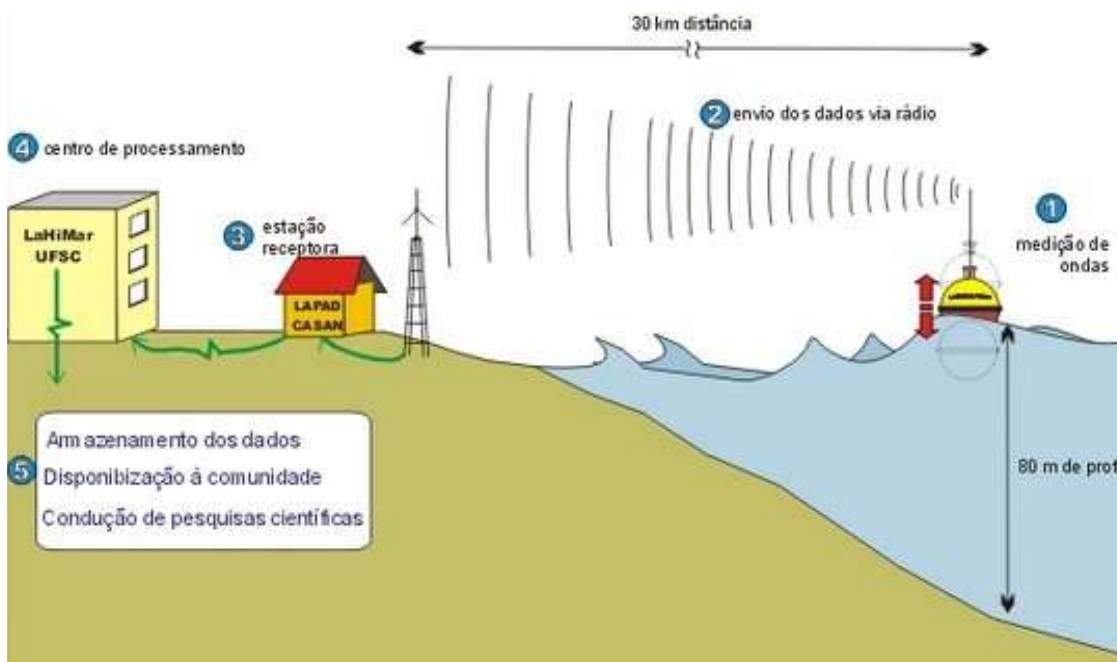


Figura 4- Modelo de sensoriamento com bóia

Pelo menos três informações básicas são necessárias para especificar as condições do mar: uma informação sobre a altura das ondas, outra sobre seu período e, uma terceira, sobre sua direção. Os dados obtidos geram gráficos como o

mostrado na figura 5, onde muitas coisas interessantes sobre as ondas do mar estão evidenciadas.

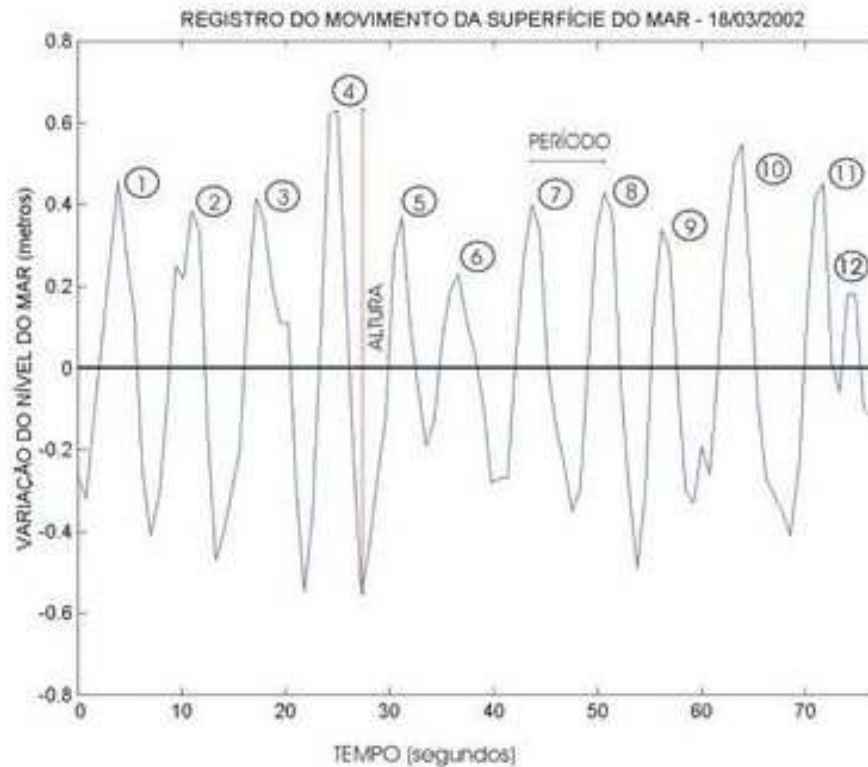


Figura 5- Modelo esperado formado pela movimentação das ondas

O primeiro item a se observar é que as subidas e descidas da superfície do mar ocorrem de forma irregular e, curiosamente, tanto para cima como para baixo do nível médio de repouso da água (linha horizontal). Os pontos mais altos atingidos pela água correspondem às *cristas* das ondas. Os pontos mais baixos entre as cristas são os chamados *cavados* das ondas. A diferença entre as cristas e os cavados da onda nos mostra o "balanço" causado pelas ondas em águas profundas tende a ser *simétrico* em relação ao nível médio do mar. Em outras palavras, poderíamos dizer que, em alto mar, as ondas provocam tanto protuberâncias (*cristas*) quanto depressões (*cavados*) na superfície da água.

A primeira etapa é analisar a região onde o corpo flutuante operará como já definido anteriormente, utilizaremos padrões para a região Sul. A fim de se determinar a onda de projeto, utilizaram-se as observações visuais de Hogben e Lumb, que contêm as freqüências de ocorrência de ondas em função de seus períodos e alturas para diversas regiões do Atlântico, inclusive para a costa brasileira da Região Sul, que corresponde à área 40 e 44.



Na figura 6, observa-se as regiões mapeadas por Hogben e Lumb :

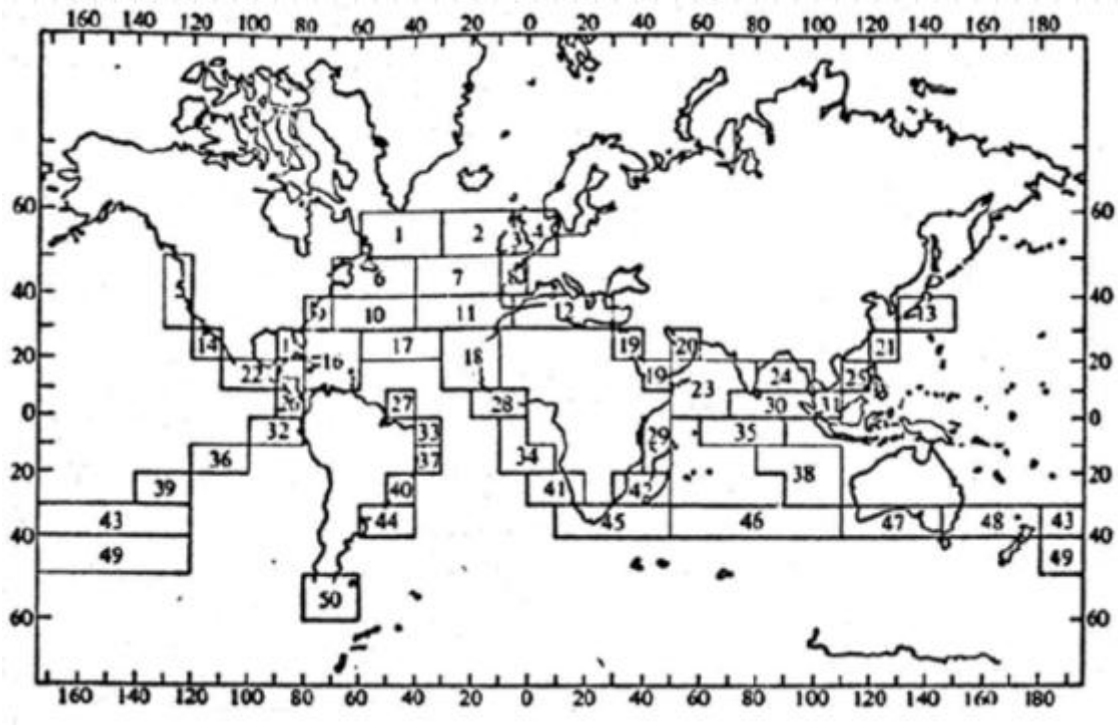


Figura 6-Mapa de Hogben e Lumb:

A análise consistiu em agregar os valores obtidos por Hogben e Lumb na região 40 e 44. Estes dados são de extrema confiabilidade, pois são utilizados para testes na construção de navios e foram utilizados para determinar algumas variáveis do projeto como a altura mínima das ondas e como elas movimentarão o protótipo.

Essa região abrange metade de todo o litoral brasileiro fator esse que determinou a aplicação frente as piores condições existentes para o corpo de prova que assim ficaria determinada sua operação na região sul, os dados são encontrados na tabela 1 onde temos todas as incidências medias das ondas que foram os dados necessários para determinar se o protótipo terá possibilidades de implementação frente a sua construção mecânica.

A tabela 1 é feita mediante a comparação da altura das ondas em metros versus sua frequência determinada por uma linha vertical em segundos.

Tabela 1-Gráfico médio na zona 40 e 44 Altura x Período

		Período											Total
		x	5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5	20,5	22,5	
A l t u r a	0,25	229	305	11	14	1	6	0	0	0	9	3	578
	0,50	18	879	85	27	11	1	0	0	0	2	38	1061
	1,00	35	1846	639	230	34	10	2	0	0	1	23	2820
	1,50	24	918	1312	406	79	25	5	1	0	0	1	2771
	2,00	9	190	770	577	149	47	18	2	1	0	0	1763
	2,50	8	66	296	292	133	32	12	1	0	1	0	841
	3,00	8	25	100	150	70	18	11	4	0	0	0	386
	3,50	0	11	49	60	62	28	12	3	0	0	0	225
	4,00	2	4	38	24	27	13	6	4	2	0	0	120
	4,50	2	3	15	28	20	7	9	3	2	0	1	90
	5,00	0	0	2	1	6	3	0	0	0	0	0	12
	5,50	0	1	4	2	3	1	5	0	0	0	0	16
	6,00	0	2	4	4	1	4	0	1	1	0	0	17
	6,50	0	0	1	6	2	1	2	0	1	0	0	13
	7,00	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3
	7,50	0	0	0	0	0	3	1	3	0	0	0	7
	8,00	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
8,50	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	
9,00	0	0	0	0	1	4	1	0	0	0	0	6	
9,50	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
<b>Total</b>		335	4250	3328	1822	600	203	88	22	7	13	66	10734

## 2.4 Determinação da Onda de Projeto

Para determinar a onda média em que o projeto teria sua funcionalidade foi necessário analisar a tabela 1. Pela tabela 1, determinamos dados estatísticos de 85% das ocorrências médias das ondas .

Com isso determinamos a frequência média e a altura das ondas na região sul. As maiores ocorrências de altura se encontram de 0,25 a 2 metros com uma frequência média de 0 a 6 s.

Esse dado foi necessário para estimar uma altura média para o protótipo.



Foi elaborado um curso de 115 mm, que na escala 1:10 regulava com a altura média das ondas que era de 1,5 m..

## **2.5 Vantagens e Desvantagens do Gerador**

A geração de energia pelas ondas do mar tem caracterizadas vantagens como :

\*Gerará uma economia onde antes só existiam recursos de subsistência;

\*O conhecimento necessário para desenvolver novos sistemas de geração de energia pelas ondas do mar causará competitividade, pois gerará graus de complexidade que só serão resolvidos com estudos multidisciplinares o que causará uma reestruturação educacional;

\* Extração de petróleo e seus derivados deverão ser feitos no futuro no mar essa tecnologia possibilita a geração de energia com recursos naturais que não causarão dano ao meio ambiente e essas plataformas serão auto-sustentáveis com recursos próprios;

\*Por último, mas não menos importante, no futuro poderão ser criadas fazendas marinhas que através de um controle de navegação e de pesca poderão ser santuários para preservar a biodiversidade das espécies;

As desvantagens serão muito poucas pelo menos nos estudos até agora uma vez que essas estruturas deverão ser construídas sobre plataformas a única coisa relativamente problemática são os efeitos erosivos e as mudanças de fluxo das marés ou tempestades que tendem a alterar os efeitos hidrodinâmicos ou que podem causar algum caso de desacoplamento. Quando em alto-mar isso tenderia a ser problemático e quando próximo a costa a única coisa que deverá ser cuidada será o cabo e sua infra-estrutura de modo que não interfira com a biodiversidade local tanto na pesca quanto na navegação.



## 2.6 As Várias Tecnologias de Energias das Ondas

Na ilustração 7, temos os tipos de tecnologias em estudo no momento e seus modelos com seus respectivos nomes.

Para mais detalhes dos modelos consultar as referências de bibliografia:

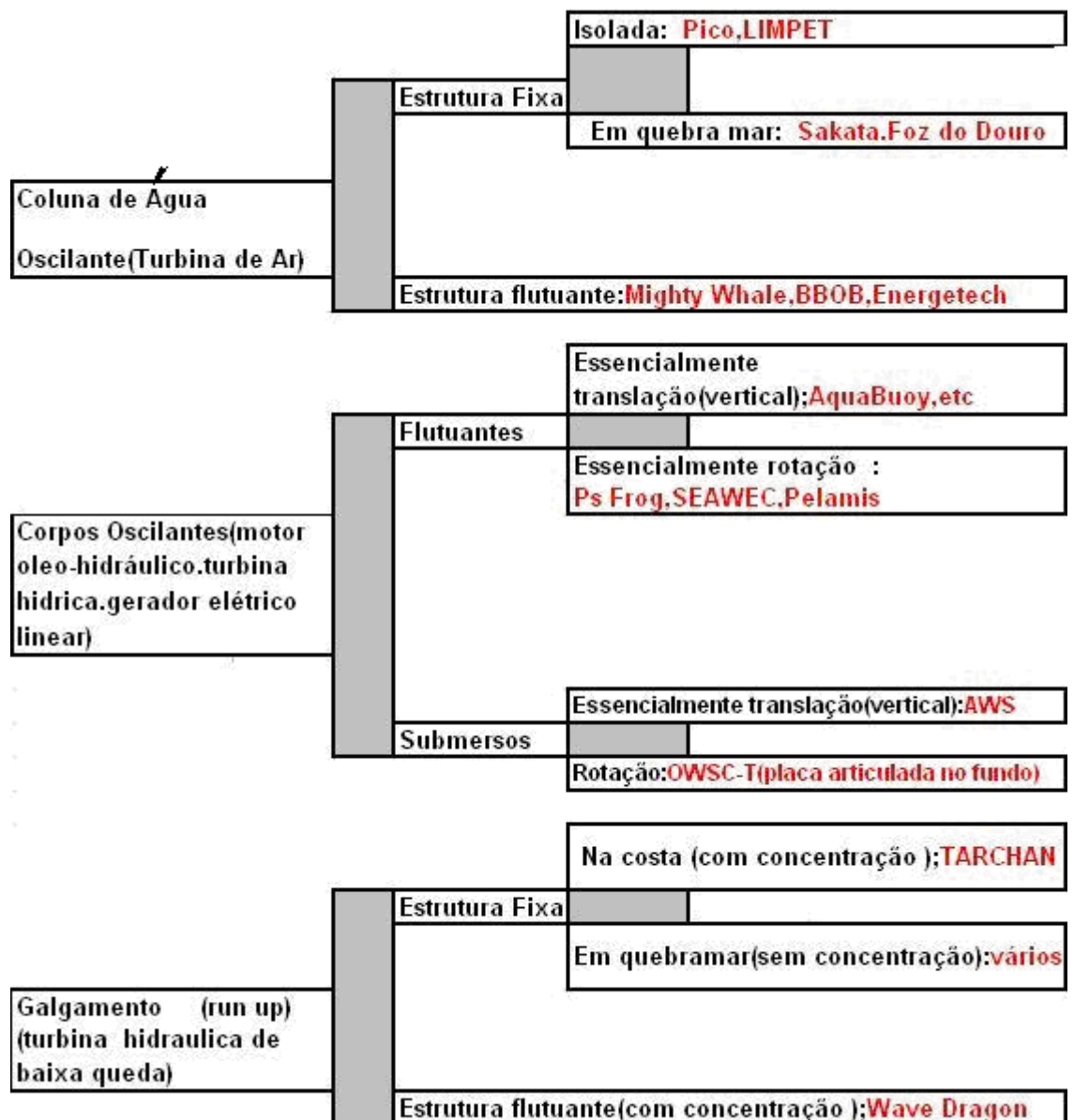


Figura 7-Tecnologias em uso na geração de energia no mar



## 2.7 Fatores a serem considerados para o projeto

Na sua forma mais simples e desenvolvida por Airy em 1845, as ondas são apresentadas como ondas senoidais, que são determinadas através de sua superfície livre (1):

$$\eta = A \sin(kx - \omega t) \quad (2)$$

$$\omega = 2\pi/T \quad (1.1)$$

$$k = 2\pi/L \quad (1.2)$$

Onde: A é a amplitude da onda; T é o período;  $\eta$  é a superfície livre;  $\omega$  é a frequência da onda; t é o tempo; x é o ponto do espaço na direção de propagação da onda; K é o número de onda; L é o comprimento de onda;  $\Pi = 3, 1415\dots$

A fórmula  $k = 2\pi/L$  está, relacionada com a frequência e a profundidade da água no local  $\eta$  por :

$$k = \frac{\omega^2}{g} \times \coth(kh) \quad (2)$$

Onde:  $\omega$  é a frequência da onda;  $g$  é a aceleração da gravidade;  $h$  é a altura da onda.

Ao dobro da amplitude é chamada a altura da onda,  $h=2A$ . Ao propagar-se, a onda transporta consigo um fluxo de energia que é proporcional ao período da onda e ao quadrado da sua amplitude.

Por razões de ordem hidrodinâmica, os sistemas de extração de energia das ondas são muito sensíveis ao período da onda. A eficiência máxima do aproveitamento de energia obtém-se para uma onda cuja frequência é idêntica à frequência própria de oscilação (isto é àquela a que o sistema fica a oscilar quando é perturbado da sua posição de equilíbrio).

Analisando a equação abaixo:

$$k = \frac{\omega^2}{g} \times \coth(kh) \quad (2)$$

Observamos que há uma relação entre a frequência e o comprimento de onda. Assim há também uma relação entre o comprimento de onda e a dimensão do sistema de absorção para uma extração de energia eficiente. Quanto mais a frequência (e o comprimento de onda) se afastarem do ideal, menor será a eficiência do modelo para a extração da energia. A taxa com que a eficiência de extração de energia decresce com a frequência sendo uma característica de cada sistema de



extração e pode variar significativamente com o tipo de sistema. O mesmo é verdade em geral com a direção de propagação da onda, sendo óbvio que sistemas de extração com simetria axial não são afetados por este parâmetro.

Os modelos que existem captam as oscilações convertendo-as em pulsos no sistema alternando num movimento contínuo gerando energia elétrica. Conforme o tipo de onda, estes equipamentos podem ser turbinas de ar, turbinas de água ou sistemas hidráulicos acoplados a geradores elétricos, ou geradores elétricos lineares acoplados diretamente às partes móveis dos acumuladores. Em qualquer dos casos, estes equipamentos são eficientes numa banda de potências que normalmente é limitada superiormente pela potência nominal do equipamento e inferiormente por uma fração deste valor, que depende do tipo de equipamento. Assim, se a potência da onda for excessivamente baixa, ou excessivamente alta, o sistema opera com muito baixa eficiência.

Em conclusão o rendimento de conversão de energia depende das características da onda incidente, do período, da altura da onda e, em geral, da sua direção de propagação. Na realidade as ondas do mar não são senoidais, mas podem ser representadas como a sobreposição de ondas senoidais de diferentes amplitudes, freqüências e direções de propagação. Define-se, então, e por semelhança com as ondas senoidais, uma altura significativa (relacionada com a altura média), um período médio (de fato existem diversas formas de defini-lo) e uma direção de propagação média. Para além dos valores médios, as ondas do mar são caracterizadas pela forma como a energia se distribui em freqüência e por direção de propagação, o que leva ao conceito de espectro direcional (distribuição da energia das ondas conjuntamente por freqüência e por direção de propagação) e de espectro de freqüência (distribuição da energia apenas por freqüência, independentemente da direção de propagação). Gerando algo como a figura 8 abaixo:

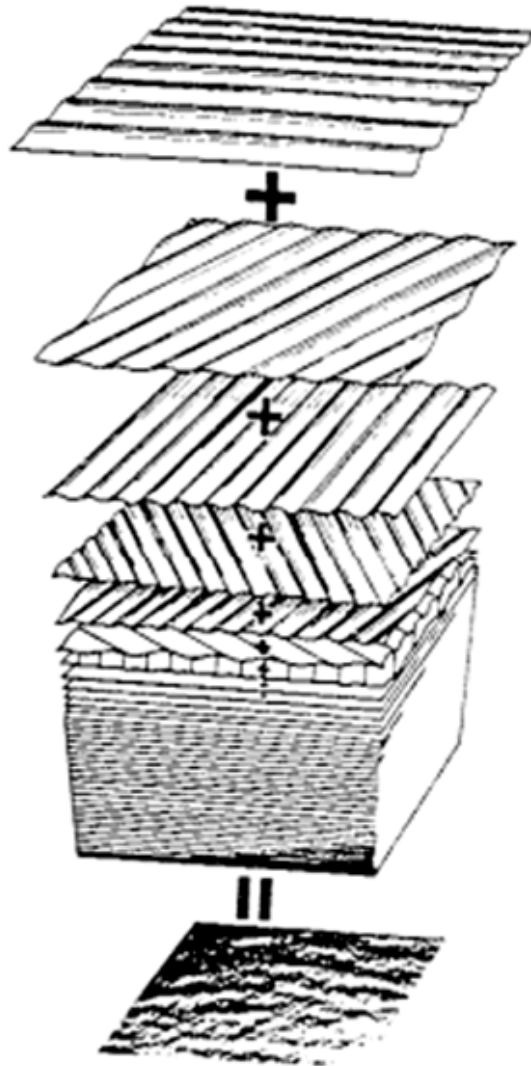


Figura 8- Somatório de ondas senoidais

A caracterização dos tipos de ondas de um determinado local pressupõe, portanto, que se conhece o fluxo médio de energia transportado pelas ondas, o diagrama de ocorrências, a distribuição do fluxo de energia por rumos de propagação de onda e as formas espectrais dominantes no local. O fluxo médio de energia é normalmente expresso em kW/m de frente de onda. O diagrama de ocorrências é uma tabela com a probabilidade de ocorrência dos estados de mar definidos por intervalos de altura significativa e período, sendo comum definirem-se intervalos de 2 m para as alturas significativas e de 1 segundo para os períodos. A distribuição de direções é apresentada sob a forma de uma “rosa de ventos” com os traços proporcionais à energia incidente em cada direção. Tal modelo foi feito por Hogben e Lumb já sendo comentado anteriormente e mostrado na tabela 1.



## 2.8 Determinação da Energia das Ondas

Segundo a Universidade de Wisconsin Madison, a utilização do fator da energia de uma onda e o raio anual dessa energia produzida pelo equipamento é duas vezes maior que um gerador eólico por isso todos os detalhes devem ser pensados. Uma planta eólica produz energia 25 % do tempo (ou seja, 2190 horas num total de 8760 por ano) já uma planta com a energia das ondas produz 50% do tempo (4380 horas/ano). Enquanto nos conhecermos que a energia oceânica é mais densa que a energia dos ventos em uma grande parte do tempo nós não sabemos como calcular isto. Isso é um importante fato para a conversão da energia. Primeiro, a energia e a ação da força no sistema precisam ser predefinidas para determinar qual a energia de saída. A próxima variável a ser calculada é como absorver o ponto correto para o máximo rendimento do sistema de acordo com a oscilação existente. A análise do rendimento descreve a característica da energia e da potência. A tabela 2 complementa a Figura 9 que são as variáveis usadas na análise da energia das ondas com suas unidades.

Tabela 2- Variáveis da onda.

<b>Variáveis</b>	
NMO	Nível médio da onda (superfície)
D energia de Onda	Densidade da energia de onda [J/m <sup>2</sup> ]
E por crista de Onda	Energia por crista de onda [J/m]
P densidade de Onda	Potência por densidade de onda [W/m <sup>2</sup> ]
P crista de Onda	Potência por metro de crista de onda [W/m]
H	Profundidade do fundo do mar [m]
$\Omega$	Frequência de onda [rad./sec.]
$\lambda$ (or L)	Comprimento de onda [m] = $gT^2/(2\pi)$
D água	Densidade da água [1000 kg/m <sup>3</sup> ]
G	Constante gravitacional [9.81 m/s <sup>2</sup> ]
A	Amplitude de Onda [m]
H	Comprimento de Onda [m]
T	Período [s]
C	Velocidade [m/s]

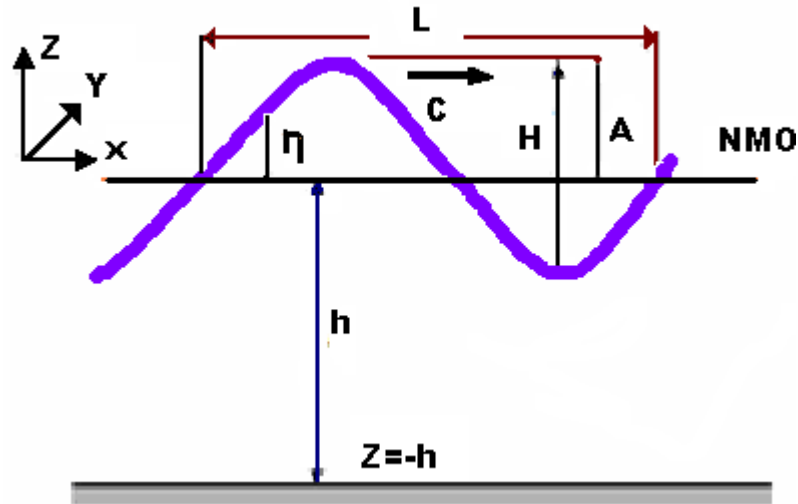


Figura 9- Forma de onda com variáveis

A densidade de energia de uma onda é mostrada na equação 3:

$$D_{\text{energia de onda}} = \frac{D_{\text{água}} \times g \times H^2}{8} = \frac{D_{\text{água}} \times g \times A^2}{2} \quad (3)$$

Assim temos o fluxo de energia média correndo num plano paralelo até a crista da onda.

A energia por onda no período é a densidade de potência da onda mostrada na equação 4:

$$P_{\text{densidade de onda}} = \frac{D_{\text{energia de onda}}}{T} = \frac{D_{\text{água}} \times g \times H^2}{8 \times T} = \frac{D_{\text{água}} \times g \times A^2}{2 \times T} \quad (4)$$

A equação 4 mostra como pode ser achada a potência por densidade de onda apenas dividindo-se a densidade de energia por período de onda. A figura 10 mostra como um período de onda e sua amplitude afetam a densidade de potência.

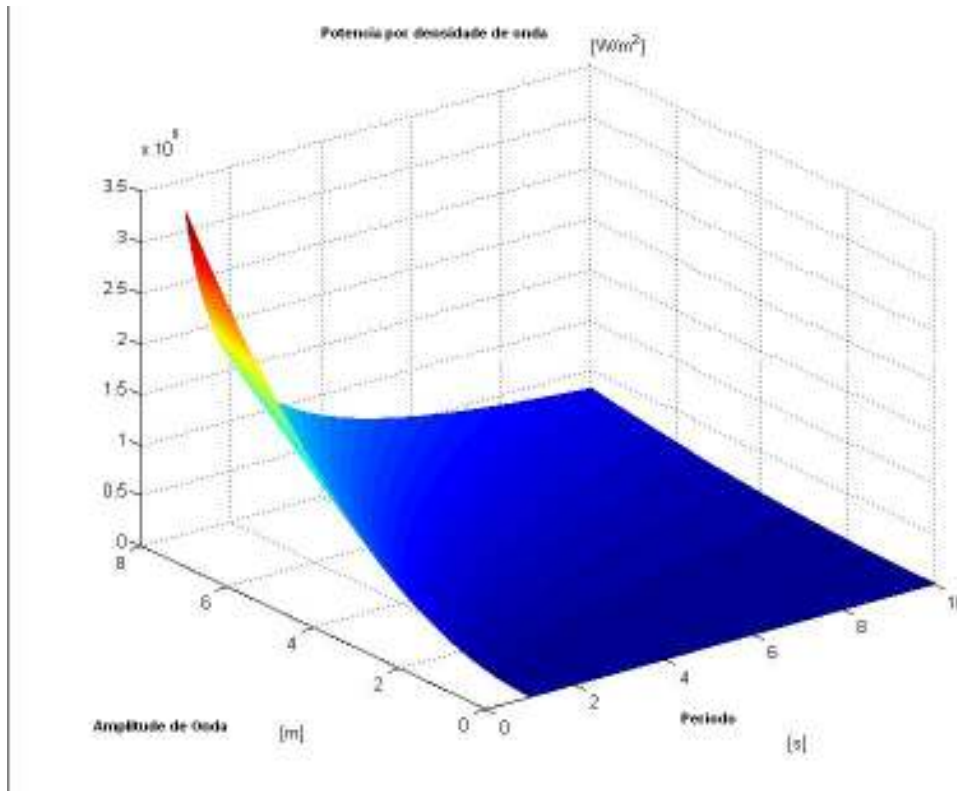


Figura 10- Potência por Densidade de Onda

A potencialidade de uma onda é descrita em termos de potência de frente de onda (ou crista de onda). Isto pode ser calculado multiplicando a densidade de energia pela rapidez da onda (velocidade da parte dianteira de onda). A equação 5 é usada para esse cálculo:

$$P_{\text{crista de onda}} = C \times D_{\text{energia de onda}} = \frac{D_{\text{água}} \times g \times H^2}{16 \times \omega} = \frac{D_{\text{água}} \times g^2 \times A^2}{4 \times \omega} \quad (5)$$

Na figura 11 temos um aumento na amplitude e no período esses aumentos de uma onda podem ser medidos na parte dianteira da onda.



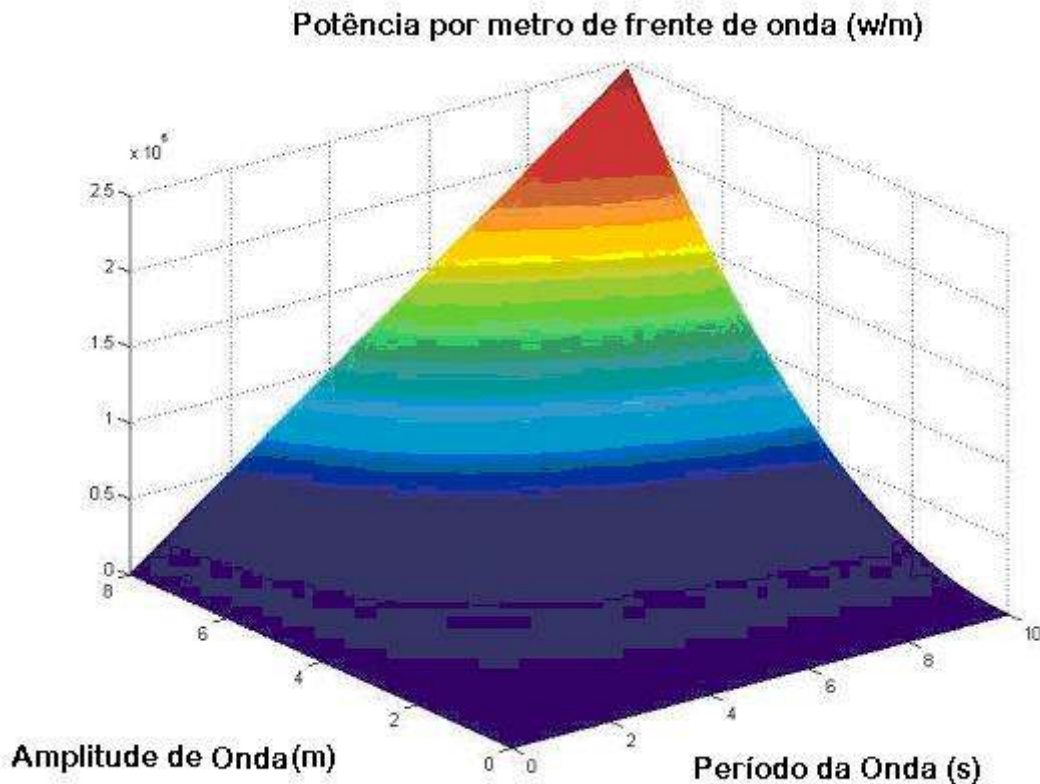


Figura 11- Potência por metro de frente de Onda

Para fazer a medida corretamente com um conversor de ondas subaquático, a força da onda na profundidade de funcionamento deve ser sabida. Geralmente, o poder de onda abaixo do nível do mar deteriora exponencial por  $-2\pi d/\lambda$  onde  $d$  está a uma profundidade abaixo desta propriedade de nível médio de onda (superfície) e é válido para ondas na água com as profundidades maiores do que  $\lambda/2$ .

## 2.9 Detalhamentos Teóricos

### 2.9.1 Lei de Ampère

A Lei de Ampère, assim designada em homenagem ao seu autor, André Marie Ampère, é usada para calcular o campo de indução magnética em sistemas simples com certa simetria (de forma semelhante à Lei de Gauss para o caso dos campos elétricos). Esta lei estipula que o integral de linha do campo de indução magnética, ao longo de uma determinada curva fechada, é igual a  $4\pi k_m$  vezes a corrente total ( $I_c$ ) através da curva, considerada como positiva segundo o sentido





da regra da mão direita. O lado direito também costuma ser apresentado como  $m_0 I_c$  onde a constante  $m_0$  igual a  $4\pi k_m$  representa a permeabilidade magnética do vácuo. Esta lei é válida, mas apenas na ausência de campos elétricos variáveis exposta na equação 6:

$$\oint B \times dr = 4 \times \pi \times k_m \times I_c \quad (6)$$

em que  $B$  representa o campo de indução magnética,  $C$  a curva fechada,  $k_m$  a constante magnética e  $I_c$  a corrente total através da curva  $C$ .

### 2.9.2 Lei de Faraday, Lenz e efeito Hall

Faraday, baseando-se nos trabalhos de Oersted (1777-1851) e Ampère, em meados de 1831, começou a investigar o efeito inverso do fenômeno por eles estudado, onde campos magnéticos produziam correntes elétricas em circuitos. Faraday descobriu que um campo magnético estacionário próximo a uma bobina, também estacionário e ligado a um galvanômetro, não acusa a passagem de corrente elétrica. Observou, porém, que uma corrente elétrica temporária era registrada no galvanômetro quando o campo magnético sofria uma variação. Este efeito de produção de uma corrente em um circuito, causado pela presença de um campo magnético, é chamado de indução eletromagnética e a corrente elétrica que aparece é denominada de corrente induzida.

Pelo fenômeno da indução eletromagnética é possível a geração de correntes induzidas em um circuito, entre as conhecidas estão:

- O circuito pode ser rígido e, no entanto, pode mover-se como um todo em relação a um campo magnético, de modo que o fluxo magnético através da área do circuito varia no decorrer do tempo.

- Sendo o campo  $B$  estacionário, o circuito pode ser deformável de tal modo que o fluxo de  $B$  através do circuito varie no tempo.

- O circuito pode ser estacionário e indeformável, mas o campo magnético  $B$ , dirigido para a superfície é variável no tempo.

O que se verifica que o ponto chave da questão está na variação do fluxo magnético com o tempo. Isto se  $d\Phi_B/dt$  é diferente de zero, então uma corrente



elétrica será induzida no circuito. Estes resultados experimentais são conhecidos como lei de Faraday. A qual pode ser enunciada da seguinte forma;

A força eletromotriz induzida (fem.) em um circuito fechado é determinada pela taxa de variação do fluxo magnético que atravessa o circuito.

Esta lei é representada matematicamente pela equação 7:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Phi B}{\Delta t} \quad (7)$$

Onde  $\varepsilon$  é a força eletromotriz induzida (fem) e  $\Delta\Phi B$  é o fluxo magnético dado por:

$$\Delta\Phi B = \vec{B} \times \vec{\Delta S} \quad (8)$$

Sendo S a superfície por onde flui o campo magnético. Sabendo que a força eletromotriz pode ser expressa em função do campo elétrico temos que:

$$\varepsilon = \vec{E} \times \vec{dl} = \frac{-\Delta\Phi B}{\Delta t} = \frac{\Delta(\vec{B} \times \vec{\Delta S})}{\Delta t} \quad (9)$$

O sinal negativo que aparece na equação acima lembra-nos em qual direção a força eletromotriz induzida age.

A força eletromotriz induzida produz uma corrente cujo sentido cria campo um campo magnético cujo sentido se opõe a variação do fluxo magnético original. Este fenômeno é conhecido como lei de Lenz e justifica o sinal negativo na equação.

A lei de Lenz é a garantia de que a energia do sistema se conserva. Isto significa que a direção da corrente induzida tem que ser tal que se oponha as mudanças ocorridas no sistema. Caso contrário, a lei de conservação de energia seria violada. O efeito é mostrado na figura 12, onde existe uma representação esquemática da indução de correntes e força eletromotriz num circuito fechado.

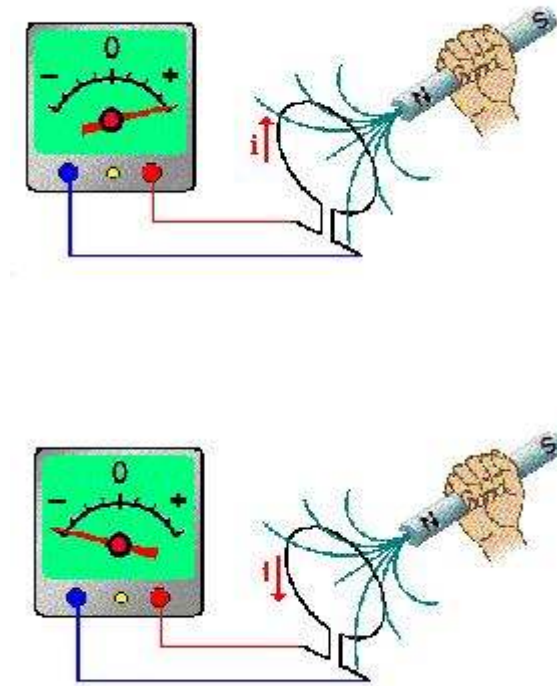


Figura 12- Princípio de Funcionamento da lei de Faraday

O efeito Hall foi descoberto em 1879 por E.H. Hall, que se utilizou um condutor elétrico sob a ação de um campo magnético perpendicular a direção da corrente elétrica. Hall notou que uma diferença de potencial elétrico aparecia nas laterais deste condutor na presença do campo magnético.

Este efeito ocorre devido a cargas elétricas tenderem a desviar-se de sua trajetória por causa da força de Lorentz. Desta forma cria-se um acúmulo de cargas nas superfícies laterais do condutor produzindo uma diferença de potencial.

### 2.9.3 Ímãs de Neodímio

Um ímã de neodímio (também chamado de ímã de neodímio-ferro-boro, ou menos especificamente de ímã de terras raras) é um ímã permanente de elevado produto energético, feito a partir de uma combinação de neodímio, ferro e boro - ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ). Esses ímãs são muito poderosos em comparação a sua massa, mas também são mecanicamente frágeis e perdem seu magnetismo em temperaturas

acima de 120°C. Devido ao seu custo mais baixo, eles têm substituído os ímãs de samário-cobalto na maioria das aplicações, que são ligeiramente mais fracos e mais resistentes a temperatura. Sua intensidade pode ser medida pelo seu produto energético máximo, em megagauss-oersteds (MGOe) ( $1 \text{ MG}\cdot\text{Oe} = 7,957 \text{ kJ/m}^3$ ). Essa intensidade varia de 12 a 15, nos ímãs aglomerados de neodímio (bonded magnets) e de 24 a 54 nos ímãs sinterizados.

Um ímã com produto energético de 48 MGOe tem um campo magnético remanente de 1,38 teslas e campo coercivo ( $H_c$ ) de 13,000 oersteds (1.0 MA/m). Para alcançar a mesma força do ímã de neodímio usando ímãs de cerâmica é necessário um volume 18 vezes maior do material comparado ao de neodímio.

No caso desse projeto era necessário um ímã com um diâmetro relativo ao seu comprimento como esses ímãs são fornecidos com medidas pré estabelecidas conforme tabela em anexos 1 a 3 onde se fez um estudo entre os vários fornecedores e os tipos de ima optou-se pelo que foi usado no projeto com as definições técnicas especificadas. Como detalhe, se fez necessário o somatório de vários imas em serie até atingir a dimensão adequada. De fábrica, foram fornecidos com separadores o que permitiu separá-los. Depois de unidos é quase impossível de separá-los (deve-se criar um dispositivo para a retirada dos mesmos). Para se tirar os separadores, óculos e luvas se fazem necessários, pois o campo magnético é muito forte o que pode causar um acidente na hora do acoplamento se os devidos cuidados não forem tomados. Os mesmos foram escolhidos não apenas pelo tamanho, mas pelo seu campo o que será bem efetivo quando a movimentação necessária se fizer presente para a geração de energia.

#### **2.9.4 Movimento de um ímã em um tubo metálico vertical**

O Projeto se baseia na aplicação prática da lei de Faraday - Lenz onde são usados blocos magnéticos cilíndricos que são deixados cair verticalmente em um tubo revestidos por bobinas fio de cobre. Na equação 10 verificamos que a força que se opõe ao peso é proporcional a velocidade do ímã.

$$m \times \frac{dv}{dt} = m \times g - k \times v \quad (10)$$

Onde:

$V$  é a velocidade;  $t$  é o tempo;  $m$  é a massa;  $g$  é força de gravidade e o  $k$  é a constante de proporcionalidade.

A constante de proporcionalidade  $k$  depende do quadrado do momento magnético do ímã e de outros fatores como o diâmetro interior do tubo, espessura, sua condutividade, etc.

Deve-se como princípio analisar um ímã descendo com seu pólo Sul diante do pólo Norte atrás. Em um ímã as linhas do campo magnético saem do pólo Norte e entram no pólo Sul.

Na figura 13 é ilustrada a aplicação da lei de Lenz para explicar a origem da força restauradora sobre o ímã em termos das correntes induzidas no tubo de metal.

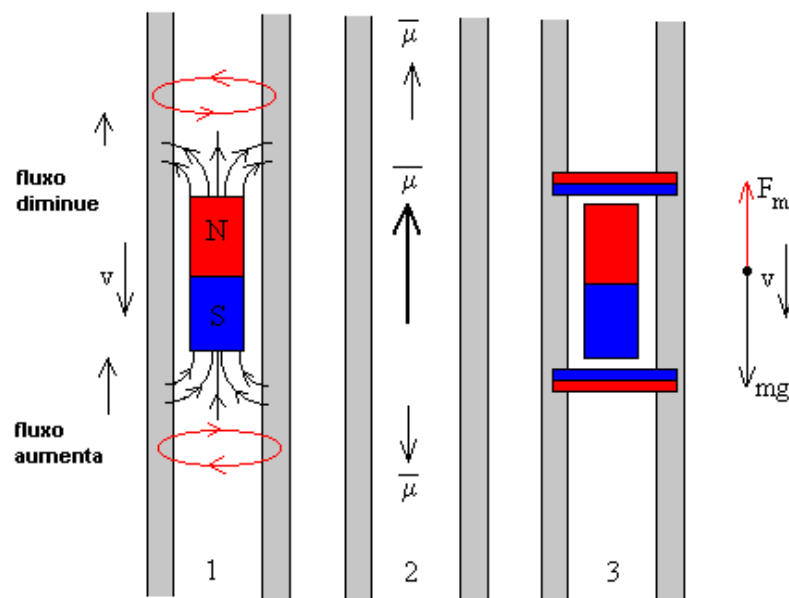


Figura 13- Ímã num tubo metálico

1. Durante a descida do ímã, o fluxo do campo magnético é aumentado na região próxima ao pólo Sul do ímã. Origina-se no tubo uma corrente induzida que se opõe ao aumento do fluxo, no sentido indicado na parte (1) da figura.
2. O fluxo do campo magnético diminui na região próxima ao pólo Norte, se origina no tubo uma corrente induzida que se opõe a diminuição do fluxo, no sentido indicado na parte (1) da figura

O momento magnético do ímã e o das correntes induzidas está representado na figura 14:

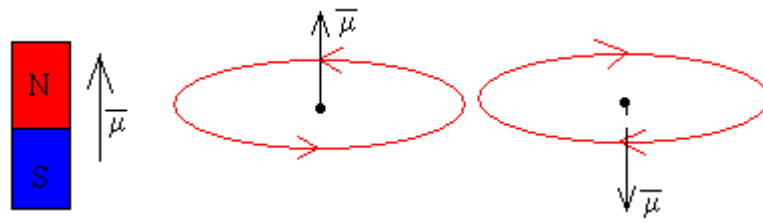


Figura 14-Momento magnético

Na parte (3) da figura 13, mostramos a equivalência entre correntes (espiras ou solenóides) e ímãs, de modo que a corrente induzida pela frente do pólo Norte equivale a um ímã de polaridade oposta, por isto que se repelem. No entanto, a corrente induzida por atrás do ímã tem a mesma polaridade por isto que se atraem.

O ímã que desce pelo tubo metálico é repellido pela frente e atraído por trás. Esta é a explicação qualitativa da força de freio em termos da lei de Lenz.

### 2.9.5 - Equação do circuito (espira)

Se considerarmos que o ímã é um dipolo magnético de momento magnético  $\mu=i\pi a^2$ , o campo magnético produzido pelo ímã tem as seguintes componentes. Na figura 15, são mostradas as linhas de campo magnético produzido pelo ímã.

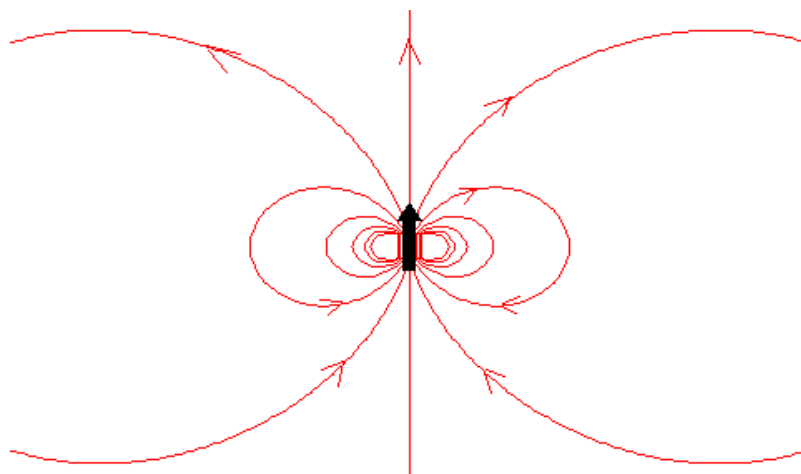


Figura 15-Linhas de campo magnético produzido pelo ímã

$$B_z = \frac{\mu_0 \times \mu}{4 \times \pi \times r^3} \times \left( \frac{3 \times z^2}{r^2} - 1 \right) \quad (11)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 \times \mu}{4 \times \pi \times r^3} \times \left( \frac{3 \times y \times z}{r^2} \right) \quad (12)$$

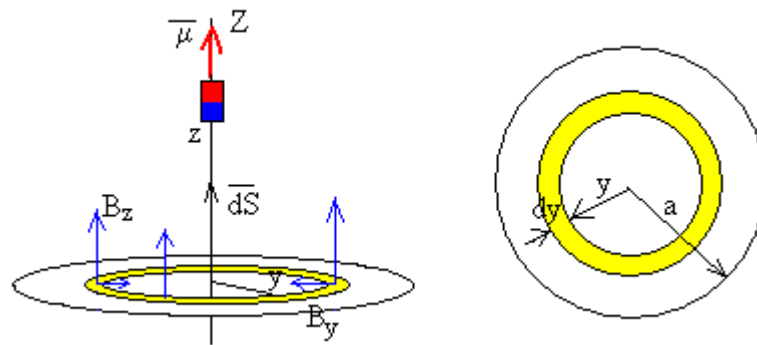


Figura 16-Variáveis do modelo

O fluxo do campo produzido pelo imã através de uma espira de raio  $a$  é.

$$\Phi = \int_s B \times dS = \int_s (B_y \times \hat{j} + B_z \times \hat{k}) \times dS \hat{k} = \int_s B_z \times dS \quad (13)$$

Dado que o plano da espira é perpendicular ao eixo  $Z$ , o fluxo da componente  $Y$  do campo é nulo.

O elemento diferencial de superfície  $dS$ , é a área de um anel de raio  $y$  e de espessura  $dy$ , seu valor é  $dS=2\pi y \cdot dy$

$$\Phi = \int_0^a \frac{\mu_0 \times \mu}{4 \times \pi \times r^3} \left( \frac{3 \times z^2}{r^2} - 1 \right) \times 2 \times \pi \times y \times dy \quad (14)$$

$$\Phi = \frac{\pi \times \mu_0 \times \mu}{4 \times \pi} \left[ 3 \times z^2 \int_0^a \frac{2 \times y \times dy}{\left( \sqrt{y^2 + z^2} \right)^5} - \int_0^a \frac{2 \times y \times dy}{\left( \sqrt{y^2 + z^2} \right)^3} \right] = \frac{\mu_0 \times \mu \times a^2}{2 \times \left( a^2 + z^2 \right)^{3/2}} \quad (15)$$

Aplicando a lei de Faraday :

$$V_z = - \frac{d\phi}{dt} = - \frac{d\phi}{dz} \times \frac{dz}{dt} = \frac{3 \times \mu_0 \times \mu \times a^2}{2} \times \frac{z}{\left( a^2 + z^2 \right)^{5/2}} \times \frac{dz}{dt} \quad (16)$$

$$I \times R = \frac{3 \times \mu_0 \times \mu \times a^2}{2} \times \frac{z}{(a^2 + z^2)^{5/2}} \times \frac{dz}{dt} \quad (17)$$

A espira tem uma resistência  $R$ . A espira é equivalente ao circuito da figura, cuja equação é  $V_e = IR$

### 2.9.6 Balanço energético

A força de freio do imã  $F_z$  é proporcional a velocidade  $v$  do imã e a velocidade limite constante com qual cai quando a força de freio se iguala ao peso,  $F_z = mg$ .

É conveniente imaginar que o tubo metálico de raio médio  $a$  e espessura  $\delta$  está uniformemente subdividido em anéis paralelos de comprimento  $l$ .

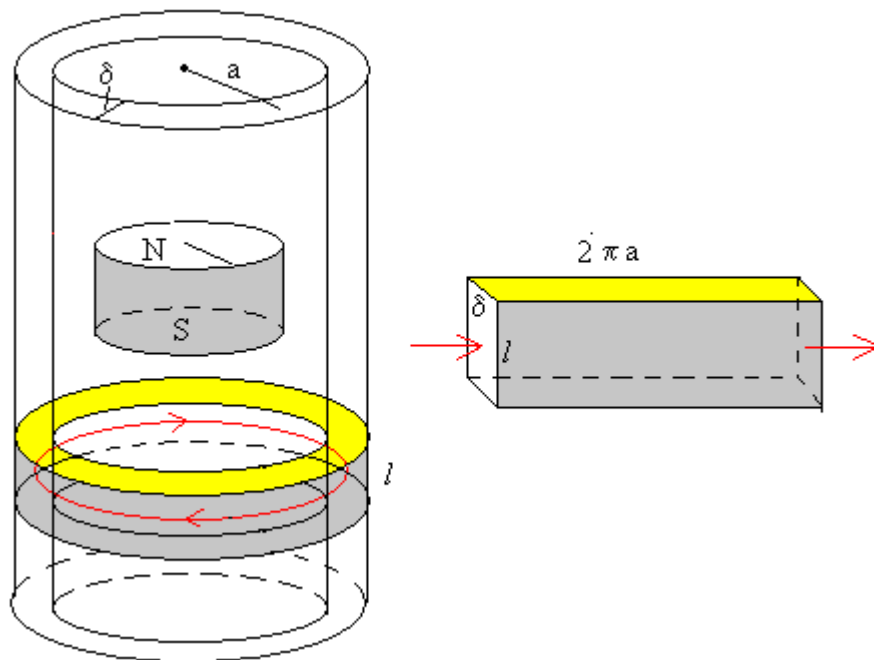


Figura 17-Modelo matemático

Quando o ímã começa a mover-se o fluxo magnético que atravessa cada anel começa a variar. De acordo com a lei de Faraday, é induzida uma corrente dentro do anel.





- Quando o ímã se distancia de um anel, o campo magnético produzido pela corrente induzida o atrai.
- Quando o ímã se aproxima de um anel, o campo magnético produzido pela corrente induzida o repele.

A força líquida sobre o ímã é calculada somando as interações magnéticas produzidas por todas as correntes, que é de sentido contrário à velocidade do ímã e seu módulo é uma função desta velocidade por isto que freará. Quando esta força se iguala ao peso, a aceleração será zero e o ímã cairá com velocidade limite constante.

Do ponto de vista energético, quando o ímã se move com velocidade constante, sua energia cinética não varia, a diminuição da energia potencial gravitacional é convertida em calor produzido pelas correntes induzidas na parede do tubo metálico. No estado estacionário, a variação de energia potencial na unidade de tempo  $mgv$  é convertida em energia dissipada por efeito Joule na resistência que opõe o tubo para as correntes induzidas.

$$mgv = \sum_z I^2(z)R \quad (18)$$

Onde  $v$  é a velocidade limite constante,  $I(z)$  é a corrente induzida no anel situado na posição  $z$  ao longo do tubo vertical,  $R$  é a resistência do anel.

O problema que temos de resolver é o cálculo de  $I(z)$ , a distribuição de correntes em cada anel.

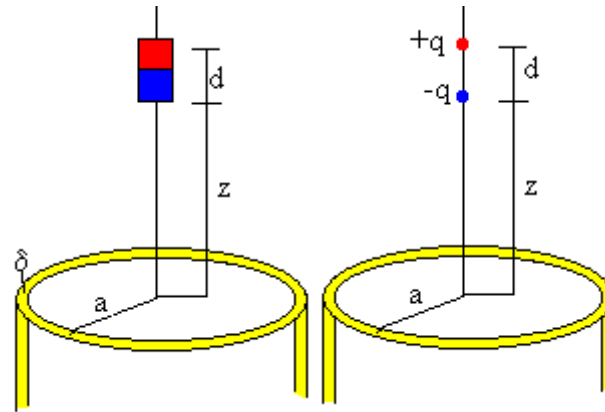


Figura 18-Modelo de dipolo magnético e variáveis

O modelo de dipolo magnético é correto somente para pontos muito distantes do imã, porém não o é para um imã cujo tamanho é comparável ao raio do tubo.

O campo magnético  $B$  nas proximidades de um pólo magnético tem uma expressão similar a do campo elétrico de uma carga pontual.

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 q}{4\pi r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (19)$$

Aponta radialmente para fora ou para a carga segundo seja  $q$  positiva ou negativa

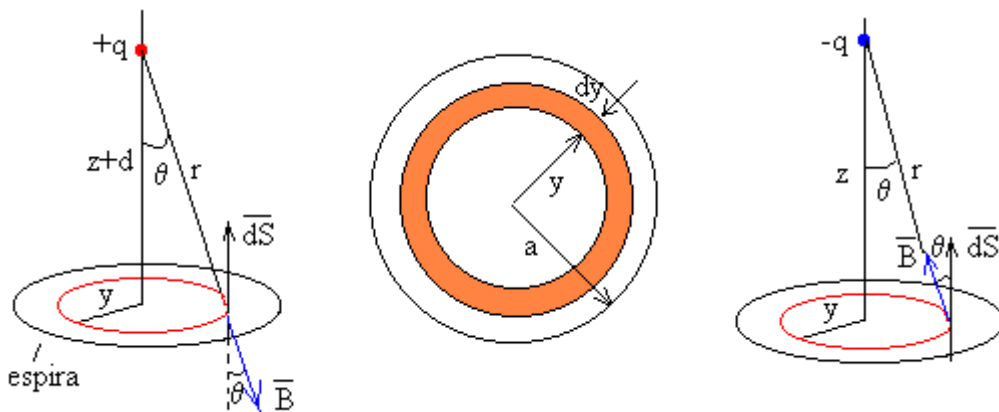


Figura 19- Variáveis para avaliar o fluxo

Se o tubo tem um raio médio  $a$ , e uma espessura  $\delta$ . O fluxo do campo magnético produzido pela carga magnética positiva através de uma espira de raio  $a$ , para  $z+d>0$ , é

$$\Phi = \int_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = - \int_s B \cdot dS \cdot \cos \theta \quad (20)$$

Onde:

$dS=2\pi y \cdot dy$  é a área do anel compreendido entre os raios  $y$  e  $y+dy$ .

$$\begin{aligned} \Phi_{+q}(z) &= -\frac{\mu_0 q}{4\pi} \int_0^a \frac{1}{(z+d)^2 + y^2} \frac{(z+d)}{\sqrt{(z+d)^2 + y^2}} 2\pi y \cdot dy = -\frac{\mu_0 q}{2} (z+d) \int_0^a \frac{y \cdot dy}{\left((z+d)^2 + y^2\right)^{3/2}} \\ &= -\frac{\mu_0 q}{2} \left( 1 - \frac{z+d}{\sqrt{(z+d)^2 + a^2}} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

O fluxo do campo magnético produzido pela carga magnética negativa através da espira de raio  $a$ , para  $z>0$ , é

$$\begin{aligned} \Phi_{-q}(z) &= \frac{\mu_0 q}{4\pi} \int_0^a \frac{1}{z^2 + y^2} \frac{z}{\sqrt{z^2 + y^2}} 2\pi y \cdot dy = \frac{\mu_0 q}{2} z \int_0^a \frac{y \cdot dy}{\left(z^2 + y^2\right)^{3/2}} \\ &= \frac{\mu_0 q}{2} \left( 1 - \frac{z}{\sqrt{z^2 + a^2}} \right) \end{aligned} \quad (22)$$

O fluxo total é

$$\Phi(z) = \Phi_{+q}(z) + \Phi_{-q}(z) = \frac{\mu_0 q}{2} \left( \frac{z+d}{\sqrt{(z+d)^2 + a^2}} - \frac{z}{\sqrt{z^2 + a^2}} \right) \quad (23)$$

Essa é a fórmula geral que será utilizada para determinar o fluxo do campo do ímã.

À medida que o ímã cai, o fluxo através da espira varia o que produz uma força eletromotriz induzida:

$$V_z = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{dz}{dt} \times \frac{d\Phi}{dz} = v \times \frac{\mu_0 \times q \times a^2}{2} \left( \frac{1}{(z^2 + a^2)^{3/2}} - \frac{1}{((z+d)^2 + a^2)^{3/2}} \right) \quad (24)$$

A intensidade é

$$I(z) = V_e(z) / R \quad (25)$$

Onde  $R = \rho(2\pi a) / (\delta l)$ , o comprimento do anel é  $2\pi a$ , a seção  $\delta l$  e a resistividade  $\rho = 1/\sigma$  onde  $\sigma$  é a condutividade do material

A energia por unidade de tempo dissipada é obtida calculando a soma. No limite contínuo

$$\begin{aligned}
 P &= \sum_{\mathcal{R}} I^2(z) R = v^2 \frac{\mu_0^2 q^2 a^4}{4R} \int_{-\infty}^{\infty} \left( \frac{1}{(z^2 + a^2)^{3/2}} - \frac{1}{((z+d)^2 + a^2)^{3/2}} \right)^2 \frac{dz}{l} = \\
 &v^2 \frac{\mu_0^2 q^2 \delta \sigma}{8\pi a^2} \int_{-\infty}^{\infty} \left( \frac{1}{(x^2 + 1)^{3/2}} - \frac{1}{((x+d/a)^2 + 1)^{3/2}} \right)^2 dx = v^2 \frac{\mu_0^2 q^2 \delta \sigma}{8\pi a^2} f\left(\frac{d}{a}\right) \quad (26)
 \end{aligned}$$

Igualando a diminuição de energia potencial na unidade de tempo  $mgv$  com a energia por unidade de tempo dissipada por efeito Joule nas paredes do tubo vertical

$$mgv = v^2 \frac{\mu_0^2 q^2 \delta \sigma}{8\pi a^2} f\left(\frac{d}{a}\right) \quad v = \frac{8\pi a^2 (mg)}{\mu_0^2 q^2 \delta \sigma f(d/a)} \quad (27)$$

### 2.9.7 Condições que permitem a estabilidade de corpos no mar

Tão importante quanto determinar os fatores relevantes do cálculo do imã, é determinar sua situação de equilíbrio para que o dispositivo uma vez no mar mesmo com as oscilações não afunde devido do peso para isso é necessário o desenvolvimento dos dados abaixo indicados:

#### 2.9.7.1 Situação de equilíbrio

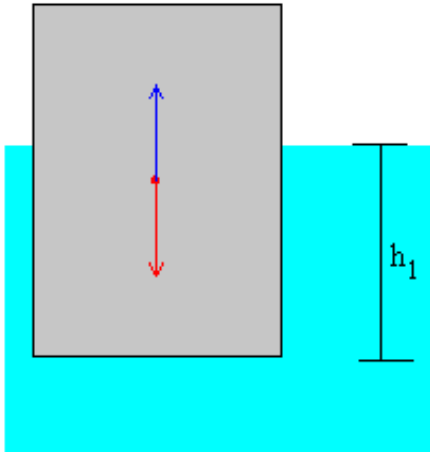
Um corpo quando mergulhado na água também deve ter a condição de equilíbrio para que os dados obtidos se mantenham estáveis para análise. é necessário também determinar sua oscilação para dispor desses dados devemos também fazer uma análise da massa do corpo e assim estabelecer o equilíbrio ou uma forma de estabilidade para que possamos interpretar os dados para isso se faz necessário o uso dos dados abaixo:

N equilíbrio, a bóia estará submersa uma altura  $h_1$  dada pelo princípio de Arquimedes:

**peso=empuxo**

$$\rho_s g h S = \rho_f g h_1 S, \text{ logo,}$$

$$\rho_s h = \rho_f h_1$$



Suponhamos que colocamos um bloco de massa  $m$  sobre a bóia (por exemplo, uma pessoa que salta sobre a bóia).

A nova posição de equilíbrio  $h_2$  é deduzida do princípio de Arquimedes

$$mg + \rho_s g h S = \rho_f g h_2 S \quad (28)$$

### 2.9.7.2 Oscilações

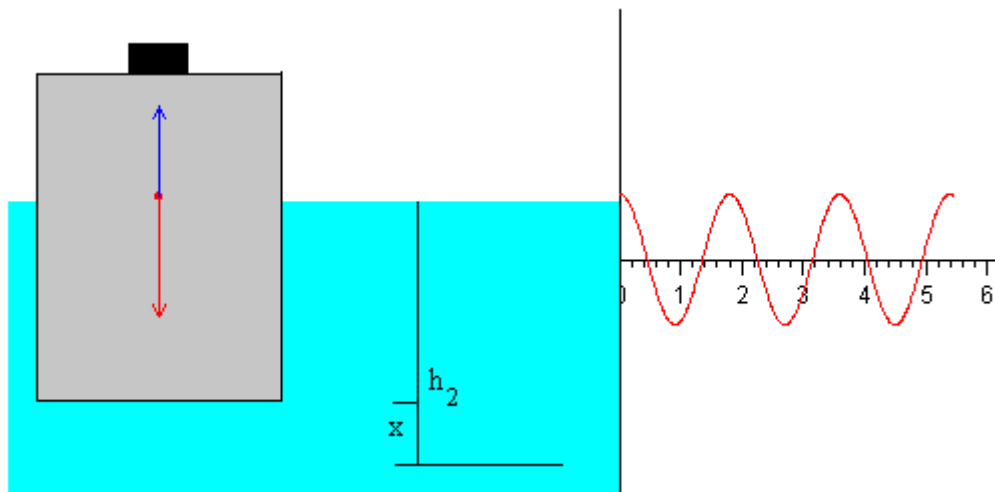


Figura 20-Corpo oscilando no mar

Ao colocar o bloco sobre a bóia e solta-lo o sistema bloco-bóia começa a oscilar. Encontraremos o período das oscilações



Calculamos a força líquida que atua quando a bóia foi deslocada  $x$  da posição de equilíbrio. Como vemos na figura, se o deslocamento  $x$  é para cima, a resultante é para baixo. A força é de sinal contrário ao deslocamento.

$$\mathbf{F}=\mathbf{empuxo-peso}=\rho_f g S(h_2-x)g-(mg+\rho_s g h S)=-\rho_f S x g$$

A força é proporcional ao deslocamento e de sinal contrário a este. O sistema descreve um movimento harmônico simples, cuja frequência e período encontramos a partir da segunda lei de Newton:

$$(m+\rho_s h S)a=-\rho_f S x g$$

Ou então, expresso na forma de equação diferencial do Movimento Harmônico Simples,

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\rho_f S g}{m + \rho_s h S} x = 0$$

O período é, por tanto,

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{m + \rho_s h S}{\rho_f S g}}$$

A equação do MHS, solução da equação diferencial é

$$\begin{aligned}x &= A \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi) \\v &= A \omega \cos(\omega t + \varphi)\end{aligned}$$

As condições iniciais determinam a amplitude  $A$  e a fase inicial  $\varphi$ .

O bloco é solto quando a bóia foi submersa  $h_1$ , ao por o bloco, na nova posição de equilíbrio a bóia é submersa  $h_2$ .

Logo, no instante  $t=0$ , a posição do centro de massas é  $x=h_2-h_1$ , relativo a de equilíbrio e sua velocidade  $v=0$ .

$$\begin{aligned}h_2-h_1 &= A \cdot \text{sen} \varphi \\0 &= A \omega \cos \varphi\end{aligned}$$

A fase inicial é  $\varphi = \pi/2$  e a amplitude  $A = h_2-h_1$

A equação do movimento harmônico simples é finalmente,

$$\mathbf{x}=(h_2-h_1)\cdot\text{sen}(\omega t+\pi/2)=(h_2-h_1)\cdot\cos(\omega t)$$



Medimos o período sobre o eixo horizontal na representação gráfica de  $x$  em função de  $t$ .

Quando situamos o bloco sobre a bóia, o centro de massas deixa de estar no centro da bóia. A nova posição do c.m. relativo ao centro da bóia é calculada mediante a seguinte fórmula

$$x_{cm} = \frac{m \cdot 0.5}{m + (\rho_3 \cdot 1 \cdot S)} \quad (29)$$

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Descrição Geral do Sistema

Este trabalho apresenta o estudo de um gerador elétrico tubular, com ímãs permanentes de Neodímio-Ferro-Boro, que foi desenvolvido para operar acionado pela energia das ondas. O gerador elétrico possui bobinas enroladas em torno de um conjunto de ímãs permanentes de formato cilíndrico não possuindo material ferromagnético macio, sendo considerado, desta forma, do tipo *ironless*. A figura 21 mostra a idéia inicial do gerador que foi montando e na figura 22 como ficou montado numa estrutura que simularia sua ancoragem no fundo do mar

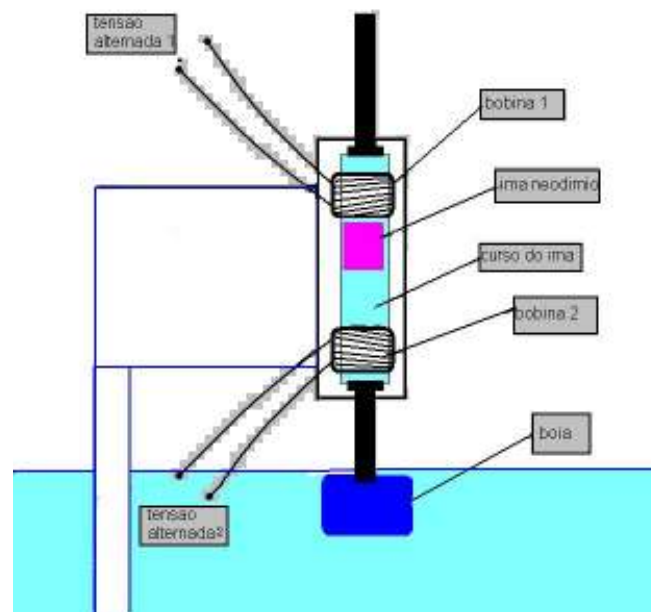


Figura 21–Desenho esquemático do gerador elétrico desenvolvido.



Para possibilitar a movimentação dos ímãs permanentes pelas bobinas, foi desenvolvido uma estrutura que manteve o corpo do gerador parado enquanto a bóia se movimentava livremente pela oscilação das ondas. Essa movimentação da água foi simulada por um motor externo que gerou oscilações de movimento como as ondas do mar realizando avaliando sua frequência de giro e mostrando a efetividade do modelo e seu comportamento com as variações na altura da coluna de água. A idéia básica foi criar um movimento que induziria correntes pela ação da movimentação do campo magnético pelo ímã pelas e conseqüentemente faria a geração de energia.

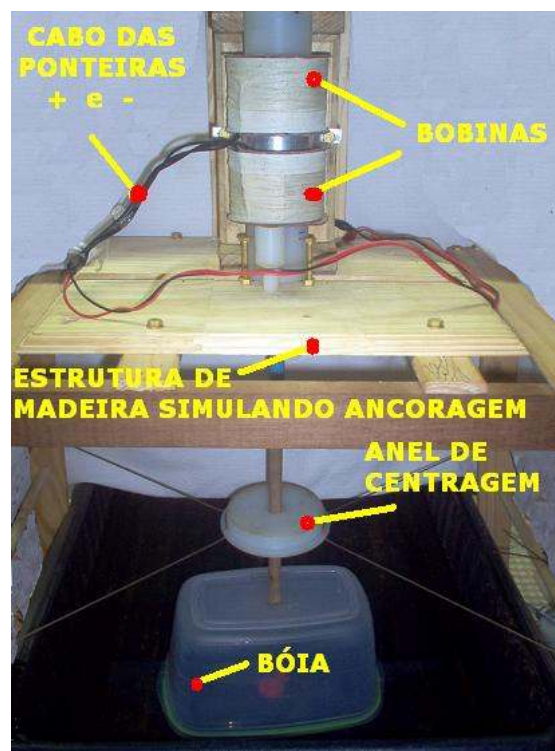


Figura 22-Princípio de funcionamento levando em conta a média das oscilações para a geração de energia

### 3.2 Metodologia

O gerador é uma aplicação direta da lei de Faraday-Lenz que através do campo magnético gera tensões induzidas. Para avaliar esse campo foi implementado um sistema de medição de densidade de fluxo magnético necessário para dar início ao projeto.

Usando-se os valores medidos e utilizando cinco ímãs de neodímio de elevado campo magnético foi gerada uma corrente induzida que foi aplicada sobre uma carga que definiu a potência máxima de aplicação para o protótipo.

Foi também implementado um sistema mecânico oscilante para movimentar o sistema eletromagnético, de forma a emular o movimento das ondas do mar e a conseqüente transformação da energia mecânica associada ao movimento relativo, em energia elétrica.

Este protótipo foi elaborado a partir do modelo que esta no anexo D , adaptando seu movimento pela oscilação de uma bóia.

O dispositivo do anexo D foi desenvolvido pela universidade de Oregon e já possibilita a geração de eletricidade usando os movimentos do mar, que consiste num conjunto de 200 bóias que ancoradas a 2,5 milhas da costa e mesmo estando a 50 metros de profundidade gerarão quase 50 MW .Estas bóias são geradores lineares que oscilam sobre imas permanentes.Com esse movimento através de um ciclo contínuo sobre um bobinado de cobre no mar é gerada a eletricidade de forma unitária .que ao se somar com as outras que estão no sistema por meio de um conversor carregam baterias que repassaram a uma central que faz conversões elétricas e dinâmicas diversas fornecendo energia para a cidade . Para testes iniciais o governo só liberou os testes para 2 MW o que trará uma autonomia para a cidade de Portland . Na figura 23 de forma simplificada a idéia de funcionamento:

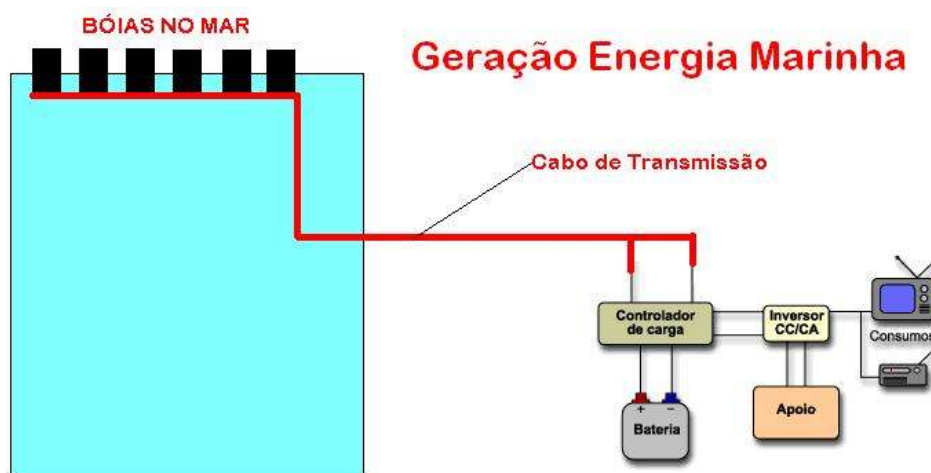


Figura 23-Sistema idealizado pela Universidade do Oregon



### **3.3 Avaliação do Tipo de Ímã**

Foi determinado o tipo de ímã após serem feitos alguns testes em vários modelos e o primeiro a ser testado foi um ímã de ferrite para avaliar se ele atenderia as condições necessárias para fazer o projeto.

Iniciei pelo básico que foi testar o efeito do campo no ímã. Após a destruição de alguns autofalantes foram obtidos os materiais necessários para o início do projeto.

Ímãs de ferrite tem um baixo campo magnético medido na faixa dos 0,3 T.

Estes valores foram obtidos ao se fazer medições com um multímetro sobre um bobinado de cobre de 200 espiras, não se conseguindo nenhum dado pois a tensão era muito baixa e, não registrava valores no multímetro que foi utilizado. Foram pesquisados alguns tipos de ímãs e foi determinado o ímã de neodímio pois sua densidade de fluxo magnético era estimada em torno de 10 a 18 vezes a do ímã de ferrite e contatando empresas como metalmag e multimãs foram adquiridos os dados necessários para iniciar o modelo.

### **3.4 Procedimentos para execução do projeto**

O ímã de neodímio (Nd-Fe-B) é um ímã achado sob dimensões pré-definidas. Para executar um projeto em escala foi idealizado algo em torno 1:10 onde teria um diâmetro de 50 mm por 50 mm de altura..Para o projeto foi avaliado os modelos expostos nos anexos de 1 a 3 dos quais tirei o modelo cilíndrico da Metalmag que tinha o diâmetro com 48mm e foi o mais indicado pois possibilitou seu uso num tubo de nylon de diâmetro 50 mm. Para conseguir a altura foram compradas 5 peças que davam os 50 mm de altura. A montagem dos ímãs foi feita acoplando-os uns sobre os outros uma vez que foram mandados com separadores pela sua força e para evitar a danificação dos mesmos.A montagem foi feita com segurança e de forma lenta para evitar quedas e mesmo um acidente pois pela força dos ímãs o mesmo poderia ter acontecido.

Feito um teste rápido com o modelo que havia montado antes para o teste do ímã de ferrite e agora consegui ao menos notar uma movimentação no multímetro



representando algo em torno de 10 mV com as mesmas espiras do modelo de ferrite.

Estimou-se como teste inicial um valor de esprias em torno de 2000 voltas para uma geração mínima de tensão que permitisse definir uma carga.

Quanto aos dados construtivos gerais estão definidos nas características construtivas.

### 3.5 Características Construtivas

No projeto, foram utilizados imãs permanentes de Nd-Fe-B de diâmetro 48 mm X 10 mm de espessura, em quantidade de 5, empilhados uns sobre os outros formando um sistema compacto.

O imã deste projeto é um N38 com os seguintes dados técnicos:

#### Propriedades magnéticas:

Br.remanência:	12100 a 13500 Gauss
Hc.coercitividade:	Hc>11300 Oersted
Hci..coersitividade intrínseca:	Hci > 12000 Oersted
BHmáx.produto máximo de energia:	36 ~ 43 MGOe

#### Características básicas:

Temperatura máxima recomendada de trabalho:	80° C
Temperatura de Curie:	310° C
Coefficiente de temperatura:	0,13%/° C
Cobertura:	antioxidante de Níquel
Densidade:.	7,4 g/cm <sup>3</sup>

A bobina foi montada após alguns testes onde foram testadas as tensões para saber um numero coeso de espirar que tenderiam a dar os resultados esperados e analise alguns modelos já construídos anteriormente para projetos similares:

N° de Bobinas:	2
Resistência:	40 ohms
Peso:	886g.



Secção do fio:	0,506 mm
Número de espiras:	2000

Para determinar de forma correta os dados que tinha foram feitos cálculos, testes de campo magnético e simulações para se obter maior confiabilidade dos dados.

### ***3.6 Procedimentos para Orientar do ímã na hora da montagem***

Pegar uma bússola e aproximar de cada pólo do ímã havendo repulsão temos o pólo Norte e se houver atração determinam o pólo sul. A necessidade de saber tais dados se deve a grande força do ímã que por um movimento errado ao se desconhecer sua polaridade pode esmagar os dedos na hora da montagem, pois são bolachas independentes de diâmetro 48 mm por 10 de espessura. Ao se montar a pilha deve-se ter cuidado ponto a ponto para evitar acidentes no processo.

### ***3.7 Procedimentos para Orientar a bobina com o maior rendimento de fluxo.***

O modelo inicial foi montado com 2 bobinas. Foi definido o sentido em que as bobinas deveriam ser acopladas para a aquisição da corrente induzida para a geração de energia sendo feita uma montagem em paralelo e em oposição. Foi usado uma pilha 1,5 volts para determinarmos o processo.

Foi energizada de forma independentemente cada bobina com uma pilha 1,5 V e a bússola foi aproximada com isso foi definida a orientação, o sentido do fluxo e conseqüentemente os pólos do ima e da bobina. Conforme figura 24:



Figura 24- Criando campo em bobina com pilha

A orientação foi necessária para se determinar se a bobinagem feita era simétrica em relação à outra bobina.



Figura 25- Bússola orientada pelo campo da bobina

Foi feito o mesmo procedimento para as duas bobinas. Com isso foi verificado que para este projeto as duas bobinas foram feitas da mesma maneira assim se um cabo é definido como positivo o outro na mesma posição também será, esse processo só é válido quando se tem dúvidas sobre o método pelo qual foi feita a bobinagem para se definir o início e o fim da bobinagem.

Após o teste determinou-se que a melhor montagem seria em paralelo e em oposição. A avaliação foi feita com o ímã que ao se movimentar de um lado para o outro dentro do curso especificado gerava num multiteste analógico ligado as extremidades da bobina oscilações que determinaram o sentido de fluxo do campo e a corrente. A montagem escolhida das bobinas foi a que gerou uma maior energia para o protótipo.



Figura 26-Montagem das bobinas

As bobinas são montadas em oposição a seu pólo positivo que será o cabo com a garra vermelha e o pólo negativo com a garra preta, conforme mostra a figura 27:

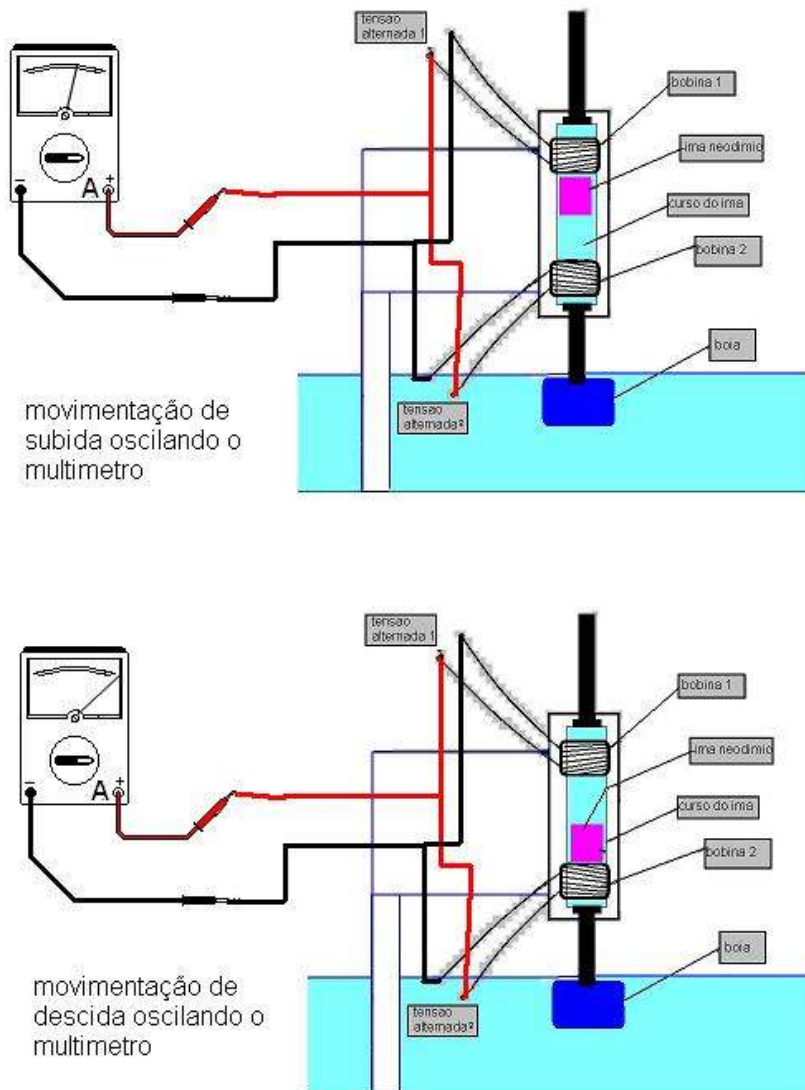


Figura 27-Montagem do protótipo





Figura 28- Montagem das bobinas

### 3.8 Construção do Gaussímetro por efeito Hall

Para avaliar o valor do campo magnético foi necessário construir uma mesa de medições e um gaussímetro. A figura 29 mostra a mesa.

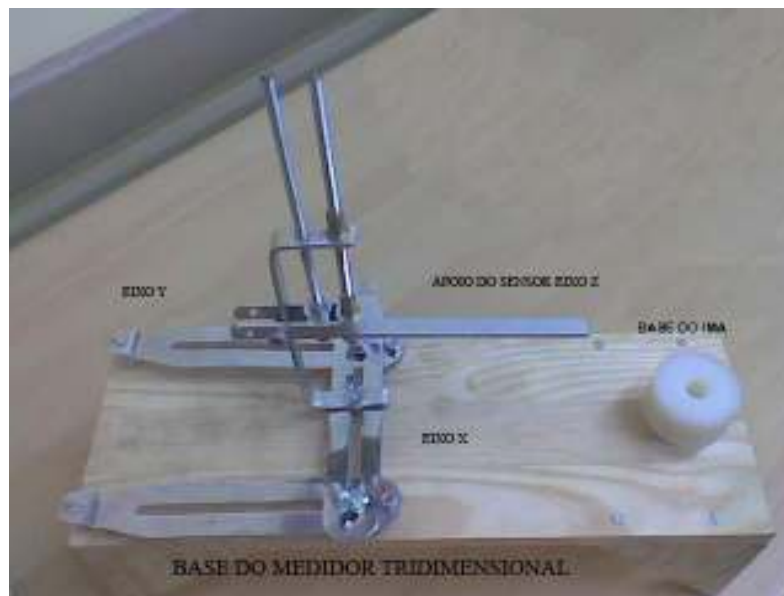


Figura 29- Dispositivo visto de lado sem a ponteira

A mesa de medições foi montada sem materiais ferromagnéticos pois afetariam nas medições. A montagem foi feita em alumínio em uma base de madeira e permitindo a movimentação eixos x,y e z..Na figura 30 pode se ver os cursos e como foram definidos os eixos.



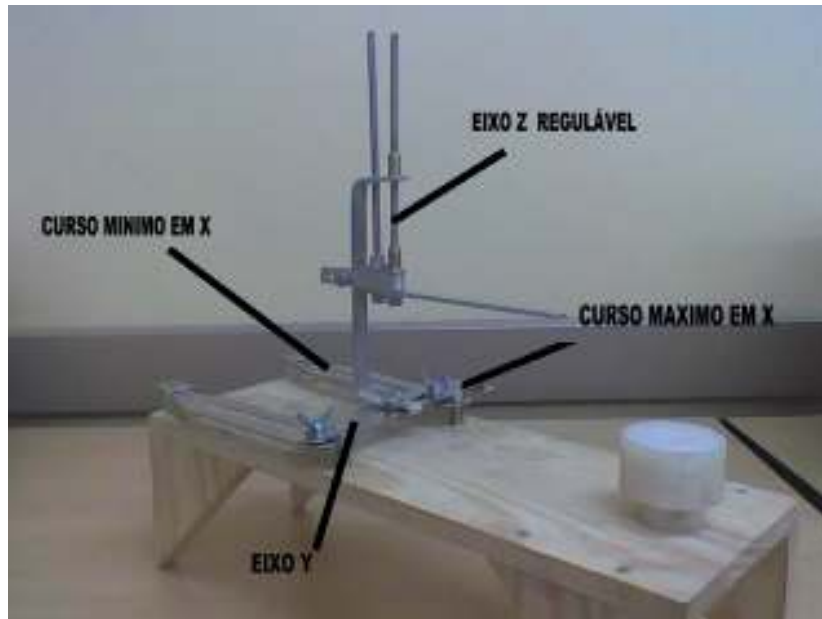


Figura 30- Eixos do modelo

Visto de cima pela figura 30, o deslocamento dos eixos x e y se fazem através da movimentação por um rasgo que pode dar um curso de 1 m uma vez determinada a posição o dispositivo é travado através de uma borboleta que fixa o parafuso contra a base o que permite uma medição confiável no ímã que está num rasgo em cima de um tarugo de tecnil o mesmo pode ser fixado em baixo ou solto para giro do ímã e fazer novas leituras.

Quanto a altura a mesma foi regulada através do deslocamento de uma base roscada que levanta ou abaixa no eixo x o apoio do sensor do eixo z, estando esta bem distante do ímã pois o que entrará mais próximo será uma chapa de alumínio que não sofrerá nenhuma ação magnética.

Concluída a parte da mesa foi iniciada a montagem do gaussímetro para isso foi necessário criar um retificador de onda completa, em paralelo ao retificador é colocado um capacitor em paralelo de  $1000 \mu\text{F}$ , para manter a tensão na carga próxima ao valor de pico por mais tempo. Ao cair a tensão do sinal, o capacitor começa a se descarregar, de modo que a tensão nos terminais da carga é superior à tensão vinda da fonte. O diodo retificador entra em corte, até que a tensão vinda da fonte supere novamente a tensão no capacitor. Como o valor de RC era grande, maior será tempo de queda da tensão do capacitor, e assim a tensão na carga é mantida bem próxima do valor de pico da tensão vinda da fonte, gerando 23,4 VC. Como o regulador LM 7805 (regulador de tensão), aceita tensões de 8 a 30 VCC para uma saída de 5 VCC foram colocados capacitores de  $100 \text{ nF}$  e  $0,1 \mu\text{F}$  para

filtrar possíveis ruídos assim fornecendo a tensão necessária para alimentar o AD 22151 que é um sensor por efeito Hall:

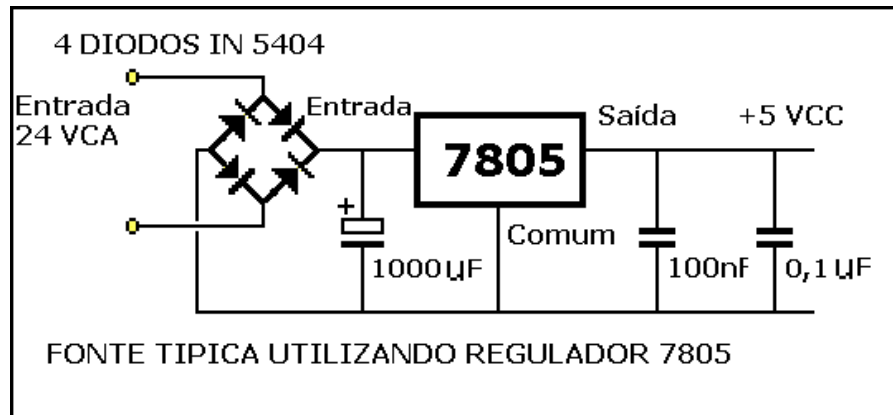


Figura 31-Montagem da fonte

Tendo montado a fonte e testando a mesma através de medições foi montado o gaussímetro para realizar as medições do campo.

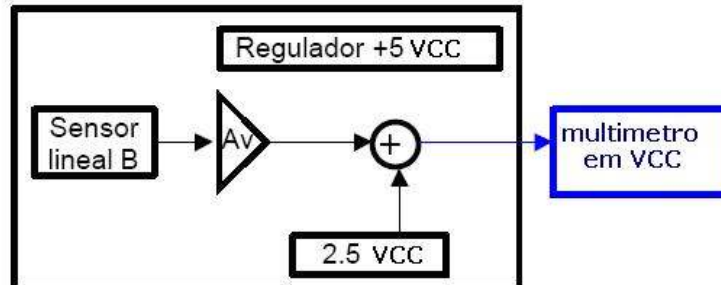


Figura 32-Lógico do AD 22151

O método para aquisição dos dados é simples uma vez montada a ponteira e fixado o sensor AD22151 o mesmo é aproximado do sensor com variações de distância feitas pela mesa tridimensional mostrado na figura 29. Os valores serão obtidos mediante o AD 22151 que fará a leitura e fornecerá dados em mV relativos a força do campo. O ganho que após ser comparado com o ganho interno do sensor nos permite determinar seu valor em Tesla por ser a unidade internacional vigente para esse dado. Este sensor está montado de acordo com a configuração unipolar pois o neodímio tem um valor em torno de 1200 ppm (partes por milhão) o que exige para dados mais complexos uma leitura mais detalhada.

Para o valor de R1 se faz uso da tabela abaixo onde determinamos um valor de 28 KΩ ao se cruzar o ppm pela curva dada.

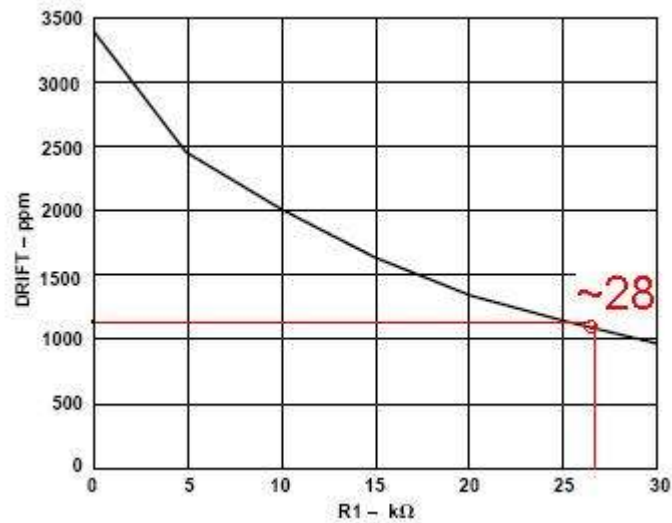


GRÁFICO 1-Regular r1 AD 22151

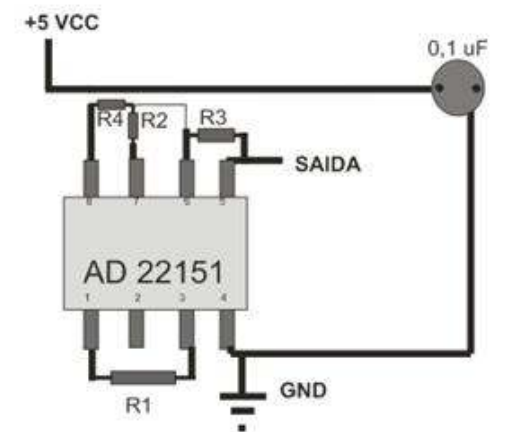
Para demais valores usamos as fórmulas:

A sensibilidade se faz de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{Ganho} = 1 + \frac{R3}{R2} \times 0.4 \text{ mV/G}$$

$$\text{Ganho} = 1 + \frac{R3}{(R2 \parallel R4)} \times 0.4 \text{ mV/G}$$

$$\text{Offset} = \frac{R3}{(R3 + R4)} \times (V_{CC} - V_{OVR})$$



SAIDA EM mV para achar valor do campo

Figura 33-Montagem de acordo com modelo

Ao se querer um ganho mais apurado se coloca R4 em paralelo com R2 assim se achará um ponto quiescente médio.

No caso foi um ganho 1 mediante o maior valor que era de 1,28 T.

Para ganhos maiores varia-se somente R3. A tensão máxima de saída será 4,675 segundo datasheet que prevê uma leitura de 10 a 90%V, da tensão da fonte. Assim dividindo-se pelos valores abaixo adquire algo em torno de 0,4 mV que é quase a sensibilidade do sensor por isso se tornou necessário o ganho 1.

$$\text{Sensibilidade} = \text{Tensão de Saída} / \text{Densidade de Fluxo Max}$$

Assim os valores que tenho para os resistores são: 500  $\Omega$  para R3, 1000  $\Omega$  para R4 e 2000  $\Omega$  para R2. Assim obtive uma leitura que oscilou de 2,5V a 4 V para o máximo medido que foi de 0,6950 T. Ao se inverter a polaridade do imã o valor tendia a 0 o que representava o valor negativo do campo.

Os dados e os valores se encontram na tabela posterior a de baixo que foi uma planilha no Excel utilizada para obter valores diretos.

Ficando a montagem conforme ilustração abaixo:

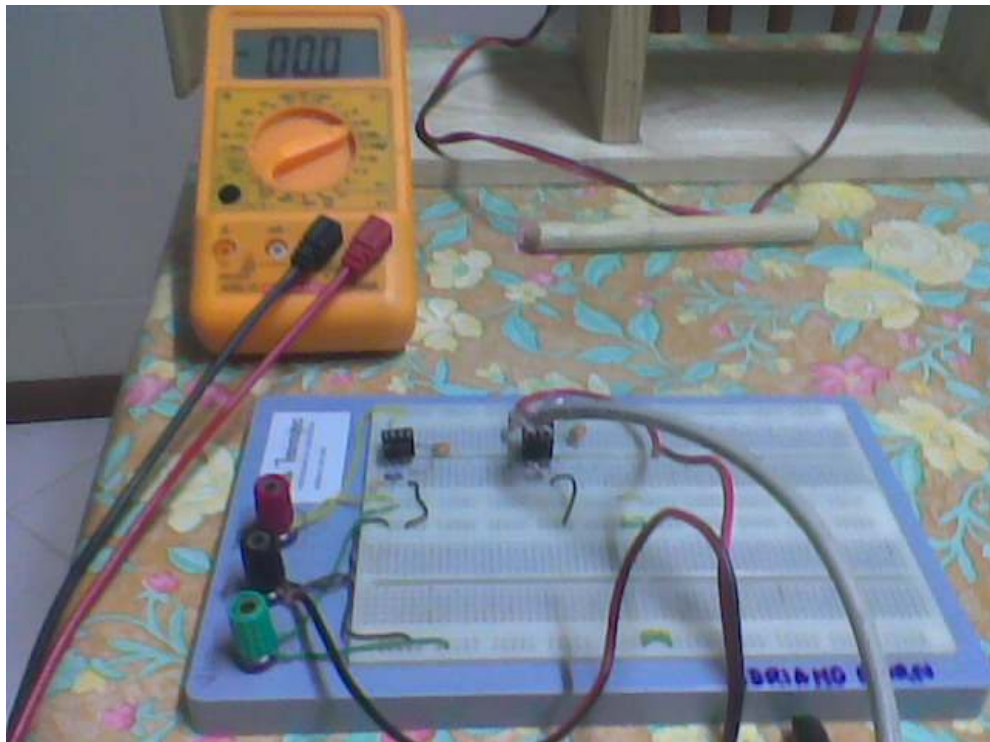


Figura 34- Montagem em do sensor Hall

Cálculo automático de ganho em Tesla

Valor mínimo	Valor Maximo	Diferença	Valor em Tesla	Distância(mm)
2,480	3,870	1,390	0,6950	0
2,480	3,700	1,220	0,6100	1
2,480	3,210	0,730	0,3650	10
2,480	2,950	0,470	0,2350	15
2,480	2,770	0,290	0,1450	20
2,480	2,690	0,210	0,1050	25
2,480	2,650	0,170	0,0850	30
2,480	2,600	0,120	0,0600	35
2,480	2,580	0,100	0,0500	40
2,480	2,560	0,080	0,0400	45
2,480	2,540	0,060	0,0300	50
2,480	2,530	0,050	0,0250	60
2,480	2,520	0,040	0,0200	70
2,480	2,510	0,030	0,0150	80
2,480	2,500	0,020	0,0100	90
2,480	2,480	0,000	0	100
2,480	2,480	0,000	0	500
2,480	2,480	0,000	0	1000

Figura 35-Aquisição de dados

Diferença=valor máximo –valor mínimo

Valor em Tesla=( diferença/ 0,0004)\*2/ 10000)

Após isso temos os valores necessários para o calculo.

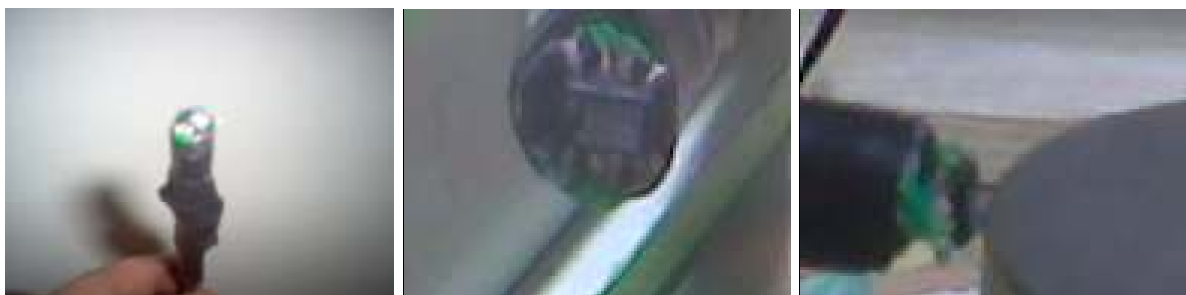


Figura 36-Montagem da ponteira para medição do fluxo magnético em Tesla

A montagem foi feita de forma paralela ao ímã para avaliação de seu campo nas ilustrações acima vemos a ponteira montada, como ela foi posicionada no encosto e como foi realizada a medição. Para manter o paralelismo na hora da medição se usou a mesa de medições que manteve o sensor apoiado de forma a não



sair da altura e da posição inicial. Através desse gaussímetro foram obtidos os valores para uma avaliação do campo magnético.

### 3.9 Cálculos Para determinação da densidade de campo do ímã

Para determinação da densidade do campo do ímã foram feitos vários cálculos e estudos comparativos até onde a teoria poderia se comparar com a prática para a montagem do protótipo na criação de um modelo de acordo com o necessitado.

#### 3.9.1 Aproximação teórica

Conforme dados teóricos já descritos anteriormente usamos a equação de Biot-Savart de densidade do campo para determinar o campo do ímã de forma teórica:

$$\Phi(z) = \Phi_{+q}(z) + \Phi_{-q}(z) = \frac{\mu_0 q}{2} \left( \frac{z+d}{\sqrt{(z+d)^2 - a^2}} - \frac{z}{\sqrt{z^2 + a^2}} \right)$$

Que pode ser modificada para:

$$B_x = \frac{B_r}{2} \left( \frac{(L+X)}{\sqrt{R^2 + (L+X)^2}} - \frac{X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \right)$$

Onde:

$B_r$  é o Campo do ímã de neodímio em Gauss;  $L$  é a Altura do ímã em mm;  $R$  é o Raio do ímã em mm;  $X$ = Distância do sensor até o ímã em mm;  $B$  é a Variável procurada em Tesla.

Os dados fixos são:

RAIO IMÃ (  $R$  )=24 mm      ALTURA( $L$ )= 50 mm      CAMP. MAX( $T$ )=1,28 T

Tabela 3: Cálculo do FLUXO (T) x DISTÂNCIA(mm)

DENSIDADE DO FLUXO (T)-Calculado	DISTÂNCIA (mm)
0,57697	0
0,52244	1
0,34807	10
0,26118	15
0,19568	20
0,14786	25
0,11325	30
0,088092	35
0,069594	40
0,055799	45
0,0453539	50
0,0031065	60
0,0022166	70
0,0016355	80
0,0012407	90
0,00096341	100
0,000127	500
0,00007122	1000



GRÁFICO 2-Cálculo do FLUXO (T) x DISTÂNCIA(mm)



### 3.9.2 Simulação

Os dados abaixo foram realizados com a ajuda de um software femm42bin.exe que é um software gratuito para teste encontrado na internet para testes de campo magnético e, que possibilitou a simulação fornecendo os valores da densidade de fluxo magnético o que permitiu um modelo matemático para comparação de resultados com os calculados e medidos. Os dados simulados são:

RAIO ÍMÃ ( R )=24 mm      ALTURA(L)=50 mm      CAMP.MAX(T)=1,28 T

Tabela 4- Simulação do FLUXO (T) x DISTÂNCIA(mm)

DENSIDADE DO FLUXO (T)-Simulado	DISTÂNCIA (mm)
0,597	0
0,52244	1
0,39807	10
0,26118	15
0,19968	20
0,1786	25
0,15525	30
0,092092	35
0,073594	40
0,065799	45
0,052	50
0,00300	60
0,0022166	70
0,0016355	80
0,0012407	90
0,000960	100
0,000127	500
0	1000



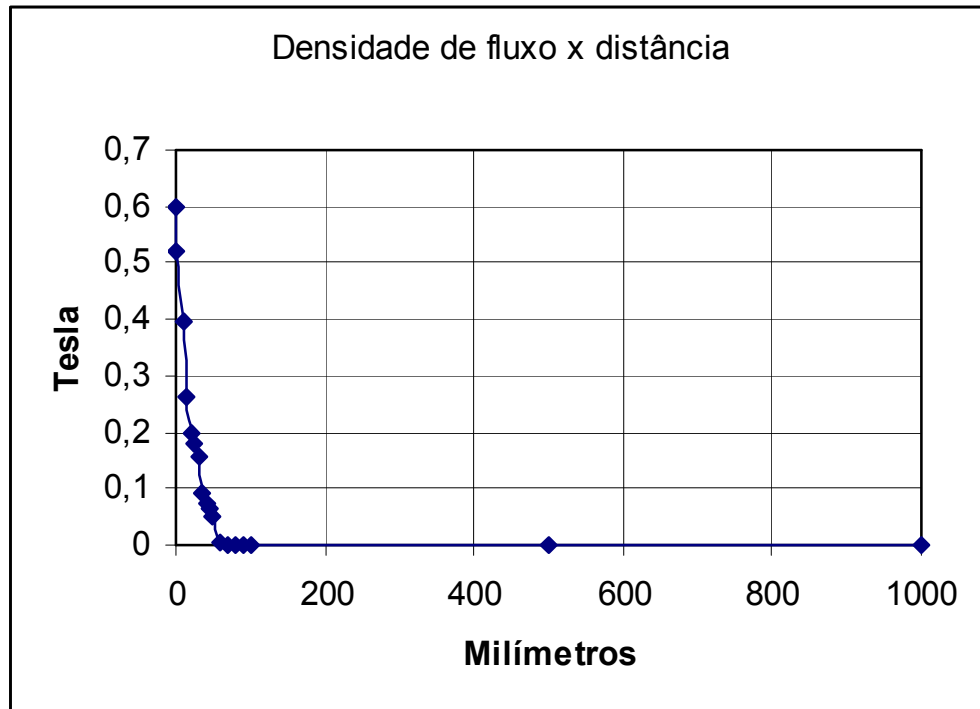


GRÁFICO 3-Simulação do FLUXO (T) x DISTÂNCIA(mm)

### 3.9.3 Medição

Esses foram os dados que foram adquiridos mediante o dispositivo desenvolvido:

Tabela 5-Medida do FLUXO (T) x DISTÂNCIA(mm)

DENSIDADE DO FLUXO (T)-Medido	DISTÂNCIA (mm)
0,6950	0
0,6100	1
0,3650	10
0,2350	15
0,1450	20
0,1050	25
0,0850	30
0,0600	35
0,0500	40
0,0400	45
0,0300	50
0,0250	60
0,0200	70
0,0150	80
0,0100	90
0	100
0	500
0	1000

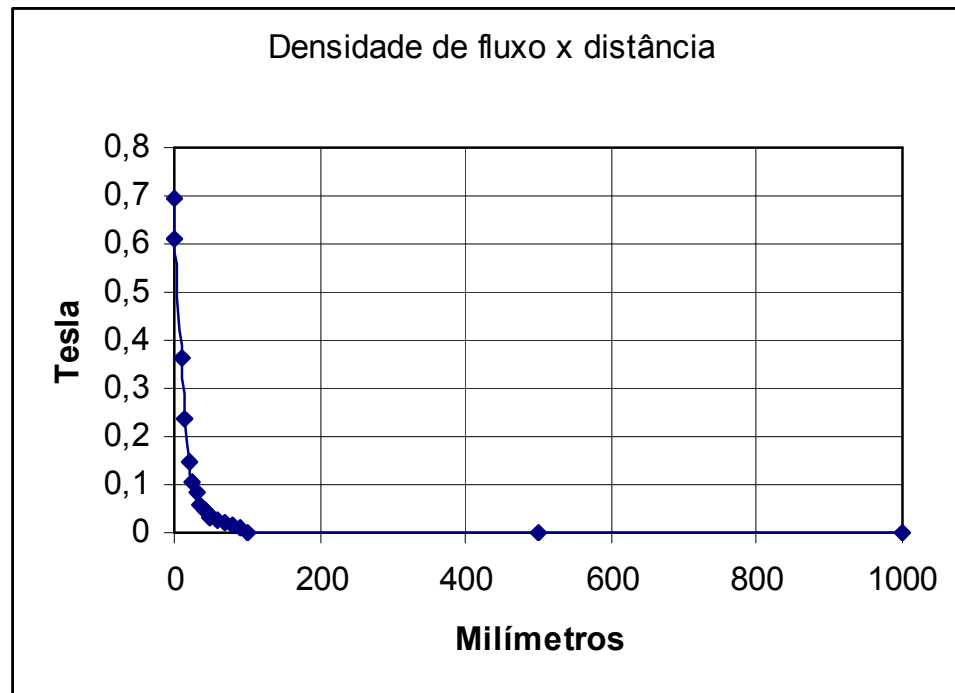


GRÁFICO 4-Simulação do FLUXO (T) x DISTÂNCIA(mm)

### 3.9.4 Dados Comparativos do Campo

Após serem feitos todos os testes é possível ver a diferença pela tabela 6 e pelo gráfico 5:

Tabela 6-Comparativo dos valores do campo em Tesla

DISTÂNCIA(mm)	Calculado(T)	Simulado(T)	Medido(T)
0	0,57697	0,597	0,695
1	0,52244	0,52244	0,61
10	0,34807	0,39807	0,365
15	0,26118	0,26118	0,235
20	0,19568	0,19968	0,145
25	0,14786	0,1786	0,105
30	0,11325	0,15525	0,085
35	0,088092	0,092092	0,06
40	0,069594	0,073594	0,05
45	0,055799	0,065799	0,04
50	0,0453539	0,052	0,03
60	0,0031065	0,003	0,025
70	0,0022166	0,0022166	0,02
80	0,0016355	0,0016355	0,015
90	0,0012407	0,0012407	0,01
100	0,00096341	0,00096	0
500	0,000127	0,000127	0
1000	0,00007122	0	0

O intervalo para a criação do gráfico foi até 100 mm que são os dados significativos do projeto, pois é onde a bobina pode adquirir o máximo de energia, pois se encontra bem próxima ao ímã, e que determinarão a bobina com relação a sua altura máxima.

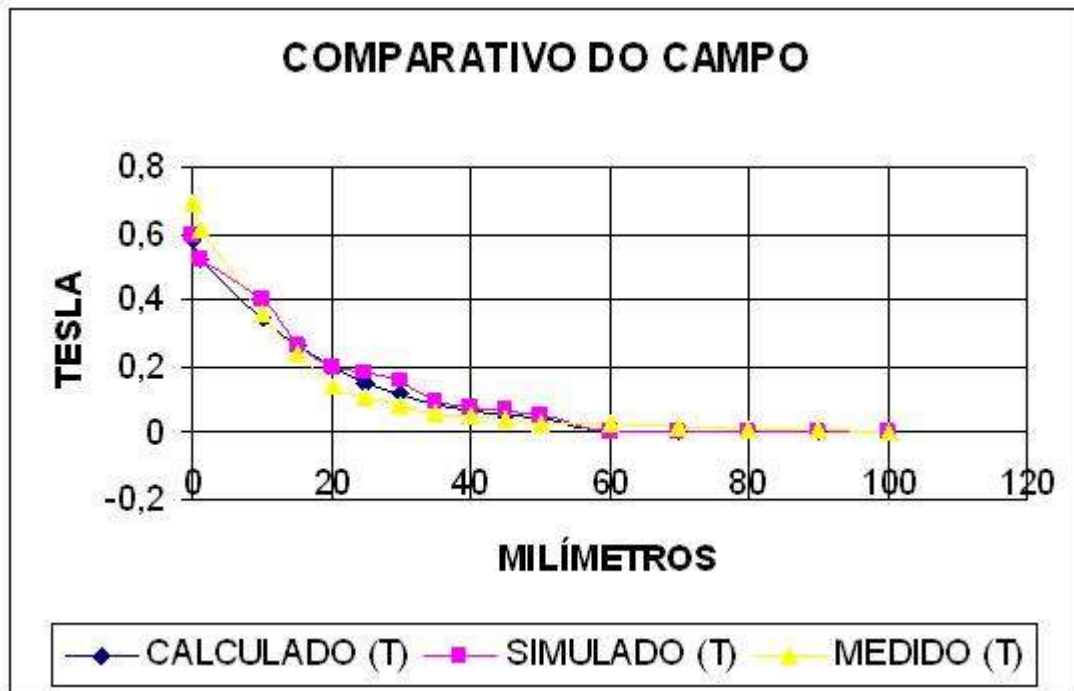


GRÁFICO 5- Curva do Fluxo magnético

Uma vez obtidos os dados com relação ao campo magnético do ímã, se constata que os valores medido, calculado e ao simulado seguem as especificações do fabricante e que, ao montar o protótipo o mesmo deveria ter como distância máxima do ímã ao bobinado 20 mm pois acima disso as perdas são muito grandes e a corrente seria bem menor.

### 3.9.5 Construções eletromecânicas

A construção do protótipo final para sua simulação de movimento no ambiente desejado era o da figura 37 onde um tanque com água simularia a altura e a oscilação das ondas.

O objetivo inicial foi a criação de um modelo para simular as ondas e através de uma frequência de movimentos testar o gerador como se estivesse sobre a ação das ondas do mar.

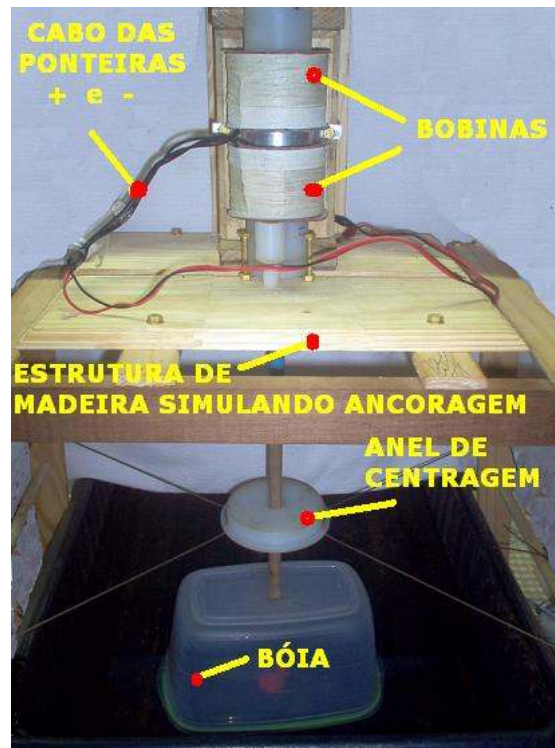


Figura 37-Modelo inicial

Foram realizados testes que permitiram a conclusão de alguns dados como a potência por crista de onda encontrada em nossa região usando-se a fórmula :

$$P_{\text{crista de onda}} = C \times D_{\text{energia de onda}} = \frac{D_{\text{água}} \times g \times H^2}{16 \times \omega} = \frac{D_{\text{água}} \times g^2 \times A^2}{4 \times \omega}$$

Onde:  $P_{\text{crista de onda}}$  é potência por crista de onda (W/m);  $D_{\text{água}}$  é a densidade da água (1000 kg/m<sup>3</sup>);  $g$  é a constante gravitacional (9,81 m/s<sup>2</sup>);  $H$  é o comprimento da onda (média de 1 m);  $\omega$  é a frequência da onda (1 a 6s x 2 $\pi$ ).

Por substituição temos a potência por crista de onda para um a seis segundos que é a média utilizada:

Para um segundo temos: 97 W/m

Para seis segundos temos: 16 W/m



É possível adquirir de 16 a 97 W por metro de onda.

A bóia para o protótipo deve suportar o peso de 2 kg (contidos o peso da bóia, da haste e do ímã), onde a movimentação é efeito da força da gravidade. Como o efeito da gravidade é a base para o protótipo, para simplificação usamos a fórmula de Newton para o calculo da força:

$$F=m \times g$$

Onde: m é a massa; F a força e g a força da gravidade.

Obtendo para o protótipo uma força de 18,62 N. Esta força deve ser igual ao empuxo logo para determinar a bóia ideal ela deve ser projetada sempre que distribua sua área pela maior porção de água a fim de manter o corpo emerso pela densidade.

Quanto ao o tipo de bóia o que se observou é que a mesma deverá ser arredondada e em formato tipo disco articulada para diminuir o atrito do mar no corpo a mesma deve ser articulada assim com ondas incidentes de diferentes posições o empuxo atuará no corpo gerando a oscilação e de grandes dimensões para compensar o peso do dispositivo durante a oscilação .

Bóias em formato quadrado tendem a travar a movimentação com a batida das ondas numa área muito grande, assim para evitar isso é necessário um anel de centragem para definir o curso sem que o eixo saia da posição tendo assim o máximo ganho com uma movimentação continua e que o formato da bóia tenha o formato dinâmico de um disco que tenderá a cortar as ondas e estará sujeito a sua movimentação sem o atrito superficial da bóia.

Através dessa simulação foi determinada uma altura de trabalho na movimentação do ímã de 115 mm, o tipo de bóia que deveria ser utilizada e do do quanto seria possível adquirir em potência numa onda por metro.

## 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Foi montado um dispositivo para a aquisição dos dados, estes foram adquiridos mediante o uso de um inversor que controlava as freqüências de giro do motor transmitindo-as a um redutor que possibilitava um controle bem definido das freqüências que simulavam as várias oscilações decorrentes da movimentação de uma onda. Assim foi possível simular a freqüência máxima e mínima do protótipo que era um dos objetivos do projeto.

### 4.1 Modelos

O modelo que montei foi uma adaptação do dispositivo feito pela Universidade do Oregon que se encontra mostrado no anexo D da parte de anexos. As modificações foram feitas foi a de dois bobinados independentes de forma a adquirir a tensão na movimentação nos sentidos de subida e descida. Para os testes montei um sistema de biela e manivela como o demonstrado na figura 38:



Figura 38- Curso do modelo criado

## 4.2 Simulações – Métodos Numéricos

As simulações foram feitas mediante programações variadas de frequência em um inversor que transmitiu a movimentação como uma bóia o faria sob a ação das ondas do mar. Através desses dados foram definidos gráficos que determinaram a melhor aplicação e a potência que o sistema poderia suprir em pequena escala. O dispositivo totalmente montado ficou como na figura 39:

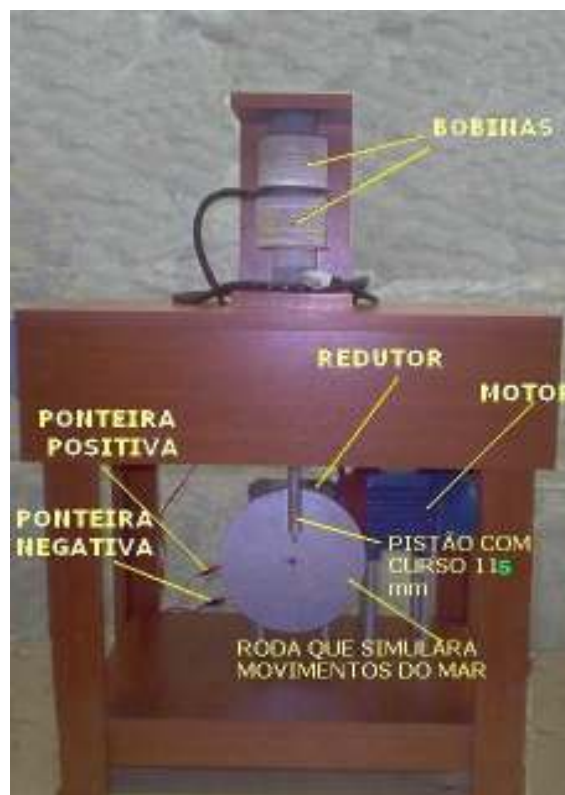


Figura 39- Protótipo montado

Gerando um gráfico de testes conforme ilustração 60:



Figura 40-Simulação para aquisição do modelo

### **4.3 Metodologia dos Testes Integrados no Sistema Físico**

#### **4.3.1 Energia da bobina**

Num circuito R L série como o que foi montado para buscar a potência máxima tendo como alvo a potência de 1 W, a potência fornecida pela fonte deve ser igual à potência dissipada no resistor mais a potência dissipada na bobina.

A potência que foi fornecida pela fonte era igual a  $V i$ . Pela carga tínhamos na resistência,  $V_R x i = R i^2$ . Para a bobina(indutor),  $V_L i = L i di / dt$ .

Assim,  $V i = R i^2 + L i di / dt$ . Onde  $R i^2$  é a energia por unidade de tempo dissipada no resistor devido ao aquecimento (efeito Joule). Para efeito de cálculo,  $L i di / dt$ , não pode ser aquecimento porque se supõe um indutor ideal, de resistência nula, fator que após será levado em conta para avaliar o quanto se perde de potência no aquecimento e no atrito. Tendo assim a energia por unidade de tempo armazenada no campo magnético do indutor.

$P = dW / dt = L i di / dt$ . Simplificando,  $dW = L i di$ .





E a energia armazenada na bobina é dada por:

$$W = \int L i \, di = (1/2) L i^2$$

O projeto inicial era de fornecer 1 W que foi convertido na escala do projeto que foi de 1:10 que daria 0,1 W.

Após ser estimada uma potência de 0,1 W e com uma indutância de 204 mH que foi o valor da bobina a corrente do projeto foi estimada em: 0,2 A. O valor obtido foi de 0,143 W com uma corrente em torno de 0,055 A ou seja houve uma grande perda de corrente por aquecimento e da resistividade da bobina dando um total de foi de 0,145 A. Embora a perda seja considerável a potência se manteve.

### 4.3.2 Simulação de movimentação

Para fazer os testes finais foi utilizado um inversor Weg entrada monofásica e saída trifásica até 1,6 A, um motor Weg, um inversor e um sistema biela e manivela com curso máximo de 115 mm.

Os dados dos dispositivos são:

Motor Weg

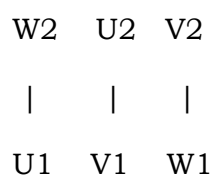
Potência: 0,25 a 0,33CV

Tensão de Alimentação: 220/380 V

Corrente: 1,44/0,834 A

Rotação: 1740 RPM

A ligação do motor foi feita conforme as ligações abaixo para 220 V:





Acoplado ao motor o redutor:

Modelo: MOD65A51

Redução: 1X40

Tipo: 6105 V

Para realizar os testes do modelo foi necessário determinar a frequência de trabalho final para o redutor pela movimentação do motor. Foi feito um comparativo na frequência que o motor trabalhava e através dessa calculada a rotação final que o redutor executava. O redutor tinha a transmissão de 1:40, para se determinar as velocidades que o redutor executaria foi dividida a rotação do motor por 40. Isto gerou os seguintes valores:

Frequência	Rotação do Motor	Rotação do Redutor
60 Hz	1740 RPM	43,5 RPM
50 HZ	1450 RPM	36,25RPM
40 HZ	1160 RPM	29 RPM
30 HZ	870 RPM	21,75RPM
20 HZ	580 RPM	14,5 RPM
10 HZ	290 RPM	7,25 RPM

Como o ciclo de funcionamento da onda corresponde a uma subida e a uma descida do eixo do redutor foi determinado quantas voltas o dispositivo fazia por segundo determinando a frequência ideal para os testes. Para isso foi dividida a RPM por 60 s para se achar o valor em volta por cada segundo que é o tempo médio das ondas, assim temos que a cada segundo o redutor faz x voltas e temos os valores abaixo:

Frequência	RPM Redutor	Rotação por segundo
60 Hz	43,5	.725
50 HZ	36,25	.60
40 HZ	29	.48

30 HZ	21,75	.36
20 HZ	14,5	.24
10 HZ	7,25	.12

#### 4.4 Resultados

Após determinar a metodologia para a aquisição dos dados, foram estabelecidas frequências que ao serem variadas iam sendo avaliadas de em relação as formas de onda gerada pelo protótipo com duas bobinas que resultaram :

Para 60 Hz do motor gerando um ciclo de quase .70 voltas/s:

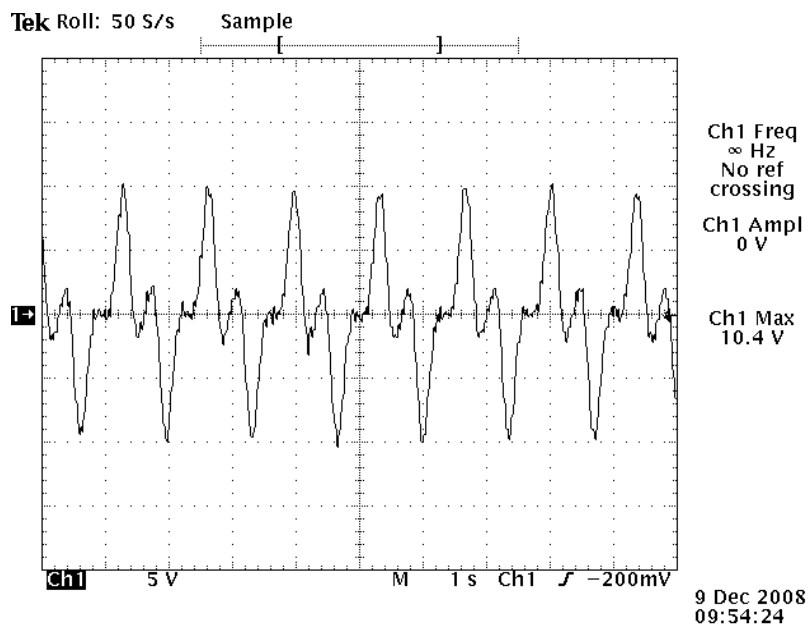


Figura 41- Geração de Tensão a 60 Hz

Para 50 Hz do motor gerando um ciclo de quase .60 voltas/s:

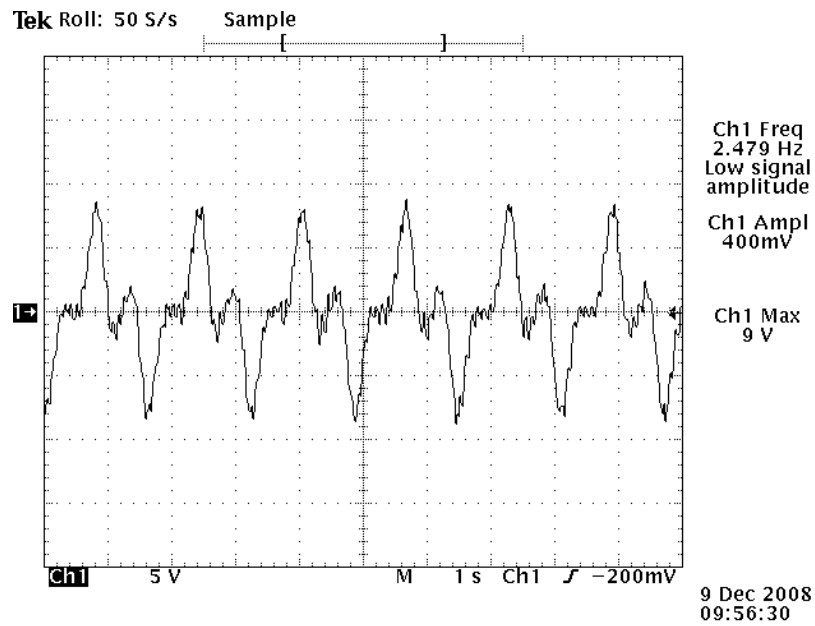


Figura 42- Geração de Tensão a 50 Hz

Para 40 Hz do motor gerando um ciclo de quase .48 voltas/s::

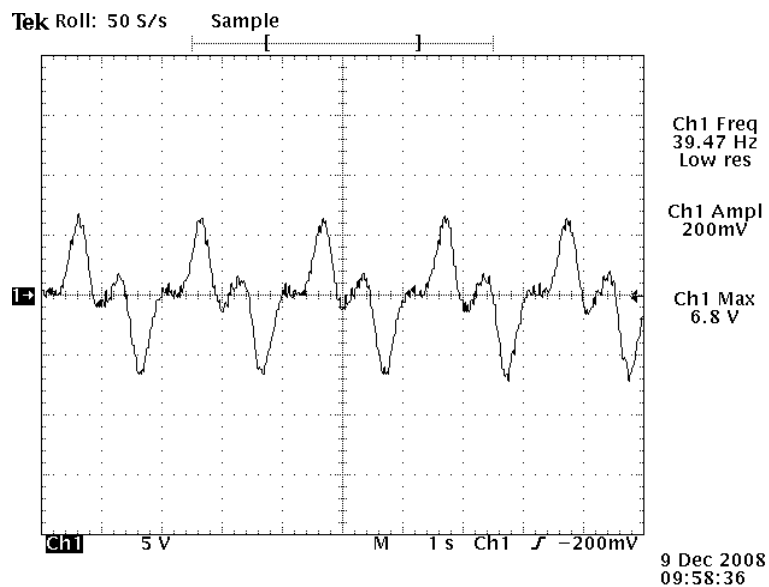


Figura 43- Geração de Tensão a 40 Hz

Para 30 Hz do motor gerando um ciclo de quase .36 voltas/s:

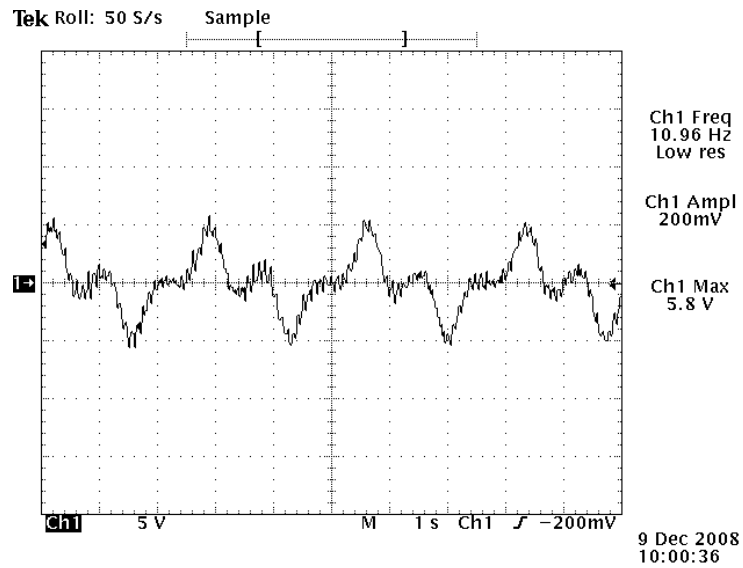


Figura 44- Geração de Tensão a 30 Hz

Para 20 Hz do motor gerando um ciclo de quase .24 voltas/s:

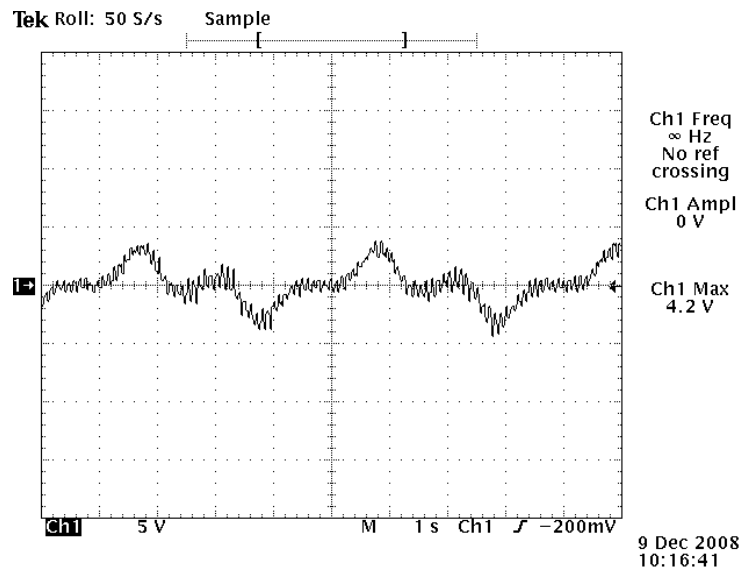


Figura 45- Geração de Tensão a 20 Hz

Para 10 Hz do motor gerando um ciclo de quase .12 voltas/s:

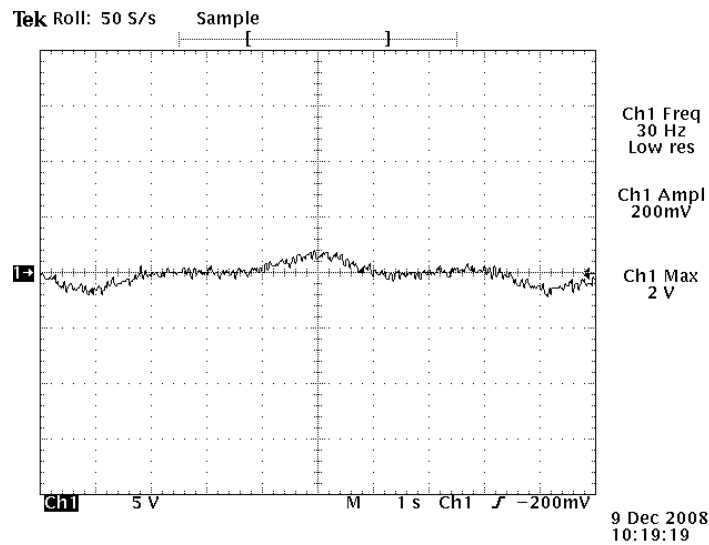


Figura 46-Geração de Tensão a 10 Hz

Como era necessário uma oscilação de 1 a 6 segundos, a frequência de 40 Hz se mostrou a mais indicada para a simulação de geração de energia pois representava a média do tempo existente nas ondas da região sul. Como um resultado não satisfatório se observou que as bobinas estavam através da mutua indução causando perdas de energia uma em relação a outra. Assim foi tirada uma das bobinas para tornar o modelo mais eficiente.

O curso do modelo era de 115 mm de curso, que em escala demonstrou que é possível variar em até 1 metro esta distância num ciclo que vai de um a seis segundos, que é a média do período das ondas no litoral brasileiro o que possibilita a construção de modelos maiores para aquisição de maior corrente e tensão.

O protótipo teve o seu desempenho avaliado com cargas resistivas obtendo-se o máximo de potência, para 44  $\Omega$  de carga, de 143 mW.

O campo magnético do ímã foi quantificado por meio de medições, simulações e cálculos analíticos definindo-se assim a distância máxima de afastamento da bobina ao ímã em 15 mm, pois acima desse valor o campo cai muito de rendimento.

A potência foi definida ao se usar a formula:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Onde: P é a potência em W; U a tensão em V; R é a resistência em  $\Omega$ .

Tabela 7- Valores da potência

IMPEDÂNCIA	VOLTS	POTÊNCIA
198 $\Omega$	4	0,0808081 W
176 $\Omega$	3,9	0,0864205 W
154 $\Omega$	3,8	0,0937662 W
132 $\Omega$	3,65	0,100928 W
110 $\Omega$	3,51	0,1120009 W
88 $\Omega$	3,3	0,12375 W
66 $\Omega$	2,95	0,1318561 W
44 $\Omega$	2,51	0,1431841 W
22 $\Omega$	1,7	0,1313636 W

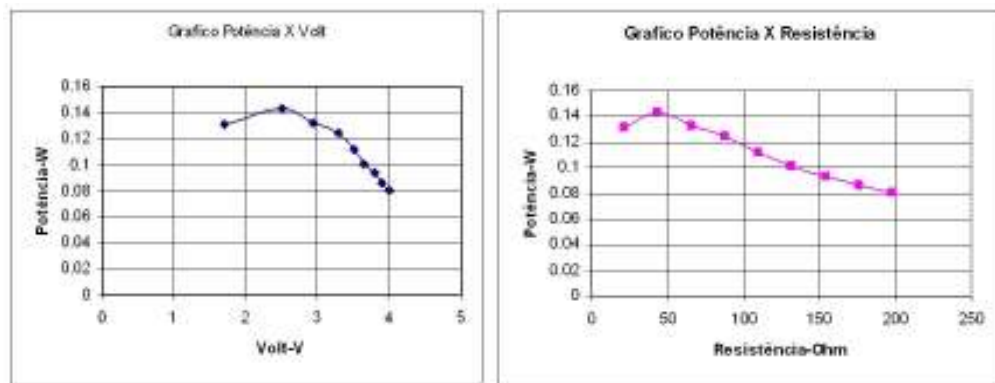


GRÁFICO 6- Valores comparativos da potência gerada

O protótipo foi montado com uma e duas bobinas e os melhores resultados na geração com uma onda simétrica se deram com o modelo montado com apenas uma bobina conforme podemos observar:

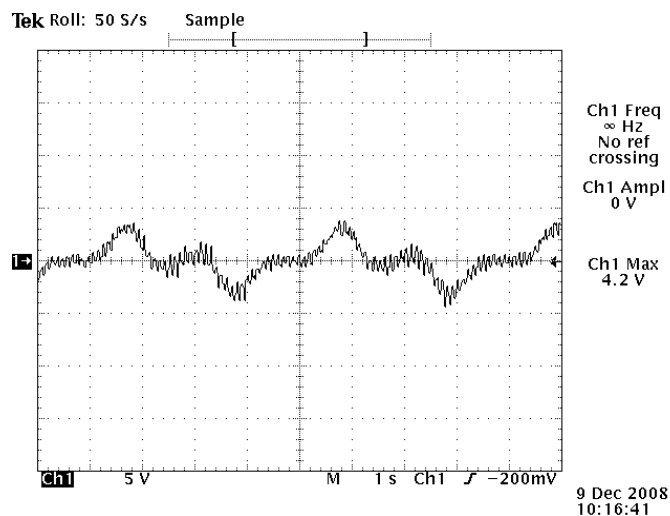


Figura 47-Modelo montado com 2 bobinas

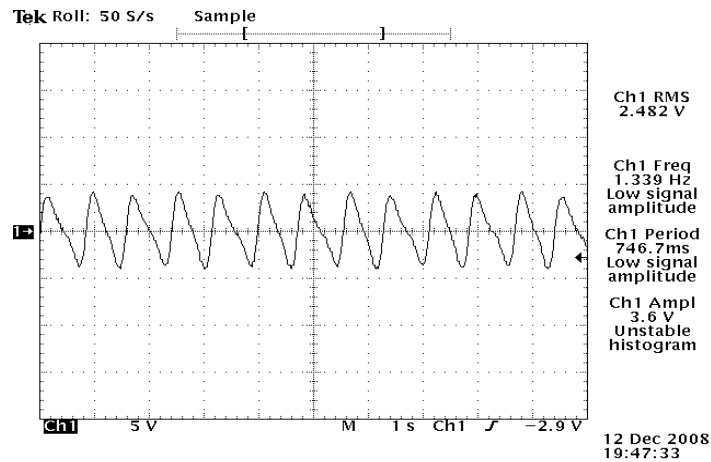


Figura 48- Modelo montado com 1 bobina

Com uma bobina tivemos o gráfico 7 que forneceu a corrente induzida pela potência obtida:

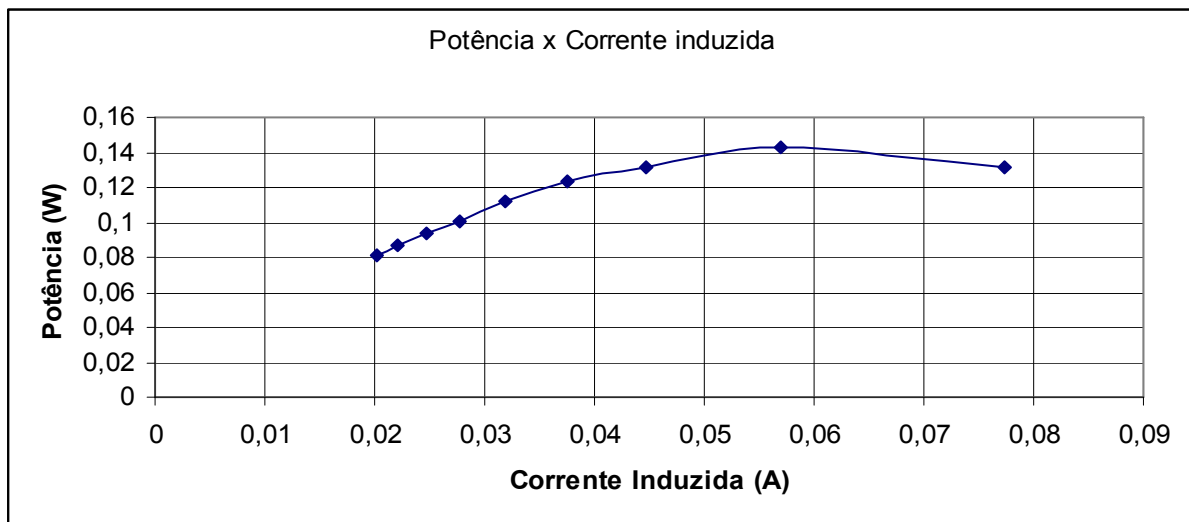


GRÁFICO 7-Valores da Corrente Induzida

#### 4.5 Problemas Encontrados

Os problemas encontrados foram:

\*Foi necessário a determinação real do campo do ímã levando-se vários dias até se montar um sensor por efeito Hall e através das aquisições gerar um gráfico sobre o fluxo do campo magnético. Isto era necessário para começar a determinação





do tipo de bobina e o quanto o campo perderia sua intensidade com a distância em relação ao ímã, pois só sabendo a distância de atuação do campo é que poderia se determinar o dimensional da bobina e começar a realizar os testes.

\*Havia muitas divergências sobre qual o dispositivo ideal que utilizaria o neodímio e as bobinas na aquisição da corrente induzida para poder utilizar essa energia para o sistema. Foi optado pelo modelo de corpo oscilante com dois bobinados que demonstraram ser ineficientes, pois a indutância mútua começou a afetar os resultados iniciais.

\*O teste final para o dispositivo foi também adaptado o que levou a um tempo maior de planejamento desde a montagem até a programação dos valores e a execução dos testes o que diminui a possibilidade de testes mais efetivos.

#### **4.6 Avaliação dos Objetivos Propostos**

Os objetivos propostos foram alcançados avaliando-se a escala 1:10 do projeto.

Foi provado que é possível gerar tensões até 20 Volts com uma oscilação média de movimentação que é típico no ciclo das ondas das ondas, e que uma carga de pequena potência pode ser alimentada pelo protótipo.

#### **4.7 Conclusões**

As principais conclusões sobre este projeto foram:

\*É necessário ao se definir o modelo inicial, um referencial como o valor do campo do ímã para não gerar erros de projeto, pois as perdas são exponenciais com a distância;

\*Baseando-se nas leis de Faraday é possível desenvolver um gerador pelas ondas do mar uma vez que são geradas correntes induzidas no circuito, decorrente da movimentação do ímã como era esperado;

\*O protótipo se mostrou mais eficaz com uma bobina o que fica comprovado pela forma de onda de saída RMS que apresentou forma simétrica sem perdas;



\*Como o tamanho do projeto foi feito em escala 1:10, isso possibilita a geração de um modelo maior que produzirá uma corrente induzida maior;

\*A distância entre as bobinas deve ser pré-determinada. No protótipo o campo deixa de afetar o bobinado quando a uma distância de 100 mm do ímã. Essa distância deve ser respeitada para que uma bobina não seja influenciada pela outra gerando perdas no campo pela indução mútua.

\*A máxima potência se deu com valores próximos a impedância, o que foi comprovado por efeito das correntes induzidas em uma carga resistiva que variou de 198  $\Omega$  a 22  $\Omega$ , e quando a mesma aos 44  $\Omega$  que correspondem a impedância da bobina foi mantida uma potência de 0,145 W que correspondeu a máxima nas medições executadas.



## 5 REFERÊNCIAS

- [1.] DIRECTOR, Stephen W. Circuitos Elétricos. Tradução de Jose Fabiano da Rocha, São Paulo. Livros Técnicos e Científicos editora S.<sup>a</sup>, 1980. 662p.
- [2.] “The Power of Waves. The Future of Energy.” *Ocean Power Technologies*, <http://www.oceanpowertechnologies.com>, (current 1 Dec. 2005).
- [3.]Univ. of Michigan: College of Engineering, “Wave Energy Conversion,” *Department of Naval Architecture and Marine Engineering*,[http://www.engin.umich.edu/dept/name/research/projects/wave\\_device/wave\\_device.html](http://www.engin.umich.edu/dept/name/research/projects/wave_device/wave_device.html),(current 1 Dec. 2005).
- [4.] “Archimedes Wave Swing: Theory,” *Ocean Power Technologies*, <http://www.waveswing.com>, (current 1 Dec. 2005).
- [5.] “Waves and Swell,” NOAA Library’s Oceanic and Atmospheric Sciences, <http://www.lib.noaa.gov/docs/windandsea6.html#waves>, (current 1 Dec. 2005).
- [6.]Chris Carroll, “In Hot Water,” *National Geographic*, vol. 208, no.2, Aug. 2005, pp. 72-85.
- [7.] “Marine Energy Challenge,” *The Carbon Trust*, <http://www.thecarbontrust.co.uk>,(current 1 Dec. 2005).
- [8.] Scottish Enterprise, 2005, Marine Renewable (Wave and Tidal) Opportunity Review (available online), (
- [9.] João MBP Cruz e António JNA Sarmiento, Energia das Ondas: Introdução aos Aspectos Tecnológicos, Econômicos e Ambientais, Instituto do Ambiente (ISBN 972-8577-11-7), 2004.
- [10.] António JNA Sarmiento, Ana MC Brito e Melo, Potential and Strategy for the development of wave energy in Portugal, Internal Report, Wave Energy Centre, p.12, 2005
- [11.] BERNSHTEIN, L.B. - Tidal Energy for Electric Power Plants.1965, Jerusalem, Ed. Israel Program for Scientific Translation Ltd.



[12.] GREENBERG, D. A. - Modeling Tidal Power. Scientific American. USA, Set. 1987, p. 106 - 11

[13.] Notas de aula do Curso de Sistemas Fluidos Mecânicos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp.

[14.] FURASTÊ, Pedro Augusto. Normas Técnicas para o Trabalho Científico. Explicação das Normas. da ABNT. 12 ed. Porto Alegre : s.n., 2003

<http://www.scottishEnterprise.com/sedot.com.home.htm>

[http://homepages.cae.wisc.edu/~vining/JVining\\_WaveEnergyConversion.pdf](http://homepages.cae.wisc.edu/~vining/JVining_WaveEnergyConversion.pdf)

<http://www.fisica.ufs.br>

<http://www.weg.net>.



## 6 GLOSSÁRIO

**Força Coercitiva:** É a força necessária para um ímã ser desmagnetizado. É usado ainda para calcular a força necessária para a magnetização. Um material de alta coercitividade é mais difícil de ser magnetizado do que um de baixa coercitividade. A força coercitiva ou coercitividade é expressa em Oersteds (Oe).

**Força desmagnetizante:** É a intensidade de campo magnético  $H$  aplicada na polaridade oposta da força magnetizante usada para magnetizar um ímã.

**Desmagnetização:** A redução parcial ou completa da indução residual de um ímã ou um dispositivo magnético.

**Densidade de Fluxo:** O campo magnético presente no num ponto no ar expresso em Tesla (T) ou Maxwells por unidade de área..

**Força Coercitiva Intrínseca ( $H_{ci}$ ):** É a intensidade de força de força desmagnetizante necessária para reduzir a remanência de um ímã a zero. Esse fator é utilizado para a determinação da força necessária para a desmagnetização de ímãs orientados ou de terras raras (Sm-Co, Nd-Fe-B).

**Domínios Magnéticos:** Os dipolos magnéticos unitários de tamanho molecular, os quais definem as características magnéticas de um ímã.

**Tratamento Magnético:** O ato de reduzir a indução magnética residual de tal forma que uma densidade de fluxo desejada seja atingida em um gap ou entreferro, também conhecido como estabilização magnética.

**Indução Magnética:** O campo magnético gerado em um ímã ou em um material ferromagnético quando uma força magnetizante ( $H$ ) for-lhes aplicada. O valor obtido depende da permeabilidade do material e do nível de campo aplicado. A indução magnética é expressa em Tesla (T).



**Saturação Magnética:** A condição pela qual todo o material de um ímã é totalmente magnetizado, e virtualmente todos os domínios magnéticos estejam alinhados na mesma direção. Quando um ímã não está totalmente saturado, alguns dos domínios magnéticos não estão alinhados ao longo do eixo principal do material.

**Força de Magnetização:** O valor do campo magnetizante aplicado a um material. Muitas vezes são chamadas de “H de pico”. A força de magnetização é expressa em Oersteds (Oe).

**Permeabilidade:** É a relação  $B/H$ , a razão entre indução magnética gerada em um material por uma dada força magnetizante. A indução que seria produzida no vácuo pela mesma força. É importante lembrar que a permeabilidade relativa do ar e do vácuo é igual a 1, ou unitária. A permeabilidade do ferro doce é da ordem de dezenas de milhares.

Um material pode ser classificado pela sua permeabilidade como:

- a) Ferromagnético: quando sua permeabilidade for  $> 1$ , como por exemplo, ferro, aço, aço silício.
- b) Paramagnético: quando sua permeabilidade for  $= 1$ , como por exemplo, latão, cobre, estanho, madeira, papel, plásticos e alumínio.
- c) Diamagnéticos: quando sua permeabilidade for  $< 1$ , como por exemplo cobalto.

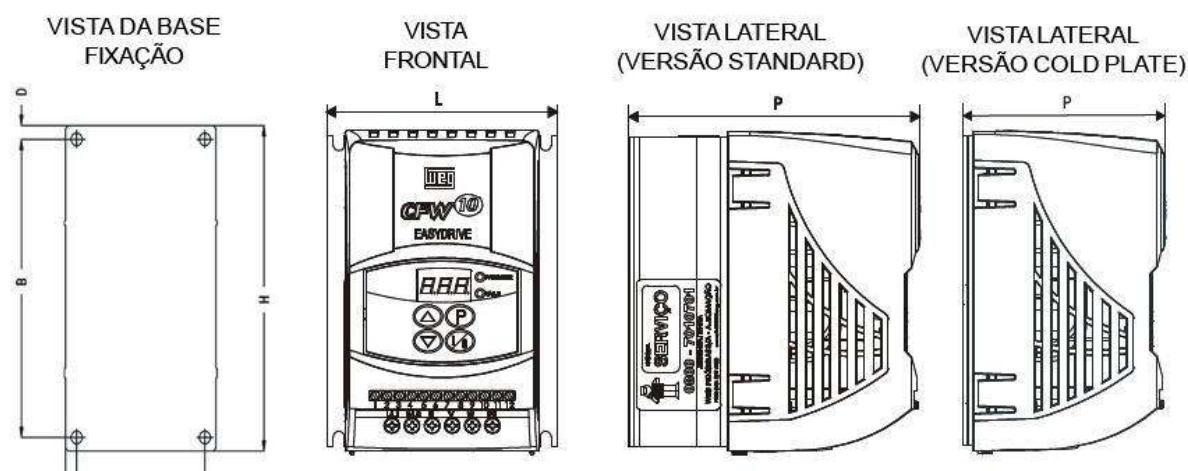
**Relutância:** É a oposição oferecida ao campo magnético em um circuito magnético, similar à resistência em um circuito elétrico. Um circuito de baixa relutância como ferro ou aço, pode conduzir um campo magnético com facilidade, enquanto que uma alta relutância, como o ar, apresenta um alto grau de resistência no caminho magnético.

**Remanência:** O campo magnético remanescente em um circuito magnético após a força magnetizante ter sido removida. Se houver um gap de ar ou entreferro no circuito magnético, a remanência será menor que a indução residual.

**Indução Residual ( $B_r$ ):** A indução magnética remanescente em um material após a força magnetizante ter sido removida, mas com o ímã em um circuito fechado sem gap de ar ou entreferro e nenhuma força desmagnetizante exercida sobre o material. A indução residual é expressa em Gauss (Gs).

## APÊNDICE A – DADOS DO INVERSOR

O modelo desse inversor se chama CFW 10. Ele é o modelo aqui exposto:



E suas dimensões relativas são de acordo com o que é definido abaixo:

Modelos	Dimensional			Base de Fixação				Parafuso para Fixação	Peso [kg]	Grau de Proteção
	Largura L [mm]	Altura H [mm]	Profundidade P [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]			
MONOFASICOS										
1,6 A / 200-240 V	95	132	121	85	120	5	6	M4	0,9	IP20

Para dados mais relativos a programação acessar o site da Weg conforme referência.

Ao se teclar na interface um led é aceso relativo ao parâmetro e para acréscimo dos valores se clica na flecha de subida para o aumento e na de descida para diminuir e assim foram simuladas as frequências.

Os Parâmetros do inversor que necessitavam de programação eram :

P000-Parâmetro que permite programação quando colocado o valor 5.

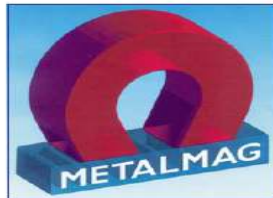
P003-Corrente de saída do motor. -Deixado em até 1,6 A

P104-Rampa 0-Inativa

P133-Frequência Mínima.-Deixado em 0 Hz

P144-Frequência Máxima.-Oscilando entre 60 e 10 Hz para testes.

## ANEXO A – DADOS DO FORNECEDOR



### Ímãs Permanentes de Neodímio-Ferro-Boro "Terras-Raras"

Cilindros	
Diâmetro	Altura (*)
3,00	1,60 (§)
3,00	2,00
3,00	8,50
4,00	1,60 (§)
4,00	2,00 (§)
4,00	4,00
4,00	5,00
5,00	3,00
6,00	2,00
6,00	6,00
6,35	6,35
6,35	10,00
8,00	4,00
9,52	6,35
10,00	3,00
11,00	5,20
12,70	6,35
15,00	3,00
16,00	5,00
20,00	8,00
22,00	10,00
25,00	7,00
30,00	12,00
48,00	10,00
73,00	10,00

Dimensões: milímetros - Tolerâncias: +/- 0,1 mm  
(\*) = Orientação Magnética no sentido desta dimensão  
(§) = Itens que saíram de linha

*Veja no verso a tabela de anéis e blocos*





## ANEXO B – DADOS DO FORNECEDOR

Anéis		
Diâmetro Externo	Diâmetro Interno	Altura (*)
8,55	3,50	1,20
9,40	3,00	1,20
9,50	3,50	1,50
11,50	3,50	1,50

Dimensões: milímetros - Tolerâncias: +/- 0,1 mm  
(\*) = Orientação Magnética no sentido desta dimensão  
(§) = Itens que saíram de linha

Blocos		
Altura (*)	Largura	Comprimento
3,00	10,00	16,00
4,00	10,00	16,00
5,00	15,00	25,00
6,00	15,00	30,00
8,00	20,00	44,00 (§)
8,00	25,40	25,40
10,00	20,00	25,00 (§)
10,00	25,40	25,40
12,70	25,40	25,40

Dimensões: milímetros - Tolerâncias: +/- 0,1 mm  
(\*) = Orientação Magnética no sentido desta dimensão  
(§) = Itens que saíram de linha

Consulte, também, Ímãs Permanentes de

- ✓ Samário-Cobalto (Terras-Raras)
- ✓ AlNiCo
- ✓ Ferrite

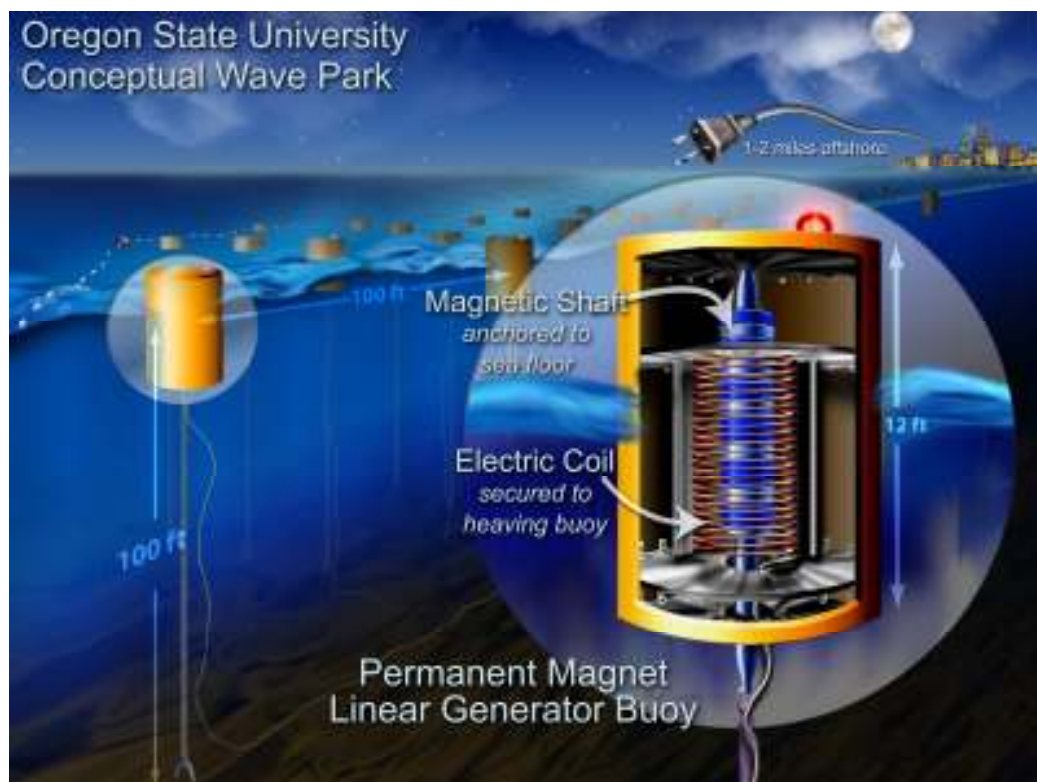
**ANEXO C – DADOS DO FORNECEDOR****Especificações :****Ímã:** NdFeB (Neodímio, Ferro, Boro)

Tipo: N 35/Tratamento superficial: Níquel/Magnetização: Bipolar axial

Tipo	Remanência Br	Força Coercitiva bHc	Força Coercitiva Intrínseca iHc	Produto Energético Máximo (BH)máx	Temperatura de trabalho
	kG	kOe	kOe	MGOe	°C
N35	12.1	10.9	12.0	35	80
N42	13.2	11.6	12.0	42	80
N48	14.1	10.5	11.0	48	80

Dimensão	Tipo	1 a 100	Dimensão	Tipo	1 a 100	Dimensão	Tipo	1 a 100	Dimensão	Tipo	1 a 100
Ø2x1,5	N35	R\$ 0,24	Ø8x5	N35	R\$ 1,72	Ø18x10	N35	R\$ 9,01	16x10x4	N35	R\$ 5,65
Ø2x3	N35	R\$ 0,38	Ø8x10	N35	R\$ 4,20	Ø 20x5	N35	R\$ 5,25	18x18x4	N35	R\$ 5,99
Ø3x1	N35	R\$ 0,24	Ø9,5xØ3,5x1,5	N35	R\$ 2,40	Ø 20x6	N35	R\$ 6,29	19x12,5x6,3	N35	R\$ 6,39
Ø3x1,5	N35	R\$ 0,24	Ø 9,52x6,35	N35	R\$ 2,43	Ø 20x20	N42	R\$ 16,26	19x14x5	N35	R\$ 6,39
Ø3x2	N35	R\$ 0,29	Ø10x2	N35	R\$ 1,10	Ø 20x30	N42	R\$ 21,77	20X4x2	N42	R\$ 3,46
Ø3x2,5	N35	R\$ 0,38	Ø10x3	N35	R\$ 1,29	Ø22x3	N35	R\$ 4,01	22,5x18,5x3,4	N35	R\$ 10,18
Ø3x3	N35	R\$ 0,38	Ø10x4	N35	R\$ 1,91	Ø22x10	N35	R\$ 14,67	25x6x3	N35	R\$ 2,03
Ø3x8	N35	R\$ 0,81	Ø10x5	N35	R\$ 2,38	Ø22x10	N42	R\$ 13,88	25x7x2,5	N36	R\$ 2,03
Ø4x1,5	N35	R\$ 0,24	Ø11x1,5	N35	R\$ 1,19	Ø22x6,35x10	N35	R\$ 13,88	25,4x6,35x1,6	N35	R\$ 2,98
Ø4x2	N35	R\$ 0,24	Ø11x5	N35	R\$ 2,38	Ø22x6,35x10	N42	R\$ 14,81	25,4x25,4x12,7	N35	R\$ 74,74
Ø4x4	N35	R\$ 0,67	Ø11x10	N35	R\$ 4,67	Ø23,5x2,5	N35	R\$ 6,15	30x20x10	N35	R\$ 26,50
Ø4,1x5	N35	R\$ 0,57	Ø12x4	N35	R\$ 2,10	Ø24,5X2,5	N35	R\$ 5,15	30x20x10	N42	R\$ 31,81
Ø4,5x15	N35	R\$ 1,67	Ø12,5x2	N35	R\$ 1,38	Ø25x10	N35	R\$ 18,39	35x8x4	N35	R\$ 7,40
Ø5x1,5	N35	R\$ 0,38	Ø12,7x6,35	N35	R\$ 7,44	Ø28X14X3	N42	R\$ 17,15	40x20x10	N35	R\$ 35,40
Ø5x2,5	N35	R\$ 0,57	Ø13x4	N35	R\$ 1,96	Ø 30x10	N42	R\$ 19,93	40x20x5		R\$ 18,67
Ø5x3	N35	R\$ 0,48	Ø13x5	N35	R\$ 3,29	Ø 40x5mm	N35	R\$ 19,29	40x25x5		R\$ 20,27
Ø6X2	N35	R\$ 0,62	Ø13x6	N35	R\$ 4,01	Ø 50X15mm	N35	R\$ 39,84	48x22x3	N35	R\$ 18,67
Ø6X2	N42	R\$ 1,10	Ø13x6	N42	R\$ 4,67	Ø 60x15mm	N35	R\$ 177,02	45x45x20	N35	R\$ 78,68
Ø6X3	N35	R\$ 0,52	Ø14x1,5mm	N35	R\$ 1,38	Ø60X20	N35	R\$ 240,00	50x9x9	N35	R\$ 18,20
Ø6X3	N42	R\$ 2,00	Ø14x14	N42	R\$ 7,87	Ø108X78X5,85	N35	R\$ 118,02	50x20x7	N35	R\$ 28,86
Ø6X5	N35	R\$ 0,86	Ø15x3	N35	R\$ 3,19	Ø110xØ80x6	N35	R\$ 111,07	50x20x10	N42	R\$ 32,40
Ø6x6	N35	R\$ 1,19	Ø15x5	N35	R\$ 4,77				50,8X50,8X25,4	N35	R\$ 157,35
Ø6x10	N35	R\$ 1,76	Ø15xØ4x3	N35	R\$ 4,34	12x4x2	N35	R\$ 0,70	60x6x1,5	N35	R\$ 7,78
Ø6,35x6,35	N42	R\$ 1,86	Ø16X5	N35	R\$ 5,29	12x4x2	N42	R\$ 0,84	60x10x5	N35	R\$ 28,11
Ø7,5x2,5	N35	R\$ 0,67	Ø17,5x2,5	N35	R\$ 3,62	12x5,75x3,75	N35	R\$ 1,05	70x20x10	N35	R\$ 53,22
Ø8X1,5	N35	R\$ 0,81	Ø18x2	N35	R\$ 3,43	15x4x3	N35	R\$ 3,40	73x6x6	N35	R\$ 15,58
Ø8X4	N35	R\$ 1,62	Ø18x4	N35	R\$ 4,26	16x3x1	N35	R\$ 0,70	150x50x30	N35	R\$ 485,95

## ANEXO D – MODELO DA UNIVERSIDADE DO OREGON



## ANEXO E-DATASHEET LM 7805 E AD22151

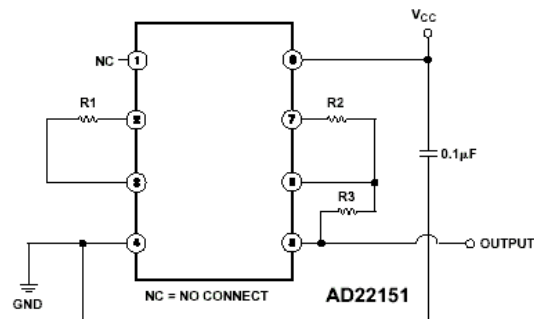


Figure 1. Typical Bipolar Configuration with Low (< -500 ppm) Compensation

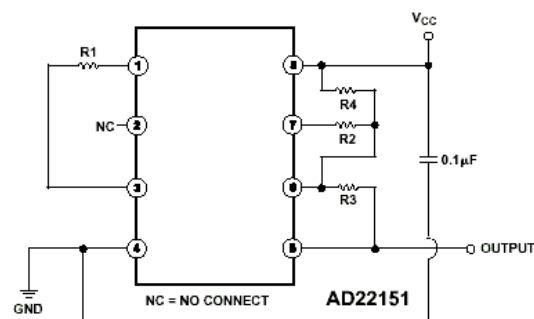
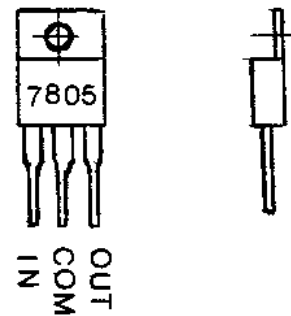


Figure 2. Typical Unipolar Configuration with High ( $\approx -2000$  ppm) Compensation



**OBS:NO CASO O MODELO ESCOLHIDO FOI O UNIPOLAR**