

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE CORRENTES OCEÂNICAS NO
LITORAL SUL DO BRASIL**

ANDREA FISCHER

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Porto Alegre, fevereiro de 2014.

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. Luiz Emílio de Sá Brito de Almeida da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e co-orientado pelo Prof. Dr. Alexandre Beluco da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradecimentos

Ao orientador Luiz Emílio, pelos ensinamentos, pelos conselhos e pela paciência nas minhas indecisões.

Ao co-orientador Alexandre Beluco, pelo apoio e novas ideias adicionadas a tese.

Ao colega Jones, por tudo o que me ensinou no uso do Homer e principalmente pela conversa amiga que faz a vida ficar melhor.

Ao professor e amigo Lauro Calliari, por viabilizar contatos que enriqueceram o trabalho da tese e por me mostrar o que é ser um verdadeiro orientador.

Ao prof. Dr. Osmar Möller, do Laboratório de Oceanografia Física da FURG, pela confiança depositada e pelos dados que foram imprescindíveis para a conclusão deste trabalho.

Ao colega, Prof. Claudio D'Elia Machado por toda a ajuda e empenho com os trabalhos efetuados no MatLab.

Aos colegas da Eletromecânica – IFSul/Campus Pelotas, que me ajudaram nas substituições de aulas e troca de horários sempre que precisei.

A Prof^a. Angela Maestrini pela condução aos meus primeiros passos no mundo da pesquisa científica.

A todos os professores que passaram pela minha vida escolar e acadêmica, pois sem eles eu não teria chegado até aqui.

Aos familiares e amigos, pelo apoio e palavras dadas.

Meu especial agradecimento ao Sandro por acreditar em mim.

Dedico este trabalho ao meu amado filho Leonardo, representação mais próxima das gerações futuras.

A Deus, que me acompanha em todos os momentos.

Resumo

Os oceanos podem ser uma alternativa estratégica para obtenção de suprimentos energéticos, com recursos provenientes de ondas, correntes e marés. Como o Brasil possui uma costa de aproximadamente 9000km, a geração de energia através dos oceanos pode ter um impacto positivo no sistema de abastecimento de energia elétrica. A geração de energia elétrica através de correntes oceânicas ainda está em desenvolvimento. O objetivo deste trabalho é de caracterizar as correntes oceânicas e analisar o seu potencial energético no Litoral Sul do País e verificar quais as tecnologias que estão em desenvolvimento ao redor do mundo, bem como efetuar simulações com o *software* Homer estabelecendo limites de pré-viabilidade para inserção das energias de correntes e ondas oceânicas. Os dados analisados são das regiões de Tramandaí, Rio Grande e Santa Catarina. Foram determinadas as direções predominantes e a relação entre estas direções com os ventos da região. Para cada período sazonal foram verificadas as intensidades, sendo que os valores máximos de velocidade raramente ultrapassam 1,0m/s e as médias não são superiores a 0,28m/s. Modelagem estatística foi inserida ao trabalho utilizando a distribuição de Weibull e determinação dos seus coeficientes, de forma a proceder-se à análise para as estimativas do comportamento das correntes, baseadas no período em que foram realizadas as medições. Para a região de Tramandaí, o potencial energético a partir das correntes oceânicas mostrou um valor máximo de 4,10W/m² para o inverno e um valor médio anual de 3,00W/m². Ainda nesta região, comparando o potencial energético das correntes com o potencial das ondas é possível verificar que as ondas têm um maior potencial energético. Na região de Rio Grande, o potencial energético é maior quando comparado às outras regiões, com 11,25W/m². Já para a região de Santa Catarina o maior potencial verificado foi de 7,10W/m². As simulações efetuadas com o *software* Homer permitiram estabelecer limites de pré-viabilidade para a inserção das energias de correntes e ondas oceânicas. A usina de ondas mostra viabilidade em todos os cenários simulados exceto quando é considerado um preço de USD\$ 0,095 por kWh para a energia elétrica da rede e um custo de capital de USD\$ 1.110.000.000. Já a usina de correntes oceânicas mostra viabilidade para velocidades a partir de aproximadamente 1,1m/s com um custo de USD\$ 6.105.000 por turbina, ou seja, metade do valor estimado como custo de capital. Também mostrou viabilidade num cenário com velocidades a partir de 1,6m/s considerando o custo de capital inicial estimado (USD\$ 12.210.000 por turbina). Já o cenário onde foi estipulada uma velocidade de 2m/s, o custo estimado de capital poderá ser o dobro, ou seja, USD\$ 24.420.000 por turbina, sendo viável. Todos estes fatores dependem do preço da energia elétrica da rede do sistema nacional interligado.

Abstract

Oceans can be an alternative strategic to obtaining energy supplies with resources from waves, currents and tides. Brazil has a coastline with approximately 9000 km, power generation through the oceans could get a positive impact within the system power supply. The generation of electricity through ocean currents is still in development. The aim of this work is to characterize the ocean currents and evaluate its potential energy on the south coast of the country and verify which technologies are in progress around the world, in addition to implement simulations with the software Homer establishing limits of pre-viability for insertion of energy currents and ocean waves. The data of Tramandaí, Santa Catarina and Rio Grande were analysed. Were determined the predominant directions and the relationship between these directions and the winds of the regions. For each seasonal period were observed intensities and the maximum speed rarely exceed 1.0m/s and the average do not exceed 0.28m/s. Statistical modeling was inserted in the work using Weibull distribution with the determining of its coefficients, in order to proceed the analysis for estimating the behavior of the currents, based on the period in which measurements were taken. For the Tramandaí region, the potential energy from ocean currents showed a maximum value of 4.10W/m² in the winter and an average value of 3.00W/m². Even in this region, when comparing potential energy between currents and waves is possible verifying that the waves have a higher potential energy than currents. In Rio Grande region, the potential energetic is higher compared than others regions with the value of 11.25 W/m². For the region of Santa Catarina the greatest potential observed was 7.10 W/m². Simulations performed with the software Homer contributed to set pre-viability limits for the energetic integration between currents and ocean waves. The wave power station has viability in all simulated scenarios, except when it is considered a price of USD\$ 0.095 per kWh for the electricity grid and a capital cost of USD\$ 1.11 billion. Already the ocean currents plant have viability for speeds from approximately 1.1m/s at a cost of USD\$ 6,105,000 per turbine, ie, half the estimated of its capital cost. Also showed viability in a scenario with speeds from 1.6 m/s considering the estimate initial capital cost (USD\$ 12,210,000 per turbine). In the scenario where a speed was set to 2m/s the cost of capital estimated may be in double, ie, USD\$ 24,420,000 per turbine, even so this scenario is viable. All these factors depend on the price of electricity from the grid of interconnected national system.

Sumário

1. Introdução.....	10
2. Objetivos.....	14
2.1 Geral.....	14
2.2 Específicos	14
3. Correntes Oceânicas	15
3.1 Estado da Arte “Dispositivos para Aproveitamento das Correntes Oceânicas”	15
3.2 Fundamentos Teóricos sobre Correntes Oceânicas	26
4. Material e Métodos.....	32
4.1 Revisão Bibliográfica.....	32
4.2 Análise dos dados de correntes oceânicas	32
4.3 Análise do potencial energético de ondas oceânicas	38
4.4 Uso do <i>software</i> Homer para análise da viabilidade técnica e econômica de geração de energia elétrica a partir de usina de correntes e de ondas oceânicas.	39
5. Resultados e Discussão.....	46
5.1 Estudo das características das correntes	46
5.2 Potencial energético das correntes	65
5.3 Potencial energético das ondas	77
5.4 Simulação do sistema de energia através do <i>software</i> Homer.....	84
5.4.1 Recursos Energéticos.....	84
5.4.2 Demanda Elétrica para o litoral norte do Estado.....	89
5.4.3 Turbinas de Correntes Oceânicas	90
5.4.4 Usina de geração a partir de ondas oceânicas.....	91
5.4.5 Sensibilidades inseridas nos sistemas de simulação.....	93
5.4.6 Análise das simulações dos sistemas de energia.	96
6. Conclusões	104
7. Recomendações	109
8. Referências Bibliográficas.....	110

Lista de Tabelas

Tabela 3.1	Características principais das turbinas de eixo horizontal.....	17
Tabela 3.2	Características principais das turbinas de eixo vertical.....	20
Tabela 3.3	Características principais dos hidrofólios oscilantes.....	21
Tabela 3.4	Características principais das turbinas no interior de tubos Venturi.	24
Tabela 3.5	Características principais de projetos para aproveitamento de energia de correntes.....	25
Tabela 4.1	Dados de Correntes – anos de 1995 e 1996.....	33
Tabela 4.2	Curva de Potência – Turbina Evopod, em kW.....	44
Tabela 4.3	Preço da energia elétrica do sistema nacional interligado.....	45
Tabela 5.1	Resultados dos dados de velocidade de corrente/cota 5 m, região de Tramandaí, (1995/1996).....	51
Tabela 5.2	Resultados dos dados de velocidade de corrente/cota 15 m, região de Tramandaí (1995/1996).....	51
Tabela 5.3	Dados dos histogramas de velocidade das correntes, região de Tramandaí.....	52
Tabela 5.4	Resultados dos dados de corrente/cota 9 m, região de Tramandaí (Verão/1963).....	59
Tabela 5.5	Médias sazonais das velocidades e do potencial energético (densidade de potência) para as correntes oceânicas na região de Tramandaí (cota 5m).....	76
Tabela 5.6	Médias sazonais das velocidades e do potencial energético (densidade de potência) para as correntes oceânicas na região de Tramandaí (cota 15m).....	76
Tabela 5.7	Médias das velocidades e do potencial energético (densidade de potência) para as correntes oceânicas na região de Rio Grande.....	76
Tabela 5.8	Médias das velocidades e do potencial energético (densidade de potência) para as correntes oceânicas na região de Santa Catarina.	77
Tabela 5.9	Valores médios mensais de altura significativa, período de energia e potência.....	81
Tabela 5.10	Valores médios sazonais de altura significativa, período de energia e potência.....	82
Tabela 5.11	Médias sazonais das alturas significativas (Hs), dos períodos de energia (Te) e do potencial energético (P) das ondas do mar para o litoral do RS (Dados NOAA/2009).....	83
Tabela 5.12	Média sazonal da demanda elétrica do litoral Norte segundo as estações do ano.....	90

Lista de Figuras

Figura 3.1	Exemplo de perfil hidrodinâmico e turbina analisadas no laboratório de pesquisa ISEP junto ao Colégio de Engenharia da Universidade de Buenos Aires.....	23
Figura 3.2	Resultados de testes hidrodinâmicos com diferentes configurações de turbinas e de diferentes geometrias de Venturis.....	24
Figura 4.1	Localização dos fundeios (Regiões de Rio Grande, Tramandaí e Santa Catarina).....	32
Figura 4.2	Local de Estudo e localização da zona de fundeio.....	34
Figura 4.3	Localização do ondógrafo – Rio Grande.....	38
Figura 4.4	Relação conceitual entre simulação, otimização e análise de sensibilidade.....	40
Figura 4.5	Exemplo da tela do <i>software</i> Homer para a entrada de dados.....	44
Figura 5.1	Rosas de Corrente (cota 5 m, velocidades em m/s): (a) Primavera/95, (b) Verão/96 e (c) Inverno/96.....	46
Figura 5.2	Rosas de Corrente (cota 15 m, velocidades em m/s): (a) Primavera/95, (b) Verão/96, (c) Outono/96 e (d) Inverno/96.....	47
Figura 5.3	Rosa dos Ventos (velocidades em m/s) – (a) Fevereiro e (b) Março (1996).....	48
Figura 5.4	Rosa dos Ventos (velocidades em m/s) – (a) Abril e (b) Maio (1996).....	49
Figura 5.5	Rosa dos Ventos (velocidades em m/s) – (a) Junho e (b) Julho (1996).....	50
Figura 5.6	Rosa de correntes (cota 9 m, velocidades em m/s) - verão/63.....	50
Figura 5.7	Histograma dos dados de velocidade (cota 5 m) – Tramandaí, primavera/95.....	52
Figura 5.8	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 5m) – Tramandaí, primavera/95.....	53
Figura 5.9	Histograma dos dados de velocidade (cota 15 m) – Tramandaí, primavera/95.....	53
Figura 5.10	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, primavera/95.....	54
Figura 5.11	Histograma dos dados de velocidade (cota 5 m) – Tramandaí, verão/96.....	54
Figura 5.12	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 5m) – Tramandaí, verão/96.....	55
Figura 5.13	Histograma dos dados de velocidade (cota 15 m) - Tramandaí, verão/96.....	55
Figura 5.14	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, verão/96.....	56
Figura 5.15	Histograma dos dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, outono/96.....	56
Figura 5.16	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, outono/96.....	56
Figura 5.17	Histograma dos dados de velocidade (cota 5m) – Tramandaí, inverno/96.....	57
Figura 5.18	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 5 m) – Tramandaí, inverno/96.....	57
Figura 5.19	Histograma dos dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, inverno/96.....	58

Figura 5.20	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, inverno/96.....	58
Figura 5.21	Histograma dos dados de velocidade (cota 9 m) – Tramandaí, verão/63.....	59
Figura 5.22	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 9m) – Tramandaí, verão/63.....	59
Figura 5.23	Histograma dos dados de velocidade (15m) – Rio Grande/RS.....	61
Figura 5.24	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (15 m) – Rio Grande/RS.....	61
Figura 5.25	Histograma dos dados de velocidade (45m) – Rio Grande/RS.....	61
Figura 5.26	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (45 m) – Rio Grande/RS.....	62
Figura 5.27	Histograma dos dados de velocidade (entre 25 e 30m) – SC.....	63
Figura 5.28	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (entre 25 e 30 m) – SC.....	63
Figura 5.29	Histograma dos dados de velocidade (entre 70 e 75m) – SC.....	64
Figura 5.30	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (entre 70 e 75 m) – SC.....	64
Figura 5.31	Histograma dos dados de velocidade (entre 120 e 125m) – SC.....	65
Figura 5.32	Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (entre 120 e 125 m) – SC.....	65
Figura 5.33	Distribuição de potência em função da velocidade das correntes – Tramandaí, primavera/95, cotas 5m e 15m.....	67
Figura 5.34	Densidade de potência x Frequência Acumulada – Tramandaí, primavera/95, (A) cota 5m e (B) cota 15m.....	68
Figura 5.35	Distribuição de potência em função da velocidade das correntes – Tramandaí, verão/96, cotas 5m e 15m.....	69
Figura 5.36	Densidade de potência x Frequência Acumulada – Tramandaí, verão/96, (A) cota 5m e (B) cota 15m.....	70
Figura 5.37	Distribuição de potência – Tramandaí, outono/96, cota 15 m.....	70
Figura 5.38	Densidade de potência x Frequência Acumulada – Tramandaí, outono/96, cota 15m.....	70
Figura 5.39	Distribuição de potência em função da velocidade das correntes – Tramandaí, inverno/96, cotas 5m e 15m.....	71
Figura 5.40	Densidade de potência x Frequência Acumulada – Tramandaí, inverno/96, (A) cota 5m e (B) cota 15m.....	72
Figura 5.41	Distribuição de potência em função da velocidade das correntes – Rio Grande, profundidades de 15m e 45m.....	73
Figura 5.42	Densidade de potência x Frequência Acumulada – Rio Grande, (A) profundidade de 15m e (B) profundidade de 45m.....	73
Figura 5.43	Distribuição de potência em função da velocidade das correntes – Santa Catarina, profundidades entre 25 e 30m, entre 70 e 75m e entre 120 e 125m.....	74
Figura 5.44	Densidade de potência x Frequência Acumulada – Santa Catarina, (A) profundidade entre 25 e 30m, (B) profundidade entre 70 e 75m e (C) profundidade entre 120 e 125m.....	75
Figura 5.45	Distribuição global do nível de energia de onda a <i>offshore</i> em kW/m de altura de onda.....	79
Figura 5.46	Valores de energia das ondas, litoral sul do Estado.....	82
Figura 5.47	Médias mensais do potencial energético das ondas do mar para o litoral do RS. (dados NOAA/2009).	83

Figura 5.48	Valores Médios, Máximos e Mínimos mensais e anuais de velocidade das correntes na região de Tramandaí, ano de 1996.....	84
Figura 5.49	Série horária de dados de velocidade das correntes para a região de Tramandaí, 1996.....	85
Figura 5.50	Variação horária de velocidade de corrente para cada mês do ano..	85
Figura 5.51	Ajuste da distribuição de Weibull (série de um ano de dados), utilizando simulação no <i>software</i> Homer.....	86
Figura 5.52	Vazões médias, máximas e mínimas mensais obtidas com a utilização do programa <i>HOMER</i> através da altura significativa (H_s) e do período de energia (T_e) das ondas oceânicas da região de Tramandaí/RS.....	88
Figura 5.53	Série horária das vazões obtidas com a utilização do programa <i>HOMER</i> através da altura significativa (H_s) e do período de energia (T_e) das ondas oceânicas da região de Tramandaí/RS para o ano de 2009.....	88
Figura 5.54	Variação horária de vazões (ondas) para cada mês do ano.....	89
Figura 5.55	Demanda elétrica horária do litoral Norte do RS para o ano de 2011	89
Figura 5.56	Médias mensais da demanda elétrica do litoral Norte do RS para o ano de 2011.....	90
Figura 5.57	Turbina Evopod.....	91
Figura 5.58	Usina (protótipo) de conversão das ondas do mar desenvolvida pela COPPE e implantada no Porto do Pecém/Ceará.....	93
Figura 5.59	Trajectoria da PNboia 31911.....	95
Figura 5.60	Velocidade de deriva da PNboia 31911.....	96
Figura 5.61	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,162/kWh”.....	97
Figura 5.62	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,095”.....	98
Figura 5.63	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,223”.....	98
Figura 5.64	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,162/kWh e custo de capital da usina de ondas em USD\$ 400.000.00”.....	99
Figura 5.65	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,162/kWh e custo de capital da usina de ondas em USD\$ 1.110.000.000”.....	100
Figura 5.66	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,095/kWh e custo de capital da usina de ondas em USD\$ 1.110.000.000”.....	100
Figura 5.67	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X custo de capital da usina de ondas com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,095 e velocidade média de 1m/s”.....	101

Figura 5.68	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X custo de capital da usina de ondas com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,162/kWh e velocidade média de 1m/s”.....	101
Figura 5.69	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X custo de capital da usina de ondas com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,162/kWh e velocidade média de 2 m/s”.....	102
Figura 5.70	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X custo de capital da usina de ondas com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,095/kWh e velocidade média de 2m/s”.....	103
Figura 5.71	Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X custo de capital da usina de ondas com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,223/kWh e velocidade média de 2m/s”.....	103

Lista de Símbolos

A	Amplitude de onda (m)
A	Área de varredura do dispositivo (m ²)
AC	Água Costeira
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
a _d	Amplitude de dados da amostra
ASAP	Água Subantártica de Plataforma
ASTP	Água Subtropical da Plataforma
AT	Água Tropical ou Corrente do Brasil
C	Parâmetro de escala de Weibull
C	Celeridade (m/s)
C _{ann,tot}	Custo total anual
C _g	Celeridade de grupo (m/s)
C _{NPC}	Custo total presente líquido
C _p	Coefficiente de potência
C _{rep}	Custo de reposição do equipamento
CDE	Custo médio de energia
CRF	Fator de recuperação do capital
EMEC	European Marine Energy Centre
E _c	Energia Cinética
E _{grid,sales}	Quantidade de energia vendida para a rede de distribuição ao ano
E _{def}	Carga adiável que o sistema atende ao ano
E _p	Energia Potencial
E _{prim}	Demanda total que o sistema atende ao ano
E _t	Energia Total
F _a	Frequência acumulada
f _r	Frequência relativa
FDP	Função densidade de probabilidade
FAP	Função acumulada de probabilidade
G	Aceleração da gravidade (m/s ²)
h _q	Altura de queda (m)
H	Altura de onda (m)
H _s	Altura significativa de onda (m)
I	Taxa de juro anual

I	Intervalo de classe do histograma
K	Parâmetro de forma de Weibull
K	Número de onda
L	Comprimento de onda (m)
L_u	Comprimento da usina de ondas (m)
M	Coefficiente para cálculo da C_g (em águas rasas e profundas)
N	Número de dados da amostra
N	Número de classes do histograma
P	Densidade de potência (W/m^2)
P	Capacidade de potência nominal (W)
PCSB	Plataforma Continental Sul do Brasil
PRP	Pluma do Rio da Prata
Q	Vazão da turbina hidráulica (m^3/s)
R_{comp}	Tempo de vida útil do componente
R_{proj}	Tempo de vida útil do projeto
R_{rem}	Tempo remanescente de vida do componente
S	Valor residual
T	Período (s)
T_e	Período de energia (s)
T_s	Período Significativo (s)
V	Velocidade da corrente (m/s)
Y	Número de anos
H	Elevação da superfície livre (m)
η_t	Eficiência da turbina (%)
P	Massa específica (kg/m^3)
Φ_v	Probabilidade de ocorrência de uma velocidade no intervalo ($v+dv$)
Ω	Velocidade angular

1. Introdução

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e maneiras alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades.

Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das mais versáteis e convenientes formas de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões.

Até a década de 70, antes da crise mundial do petróleo, a geração da energia elétrica era predominantemente feita a partir da queima de combustíveis fósseis, principalmente o petróleo, o carvão mineral e o gás natural, pela maioria dos países ao redor do mundo. Até então, pesquisas e estudos referentes à busca de outras formas de tecnologias para geração de energia elétrica eram feitos de forma isolada. Mas, a partir da crise, começaram a ser discutidas alternativas para a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis e o aumento da geração de energia elétrica utilizando fontes limpas e renováveis. Novos métodos de obtenção de várias formas de energia começaram a ser pesquisados e/ou implantados ao redor do mundo, destacando-se as energias solar, hidrelétrica, eólica, de biomassa e nuclear.

No ano de 1987, o relatório produzido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento criada pela Organização das Nações Unidas tornou o conceito de “Desenvolvimento Sustentável” amplamente aceito. Esta comissão foi criada com o objetivo de minimizar as constantes ameaças aos recursos naturais que ocorrem principalmente devido ao intenso crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico inconsequente, baseado no estilo de vida atual que prega a “produção e consumo”.

O desenvolvimento sustentável pode ser definido como viver, produzir e consumir de uma maneira que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades (Twidell & Weir, 2006).

O objetivo do desenvolvimento sustentável é de alcançar melhorias, mantendo os processos ecológicos dos quais a vida depende. Tornou-se um dos princípios para orientar a política no século XXI. Em todo o mundo, políticos, empresários, ambientalistas, economistas e teólogos afirmam que o princípio deve ser aplicado a nível internacional, nacional e local.

Dentro do contexto de desenvolvimento sustentável é possível inserir o conceito de energia renovável. As Energias Renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão

da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta e se configuram como um conjunto de fontes de energia que podem ser chamadas de não-convencionais, ou seja, aquelas não baseadas em combustíveis fósseis e grandes hidroelétricas. Incluem-se nesta categoria de energia, a energia eólica, a solar e a de biomassa, que são fontes que se regeneram de forma cíclica em escala temporal reduzida (PACHECO, 2006).

Já a energia não-renovável é: "Energia obtida a partir de armazenamentos estáticos de energia que permanecem sob a terra, a menos que liberado pela interação humana". Percebe-se que a energia é inicialmente um potencial energético isolado, e uma ação externa é necessária para o fornecimento de energia para fins práticos. Exemplos são combustíveis nucleares e combustíveis fósseis de carvão, petróleo e gás natural. Para evitar o uso da palavra "não-renovável", estes suprimentos de energia podem ser chamados de fontes finitas de Energia Marrom (TWIDELL; WEIR, 2006).

Os recursos energéticos estão totalmente envolvidos em todas as atividades que propõe o desenvolvimento social e econômico. O desafio atual é: como gerar e distribuir energia elétrica dentro do contexto de desenvolvimento sustentável? O uso mundial de energia aumentou mais de dez vezes ao longo do século 20, principalmente a partir de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás) e de energia nuclear. No século 21, novos aumentos no consumo mundial de energia pode ser esperado, principalmente para a industrialização e a demanda crescentes dos países em desenvolvimento. Qualquer que seja a fonte de energia, há uma necessidade imperiosa para a geração e utilização eficientes de energia.

Os combustíveis fósseis, além dos problemas ambientais que geram, devido à emissão de CO₂, têm jazidas já escassas e finitas, por isso os padrões atuais de energia, consumo e crescimento não são sustentáveis a longo prazo.

Embora seja a terceira maior fonte geradora de eletricidade no mundo e evite a emissão de consideráveis quantidades de dióxido de carbono e outros poluentes, a energia nuclear tem sido vista mais como um perigo de autodestruição do que como uma fonte ilimitada de energia. Além da possibilidade de contaminação do solo, do ar e da água por radionuclídeos, o aquecimento das águas do corpo receptor pela descarga de efluentes também representa um risco para o ambiente local.

A energia hidrelétrica é considerada uma tecnologia limpa, entretanto, causa grandes impactos socioambientais, pois para o aproveitamento de potenciais hidráulicos para a geração de energia elétrica requer, muitas vezes, a formação de grandes reservatórios e, conseqüentemente, a inundação de grandes áreas. A contribuição da energia hidráulica na

matriz energética do Brasil, no ano de 2012, segundo o Balanço Energético Nacional (2013), foi de 84,5% de toda a energia elétrica gerada no País (ANEEL, 2013).

Uma das fontes de energia que está em fase de pesquisa e em fase experimental, mas que se mostra bastante eficaz é a energia proveniente das ondas e das correntes oceânicas, pois não utiliza combustíveis fósseis, os impactos ambientais são mínimos ou insignificantes e mostra uma grande capacidade de geração de energia durante todo o ano, com previsibilidade. Os oceanos representam grandes reservatórios de energia. Esta energia geralmente é difusa, mas, em muitos casos, é significativamente mais concentrada do que outras formas de energia renovável que já começaram a ser exploradas com sucesso na superfície da terra.

O recurso global de energia de onda em águas profundas (100m ou mais de profundidade) é estimado entre 1,0 e 10TW (PANICKER, 1976). Algumas pesquisas apontam que 5% da energia de onda total da terra são suficientes para o suprimento de 100% de energia elétrica mundial.

Especificamente em relação ao aproveitamento de energia das correntes oceânicas, algumas vantagens têm sido enumeradas pelos vários estudos já realizados, tais como: recurso renovável e autossustentável; recurso bem caracterizado, ou seja, de fácil estimativa do potencial e da previsibilidade; abundante; tecnologia limpa, significativamente livre de poluição; localização flexível – *onshore*, *nearshore*, *offshore*; independência energética local e/ou regional, eliminando a dependência de combustíveis fósseis; custo comparável ao vetor energético mais tradicional no Brasil (Laboratório de Tecnologia Submarina da COPPE/UFRJ, 2008) e por fim; não há custo de aquisição de área e desapropriações.

Segundo Ponta & Jacovkis (2007), as primeiras experiências para o aproveitamento de correntes marinhas começaram após a primeira crise do petróleo, na metade da década de 70. Em 1974, muitos conceitos foram apresentados no *MacArthur Workshop on Energy* e em 1976, um estudo feito pela *British General Electric Co.* concluiu que pesquisas mais detalhadas deveriam ser realizadas. Posteriormente um grupo denominado *ITD*, no Reino Unido, implantou um programa de pesquisas para testar o desempenho de uma turbina com rotor de 3m, do tipo Darrieus, no Nilo, cidade de Juba.

Nos anos 80 poucas contribuições ocorreram para avaliação de sistemas de energia através de correntes marinhas. Os principais países onde são verificados estudos mais avançados são o Reino Unido, o Canadá e o Japão.

Entre os anos de 1992 e 1993 foram verificados locais nas águas do Reino Unido com correntes capazes de gerar 58TWh/ano, atendendo 19% da demanda de energia elétrica do país.

Entre 1994 e 1995 um projeto denominado *EU-JOULE CENEX*, na Europa, foi feito para compilar dados e identificar aproximadamente 100 locais no ambiente marinho, com áreas variando de 2 a 200km², dos quais muitos apresentaram uma densidade de energia acima de 10MW/km².

O mais recente estudo feito pela “*Carbon Trust*” determinou que tecnicamente o Reino Unido possui um potencial de 18TWh/ano, representando 10% da fonte global de energia de correntes de maré. Mais do que 50% da fonte energética de marés está localizada em águas relativamente profundas (>40m) e em áreas expostas a condições severas de onda (www.oceanflowenergy.com).

Outros estudos feitos no Reino Unido e no oeste europeu têm identificado a existência de um recurso mundial enorme, em torno de 55000MW. Deste recurso mundial, perto de 25% é encontrado em águas europeias, e 15% em águas britânicas (www.tidalgeneration.co.uk).

Na Noruega a energia das correntes de maré pode ser uma alternativa no suplemento de energia do país. Um mapeamento estimou que a fonte de energia das marés no norte da Noruega é de mais de 2TWh. Possibilitando um consumo de 25000kWh, que é igual ao consumo anual de eletricidade de 80000 residências. Em vista disto, já existe uma extensa variedade de acordos políticos para projetos e licenças e as negociações tem sido feitas com a *Norwegian Water Resources e Energy Directorate* e a *Norwegian Coastal Administration*.

Em 2003, a Agência Internacional de Energia assinou um acordo de implantação de energia oceânica com a finalidade de promover uma cooperação internacional para o desenvolvimento de tecnologias para aproveitamento de ondas e correntes de maré oceânicas. O acordo contou com as assinaturas dos seguintes países: Canadá, Dinamarca, Irlanda, Japão, Portugal e Reino Unido. Outros países como, França, Itália, México, Nova Zelândia e Estados Unidos expressaram bastante interesse no acordo.

Alguns estudos sobre o comportamento e as características das correntes oceânicas têm sido desenvolvidos no Brasil, porém pouco se conhece sobre o potencial energético ao longo da costa marítima.

No Brasil, devido à sua situação geográfica favorável, com uma extensão de aproximadamente 9000km de costa marítima, e também devido ao crescente aumento da população nas áreas litorâneas, o aproveitamento da energia das ondas e correntes para produção de energia elétrica, pode assumir, num futuro próximo, um papel importante na produção de energia.

2. Objetivos

2.1 Geral

Analisar dados de correntes oceânicas e avaliar o potencial para geração de energia elétrica no litoral Sul do Brasil com a revisão dos principais dispositivos de conversão de energia de correntes oceânicas para energia elétrica e aplicar simulações utilizando o *software* Homer para análise da pré-viabilidade técnica e econômica para inserção das energias de correntes e ondas oceânicas.

2.2 Específicos

Analisar dados de correntes das regiões litorâneas de Rio Grande, Tramandaí e Santa Catarina em termos de direção e velocidade, utilizando modelagem estatística.

Avaliar o potencial energético de correntes oceânicas das regiões litorâneas de Rio Grande, Tramandaí e Santa Catarina.

Estudar as características técnicas dos principais dispositivos de conversão de energia de correntes oceânicas em energia elétrica.

Comparar o potencial energético das correntes oceânicas com o potencial das ondas oceânicas.

Avaliar em nível de pré-viabilidade a geração de energia elétrica a partir de correntes e ondas oceânicas, através da simulação, com o *software* HOMER.

3. Correntes Oceânicas

3.1 Estado da Arte “Dispositivos para Aproveitamento das Correntes Oceânicas”.

A energia cinética das correntes marinhas poderá ser convertida usando técnicas relativamente convencionais, seguindo princípios de extração similares aos usados em energia eólica, utilizando vários tipos de rotores abertos (EUREC AGENCY, 1996 apud PONTA; JACOVKIS, 2007). Dentre as técnicas utilizadas para exploração de correntes marinhas, a mais comum emprega uma turbina, posicionada na direção normal ao escoamento e montada sobre uma base submarina ou suspensa em uma plataforma flutuante.

Os projetos de dispositivos para o aproveitamento das correntes marinhas são uma tecnologia relativamente nova que requer um desenvolvimento com especificações que possam permitir um longo período de operação e pouca manutenção já que os dispositivos são instalados submersos em águas oceânicas. Desta forma, os passos para o desenvolvimento, ou a metodologia de projeto empregada, devem empreender a investigação de várias opções para utilização de uma tecnologia apropriada, a qual é configurada e otimizada para trabalhar submersa.

Entre os vários requisitos exigidos, o projeto de um dispositivo que irá atuar em águas oceânicas, deve considerar o rigor do ambiente marinho com ocorrência de eventos extremos, o sistema de vedação dos mecanismos do equipamento, a corrosão devido à solução salina, a existência de plantas aquáticas, a possibilidade de choques com lixo e objetos jogados ao mar e o cuidado com a vida marinha. Além disso, devido à alta densidade da água marinha, as cargas sofridas pelo dispositivo podem ser bastante grandes. Desta forma, a estrutura do equipamento deve ser ancorada e projetada para resistir às cargas sem falhas. (PONTA; JACOVKIS, 2007).

Reparos e manutenções de rotina nos sistemas de energia por correntes marinhas podem implicar no uso de embarcações auxiliares, sendo uma desvantagem em relação às turbinas eólicas. Por esta razão, medidas devem ser tomadas na fase de projeto para reduzir a frequência e simplificar os procedimentos de manutenção. Um projeto onde os mecanismos são localizados acima da superfície ou a previsão de um dispositivo para erguer a turbina acima da superfície permite o serviço em uma plataforma, simplificando a tarefa substancialmente.

Antigamente, a tecnologia disponível para construção de equipamentos para atuarem nos oceanos era precária, sendo pequena a durabilidade dos mesmos devido às severas condições do ambiente marinho. Mas os avanços da engenharia, principalmente voltados às

plataformas petrolíferas, já torna possível resolver os problemas inerentes ao severo clima marinho.

A maioria dos projetos tem um período de desenvolvimento bastante extenso, aproximadamente 10 anos, entre o projeto conceitual, a modelagem e simulação numérica, o estudo das características do local planejado para instalação, os testes com protótipos e a instalação do equipamento para devido uso.

Atualmente, o EMEC “*European Marine Energy Centre*”, lista mais de 80 tipos diferentes de dispositivos para o aproveitamento de correntes oceânicas. Alguns destes dispositivos já estão instalados gerando energia, mas a maioria está na fase de projeto conceitual ou na fase de testes em protótipo. Os principais países que estão desenvolvendo tecnologia e pesquisa nesta área são: o Reino Unido, os Estados Unidos, a Holanda e a Noruega. Outros países como a França, a Alemanha, a Austrália, o Canadá, a Nova Zelândia, a Suécia, a Espanha e a Itália, também possuem projetos em andamento.

Segundo o EMEC, os dispositivos projetados para o aproveitamento de energia das correntes oceânicas podem ser classificados pelo seu princípio de funcionamento: (a) turbinas de eixo horizontal, (b) turbinas de eixo vertical, (c) hidrofólios oscilantes, (d) turbinas instaladas no interior de dutos Venturi e (e) outros princípios distintos.

(a) Turbinas de Eixo Horizontal

O princípio de funcionamento é baseado na conversão da energia cinética das águas em energia elétrica. Esta conversão é o resultado do movimento de rotação causada pela incidência das águas nas pás da turbina, que converte a energia cinética das águas em potência mecânica rotacional no eixo do rotor. Essa potência mecânica é então transmitida ao gerador, que através de um processo de conversão, normalmente eletromecânico, produz uma potência elétrica de saída.

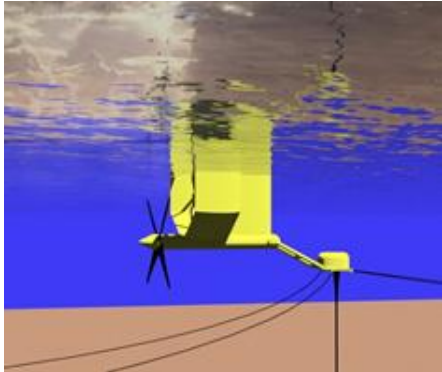

Nas turbinas de eixo horizontal, a transmissão mecânica do torque da turbina normalmente é realizada através de caixa de engrenagens. Já a conversão da energia mecânica em energia elétrica é feita através de gerador de indução ou de imã permanente, existindo casos onde se faz o uso de dínamos, tais como os usados em navios de propulsão.

O funcionamento das turbinas de eixo horizontal é muito semelhante às turbinas eólicas, mas como a água tem uma densidade cerca de 1000 vezes maior do que a densidade do ar, as pás das turbinas podem ser menores e o movimento de rotação mais lento, para uma mesma conversão de energia. Como as turbinas de eixo horizontal normalmente funcionam com baixas rotações, os riscos aos animais marinhos são pequenos.

A estrutura de sustentação da turbina poderá ser fixada ao leito marinho através de pilares, em estruturas com lastros junto ao leito ou em estruturas flutuantes ancoradas através de cabos. Para turbinas de eixo horizontal é muito comum a fixação através de um ou mais pilares. Não é tarefa fácil instalar os dispositivos no leito marinho, envolvendo perfurações que acabam acumulando materiais que, por sua vez, podem causar distúrbios na fauna e flora bentônica.

Pelas características construtivas, as turbinas de eixo horizontal requerem velocidades de fluxo acima de 1,0m/s para que possam gerar energia elétrica. Por isso, este tipo de dispositivo é o mais utilizado e o mais pesquisado em países que possuem costas com velocidades altas de corrente, tais como alguns países europeus, com destaque para o Reino Unido. O EMEC lista em torno de 40 turbinas de eixo horizontal, sendo que algumas destas turbinas já estão implantadas, outras estão na fase de testes de protótipo ou ainda na fase inicial de projeto. Na tabela 3.1, são listados 10 tipos de turbinas de eixo horizontal, com uma descrição das suas principais características.

Tabela 3.1: Características principais das turbinas de eixo horizontal

Dispositivo	Características principais
<p data-bbox="225 1111 304 1137">Evopod</p> 	<p data-bbox="758 1081 1380 1108">Desenvolvido pela empresa <i>Oceanflow Energy</i> do Reino Unido.</p> <p data-bbox="758 1113 1098 1140">Velocidade mínima do fluxo: 1 m/s.</p> <p data-bbox="758 1144 1310 1171">Diâmetro da turbina: Vários diâmetros (protótipo -1,5 m).</p> <p data-bbox="758 1176 1444 1234">Fixado através de amarradouro flexível ancorado por meio de cabos, permitindo instalação rápida.</p> <p data-bbox="758 1238 1444 1323">Testes e estudos mostraram que em um quilômetro quadrado de área no mar podem ser instaladas 39 turbinas com 1,5 m que fornecem uma saída avaliada em aproximadamente 58, 5 MW.</p> <p data-bbox="758 1328 1444 1386">2008 – Primeiro teste com protótipo na escala 1/10 em Strangford Narrows, na Irlanda do Norte.</p> <p data-bbox="758 1391 1444 1449">2012 - Planejamento para instalação de um protótipo na escala 1/4, com potência nominal de 37 kW conectado à rede elétrica.</p> <p data-bbox="758 1453 1444 1538">Patentes: Reino Unido GB 2422878; Estados Unidos 7.541,688; África do Sul 2007/3743 e Sistema de amarração, Reino Unido GB 0809127.4</p> <p data-bbox="758 1543 1369 1570">Fonte: www.oceanflowenergy.com (acesso em fevereiro/2012).</p>
<p data-bbox="225 1601 432 1628">Tidal Stream Turbine</p> 	<p data-bbox="758 1572 1428 1599">Desenvolvido pela empresa privada <i>Hammerfest Strom</i> da Noruega.</p> <p data-bbox="758 1603 1118 1630">Velocidade mínima do fluxo: 2,5 m/s.</p> <p data-bbox="758 1635 1018 1662">Diâmetro da turbina: 20 m.</p> <p data-bbox="758 1666 1380 1693">As pás são feitas de um composto reforçado com fibra de vidro.</p> <p data-bbox="758 1697 1173 1724">Profundidade para instalação: 40 a 100 m.</p> <p data-bbox="758 1729 1444 1787">Montagem no leito marinho, com três apoios e lastros para manter a estrutura, feita de tubos de aço.</p> <p data-bbox="758 1792 1444 1850">Instalação de protótipo chamado de HS300 com capacidade de 0,7 GWh por ano.</p> <p data-bbox="758 1854 1380 1881">Instalação de segundo protótipo chamado HS1000, em Orkney.</p> <p data-bbox="758 1886 1444 1944">Planejamento de instalação de 20 unidades comerciais com produção de 32 GWh por ano.</p> <p data-bbox="758 1948 1401 1975">Fonte: www.hammerfeststrom.com (acesso em novembro/2011).</p>

<p>Seagen</p> 	<p>Tecnologia desenvolvida pela Marine Current Turbines Ltd., Reino Unido.</p> <p>Velocidade mínima do fluxo: 2,4 m/s.</p> <p>Diâmetro da turbina: 15 a 20 m.</p> <p>Montagem em pilar de aço, com diâmetro de 3 m.</p> <p>Instalação de protótipo denominado Seaflow de 300 kW, em Lynmouth Devon, no Reino Unido, em 2003.</p> <p>Instalação de turbina comercial, denominada Seagen em Strangford Narrows (Irlanda do Norte), em abril de 2008, com licenciamento para trabalhar por 5 anos.</p> <p>Fonte: www.marineturbines.com (acesso em novembro/2011).</p>
<p>Open Centre Turbine</p> 	<p>Projeto desenvolvido pela empresa irlandesa OpenHydro.</p> <p>Poderá ser fabricado com diâmetros de 6 m ou de 16 m.</p> <p>A montagem no leito marinho para turbina com diâmetro de 6 m é projetada com 2 pilares. Para turbina com diâmetro de 16 m, a estrutura é feita com 3 pilares e lastro.</p> <p>Profundidade do local de instalação: 35 m.</p> <p>A primeira turbina foi instalada para testes na Escócia, em Orkney, com o apoio do EMEC em 2007.</p> <p>Em 2011, a parceria entre a empresa de energia EDF da França e o fabricante OpenHydro, após 3 anos de projeto, começaram a instalação das primeiras quatro turbinas, com 16m de diâmetro, ao largo da costa Paimpol-Bréhat, na França. A previsão para conexão com a rede elétrica é para 2012, para geração de 2MW.</p> <p>Fonte: www.openhydro.com (acesso em novembro/2011)</p>
<p>Swanturbine</p> 	<p>O dispositivo foi desenvolvido no Reino Unido. A equipe de projeto é formada através de um consórcio de 8 sócios, conduzido pela Universidade de Wales Swansea.</p> <p>Velocidade mínima do fluxo: 1,5 m/s.</p> <p>Profundidade de instalação: aproximadamente 40 m.</p> <p>Estrutura é fixada com 3 apoios e lastro, sem necessidade de perfuração do leito marinho.</p> <p>Está em fase inicial de desenvolvimento, foram feitos testes em laboratório, com protótipos nas escalas 1/50 e 1/30, na Universidade de Wales Swansea e testes com protótipo com 1m de diâmetro, devidamente instrumentado para verificação do desempenho hidrodinâmico e elétrico em diversas condições de velocidade e direção de fluxo.</p> <p>Fonte: www.swanturbines.co.uk (acesso em novembro/2011).</p>
<p>DeepGen Tidal Stream Turbine</p> 	<p>Projetado pela TGL (Tidal Generation Limited), localizada em Bristol, Reino Unido.</p> <p>Velocidade mínima do fluxo: 1,0 m/s.</p> <p>Velocidade máxima de fluxo: 3,4 m/s</p> <p>Peso turbina: aproximadamente 140 ton.</p> <p>Peso Estrutura: aproximadamente 110 ton.</p> <p>Diâmetro do rotor: 18 m.</p> <p>Profundidade de instalação: 35 a 80 m.</p> <p>Rotação: 14 RPM.</p> <p>Vida útil: 30 anos, com manutenções a cada 2 anos.</p> <p>Estrutura de fixação feita de aço com 3 apoios e lastro, com perfuração do leito marinho.</p> <p>Foram realizados testes com turbina para gerar 500 kW instalada na ilha de Orkney, Escócia desde 2010.</p> <p>Projeto futuro com turbina para 1 MW, na mesma estrutura montada em Orkney. E em (2013/2014) previsão de planta para 10 MW em águas do Reino Unido.</p> <p>O projeto prevê a remoção e a recolocação rápidas do <i>nacelle</i>, que pode ser retirada da estrutura de apoio por um mecanismo patenteado de fixação, fazendo com que a manutenção possa ser realizada em um ambiente seco.</p> <p>Fonte: www.tidalgeneration.co.uk (acesso em outubro/2012)</p>

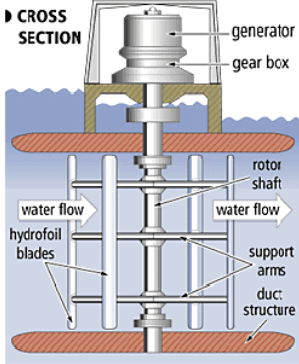

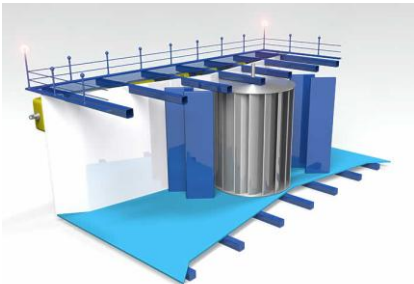
<p>RITE - Roosevelt Island Tidal Energy</p> 	<p>Projetado, a partir de 2002, pela empresa americana Verdant Power's, começando a operar na cidade de Nova Iorque, no East River, ao longo da costa leste da Ilha Roosevelt.</p> <p>Diâmetro do rotor: 5 m.</p> <p>Fixação através de pilar. O conjunto é modular com a finalidade de facilitar a montagem e desmontagem.</p> <p>De 2002 a 2006 foram realizados testes de protótipo, de 2006 a 2008 foram efetuadas demonstrações com equipamento em escala real e, de 2009 a 2012 está sendo realizada a etapa final do projeto.</p> <p>Fonte: www.verdantpower.com (acesso em novembro/2011).</p>
<p>Atlantisstrom</p> 	<p>Este dispositivo foi projetado pela empresa Alemã Atlantisstrom em conjunto com a Universidade Técnica de Braunschweig.</p> <p>Velocidade mínima do fluxo: 1 m/s.</p> <p>Número de pás: 8 pás</p> <p>Comprimento: 20 m</p> <p>Diâmetro do equipamento: 8m</p> <p>Fixado através de perfuração em dois pontos do leito marinho.</p> <p>O projeto está na fase de testes de protótipo na escala 1/10.</p> <p>O protótipo na escala 1/10 foi construído de aço utilizado na industria naval e pintado com tinta a base de silicone.</p> <p>Fonte: www.atlantisstrom.de (acesso em novembro/2011)</p>
<p>Hales Turbine</p> 	<p>Projetado pela empresa Hales Energy Ltd, no Reino Unido.</p> <p>O funcionamento é feito através de pás articuladas, de modo a oferecer uma resistência mínima ao fluxo e absorver energia. Além disso, a área de lâmina produz quantidades muito elevadas de torque (força rotacional) em baixa velocidade.</p> <p>Velocidade mínima do fluxo: 1,0 m/s.</p> <p>Rotação: 10 a 16 rpm</p> <p>Turbina acoplada a gerador de ímã permanente.</p> <p>Fixado através de perfuração em dois pontos do leito marinho.</p> <p>O projeto está na fase de testes de protótipo.</p> <p>Fonte: www.hales-turbine.co.uk (acesso em novembro/2011)</p>
<p>Morild Hydra Tidal II</p> 	<p>Fabricado pela empresa Hydra Tidal, da Noruega.</p> <p>Diâmetro da turbina: 23 m.</p> <p>As pás das turbinas são feitas de madeira laminada.</p> <p>O dispositivo está instalado em Lofoten, na Noruega, desde 2010, com capacidade de geração de 1,5 MW.</p> <p>O método de fixação consiste numa estrutura flutuante com 4 turbinas instaladas, com possibilidade de ancoragem em diferentes profundidades.</p> <p>Fonte: http://www.hydratidal.com (acesso em janeiro/2012)</p>

(b) Turbinas de Eixo Vertical

As turbinas de eixo vertical possuem o mesmo princípio de funcionamento das turbinas de eixo horizontal, porém o seu eixo fica numa posição vertical. O EMEC lista 16 tipos de turbinas de eixo vertical que estão tanto na fase de projeto quanto já em funcionamento.

A maioria dos projetos das turbinas de eixo vertical tem inspiração inicial no moinho com eixo vertical patenteado pelo inventor francês Georges Darrieus, também conhecida como turbina Darrius, na década de 30. A tabela 3.2, mostra as principais características de 5 turbinas verticais.

Tabela 3.2: Características principais das turbinas de eixo vertical

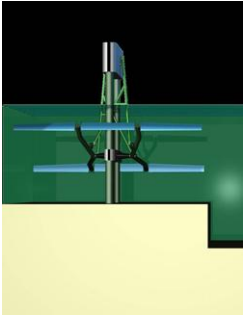
Dispositivo	Características principais
<p>Blue Energy</p> 	<p>Esta turbina tem sido pesquisada e desenvolvida pelo engenheiro aeroespacial Barry Davis há duas décadas, no Canadá. Velocidade mínima de fluxo: 1,0 m/s. Rotor com 4 pás. A estrutura de sustentação é ancorada ao leito marinho em caixa de concreto armado. O acoplamento, a caixa de engrenagens e o gerador ficam localizados acima da superfície da água, facilitando o acesso para manutenção. Rotor de aço inoxidável e eixo de aço com revestimento anti-corrosão. A fase de desenvolvimento do projeto está na construção de protótipos e testes em laboratório. Fonte: http://www.bluenergy.com (acesso em janeiro/2012).</p>
<p>Gorlov Turbine</p> 	<p>O projeto foi desenvolvido por Alexander Gorlov, professor de engenharia mecânica da Northeastern University em Boston. O protótipo foi construído com diâmetro do rotor com aproximadamente 1,0 m. Rotor com 3 pás. Foram realizados testes de protótipo em Vinalhaven, na costa de Maine e no Rio Amazonas/Brasil. Fonte: www.gcktechnology.com (acesso em agosto/2011).</p>
<p>Neptune Proteus NP-1000</p> 	<p>Projeto desenvolvido pela empresa Neptune Renewable Energy Ltd, do Reino Unido. Diâmetro da turbina: 6,0 m. Velocidade de fluxo indicada para uma boa eficiência: 2,5 m/s Peso da estrutura: aproximadamente 160 ton. Plataforma flutuante ancorada com liberdade de movimento. Foi feita simulação numérica, Testes em laboratório em protótipos nas escalas 1/10, 1/40 e 1/100 e em 2010, teste com protótipo em escala real. Fonte: www.neptunerenewableenergy.com (acesso em novembro/2011).</p>

<p>Kobold</p> 	<p>Foi desenvolvida e patenteada dentro do projeto Enermar. O equipamento está sendo testado na localidade do Estreito de Messina, na Itália, pela Companhia Ponte di Archimede International com a colaboração de várias parcerias Européias. O equipamento possui 2 rotores com 3 pás.</p> <p>Os resultados dos testes feitos para quantificar a energia que pode ser obtida em um ano indicaram que aproximadamente 22.000 kWh de energia disponível poderá ser extraída por ano.</p> <p>Fonte: www.pontediarchimede.it (acesso em novembro/2011).</p>
<p>Encurrent</p> 	<p>Desenvolvida pela empresa Canadense New Energy Corporation.</p> <p>Equipamento indicado para operar em estuários, rios e canais. Velocidade mínima de fluxo: 1,5 m/s.</p> <p>A turbina é acoplada a um gerador de ímã permanente, localizado na superfície da água.</p> <p>A estrutura é flutuante.</p> <p>As turbinas são fabricadas para diferentes potências: 5; 10; 25; 125 e 250 kW, por isso existem diferentes diâmetros de rotores.</p> <p>Várias unidades já estão em funcionamento e prontas para comercialização.</p> <p>Fonte: http://www.newenergycorp.ca (acesso em fevereiro/2012)</p>

(c) Hidrofólios Oscilantes

Este tipo de dispositivo geralmente possui um hidrofólio preso junto a uma haste oscilante e o movimento é causado pela corrente em ambos os lados, como em uma asa, resultando em movimentos ascendentes e descendentes. Este movimento é transmitido a um sistema hidráulico para ser convertido em eletricidade, através do acionamento hidráulico de um gerador. O EMEC lista quatro tipos de projetos com este princípio de funcionamento, tal como mostra a tabela 3.3.

Tabela 3.3: Características principais dos hidrofólios oscilantes

Dispositivo	Características principais
<p>Pulse Generator</p> 	<p>O projeto do dispositivo foi feito para a instalação em águas rasas, fazendo que o equipamento capture energia através de um hidrofólio que tem uma área de varredura na forma de um retângulo cujo comprimento independe da profundidade da água. Nas turbinas convencionais a área de varredura dentro do escoamento tem a forma de um círculo cujo diâmetro deve ser significativamente menor do que a profundidade da água, por isso é difícil a instalação destas turbinas em águas rasas.</p> <p>Fonte: http://pulsetidal.co.uk (acesso em agosto/2011).</p>

<p>Sea Snail</p> 	<p>O projeto está sendo financiado por: Scottish Enterprise Proof of Concept, Aberdeen City Council, European Marine Energy Centre (Orkney) e The Robert Gordon University Research Development Initiative fund.</p> <p>Além da modelagem paramétrica, o dispositivo em escala real foi produzido e está em Orkney, no Reino Unido.</p> <p>A estrutura permanece junto ao leito marinho através de um determinado número de aerofólios montados em uma armação de forma a induzir forças contrárias ao sentido do escoamento. Se a velocidade de escoamento aumenta, surge um momento oposto que força os hidrofólios para baixo. Para isto, é considerado que a proporção de área superficial é tal que a força descendente gerada excede o momento de giro, fazendo com que o dispositivo permaneça na posição. Este tipo mecanismo, com hidrofólios, possibilita que o leito marinho não sofra com perfurações ou acúmulo de materiais.</p> <p>Fonte: http://www4.rgu.ac.uk/cree/general/ (acesso em janeiro/2012)</p>
<p>Stingray Tidal Stream Generator</p> 	<p>Dispositivo desenvolvido nos Estados Unidos.</p> <p>Patente número 6731018.</p> <p>Consiste em um hidrofólio que tem seu ângulo de ataque relativo a direção da corrente e que pode ser variado por um mecanismo. Isto faz com que o braço de apoio oscile forçando cilindros hidráulicos a um movimento alternativo. O sistema hidráulico aumenta a pressão do óleo, permitindo o funcionamento de um gerador.</p> <p>Fonte: www.engb.com (acesso em agosto/2008)</p>
<p>Biostream</p> 	<p>Projetado pela empresa BioPower Systems, situada em Sydney, na Austrália.</p> <p>O funcionamento do dispositivo é inspirado nos movimentos da natureza.</p> <p>Velocidade mínima de fluxo: 2,5 m/s.</p> <p>Base fixada no leito marinho.</p> <p>Construção de protótipo em desenvolvimento.</p> <p>Estudo das características locais das ilhas Flinders, na Tasmânia para instalação de projeto piloto.</p> <p>Fonte: www.biopowersystems.com (acesso em novembro/2011).</p>

(d) Turbinas no interior de tubos Venturi

Com a instalação do dispositivo no interior de um duto (Venturi) se obtém um efeito de concentração do escoamento das águas que irão passar pela turbina, de forma a incrementar a velocidade. O coletor afunilado fica submerso. O escoamento da água poderá acionar uma turbina diretamente ou poderá induzir um diferencial de pressão em um sistema com ar podendo acionar uma turbina.

Ponta e Jacovkis (2007) analisaram turbinas de eixo horizontal e de eixo vertical no interior de tubos Venturi com várias geometrias (Figura 3.1). Este estudo foi feito no laboratório de pesquisa ISEP, Colégio de Engenharia da Universidade de Buenos Aires.

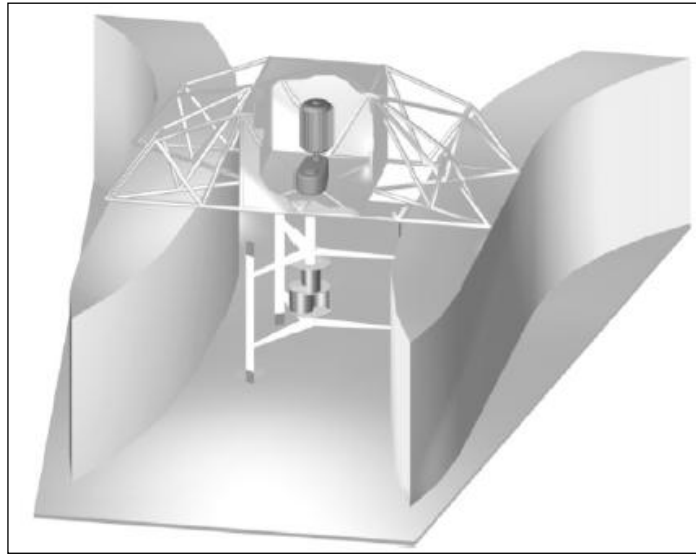


Figura 3.1: Exemplo de perfil hidrodinâmico e turbina analisadas no laboratório de pesquisa ISEP junto ao Colégio de Engenharia da Universidade de Buenos Aires.

Fonte: (PONTA; JACOVKIS, 2007).

Os autores analisaram uma série de fatores nos testes hidrodinâmicos, entre eles verificaram a importância da configuração do canal interno do Venturi. Concluíram que três partes são essenciais para o projeto do Venturi: o bocal de entrada, responsável pela aceleração do escoamento e consequente aumento da velocidade nas vizinhanças do rotor; o canal de estreitamento, que deverá manter o fluido com escoamento uniforme na zona do rotor e, o difusor que ajusta o escoamento após a passagem pela zona do rotor.

Na figura 3.2 é possível analisar que os referidos autores fizeram testes hidrodinâmicos em 6 configurações/geometrias diferentes de turbinas/Venturis, mostrando que para velocidades de escoamento entre 1,0 e 2,0m/s, o incremento de velocidade varia de aproximadamente 30 a 70%. Para velocidades superiores a 2,0m/s o incremento varia de 10 a 50%.

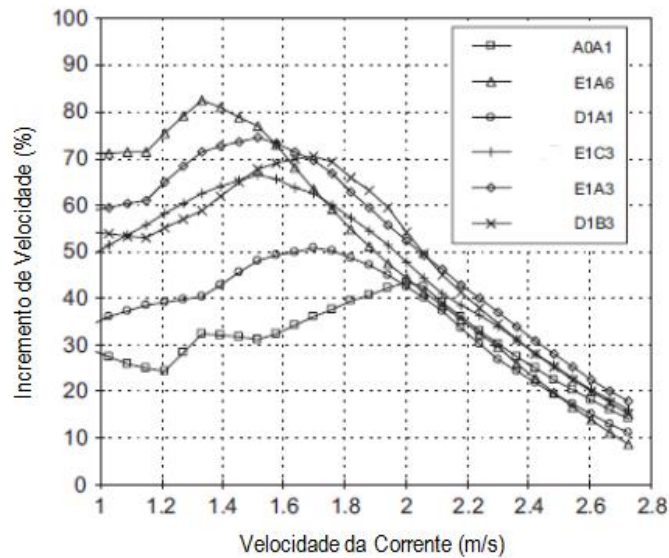


Figura 3.2: Resultados de testes hidrodinâmicos com diferentes configurações de turbinas e de diferentes geometrias de Venturis.

Fonte: Ponta e Jacovkis (2007) com modificações.

A tabela 3.4 mostra dois projetos com este princípio de funcionamento.

Tabela 3.4: Características principais das turbinas no interior de tubos Venturi

Dispositivo	Características Principais
<p>Clean Current</p>	<p>O projeto foi efetuado através de parceria entre a empresa Canadense <i>Clean Current Power Systems</i> e a <i>Alstom Hydro</i>.</p> <p>Velocidade Mínima do fluxo: 1m/s Rotação: Entre 20 e 70 rpm.</p> <p>Fixação no leito marinho através de montagem de pilar com diâmetro de 32 polegadas, em leito rochoso.</p> <p>A previsão de projeto é de equipamento em escala comercial em 2012.</p> <p>Patente Européia, EP 1 430 220 B1.</p> <p>Para mitigar problemas com animais marinhos, a rotação é baixa e, a turbina possui um furo central com 1m de diâmetro, promovendo uma passagem segura através da unidade e, foram construídas aletas de guias fixas na parte frontal e posterior do rotor. Porém, espécies marinhas de pequeno porte podem sofrer danos pela passagem entre as pás do rotor.</p> <p>Fonte: www.cleancurrent.com (acesso em outubro/2011)</p>
<p>RTT - Rotech Tidal Turbine</p> <p>1MW RTT UNIT Duct Diameter 15 metres Duct Length 19.2 metres Turbine Diameter 11.5 Metres</p>	<p>Consiste em uma turbina bi-direcional de eixo horizontal instalada no interior de um duto Venturi simétrico, projetada pela empresa Lunar Energy, do Reino Unido.</p> <p>Diâmetro do duto Venturi: 15 m Diâmetro da turbina: 11,5 m Comprimento: 19,2 m Profundidade do local para instalação: 40 m</p> <p>A fixação é feita através de um sistema com lastros, sem perfuração do leito marinho.</p> <p>Fonte: www.lunarenergy.co.uk (acesso em novembro/2011)</p>

(e) Outros projetos

Esta classificação dá cobertura para todos dispositivos com um único projeto ou aqueles que fogem muito dos projetos com tecnologia já conhecida ou, ainda, se as informações sobre as características dos dispositivos ainda não estão determinadas. Na tabela 3.5 são mostrados três projetos.

Tabela 3.5: Características principais de projetos para aproveitamento de energia de correntes

Dispositivo	Características Principais
<p>THAWT – Transverse Horizontal Axis Water Turbine</p> 	<p>Projeto desenvolvido pelo Departamento de Engenharia da Universidade de Oxford (Kepler Energy). Modelagem mostrou que o tipo de rotor possibilita 50% a mais de produção do que as hélices convencionais. Diâmetro do rotor: 10 m. Comprimento do rotor: 50 m. Profundidade do local para instalação: 20 m. Modelagem com protótipo composto por dois rotores de 10 m de diâmetro, resultou que numa velocidade de fluxo de 2 m/s a geração é de 2,4 MW e, para uma velocidade de 2,5 m/s a geração de energia é de 5,3 MW. Porém poderá operar com baixas velocidades de fluxo, com eficiência razoável. Fonte: http://www.keplerenergy.co.uk (acesso em fevereiro/2012)</p>
<p>StarTider</p> 	<p>Consiste em um tambor semi-submerso contendo um sistema complexo de bobinas, ar e água. Com o movimento de rotação, feito por um conjunto propelido produz alta pressão de água, a qual é usada para dirigir um gerador. Não existem caixas de engrenagens para limitar a geração de energia e o conjunto propelido pode ser estendido incluindo novas unidades de propelidos. É apropriado para o uso em largos alcances de marés e em aplicações em rios, isto significa que pode ser instalado próximo a áreas isoladas onde a energia é necessária como, por exemplo, no Estuário do Rio Thames e no Rio Amazonas. É um dispositivo capaz de capturar grandes quantidades de energia em águas rasas. Fonte: www.starfishelectronics.co.uk (acesso em agosto/2008)</p>
<p>Blue Tec</p> 	<p>Desenvolvido pela empresa Blue Water, da Holanda. Sua montagem possibilita o uso tanto de turbina de eixo vertical quanto de turbina de eixo horizontal. A fase de desenvolvimento está no projeto conceitual. A fixação é feita através de plataforma flutuante ancorada por cabos. Fonte: http://www.bluewater.com/bluetec (acesso em dezembro/2011).</p>

Quanto ao método de fixação, os dispositivos podem ser classificados como:

i) Montado no leito marinho/base de gravidade (sistema com pesos): É fisicamente preso junto ao leito marinho ou é fixado por um sistema com pesos. Em ambos os casos poderão ser adicionados fixadores no leito marinho.

ii) Montagem em pilares: O princípio é análogo a montagem das turbinas eólicas. O dispositivo é fixado a um ou mais pilares que são instalados no fundo do oceano. As turbinas de eixo horizontal são frequentemente instaladas neste tipo de estrutura. Este tipo de fixação também permite que a turbina possa ser erguida acima do nível da água para manutenção.

iii) Flutuadores: são divididos em três tipos;

Amarradouros flexíveis: O dispositivo é preso ao leito marinho por um cabo ou corrente, permitindo considerável liberdade de movimento. Permite o giro do dispositivo para acompanhar as mudanças de direção das correntes.

Amarradouros Rígidos: O dispositivo é preso por um sistema fixo de amarração, permanecendo em uma determinada posição, permitindo mínima deriva.

Estrutura Flutuante: Permite que muitas turbinas sejam montadas em uma única plataforma, a qual poderá mover-se em relação às mudanças de nível do oceano.

iv) Hidrofólio que direciona forças para baixo: Estes dispositivos usam uma série de hidrofólios montados em uma armação para induzir uma força para baixo através da corrente. É projetado de forma que a proporção das áreas de superfície seja tal que a intensidade das forças geradas e direcionadas para baixo excede a tendência de giro (momento) de retorno, de forma que o dispositivo permaneça na posição.

3.2 Fundamentos Teóricos sobre Correntes Oceânicas

As correntes marinhas são importantes para manter o equilíbrio do planeta influenciando em vários aspectos, tais como: auxiliam na distribuição do calor recebido em baixas latitudes para altas latitudes; fazem a distribuição da salinidade, temperatura e densidade; renovam as águas marinhas; fazem uma distribuição climática regional, contribuem para a oxigenação dos oceanos; distribuem alimentos, ovos e larvas, auxiliam de maneira relevante na migração de organismos marinhos e; desempenham papel fundamental na navegação.

De maneira geral, as correntes oceânicas podem ser produzidas por diversas causas: pela ação do vento, sobretudo os ventos sazonais, constantes e de longo período, como os alísios e as monções; pela diferença de características físicas e químicas das águas,

principalmente pela diferença de temperatura e salinidade que, conseqüentemente, modificam a densidade; pelo efeito de Coriolis devido à rotação terrestre e; ainda, pelas marés oceânicas.

As correntes que ocorrem devido ao atrito do vento com a superfície marinha são chamadas de “Correntes Superficiais”.

Os ventos alísios são responsáveis pela formação das correntes equatoriais, comuns em todos os oceanos. Nos oceanos Atlântico e Pacífico, tais correntes são interceptadas pelos continentes e desviadas para o norte e para o sul, deslocando-se ao longo das bordas oeste dos oceanos, e se caracterizam por serem as maiores e mais fortes correntes oceânicas superficiais.

Outra importante corrente superficial é a Corrente Circumpolar Antártica, que flui em torno de todo planeta, pois não existem barreiras para obstruir o fluxo da água.

Os maiores volumes de água transportados pelas correntes oceânicas superficiais ocorrem na Corrente do Golfo e na Circumpolar Antártica que transportam cada uma cerca de 100 milhões de metros cúbicos por segundo. A corrente do Brasil, que circula na costa leste do país, transporta no máximo 14 milhões de metros cúbicos por segundo.

As correntes que se formam devido às mudanças de densidade que, por sua vez, é alterada pelas variações de temperatura e salinidade, são conhecidas como “Correntes Profundas” ou “Correntes Termoalinas”. O aumento de densidade pode ocorrer devido ao resfriamento da água, ou ainda pela formação de gelo e conseqüente aumento da salinidade das águas circunvizinhas. O aumento da densidade das águas na superfície faz com que estas afundem e desloquem as águas profundas, de forma que a circulação termoalina é um fluxo vertical de água superficial em direção a uma profundidade intermediária ou total, dependendo da densidade. O prosseguimento deste movimento é um fluxo horizontal, com as águas recém afundadas deslocando as antigas águas residentes do local. Como o processo de formação de águas densas está relacionado à diminuição de temperatura ou aumento de salinidade devido à formação de gelo, geralmente as correntes termoalinas ocorrem em altas altitudes. As águas densas e frias afundam e se deslocam lentamente, cerca de 1,0cm/s, em direção ao equador. São correntes muito importantes para oxigenação das águas oceânicas profundas.

As correntes que ocorrem devido às marés são chamadas de “Correntes de Maré”. As marés podem ser definidas como uma variação periódica do nível do mar sob a influência de forças astronômicas. As marés são geradas pela rotação da terra dentro do campo gravitacional da lua e do sol.

A observação das marés vem de tempos remotos. Já há muito tempo o homem tinha o entendimento que existia uma relação entre as oscilações do nível do mar e as fases da lua e

percebia que as maiores alterações de nível ocorriam durante as fases de lua cheia e de lua nova. Entretanto, somente depois que Newton descobriu a Lei da Gravidade é que as observações das oscilações periódicas das marés puderam ser quantificadas com a ajuda da matemática. Newton pesquisou o assunto assumindo condições ideais. Estabeleceu a base de teoria de equilíbrio considerando o efeito que as forças de atração do sol e da lua podem produzir na terra. Ele considerou a terra como uma esfera perfeita completamente coberta com uma camada homogênea de líquido e, que responde instantaneamente à ação das forças. Além disso, pode-se atribuir a Laplace o crédito por ter estabelecido uma base sólida para o estudo moderno das marés. Ele desenvolveu uma teoria capaz de fazer uma previsão do fenômeno com acurácia bastante razoável. Laplace também começou o estudo da dinâmica das marés, sendo o primeiro a visualizar a possibilidade de análise harmônica para previsões (FRANCO, 1981).

Nas marés chamadas de semi-diurnas, o nível máximo, ou maré máxima, ocorre aproximadamente a cada 12h25min, este tempo corresponde à metade de um dia lunar. Já a maré mínima sucede a máxima em intervalos de tempo de aproximadamente 6h12min. Desta forma, a cada 24 horas ocorrem duas marés altas e duas marés baixas. As marés semi-diurnas são as mais comuns de ocorrer ao longo das costas dos continentes. Nas marés semi-diurnas ocorrem diferenças nas taxas de maré que dependem do quadrante lunar. Nas fases de lua cheia e nova ocorrem as maiores taxas, ou seja, maiores diferenças entre as marés alta e baixa, já nas fases de lua crescente e minguante ocorrem as menores taxas. Em consequência deste fenômeno é possível concluir que as marés são resultantes da ação conjunta do sol e da lua. Também é possível verificar que o intervalo de tempo que decorre o trânsito meridiano da lua e o momento de alto e baixo nível é aproximadamente constante para um determinado lugar, tornando as marés suscetíveis de previsões (FRANCO, 1981).

A média de intervalos observados para nível alto das águas é chamada de “*Mean High Water Interval – (MHWI)*”, de modo semelhante, a média de intervalos para nível baixo é chamada de “*Mean Low Water Interval – (MLWI)*”. Se estes dois parâmetros forem determinados para um dado local, é possível calcular o trânsito da lua para qualquer dia e obter os níveis alto e baixo das águas para este local.

As marés semidiurnas de maior taxa em uma semi-lunação (15 dias) são chamadas de “*spring tides*” ou marés de cheia, já as de menores taxas são as “*neaps tides*” ou marés de vazante.

Marés chamadas de diárias ou diurnas ocorrem somente em algumas regiões do planeta, como no Golfo do México. Ocorrem somente uma elevação da maré e um rebaixamento em um período de 24 horas.

As marés podem ser consideravelmente afetadas pelas condições meteorológicas, tais como ventos fortes, ciclones, etc. Um exemplo é na região de Rio Grande, onde ventos fortes frequentemente empurram as águas de volta ao mar, fazendo com que a maré tenha taxas menores ficando mascaradas (FRANCO, 1981).

Além disso, a topografia do leito marinho e o formato da costa também são fatores que influenciam o comportamento das correntes. O movimento das correntes pode ser ampliado, bem como as direções alteradas pela topografia do leito marinho, particularmente nas proximidades da costa, ou em estreitos entre ilhas ou continentes.

As correntes marinhas têm como uma característica importante a regularidade, principalmente em termos de direção. A direção das correntes sofre influência direta das variações sazonais do vento. Além disso, apresentam natureza cíclica, ou seja, formam-se na forma de grandes células circulares e fechadas, denominadas de giros, que têm rotação influenciada pela rotação da terra e mudam de acordo com o hemisfério em que circulam.

As principais correntes brasileiras são derivadas da Corrente Sul Equatorial, que se movimenta no sentido leste-oeste na altura do equador e que se bifurca ao alcançar a costa nordestina brasileira. A corrente que se deriva para o Norte do País é denominada de Corrente das Guianas e a que se deriva para o Sul é chamada de Corrente do Brasil.

A Corrente do Brasil, também conhecida como Água Tropical, flui sobre a plataforma ou próxima à região da borda, ao longo da costa leste do continente sul americano, alcançando em média 38° de latitude sul, onde encontra a Corrente das Malvinas, conhecida como Água Subantártica. A Corrente das Malvinas, que flui para o sentido norte, é originária de uma ramificação da Corrente Circumpolar Antártica que flui em torno da Antártica. No litoral da região Sudeste do país, a velocidade da Corrente do Brasil, nos meses da primavera e do verão é de aproximadamente 0,7m/s, já nos meses do outono e do inverno a velocidade fica reduzida à metade (EVANS et al., 1983). Considera-se que esta corrente desempenha no hemisfério sul papel semelhante à corrente do Golfo no hemisfério norte, com aspectos parecidos em relação à variabilidade espaço temporal.

Na plataforma continental dos litorais sudeste e sul são encontradas três correntes: a “Água da Plataforma Continental”, que se localiza acima da plataforma; a “Água Central do Atlântico Sul”, que resulta da mistura entre a Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas e; a “Água Costeira”, que fica localizada muito próxima à costa.

Trabalhos publicados na costa do Rio Grande do Sul (SOARES; MÖLLER, 2001; ZAVIALOV et al., 2002; MÖLLER et al., 2008; COSTA, 2009), demonstram que esta é uma região ocupada por cinco massas de água de origem diversas. Sendo as mesmas: (I) Água Costeira (AC), também denominada de Pluma do Rio da Prata (PRP); (II) Água Subantártica

de Plataforma (**ASAP**); (III) Água tropical ou Corrente do Brasil (**AT**); (IV) Água Central do Atlântico Sul (**ACAS**) e (V) Água Subtropical de Plataforma (**ASTP**).

De acordo com Aseff (2009) e Piola et al. (2008) entre outros, a distribuição das massas de água nessa região é muito singular, possuindo uma importante variabilidade sazonal e interanual nas suas participações relativas sobre a plataforma.

Durante o período de inverno a região superficial mais próxima à costa é ocupada principalmente pela “Água Costeira” ou PRP (plataforma interna). Ou seja, da costa até aproximadamente 100km de distância estas águas apresentam-se verticalmente homogêneas, tanto em temperatura como em salinidade. No entanto, um gradiente lateral de salinidade é gerado, condicionando sucessivamente um gradiente lateral de densidade (pressão), que tem como consequência um transporte residual para o norte (PEREIRA, 1989; ZAVIALOV et al., 1998; 2003). Para inverter este fluxo, ventos de NE têm que ter uma velocidade maior do que 5m/s (ZAVIALOV et al., 2002). De acordo com Piola et al.(2008) e Möller et al.(2008) a expansão da pluma do Rio da Prata até o extremo norte da Plataforma Continental Sul do Brasil, demonstrou ser resultado da ação duradoura de ventos SO comuns nas estações de outono e inverno.

No período que se estende de meados da primavera ao verão, a Pluma do Rio da Prata sofre uma retração em direção sul e um espalhamento em direção a mar aberto (MÖLLER et al., 2008; GUERRERO et al., 1997), isso ocorre devido à maior incidência de ventos de NE (MÖLLER et al., 2008), e ao transporte de Ekman gerado a partir do cisalhamento deste vento com a superfície do mar. A variação latitudinal da pluma tem influência sobre as demais massas de água presentes na região, permitindo que as mesmas ocupem a plataforma ou impedindo que esse avanço ocorra (ASEFF, 2006).

Durante o verão, grande parte da plataforma fica sob a influência da ASTP e da ACAS, com presença também da AT em regiões mais ao largo da costa. O aumento da incidência de ventos NE de maior duração provoca uma expansão da (AC) no sentido leste, assim como pode ser capaz de reverter completamente o fluxo costeiro para sul (PIOLA et al., 2008; MÖLLER et al., 2008).

De acordo com Palma et al. (2008), a partir de resultados obtidos através de um modelo tridimensional barotrópico e baroclínico forçado por descarga fluvial, marés, ventos e correntes de contorno, para a região entre 28°S e 38°S, a sazonalidade no regime de correntes da plataforma interna é evidente. No verão e primavera as correntes têm rumo SO em função da dominância de ventos de NE. No outono e inverno a dominância é de correntes dirigidas para NE em função da maior ação de ventos de SO.

O mesmo padrão sazonal foi observado através de simulações numéricas por Cecílio (2006). O autor encontrou fluxos para sul e para o largo durante o verão, e para norte e em direção à costa durante o outono, gerando fluxos de fundo em direção à costa durante o verão, e um padrão de subsidência com fluxos de fundo em direção ao largo durante o outono.

O aporte de água continental e o vento são os principais mecanismos geradores da variabilidade na região da Plataforma Continental Sul do Brasil ao largo da costa de Rio Grande do Sul. A influência da maré é mínima nesta região (DEFANT, 1961) e possui amplitudes médias de 0,47m (HERZ, 1977).

4. Material e Métodos

4.1 Revisão Bibliográfica

Foi realizada pesquisa dos principais dispositivos utilizados para o aproveitamento da energia de correntes oceânicas. Esta pesquisa abrangeu os principais fabricantes, órgãos de pesquisa, universidades e artigos científicos publicados em revistas. Além do princípio de funcionamento dos principais dispositivos, foram analisadas as condições de instalação e de operação.

4.2 Análise dos dados de correntes oceânicas

Os dados de corrente utilizados no presente estudo foram coletados em três locais da costa Sul do Brasil. Na costa do Estado do Rio Grande do Sul, regiões de Tramandaí e de Rio Grande e também na costa do Estado de Santa Catarina, na região mais ao norte do Estado (Figura 4.1).

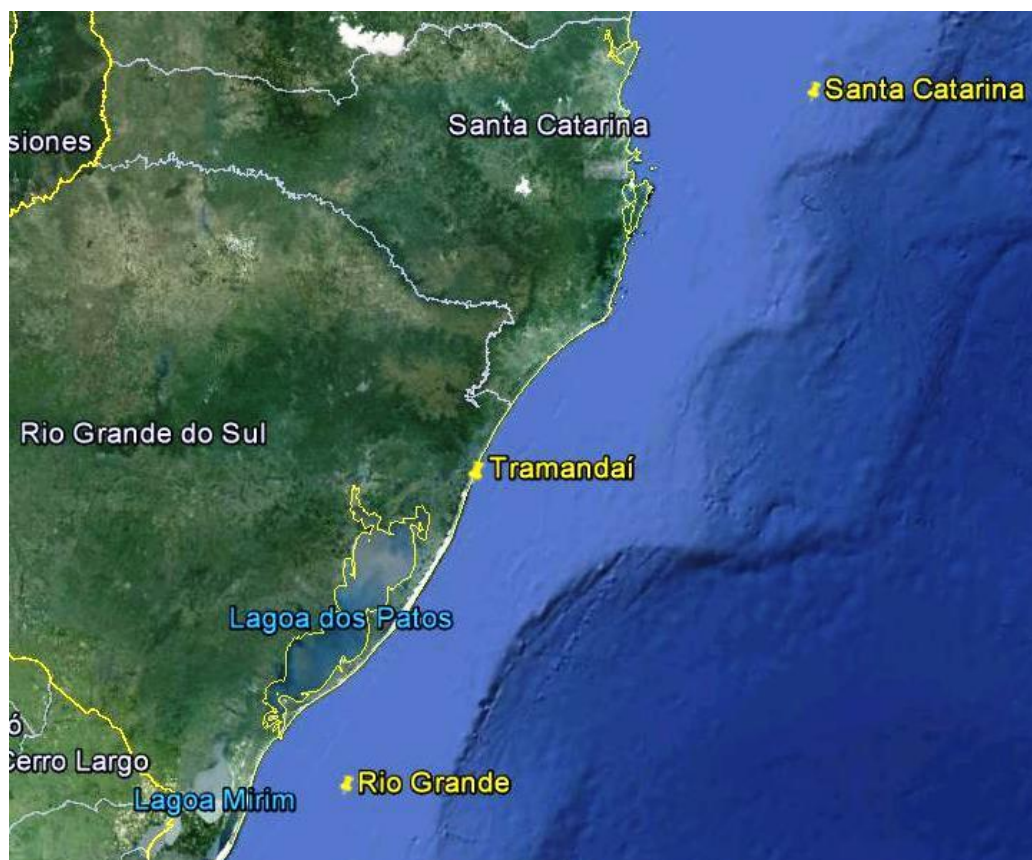


Figura 4.1: Localização dos fundeios (Regiões de Rio Grande, Tramandaí e Santa Catarina).

Fonte: *Google Earth*

Em Tramandaí os dados foram coletados em águas pouco profundas (18m) localizadas na Plataforma Continental Sul do Brasil (PCSB). A PCSB apresenta uma linha de costa retilínea, com orientação Nordeste - Sudoeste, formando um ângulo de aproximadamente 22° de inclinação em relação ao Norte Verdadeiro (NV). A batimetria dessa região é bastante suave, com maior declividade e quebra de plataforma localizada por volta da isóbata de 180m, possuindo uma tendência de alargamento da plataforma continental em direção ao sul, característica da margem continental da América do Sul (ZEMBRUSCKI, 1979).

Nesta região, foram utilizados dois conjuntos de dados de velocidade e direção do escoamento coletados nos anos de 1963 e 1995/1996, ambos coletados na Latitude 30°00'42"S e Longitude 50°06'21"W (Figura 4.1 e 4.2).

Os dados de 1963 foram levantados numa profundidade de 9m e com intervalo de amostragem de 15min, o local tem uma profundidade média de 18m. O período de levantamento foi de 25 de janeiro a 13 de março.

Os dados de 1995/1996 foram obtidos junto ao projeto “Estudos Ambientais em Áreas Costeiras e Oceânicas na Região Sul do País”, Convênio PETROBRAS/FURG/UFRGS/UFSC/UFPR. Para as medições foram utilizados dois correntógrafos da marca Sensordata, modelo SD6000, instalados em um ponto distante aproximadamente 2500m da linha de praia e com uma profundidade média de 18m, fundeados respectivamente a 5m e a 15m a partir do fundo. Como ocorreram falhas no período de aquisição dos dados, eles foram divididos sazonalmente para análise, conforme tabela 4.1:

Tabela 4.1: Dados de Correntes – anos de 1995 e 1996.

Período de levantamento	Intervalo de amostragem	Cota a partir do fundo
Primavera - 03/12 a 19/12/95	10 min	5m e 15m
Verão - 20/02 a 27/03/96	10 min	5m e 15m
Outono - 24/04 a 03/05/96	10 min	15m
Inverno - 14/06 a 08/08/96	30 min	5m e 15m

Na região de Rio Grande o fundeio foi feito nas coordenadas 32°41'S, 51°27'W, com uma profundidade de aproximadamente 50m. Os instrumentos foram instalados nas profundidades de 15 e 45m para a leitura dos dados, no período de março a maio de 1997, o intervalo de amostragem foi de 30min. Estes dados foram fornecidos pelo Laboratório de Oceanografia Física da FURG (Figura 4.1).

Os dados da margem continental ao largo do Estado de Santa Catarina foram obtidos sobre a isóbata de aproximadamente 160m (26°40'S e 46°50'W), no período entre 05/09/96 a 04/12/96, com intervalo de amostragem de 20min. Os fundeios foram constituídos de um conjunto formado por 3 correntógrafos e um marégrafo e o fundeio de um perfilador Acústico

de Correntes baseado no efeito Doppler (ADCP). A área de estudo faz parte da Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSB) ou Região Central da Bacia de Santos (Figura 4.1). Os dados foram cedidos pelo Laboratório de Oceanografia Física da FURG e foram obtidos através do convênio PETROBRÁS/FURG/UFRGS/UFSC/UFPR, dentro do projeto "*Estudos Ambientais em Áreas Oceânicas e Costeiras na Região Sul do País*".

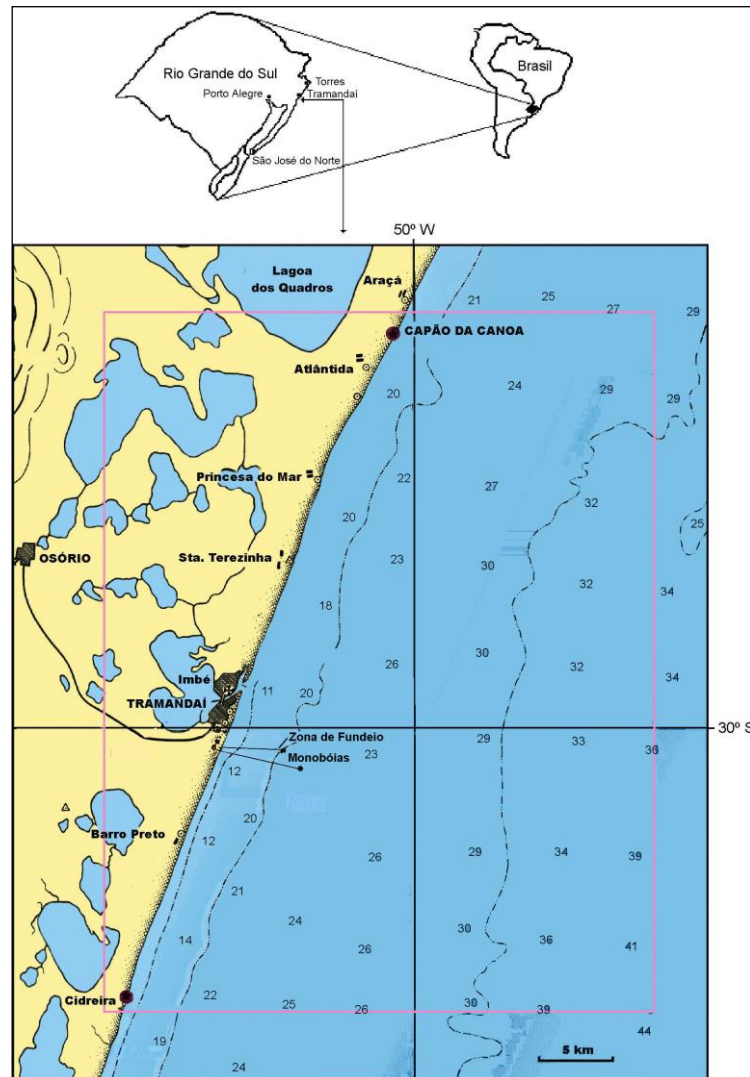


Figura 4.2: Localização da zona de fundeio (Região de Tramandaí).

Fonte: Almeida e Toldo Jr. (1997)

Foi efetuado o tratamento estatístico dos dados, de forma a proceder-se à análise para as estimativas do comportamento das correntes, baseadas no período em que foram realizadas as medições. Do tratamento dos dados são obtidos parâmetros estatísticos importantes para a definição do regime das correntes e, em consequência, do potencial energético de um dado local.

Os dados de velocidade e direção das correntes foram organizados em planilhas no *software Excel*[®]. Para os valores de velocidade foram calculados os valores máximos, mínimos, médios, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Utilizando o *software MatLab*[®], foram confeccionados histogramas para cada período sazonal. O histograma representa, graficamente, a frequência de cada velocidade com base nos dados amostrais colhidos. É geralmente em forma de barras, as quais representam a ocorrência de um intervalo de velocidades em células e permite descrever o comportamento dos mesmos, quanto à sua tendência central, forma e dispersão. A faixa dinâmica (range) dos mesmos é dividida em um determinado número de células de mesmo "comprimento", de tal forma que a base significa o intervalo da classe. A "altura" de cada célula é dada pela contagem do número de dados contidos na faixa, e significa as frequências ocorridas em cada classe.

Neste trabalho, o cálculo do número de classes (N) e o intervalo de cada classe (i) para cada conjunto de dados foi feito pelo método empírico baseado na fórmula de Sturges para amostras superiores a 100 dados:

$$N = 5 \log n \quad (4.1)$$

$$i = \frac{a}{N-1} \quad (4.2)$$

onde:

N = número de classes.

n = número de dados da amostra.

i = intervalo de classe.

a = amplitude total.

O histograma é uma função discreta e sua aplicação para modelagem do problema é pouco adequada para simular (ou estimar) a energia disponível e a energia gerada pelos possíveis equipamentos. É conveniente obter uma função contínua de distribuição das frequências com que ocorrem para cada faixa de velocidades das correntes.

As distribuições de frequências geralmente empregadas para avaliação do comportamento de velocidade são a Função de Rayleigh ou a Função de Weibull. A distribuição de Rayleigh é um caso particular da distribuição de Weibull, com parâmetro de forma $k = 2$ e tem somente um parâmetro de ajuste.

A distribuição de Weibull é a distribuição contínua que usualmente mais se aproxima à distribuição discreta representada nos histogramas de velocidade, porque tem maior precisão na descrição das circunstâncias da variável e é a empregada nos trabalhos de avaliação de

potenciais energéticos. Considera o desvio padrão dos dados coletados, que é um importante parâmetro estatístico, pois introduz uma informação acerca das incertezas com que podem ocorrer as velocidades previstas a partir dos dados coletados no período.

Para o ajuste da distribuição de Weibull são considerados dois parâmetros: o parâmetro de forma “k”, adimensional, e o parâmetro de escala “c”, com a unidade da variável sob análise.

A variável velocidade de corrente é uma variável aleatória contínua. Para este tipo de variável, a função de probabilidade é chamada Função Densidade de Probabilidade (FDP). A FDP não fornece diretamente as probabilidades. Porém, a área sob o gráfico da função de densidade de probabilidade, correspondente a um dado intervalo, fornece a probabilidade de que a variável aleatória contínua assuma um valor no intervalo.

A Função Densidade de Probabilidade (FDP) de Weibull é dada por:

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (4.3)$$

onde:

V = Velocidade (m/s)

k = parâmetro de forma (adimensional)

c = parâmetro de escala (m/s)

A Função Acumulada de Probabilidade (FAP) de Weibull é:

$$F(V) = 1 - e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (4.4)$$

Neste trabalho, para que fosse feito o ajuste da FDP aos dados brutos, os parâmetros de Weibull foram estimados pelo método da Máxima Verossimilhança utilizando rotina no *software MatLab*[®]. Segundo Gisler et al. (2011), o método da Máxima Verossimilhança leva às melhores estimativas (menores valores do erro médio quadrático), usando as ferramentas estatísticas do pacote *MatLab*.

Para modelagem probabilística, os dados foram ajustados para a distribuição de Weibull e plotados em gráficos sazonais, de modo a permitir a verificação da probabilidade de ocorrência de velocidades previstas. Calculando a FAP de Weibull é possível obter a probabilidade de ocorrência de uma determinada velocidade. Estes procedimentos foram efetuados através de programação de rotina no *software MatLab*[®].

A determinação da direção predominante das correntes é importante para a definição da direção de posicionamento das máquinas, no caso de geração de energia. Para o caso de uma usina com vários geradores, o estudo da distribuição dos mesmos constitui fator essencial em um projeto, tendo em vista que a localização dos mesmos deverá ser tal que seja minimizado o comprometimento da captação energética individual. A determinação da

direção predominante é dada pelo diagrama Rosa das Correntes que foi elaborado com 16 "pétalas" radiais de modo a evidenciar as frequências e velocidade das correntes. O comprimento de cada "pétala" mostra a ocorrência de correntes registrada em dado período de tempo, e as gradações sobre as pétalas mostram a frequência da velocidade. É uma importante ferramenta na determinação da direção predominante das correntes, sendo esta obviamente a de indicação para o aproveitamento de geração energética. As Rosas de Correntes foram elaboradas através de rotina no *software MatLab*[®] para cada período de dados.

Como o vento é um fator importante na análise das direções das correntes, foram confeccionadas "Rosas dos Ventos", para verificação das direções predominantes. Os dados de vento foram obtidos através de uma estação meteorológica da marca Campbell, somente para os meses de 1996, junto ao projeto "Estudos Ambientais em Áreas Costeiras e Oceânicas na Região Sul do País", Convênio PETROBRAS/FURG/UFRGS/ UFSC/UFPR, em Tramandaí. A Estação Meteorológica foi instalada junto ao Terminal Marítimo Almirante Soares Dutra, nas coordenadas 29°58'34"S e 50°07'25"W e os dados de velocidade e direção dos ventos foram obtidos a 15m de altura.

Para estimativa do potencial energético, foi utilizado o método proposto por Twidell e Weir (2006). Os autores utilizaram este método para avaliação do potencial eólico na localidade de North Ronaldsay, Orkney, e recomendam o mesmo método para a avaliação do potencial de correntes. O método consiste na organização de dados como uma função discreta, conforme abaixo:

Classes (v)	Nº de ocorrências	Frequência relativa (fr)	Freq.acumulada (Fa)	$\sum(fr)*(v)$	$(v)^3$	$\sum(fr)*(v)^3$	$P=1/2\rho(v)^3$	$P*(fr)$
-------------	-------------------	--------------------------	---------------------	----------------	---------	------------------	------------------	----------

Onde:

Classes de velocidade (v) – os dados de velocidade (m/s) foram divididos em intervalos de 0,01 m/s.

Nº de Ocorrências – número de dados de cada classe.

Frequência relativa (fr) – Normalização dos dados; Nº de ocorrências/total de dados.

Frequência acumulada (Fa) – Somatório dos dados de (fr), fornecendo a probabilidade.

Somatório $(fr)*(v)$ – fornece a média dos valores de (v).

Velocidade $(v)^3$ – dado para calcular potência.

Somatório $(fr)*(v)^3$ – fornece a média dos valores de $(v)^3$.

Cálculo da potência (P) por unidade de área (*densidade de potência*) – onde ρ é a massa específica da água salgada (1025 kg/m³).

$P*(fr)$ – fornece a distribuição de energia da corrente.

Os dados foram organizados em planilhas (ANEXO 1) conforme divisão sazonal e analisados no domínio da frequência por meio de gráficos. A confecção das planilhas e gráficos da distribuição de potência e da densidade de potência foi feita no *software Excel*[®].

Para verificação do potencial utilizando a modelagem estatística com a função contínua de Weibull, a densidade da potência de correntes média (W/m^2) foi calculada com base nos parâmetros (c e k) da distribuição, segundo a expressão: $P = \frac{1}{2}\rho E(V^3)$ na qual P é a densidade de potência, ρ é a massa específica da água do mar ($1025\text{ kg}/m^3$), $E(V^3)$ é o valor esperado da velocidade média das correntes ao cubo (TWIDELL; WEIR, 2006).

$E(V^3)$ corresponde ao terceiro momento centrado na origem da distribuição de Weibull: $E(V^3) = c^3\Gamma(1 + \frac{3}{k})$, sendo Γ a função matemática gama. Para o cálculo de $E(V^3)$ foi utilizado o *software Excel*[®].

4.3 Análise do potencial energético de ondas oceânicas

Para uma melhor caracterização do potencial energético do oceano foi incluído ao estudo do potencial de correntes, o potencial energético das ondas. Para tal caracterização, foram utilizadas análises já efetuadas para os litorais Norte e Sul do Rio Grande do Sul.

O estudo para o litoral Sul foi realizado por Assis (2010). Os dados foram obtidos, no período entre 1996 e 1999, através de um ondógrafo, posicionado na batimetria de 15m, nas coordenadas $32^\circ 10' S$ e $51^\circ 58' W$ na frente do molhe leste da barra do Porto de Rio Grande (Figura 4.3). Estes dados serviram como base para a avaliação de recurso energético das ondas do mar para a região de Rio Grande.



Figura 4.3: Localização do ondógrafo – Rio Grande.
Fonte: Assis (2010)

A análise dos dados para o litoral Norte foi efetuado por Silva (2012), que realizou estudo sobre a viabilidade de geração de energia elétrica a partir de ondas oceânicas no litoral do Rio Grande do Sul. Os dados utilizados para compor o estudo foram obtidos através do NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*, para a região de Tramandaí, com série de dados para todo o ano de 2009.

4.4 Uso do *software Homer* para análise da viabilidade técnica e econômica de geração de energia elétrica a partir de usina de correntes e de ondas oceânicas.

Para avaliação do custo-benefício do sistema de geração de energia através de correntes e de ondas oceânicas, foi utilizado o *software HOMER Legacy* “*The Micropower Optimization Model*”, versão 2.68, desenvolvido pelo Laboratório Nacional do Departamento de Energia dos EUA, Escritório de Eficiência Energética e Energias Renováveis, disponível em www.homerenergy.com. Nesta avaliação é possível verificar a variação dos custos das tecnologias e da disponibilidade de recursos energéticos.

O *software HOMER* foi desenvolvido para pequenas centrais de energia e executa simulações para sistemas de energia através de geradores diesel, painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, pequenas centrais hidroelétricas e outros, sendo ainda possível adicionar cenários com conversores, banco de baterias, demandas elétricas, demandas térmicas e custos dos componentes, de operação e manutenção.

O *software HOMER* modela o comportamento físico de um sistema de energia e o seu custo de ciclo de vida, o qual compreende o custo de instalação e operação do sistema ao longo de sua vida útil. Permite ao usuário comparar diversas opções de projeto baseadas em suas características técnicas e econômicas, e também auxilia o projetista a entender e a quantificar os efeitos de incertezas ou de mudanças nos dados de entrada (LAMBERT et al., 2006 apud SILVA, 2012).

O funcionamento do *software* é baseado em três funções principais: Simulação, Otimização e Análise de Sensibilidade.

No processo de simulação, é feita a modelagem do desempenho da configuração do sistema de uma micro central de energia em particular, para cada hora ao longo de um ano, com o objetivo de determinar sua viabilidade técnica e seu custo ao longo do ciclo de vida.

No processo de otimização, são simuladas diversas configurações diferentes de sistemas na procura por aquela que satisfaça todas as restrições técnicas com o menor custo de ciclo de vida. A otimização determina o valor ótimo das variáveis sobre as quais o projetista

tem controle como a combinação de componentes que constituem o sistema e o tamanho ou quantidade de cada um deles.

Na análise de sensibilidade, são executadas múltiplas otimizações sob uma série de premissas/suposições para avaliar os efeitos de incertezas ou mudanças nos dados de entrada do modelo. Esta análise permite avaliar os efeitos de incertezas ou mudanças nas variáveis sobre as quais o modelador não tem controle, tais como a média da velocidade das correntes ou o preço futuro de energia.

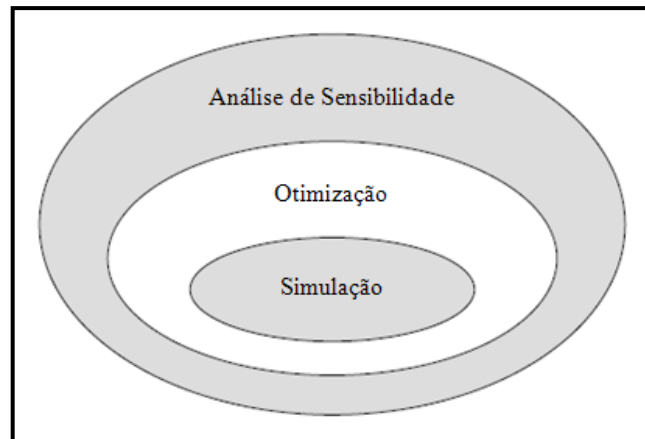


Figura 4.4: Relação conceitual entre simulação, otimização e análise de sensibilidade.
Fonte: Lambert *et al.*, 2006 apud Silva, 2012

A figura 4.4 ilustra a relação entre simulação, otimização e análise de sensibilidade. A região de forma oval da otimização envolve a região oval da simulação para representar o fato de que uma simples otimização consiste de múltiplas simulações. Similarmente, a região da análise de sensibilidade engloba a região da otimização, pois uma simples análise de sensibilidade consiste de múltiplas otimizações (LAMBERT *et al.*, 2006 apud SILVA, 2012).

O *software* simula a operação de um sistema efetuando cálculos do balanço de energia para cada uma das 8760 horas do ano. Para cada hora, é comparada a demanda elétrica com a energia que o sistema pode fornecer naquela hora, calculando os fluxos de energia que entram e saem em cada componente do sistema. Os dados de entrada no programa requerem séries de dados horários para um ano completo, ou seja, 8760 dados.

Os cálculos de balanço de energia são efetuados para cada configuração de sistema desejado. Determinando então se uma configuração é viável, ou seja, se esta configuração poderá atender a demanda elétrica nas condições que foram especificadas pelo usuário, e estima o custo de instalação e operação do sistema durante a vida útil do projeto. Os cálculos de custo do sistema contabilizam custo de capital, custo de reposição, custos de operação e manutenção, custos com combustível, entre outros.

O *software HOMER* também permite uma modelagem econômica dos sistemas híbridos de energia. O programa opera tanto na simulação quanto na otimização, de modo a minimizar o custo total presente líquido. Utilizando este custo como característica econômica de medida, considerando o ciclo de vida do sistema configurado.

As fontes renováveis e não renováveis de energia normalmente têm características de custos bastante diferentes. As fontes renováveis tendem a ter altos custos de capital inicial e baixos custos de operação, enquanto que as fontes convencionais não renováveis tendem a ter baixos custos de capital inicial e altos custos operacionais. No processo de otimização, são frequentemente comparadas as características econômicas de um amplo conjunto de configurações de sistemas compreendendo quantidades variadas de fontes renováveis e não renováveis de energia. Para que se mantenha o equilíbrio, tais comparações devem levar em conta tanto os custos de capital quanto de operação. A análise do custo do ciclo de vida realiza esse processo incluindo todos os custos que ocorrem durante a vida útil do sistema (SILVA, 2012).

O custo total presente líquido condensa todos os custos e receitas que ocorrem durante o tempo de vida do projeto em um montante fixo em dólares atualizados, com fluxos de caixa futuros descontados para o presente usando a taxa de desconto. O modelador especifica a taxa de desconto e o tempo de vida útil do projeto. O custo total presente líquido inclui os custos iniciais de construção, reposição de componentes, manutenção, combustível, mais o custo de compra de energia da rede de distribuição e custos variados tais como as externalidades resultantes das emissões de poluentes. As receitas incluem o valor da venda de energia para a rede, além de qualquer valor residual que ocorra no final da vida útil do projeto.

No processo de modelagem é assumido que todos os preços aumentam a uma mesma taxa ao longo do tempo de vida útil do projeto. Com esta suposição, quando os fluxos de caixa futuros são descontados para o presente, a inflação é retirada da análise através da simples utilização da taxa de juros real (ajustada pela inflação) em vez da utilização da taxa de juros nominal. O projetista, portanto, entra com a taxa de juros real, a qual é aproximadamente igual à taxa de juros nominal menos a taxa de inflação. Todos os custos são definidos em dólares (SILVA, 2012).

Para cada componente do sistema, o modelador especifica o custo do capital inicial, o qual ocorre no ano zero, o custo de reposição, que ocorre a cada momento em que o componente precisa de reposição, ou seja, no final de sua vida útil, e o custo de operação e manutenção, que ocorre a cada ano da vida útil do projeto. O usuário especifica a vida útil da maioria dos componentes em anos. Dependendo do caso, o custo de reposição de um sistema

poderá ser diferente do seu custo de capital inicial, pois na maioria dos casos são trocados apenas componentes e não todo o equipamento que compõe o sistema.

Para calcular o valor residual de cada componente ao final da vida útil do projeto, o *software* executa a seguinte equação:

$$S = C_{rep} \frac{R_{rem}}{R_{comp}} \quad (4.5)$$

Onde:

S: valor residual;

C_{rep} : custo de reposição do equipamento;

R_{rem} : tempo remanescente de vida do componente;

R_{comp} : tempo de vida útil do componente.

Para cada componente, o *HOMER* combina os custos de capital, de reposição, de manutenção, e de combustível, juntamente com o valor residual e qualquer outro custo ou receita, para encontrar o custo anual do componente. Este é o custo hipotético anual que se ocorresse a cada ano do tempo de vida útil do projeto produziria um custo presente líquido equivalente àquele de todos os custos individuais e receitas associadas com o componente ao longo do tempo de vida útil do projeto. O *HOMER* soma os custos anuais de cada componente, com quaisquer custos diversos, tais como multas devido a emissões de poluentes, para encontrar o custo anual total do sistema. Este valor é importante, pois é utilizado para calcular as duas principais características de medida econômica para o sistema: o custo total presente líquido e o custo médio de energia (SILVA, 2012).

O custo total presente líquido é calculado pela equação 4.6:

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (4.6)$$

Onde:

$C_{ann,tot}$: custo total anual;

i : taxa de juros real anual (taxa de desconto);

R_{proj} : tempo de vida útil do projeto;

$CRF(\cdot)$: fator de recuperação de capital.

O $CRF(i, N)$ é dado pela seguinte equação:

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4.7)$$

Onde:

i : taxa de juros real anual;

N : número de anos.

O custo médio de energia é calculado por:

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim} + E_{def} + E_{grid,sales}} \quad (4.8)$$

Onde:

$C_{ann,tot}$: custo total anual;

E_{prim} : demanda total que o sistema atende ao ano;

E_{def} : carga adiável que o sistema atende ao ano;

$E_{grid,sales}$: quantidade de energia vendida para a rede de distribuição ao ano.

O denominador da equação 4.8 é uma expressão da quantidade total de energia útil que o sistema produz ao ano. O custo médio de energia é, portanto, o custo médio por kWh da energia elétrica útil produzida pelo sistema. Embora o custo médio de energia seja frequentemente uma medida conveniente com a qual se compara os custos de diferentes sistemas, o *HOMER* usa o custo total presente líquido como sua medida principal de característica econômica. Em seu processo de otimização, é feito um ordenamento das configurações de sistema de acordo com o custo total presente líquido ao invés de utilizar o custo médio de energia. Isto porque a definição de custo médio de energia é questionável, enquanto que a do custo total presente líquido não é (SILVA, 2012).

Neste trabalho foram simulados alguns cenários, considerando um sistema híbrido de energia (usina de correntes, usina de ondas e conexão com a rede de distribuição do sistema nacional interligado). Embora o *software* não possua um módulo específico para o cálculo de geração de energia elétrica utilizando as correntes e as ondas oceânicas, foi implementado este cálculo nas janelas de simulação para geração de energia elétrica através de sistemas eólico e hidráulico. Para o sistema eólico foi mudado o valor da densidade do ar para a densidade da água. No sistema hidráulico, a altura significativa e o período de energia das ondas foram equacionados e transformados em vazão.

Para as simulações realizadas neste trabalho, foram inseridos no *software HOMER* os seguintes dados de entrada: características da turbina, características da usina de ondas, o montante da carga regional (demanda - *load*), características da rede elétrica convencional existente (se for considerado que sistema é conectado ao sistema nacional interligado) e do

recurso energético (velocidade das correntes oceânicas e dados de altura e período de ondas). Estas informações de entrada podem ser visualizadas na figura 4.5 que mostra a tela do *software* para dados de entrada.

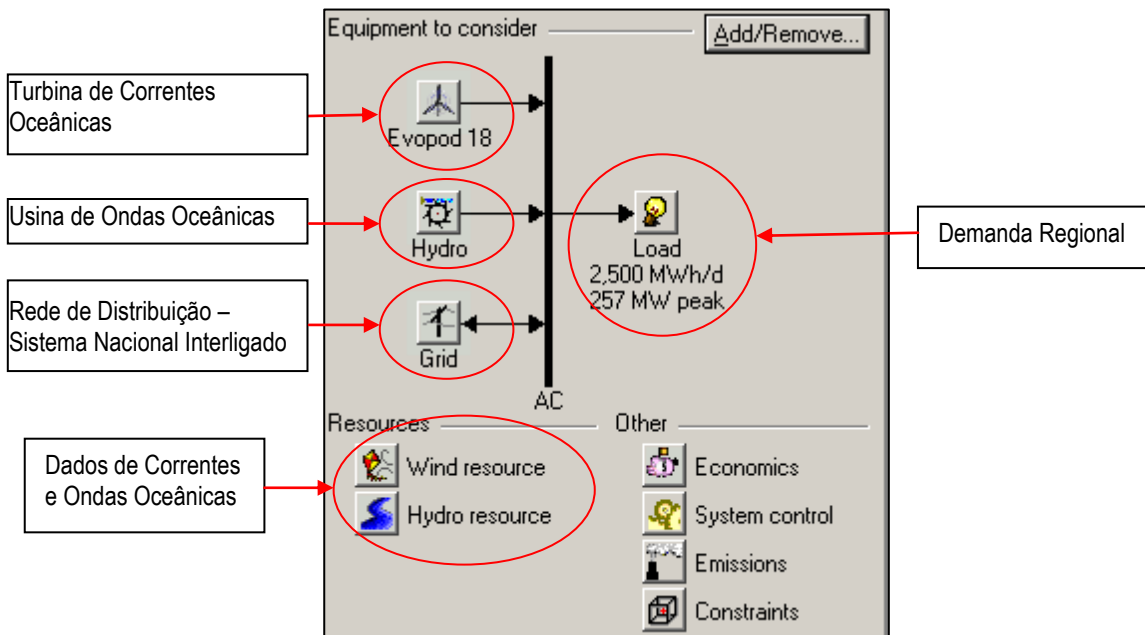


Figura 4.5: Exemplo da tela do *software* Homer para a entrada de dados.

Para entrada de dados no programa, foram utilizadas séries compostas por 8760 valores, que representam valores horários durante o período de um ano, ou seja:

$$24\text{h/dia} * 365 \text{ dias/ano} = 8760\text{h/ano}$$

Para a usina de geração de energia elétrica através de correntes oceânicas, foi utilizada a turbina de eixo horizontal denominada “*EVOPOD*” desenvolvida pela empresa *Oceanflow Energy* do Reino Unido e com dados disponíveis em www.oceanflowenergy.com. A turbina *EVOPOD* foi o único equipamento utilizado neste estudo devido à indisponibilidade de dados (tal como a curva de potência) de outros fabricantes. A tabela 4.2 mostra a curva de potência da turbina *EVOPOD*:

Tabela 4.2: Curva de Potência – Turbina *Evopod*, em kW.

Curva de Potência (kW)						
V _{corrente} (m/s)	Diâmetro da turbina (m)					
	3	6	9	12	15	18
1	1	6	13	23	36	52
2	12	46	104	185	290	417
3	39	156	352	626	978	1408
4	93	371	835	1484	2318	3339

Fonte: www.oceanflowenergy.com (acesso em setembro/2012).

O programa *HOMER*, atualmente, não oferece a opção de componente para uma usina de aproveitamento de ondas do mar. Tal como feito por Silva (2012), neste trabalho a realização das simulações foi feita com a utilização de uma usina hidrelétrica. As vazões foram calculadas em função dos dados do recurso de ondas, ou seja, em função das alturas significativas (H_s) e dos períodos de energia (T_e).

Foram inseridos os dados para a rede de distribuição de energia elétrica (*grid*), sistema nacional interligado. Segundo a ANEEL (2012), os custos da energia elétrica residencial variam de acordo com a região do país. Neste trabalho, foram considerados três valores de preço da energia da rede do sistema interligado nacional, o valor mais alto, o mais baixo e o valor da companhia elétrica do Estado do Rio Grande do Sul (Tabela 4.3), conforme disponibilizado pela ANEEL, sem encargos setoriais e tributos.

Tabela 4.3: Preço da energia elétrica do sistema nacional interligado.

Distribuidora de Energia Elétrica	Reais (R\$)	Dólares Americanos (USD\$)
UHENPAL – Usina Hidrelétrica Nova Palma Ltda.	0,46079	0,223
CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica.	0,33698	0,162
CEA – Companhia de Eletricidade do Amapá.	0,19729	0,095

Fonte: www.aneel.gov.br (acesso em novembro/2012).

Os dados de demanda elétrica do litoral norte do Estado foram adquiridos junto à empresa Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica, CEEE-D, através da Seção de Planejamento e Desempenho.

5. Resultados e Discussão

5.1 Estudo das características das correntes

Nos anos de 1995 e 1996, na região de Tramandaí, os dados de velocidade e direção das correntes foram analisados sazonalmente, e divididos conforme a cota em que foram coletados, 5m e 15m a partir do fundo, respectivamente.

O estudo da direção predominante foi realizado através da análise das rosas de corrente para cada estação do ano. Na figura 5.1 são apresentadas as rosas de corrente para dados de velocidade, com cota de 5m.

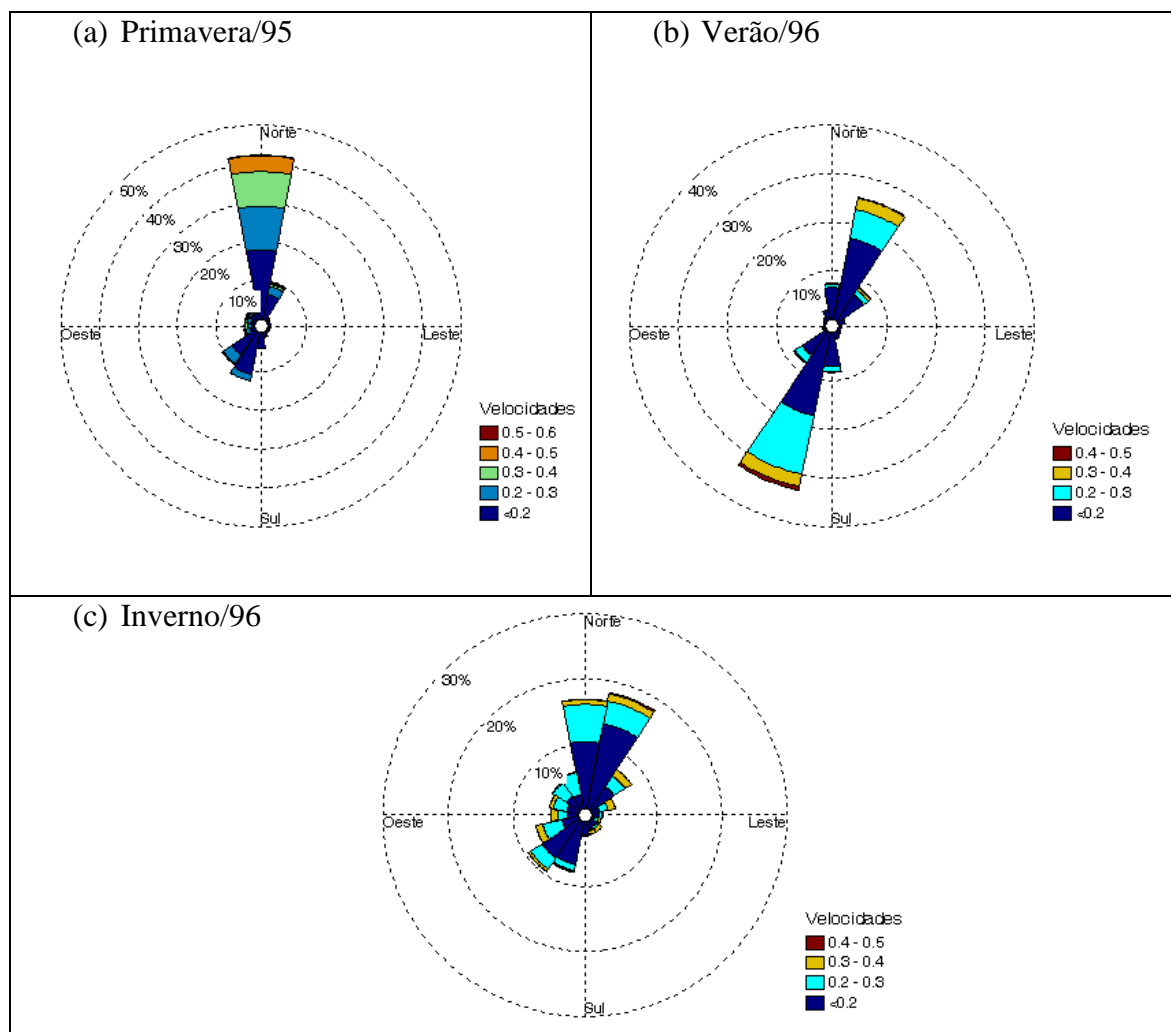


Figura 5.1: Rosas de Corrente (cota 5m, velocidades em m/s): (a) Primavera/95, (b) Verão/96 e (c) Inverno/96.

Na primavera/95 (Figura 5.1 (a)), a direção predominante foi a N, com 42,31% de ocorrência, a segunda direção de maior ocorrência foi a SSO, com 12,75%.

Já no verão de 1996 (Figura 5.1 (b)), A direção predominante observada é a SSO, com 33,18% do total de ocorrências, e a segunda é a NNE com 25,65%. Devido a problemas ocorridos no correntógrafo, não existem registros de dados no período de outono/96 na cota de 5 m. No inverno/96 (Figura 5.1 (c)), as principais direções observadas foram a NNE, com 18,25% e a N com 16,88% do total de ocorrências.

Na Figura 5.2 são apresentadas as rosas de corrente para dados de velocidade com cota de 15 m.

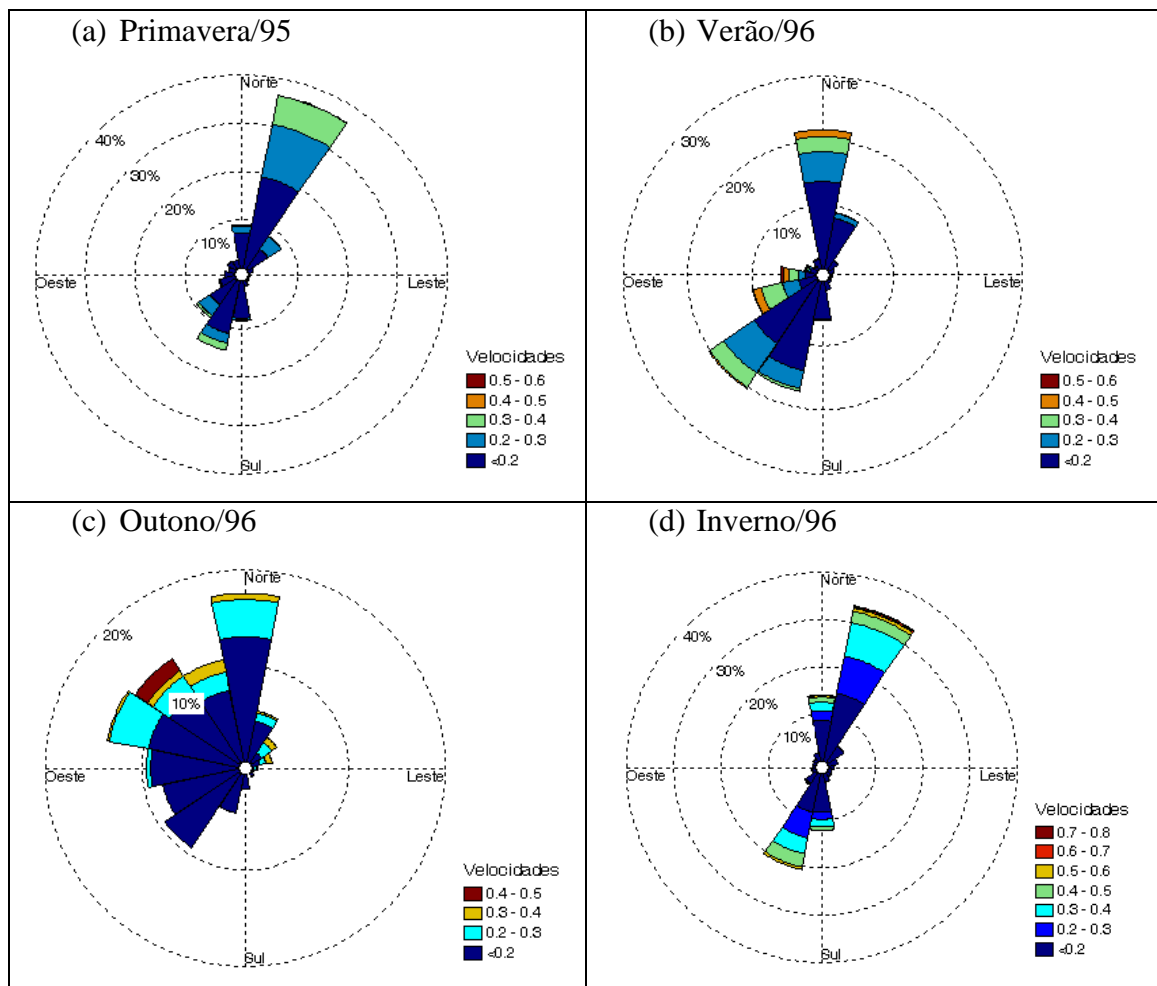


Figura 5.2: Rosas de Corrente (cota 15m, velocidades em m/s): (a) Primavera/95, (b) Verão/96, (c) Outono/96 e (d) Inverno/96.

A rosa de correntes da primavera/95 (Figura 5.2 (a)) mostra que as principais direções das correntes são NNE e SSO. A direção predominante foi a NNE com 36,5% de ocorrência, enquanto na direção SSO foi de 14,64%. No período correspondente a primavera/95 não foram coletados os dados de vento, não sendo possível analisar a influência destes sobre as direções principais das correntes.

A figura 5.2 (b) mostra a rosa das correntes (cota 15m) do verão/96. Neste período, as principais direções observadas foram a Norte, com 21,23% do total de ocorrências e a SO, com 20,28%. As direções SSO, OSO e NNE também tiveram ocorrência significativa, com 17,46%, 10,14% e 8,94%, respectivamente.

As principais direções dos ventos nos meses de verão (fevereiro e março/96) ocorreram no setor Nordeste (Figura 5.3 (a)(b)) mostrando que existe uma influência do vento em relação à direção das correntes que ocorreram de maneira significativa no setor sudoeste.

O padrão de ventos sobre a região costeira é determinado pela influência do anticiclone do Atlântico Sul em escala sazonal, pela presença de sistemas meteorológicos em escala sinótica e pelo sistema de brisa costeira (BRAGA; KRUSCHE, 2000). Os ventos predominantes na costa do Rio Grande do Sul são de origem NE e estão associados ao centro de alta pressão gerado pelo anticiclone semi-estacionário do Atlântico Sul. Este sistema é mais intenso entre a primavera e o verão (MÖLLER et al., 2008).

De acordo com Palma et al. (2008), a partir de resultados obtidos através de um modelo tridimensional barotrópico e baroclínico forçado por descarga fluvial, marés, ventos e correntes de contorno, para a região entre 28°S e 38°S, a sazonalidade no regime de correntes da plataforma interna é evidente. No verão e primavera as correntes têm rumo SO em função da dominância de ventos de NE. O mesmo padrão sazonal foi observado através de simulações numéricas por Cecílio (2006). O autor encontrou fluxos para sul e para o largo durante o verão.

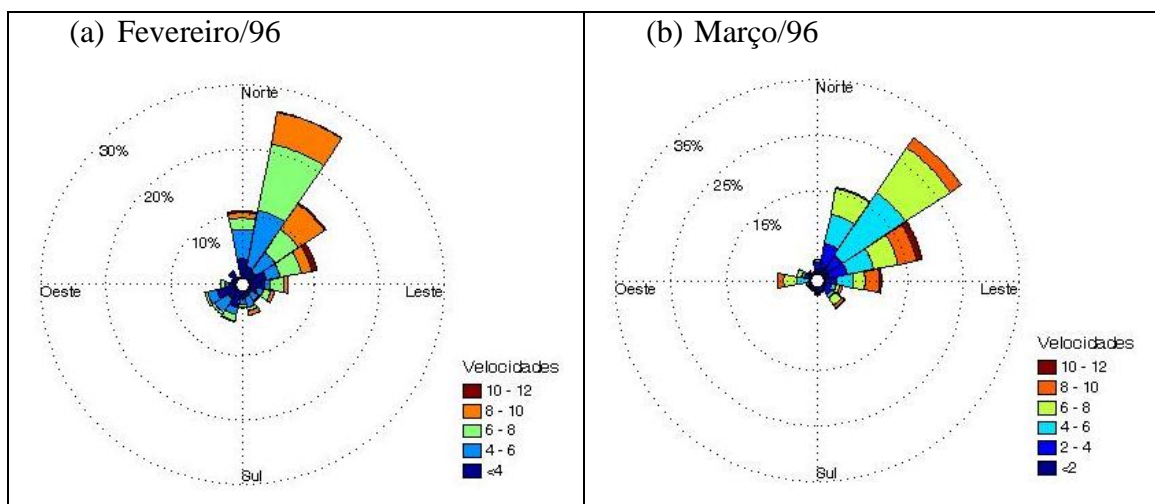


Figura 5.3: Rosa dos Ventos (velocidades em m/s) – (a) Fevereiro e (b) Março (1996).

No outono/96, é possível observar que as direções situaram-se em sua maioria no setor Noroeste, sendo a direção Norte a predominante, com 17,57% de ocorrências (Figura 5.2 (c)). É possível observar que a direção predominante dos ventos no mês de abril/96 foi a NE e que em maio/96 foi a O (Figura 5.4 (a) (b)), não sendo possível estabelecer uma relação com os dados de direção das correntes neste período que, como acima exposto, mostrou uma grande ocorrência no setor Noroeste.

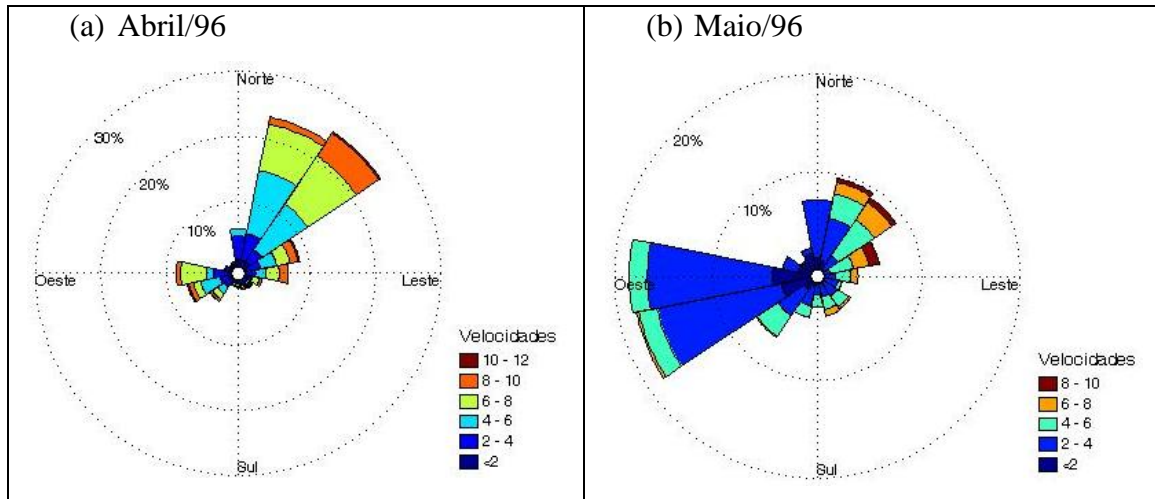


Figura 5.4: Rosa dos Ventos (velocidades em m/s) – (a) Abril e (b) Maio (1996).

A rosa de correntes (cota 15m) do inverno/96 é mostrada na figura 5.2 (d). A direção predominante foi a NNE. Os percentuais de maior ocorrência para cada direção foram: 33,6% na direção NNE, 20,75% na direção SSO, 14,06% na direção Norte e 12,09% na direção Sul.

A direção predominante do vento foi a Oeste e a segunda direção de maior ocorrência foi a OSO, também é verificado que ocorrem ventos na direção NE de maneira significativa (Figura 5.5 (a)(b)), mostrando uma relação com a direção NNE e SSO das correntes neste período.

Entre o outono e o inverno, inversões periódicas na direção do vento para sul (S), sudoeste (SO) e sudeste (SE) estão associadas à propagação de anticiclones polares para regiões de baixa latitude (frentes meteorológicas), sendo mais frequentes no outono e inverno (BRAGA; KRUSCHE, 2000; KRUSCHE et al., 2002). Além disso, Braga e Krusche (2000) relatam que embora a componente SO apresente uma menor frequência de ocorrência, essa é a que possui as maiores intensidades (entre 59 e 85km/h).

Segundo Möller et al. (2008) ventos de Sudoeste (SO), presentes no inverno, geram um deslocamento das mesmas para Norte. De acordo com Palma et al. (2008), no outono e inverno a dominância é de correntes dirigidas para NE é em função da maior ação de ventos de SO.

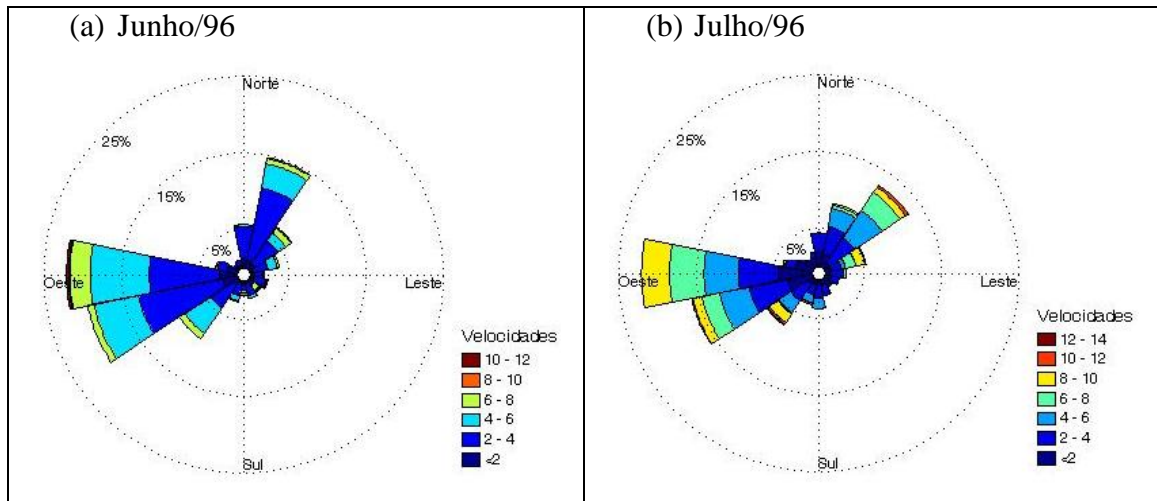


Figura 5.5: Rosa dos Ventos (velocidades em m/s) – (a) Junho e (b) Julho (1996).

Fazendo uma comparação dos dados de corrente do verão/96 (cota de 5m) com os dados do verão de 1963, observa-se que as principais direções, SSO e NNE, se mantêm. Conforme a figura 5.6, no verão de 1963 a direção SSO teve a maior ocorrência (35,29%) e a direção NNE ocorreu 21,18% do total.

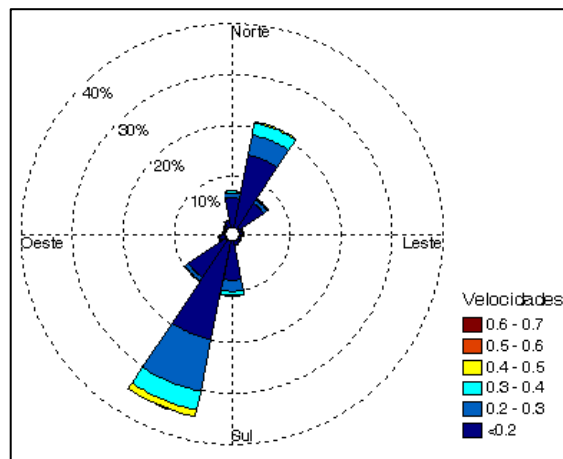


Figura 5.6 – Rosa de correntes (cota 9m, velocidades em m/s) - verão/63.

A análise dos dados de direção das correntes mostra que elas variam ao longo do tempo do setor nordeste para o setor sudoeste e vice-versa. Como os dados foram obtidos num local próximo à linha da costa (aproximadamente 2500m), pode-se dizer que o comportamento das correntes sofre a influência da batimetria, pois elas realizam uma espécie de “giro” e se mantêm paralelas em relação à costa, na direção NE/SO, com maior frequência.

Os dados de intensidade das velocidades das correntes foram analisados utilizando procedimentos estatísticos. O tratamento dos dados fornece parâmetros estatísticos importantes para a definição do regime das correntes e, em consequência, do potencial energético de um dado local.

A tabela 5.1 mostra o estudo feito para as correntes mais profundas com cota 5m a partir do fundo, de 1995/1996. O valor máximo de velocidade ocorreu no verão, com 0,54m/s. Os valores mínimos ficam bastante próximos de zero. O valor médio máximo também ocorre no verão, com 0,19m/s, considerando um desvio padrão de 0,12m/s.

Tabela 5.1 – Resultados dos dados de corrente/cota 5m, região de Tramandaí, (1995/1996).

Resultados	Verão	Primavera	Outono	Inverno
Máximo (m/s)	0,540	0,460	-	0,440
Mínimo (m/s)	0,004	0,002	-	0,002
Médio (m/s)	0,190	0,190	-	0,170
Desvio Padrão (m/s)	0,120	0,090	-	0,095
Coefficiente de Variação (%)	64,60	60,20	-	55,60

Na tabela 5.2 são mostrados os dados das correntes mais próximos da superfície, coletados a 15m a partir do fundo, de 1995/1996. É possível observar que os valores máximos são pouco maiores, 0,59m/s na primavera e 0,75m/s no inverno, quando comparados com os resultados obtidos nos dados de corrente com cota 5m. Já os valores médios ficaram muito próximos dos valores de velocidade das correntes coletados a 5m.

Tabela 5.2 – Resultados dos dados de corrente/cota 15m, região de Tramandaí, (1995/1996).

Resultados	Verão	Primavera	Outono	Inverno
Máximo (m/s)	0,400	0,590	0,440	0,750
Mínimo (m/s)	0,002	0,002	0,014	0,004
Médio (m/s)	0,160	0,170	0,140	0,190
Desvio Padrão (m/s)	0,090	0,110	0,090	0,140
Coefficiente de Variação (%)	56,50	67,80	65,80	72,70

Para o conhecimento da frequência de cada velocidade com base nos dados amostrais foram feitos histogramas para cada conjunto de dados. Como o número de dados é bastante diferente para cada período de análise, foram calculados classes e intervalos diferenciados para cada histograma (Tabela 5.3). Este procedimento foi necessário para não prejudicar a forma de apresentação e as características das velocidades para cada período.

Tabela 5.3: Dados dos histogramas de velocidade das correntes, região de Tramandaí.

Período	Cota (m)	Nº de dados (n)	Amplitude (a) (m/s)	Nº de classes (N)	Intervalo de classe (i)
Primavera/95	5	2314	0,540	16	0,034
Primavera/95	15	2315	0,398	16	0,025
Verão/96	5	5178	0,462	18	0,026
Verão/96	15	5177	0,584	18	0,032
Outono/96	15	0461	0,422	14	0,032
Inverno/96	5	1967	0,434	17	0,027
Inverno/96	15	2646	0,748	18	0,044

O histograma dos dados de velocidade (5m) para a primavera/95 mostrou que a classe que apresentou maior número de dados (407) foi a com velocidades entre 0,034 e 0,068m/s. Já valores superiores a 0,5m/s tiveram uma ocorrência de 44 dados (Figura 5.7).

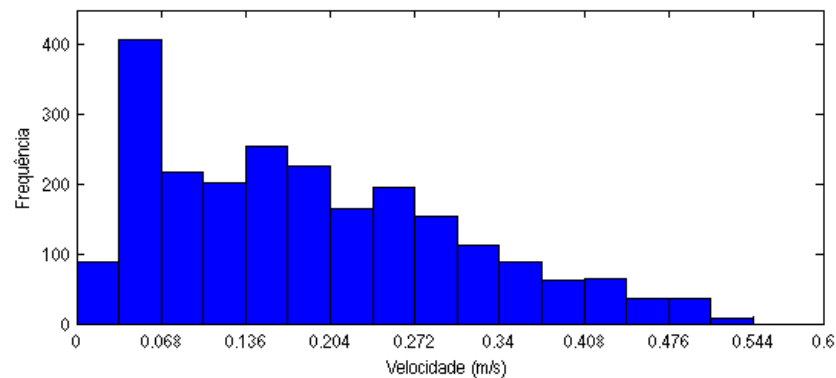


Figura 5.7: Histograma dos dados de velocidade (cota 5m) – Tramandaí, primavera/95.

Na figura 5.8, é apresentada a curva de ajuste da distribuição de Weibull. Para este conjunto de dados o parâmetro de forma de Weibull (k) foi de 1,5643 e o parâmetro de escala (c) de 0,2095m/s. A distribuição de Weibull apresentou um bom ajuste para velocidades acima de 0,24m/s, para valores de menor intensidade a distribuição não apresentou um bom ajuste. Souza e Granja (1997), caracterizando a distribuição dos ventos em Mato Grosso do Sul salientam que a distribuição de Weibull mostra dificuldades no ajuste de valores muito baixos.

Através do cálculo da Função Acumulada de Probabilidade (FAP) de Weibull é possível obter a probabilidade de ocorrência para determinado valor de velocidade. Para velocidades acima de 0,5m/s a probabilidade de ocorrência é de somente 0,025%. Já velocidades abaixo de 0,068m/s tem probabilidade de 60,2%.

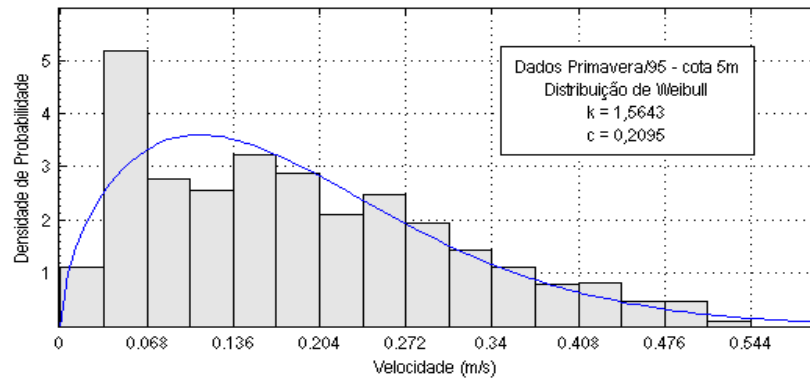


Figura 5.8: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 5m) – Tramandaí, primavera/95.

Analisando os dados de correntes mais superficiais, com cota de 15m, para a primavera/95, é possível observar um histograma com frequências mais equilibradas entre as classes e, também uma maior ocorrência de velocidades com intensidade um pouco mais elevada. Porém, para este conjunto de dados, a velocidade máxima foi de 0,4m/s, enquanto que na análise anterior, para dados coletados numa maior profundidade, a velocidade máxima foi de 0,544m/s. A classe que apresentou um maior número de dados foi a de velocidades entre 0,125 e 0,15m/s, com 268 dados (Figura 5.9).

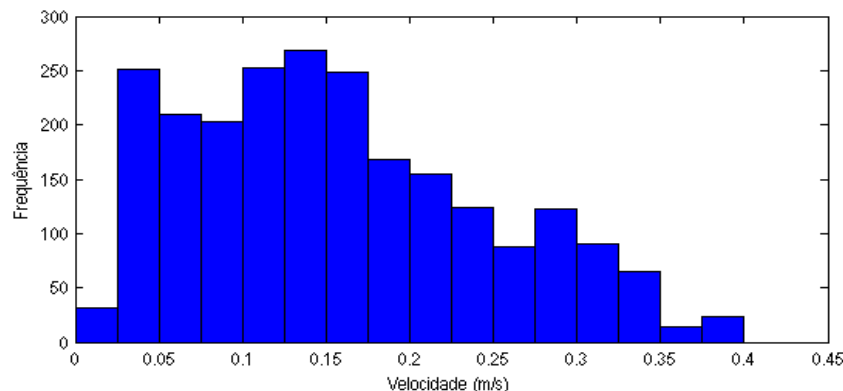


Figura 5.9 – Histograma dos dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, primavera/95.

O ajuste da distribuição de Weibull para os dados de cota 15m para primavera/95 apresentou um parâmetro de forma (k) de 1,8405 e um parâmetro de escala (c) de 0,1773m/s. Como o parâmetro de forma tem um valor mais próximo de 2, o ajuste da curva tende para uma distribuição de Rayleigh (Figura 5.10).

Calculando a FAP de Weibull, é obtida uma probabilidade de 1,57% de que velocidades maiores do que 0,4m/s possam ocorrer.

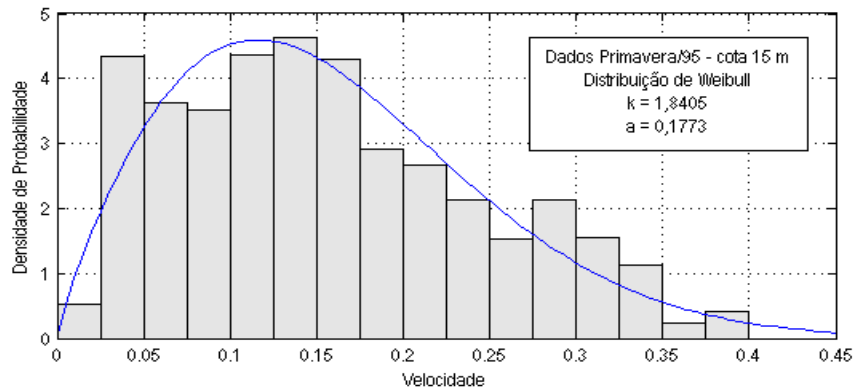


Figura 5.10: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, primavera/95.

Para os dados do verão/96 foram feitos os mesmos procedimentos de cálculo. O histograma dos dados para cota de 5m mostrou que a maior número de dados ocorrem nas classes de velocidades de pouca intensidade. A classe entre 0,026 e 0,052m/s apresentou 668 ocorrências, já a classe entre 0,442 e 0,468m/s apresentou somente 10 de um total de 5178 dados (Figura 5.11).

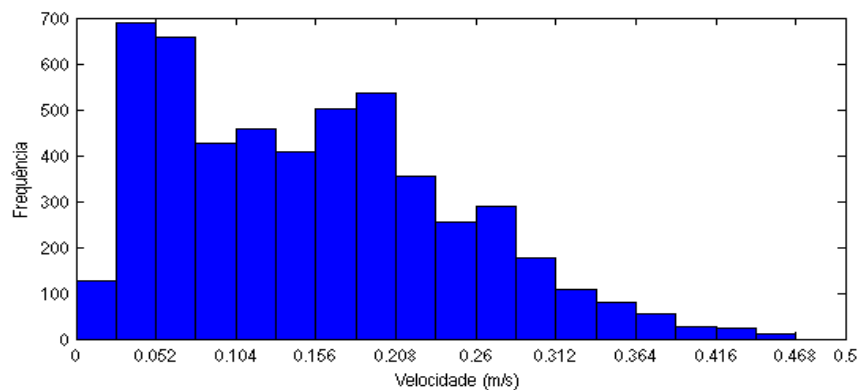


Figura 5.11 – Histograma dos dados de velocidade (cota 5m) – Tramandaí, verão/96.

O ajuste dos dados para a distribuição de Weibull pode ser visualizado na figura 5.12. Um melhor ajuste pode ser verificado para intensidades de velocidade a partir de 0,208m/s. O parâmetro de forma (k) foi de 1,7125 e o de escala (c) de 0,1729m/s. O valor máximo de velocidade para este conjunto de dados é de 0,464m/s. A partir do cálculo da FAP de Weibull, a probabilidade de ocorrência para valores maiores do que 0,4m/s é de 1,9%.

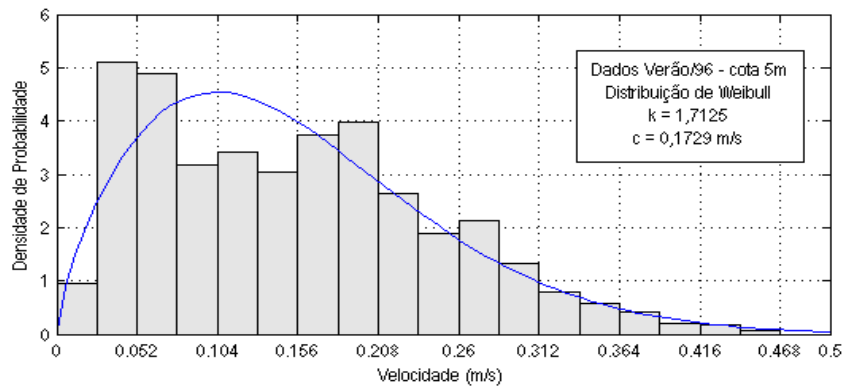


Figura 5.12: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 5m) – Tramandaí, verão/96.

Na figura 5.13 o histograma mostra que os dados de velocidades mais frequentes são os de menor intensidade para os dados coletados numa cota de 15m. A classe entre 0,032 e 0,064m/s apresenta um total de 1005 dados, enquanto que as classes entre 0,48 e 0,512m/s e entre 0,512 e 0,544m/s apresentam juntas um total de 43 dados de um total de 5177 dados analisados.

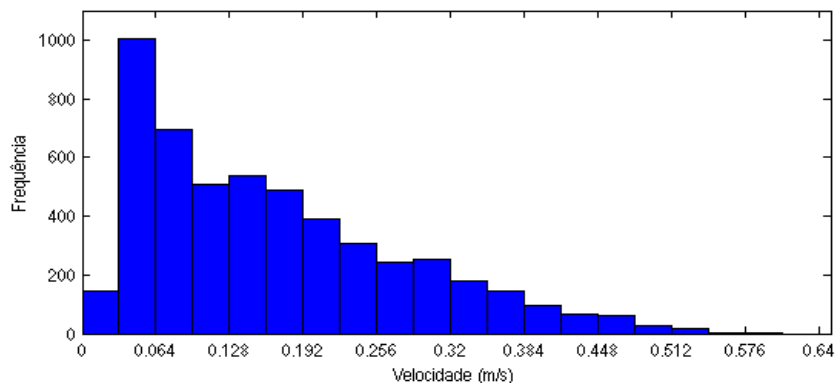


Figura 5.13 – Histograma dos dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, verão/96.

Assim como ocorreu para os dados de correntes mais profundas, a distribuição de Weibull apresentou um melhor ajuste para velocidades com maior intensidade, acima de 0,288m/s, como pode ser visualizado na figura 5.14. Para este período a distribuição apresentou um parâmetro de forma (k) de 1,5347 e um parâmetro de escala (c) de 0,1861m/s. A probabilidade de ocorrer uma velocidade maior do que 0,4m/s é de 3,69%, calculando a FAP de Weibull.

No outono/96 foram coletados somente os dados de correntes com cota de 15m devido a problemas ocorridos no correntógrafo instalado na cota de 5m. O histograma dos dados apresenta características semelhantes aos demais períodos analisados, com maior ocorrência de dados nas classes com velocidades menos intensas. A classe entre 0,032 e 0,064m/s

apresentou 94 dados, enquanto que a classe entre 0,416 e 0,448m/s apresentou 6 dados, considerando que foram analisados um total de 461 dados (Figura 5.15).

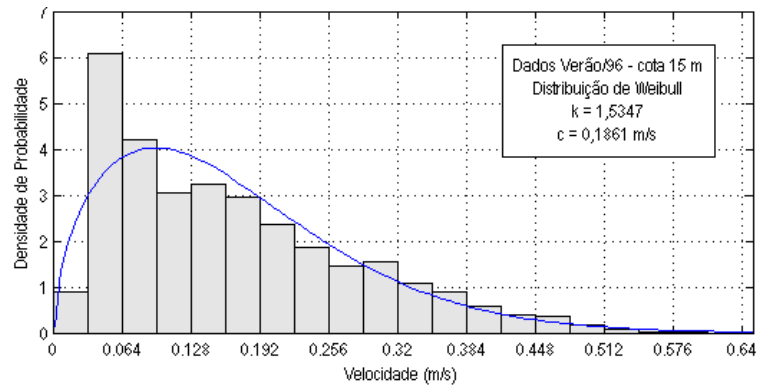


Figura 5.14: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, verão/96.

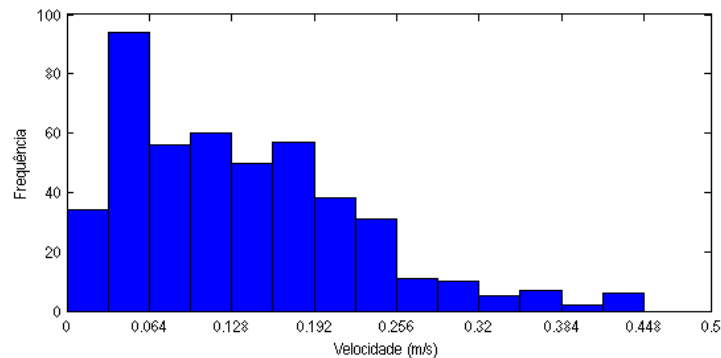


Figura 5.15: Histograma dos dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, outono/96.

A figura 5.16 mostra o ajuste da distribuição de Weibull, com parâmetro de forma (k) de 1,5815 e parâmetro de escala igual a 0,1524m/s. O ajustamento mostrou-se melhor para os dados de velocidade acima de 0,3m/s. A probabilidade de ocorrerem velocidades acima de 0,4m/s é de 1,57%, conforme o cálculo de FAP de Weibull.

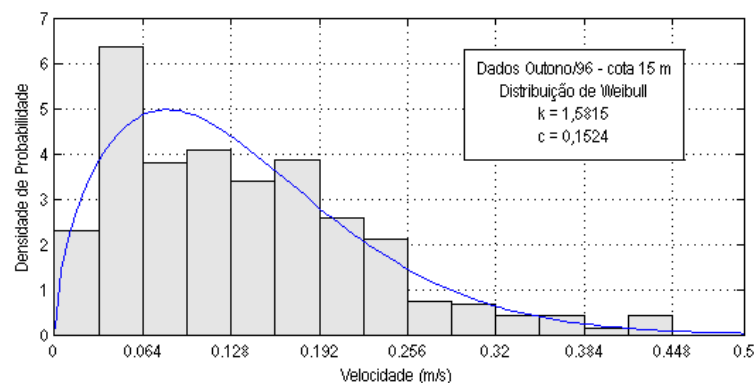


Figura 5.16: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, outono/96.

Os dados de correntes medidas numa cota de 5m no período do inverno/96 são mostrados no histograma da figura 5.17. Percebe-se que as classes compreendidas entre 0,027 e 0,27m/s estão mais equilibradas em termos de frequência, mostrando pequenas diferenças. Já os valores de velocidade acima de 0,3m/s ocorrem com frequência bem menor. A classe que apresenta maior número de dados é a entre 0,027 e 0,054m/s, com 215 dados. Velocidades entre 0,108 e 0,135m/s tiveram uma ocorrência de 201 dados, entre 0,189 e 0,216m/s ocorreram 190 vezes e, dados de velocidade com intensidade acima de 0,4m/s ocorreram somente 8 vezes, de um total de 1967 dados.

A distribuição de Weibull mostrou um bom ajuste para velocidades a partir 0,189m/s. O parâmetro de forma (k) calculado é de 1,8352 e o parâmetro de escala (c) igual a 0,1909m/s (Figura 5.18).

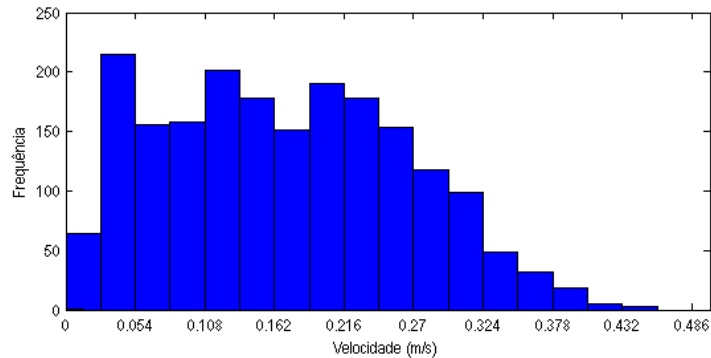


Figura 5.17: Histograma dos dados de velocidade (cota 5m) – Tramandaí, inverno/96.

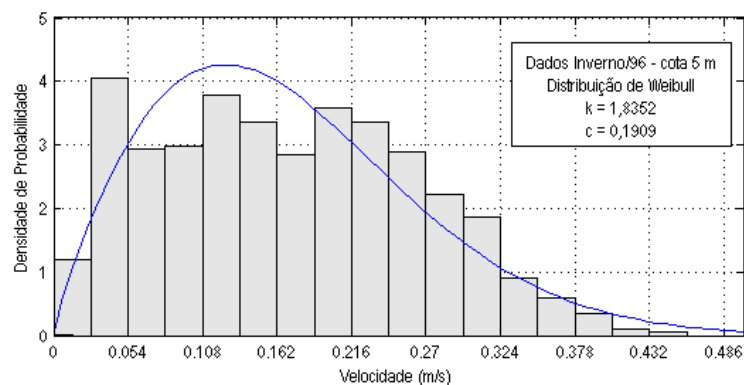


Figura 5.18: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 5m) – Tramandaí, inverno/96.

As correntes mais superficiais, cota 15m, do inverno/96 tiveram uma maior ocorrência de velocidades baixas. No histograma (Figura 5.19) é possível observar que a classe de velocidades entre 0,044 e 0,088m/s apresentou um maior número de dados, 540 de um total

de 2646 dados. Já nas classes com velocidades acima de 0,5m/s a ocorrência é de apenas 77 dados.

Os dados ajustados pela distribuição de Weibull são mostrados na figura 5.20. É possível observar que o ajuste é melhor para velocidades acima de 0,264m/s. Para este conjunto de dados, o parâmetro de forma (k) é 1,3986 e o parâmetro de escala (c) é 0,2111m/s.

Como a velocidade máxima deste conjunto de dados foi de 0,752m/s, a FAP de Weibull foi calculada para uma velocidade de 0,5m/s. Para esta velocidade a probabilidade de ocorrer velocidades maiores é de 3,64%. A probabilidade de ocorrerem velocidades superiores a 0,4m/s é de 7,1%.

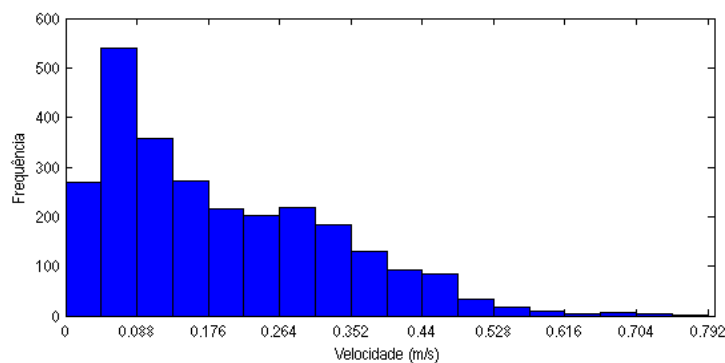


Figura 5.19: Histograma dos dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, inverno/96.

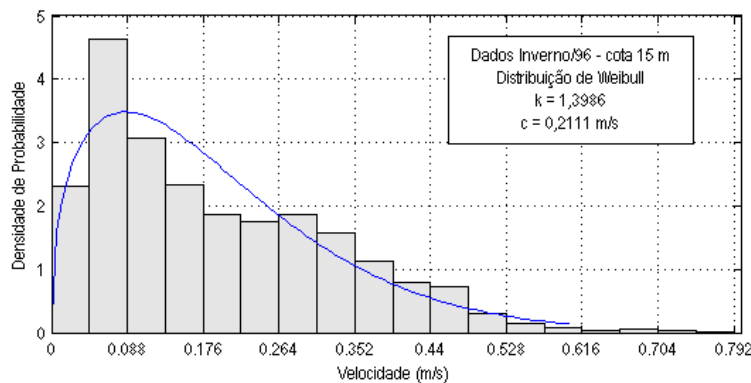


Figura 5.20: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 15m) – Tramandaí, inverno/96.

Os dados de 1963 correspondem somente ao período de verão e foram coletados na cota de 9 m a partir do fundo. A velocidade máxima de corrente observada foi de 0,61m/s, sendo que a média é muito próxima comparando-se com os dados de verão de 1996, com 0,18m/s (Tabela 5.4).

Tabela 5.4: Resultados dos dados de velocidades de corrente/cota 9m, região de Tramandaí (Verão/1963).

Resultados	
Máximo (m/s)	0,61
Mínimo (m/s)	0,05
Médio (m/s)	0,18
Desvio Padrão (m/s)	0,08
Coefficiente de Variação (%)	46,2

O histograma representado na figura 5.21 mostra o comportamento dos dados de correntes coletados no ano de 1963. As velocidades de maior ocorrência são as de menor intensidade, sendo que nas 3 classes que representam os valores entre 0,068 e 0,17m/s estão contidos o maior número de dados, 1897 em relação a um total de 3366 dados. Para velocidades superiores a 0,4m/s são encontrados apenas 56 dados.

A distribuição de Weibull mostrou um bom ajuste aos dados (Figura 5.22). O parâmetro de forma (k) é de 1,9885, mostrando-se muito próximo de 2, aproximando-se da distribuição de Rayleigh e o parâmetro de escala de 0,1849m/s.

Calculando a FAP de Weibull, a probabilidade de ocorrer velocidades maiores ou iguais do que 0,4m/s é de 1,35%.

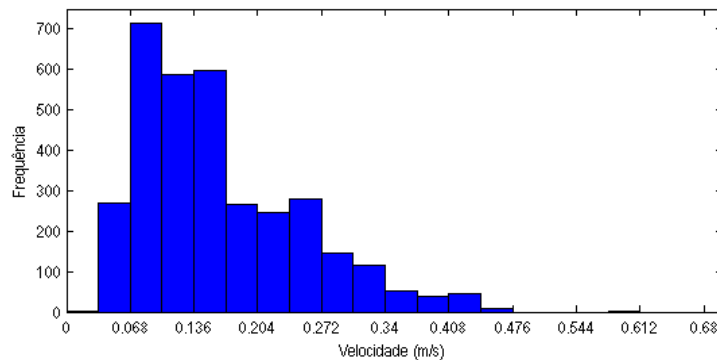


Figura 5.21: Histograma dos dados de velocidade (cota 9m) – Tramandaí, verão/63.

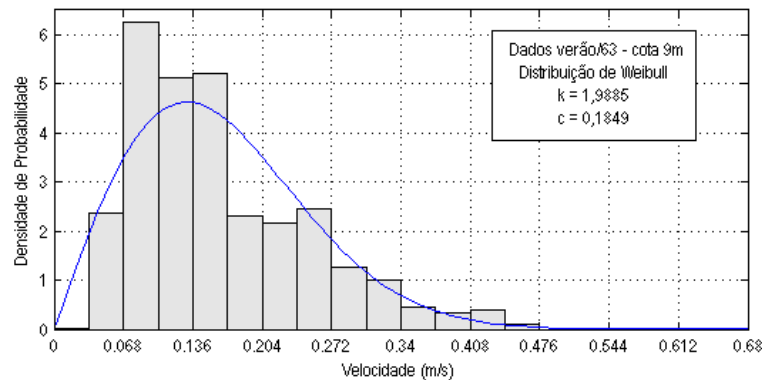


Figura 5.22: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (cota 9m) – Tramandaí, verão/63.

Zavialov et al. (2002) analisaram dados de corrente na costa sul do Rio Grande do Sul, no município de Rio Grande. O fundeio foi feito nas coordenadas 32°41'S, 51°27'W, com uma profundidade de aproximadamente 50m. Os instrumentos foram instalados nas profundidades de 15 e 45m para a leitura dos dados, no período de março a maio de 1997. Além disso, os autores analisaram os dados de vento para a região neste mesmo período.

A partir do estudo destes dados, os autores concluíram que a direção predominante da corrente durante o período foi a Nordeste para ambas as profundidades, apesar do padrão de variabilidade da direção dos ventos estar em desacordo. A velocidade média da componente longitudinal das correntes foi de 0,16m/s para a profundidade de 15m e de 0,08m/s para a profundidade de 45m.

Neste trabalho os dados de Rio Grande, fornecidos pelo Laboratório de Oceanografia Física da FURG, foram analisados através da mesma modelagem estatística usada anteriormente, com a construção de histogramas e do ajuste dos dados pela distribuição de Weibull.

A figura 5.23 mostra o histograma do conjunto de dados coletados na profundidade de 15m. É possível observar que na faixa de velocidades entre 0,07 e 0,14m/s são encontrados 859 de um total de 4032 dados lidos. Nas faixas que correspondem a velocidades maiores do que 0,5m/s são encontrados 766 dados, já dados de velocidade acima de 1,0m/s somam um total de 97 dados.

Mesmo que nesta região se observe dados de velocidade pouco intensos na grande maioria, as velocidades são um pouco maiores do que na região do litoral Norte do Estado. A velocidade máxima encontrada para este conjunto de dados foi de 1,217m/s, enquanto que a máxima observada no conjunto total de dados analisados em Tramandaí foi de 0,752m/s no inverno/96.

Na figura 5.24, os dados foram ajustados para uma distribuição de Weibull, mostrando um bom ajuste da curva aos dados. O parâmetro de forma (k) foi de 1,36 e o parâmetro de escala (c) de 0,2983m/s.

Calculando a FAP de Weibull para uma velocidade ser maior ou igual a 0,5m/s a probabilidade de ocorrência é de 10,23% enquanto que para uma velocidade ser igual ou maior do que 1,0m/s é de somente 1,05%.

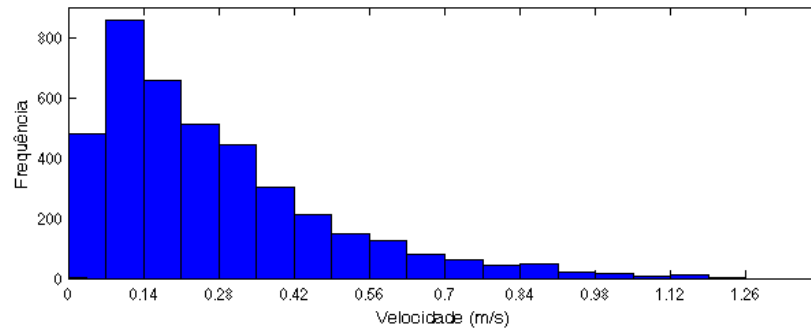


Figura 5.23: Histograma dos dados de velocidade (15m) – Rio Grande/RS.

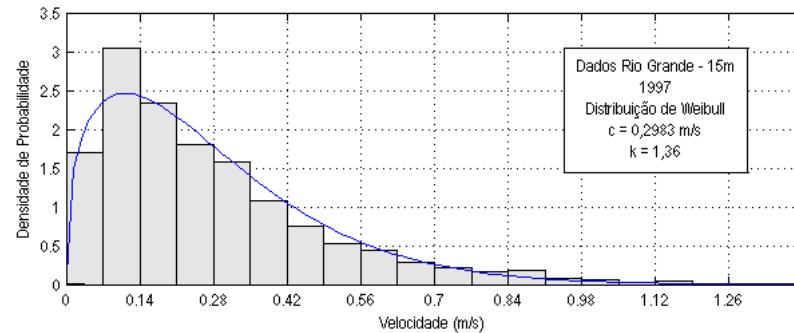


Figura 5.24: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (15m) – Rio Grande/RS.

O histograma (Figura 5.25) mostra o conjunto de dados cuja leitura foi efetuada a uma profundidade de 45m. Dos 1526 dados lidos, 268 ficaram na faixa de velocidades entre 0,03 e 0,06m/s e 333 entre 0,06 e 0,12m/s. Velocidades acima de 0,5m/s são encontradas num total de 169 dados, mostrando que dados coletados numa maior profundidade tem menor intensidade.

Os dados ficaram bem ajustados para uma distribuição de Weibull, cujo parâmetro de forma (k) foi de 1,3404 e de escala (c) de 0,2279m/s (Figura 5.26). A velocidade máxima encontrada para este conjunto de dados foi de 0,9613m/s.

Com cálculo da FAP de Weibull, a probabilidade de uma velocidade se igualar ou exceder 0,5m/s é de 5,3%.

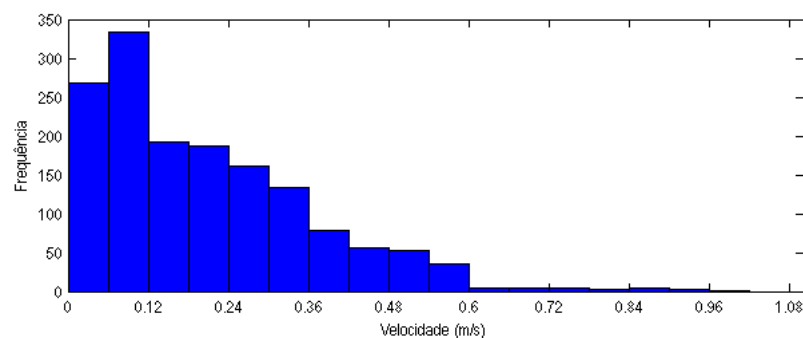


Figura 5.25: Histograma dos dados de velocidade (45m) – Rio Grande/RS.

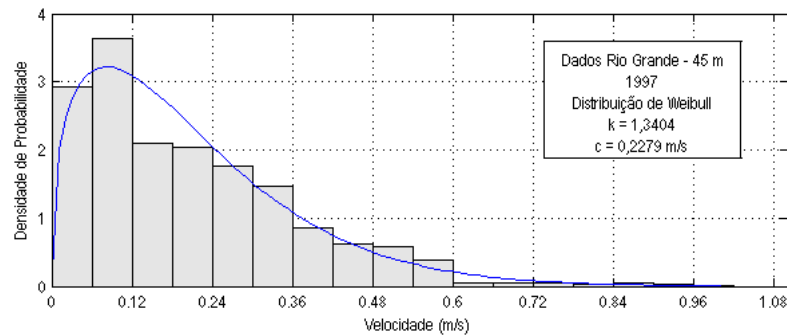


Figura 5.26: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (45m) – Rio Grande/RS.

Também foi feita a modelagem estatística dos dados da margem continental ao largo do Estado de Santa Catarina, sobre a isóbata de 160m (26°40'S e 46°50'W). A área de estudo faz parte da Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSB) ou Região Central da Bacia de Santos. Os dados foram cedidos pelo Laboratório de Oceanografia Física da FURG e foram obtidos através do convênio PETROBRÁS/FURG/ UFRGS/UFSC/UFPR, dentro do projeto "*Estudos Ambientais em Áreas Oceânicas e Costeiras na Região Sul do País*". Castro e Miranda (1998) caracterizaram a área, destacando que a plataforma externa localiza-se entre 80 e 120 quilômetros da costa, com água Tropical (AT) na camada superior e forte influência de ACAS na camada inferior.

O fundeio foi realizado com correntógrafos instalados em três profundidades: entre 25 e 30m, entre 70 e 75m e entre 120 e 125m, no período entre 05/09/96 a 04/12/96.

Casares Pinto (1998) explorou a variabilidade temporal de dados de correntógrafos, de um ADCP e de um marégrafo fundeados na plataforma externa de Santa Catarina e verificou boa correlação entre os dados dos correntógrafos e do ADCP. A direção predominante da corrente durante todo o experimento foi para sudoeste e o autor encontrou, por análise espectral, alta energia concentrada na banda de frequência correspondente a maré, caracterizando um regime misto com predominância semi-diurna (M2 e S2). Alta energia também apareceu concentrada na banda correspondente à passagem de frentes frias (3,5 a 10,6 dias). Outro resultado importante foi a energia concentrada na banda de baixa frequência correspondente ao período de 51 dias e que, segundo o autor, possivelmente está relacionada a fenômenos de mesoescala (vórtices associados a Corrente do Brasil).

Freitas (2000) também utilizou parte do conjunto de dados dos correntógrafos analisados por Casares Pinto (1998) para descrever a circulação local. Os resultados mostraram que a direção predominante da corrente é para sul-sudoeste (sob influência da Corrente do Brasil) e que inversões na direção das correntes, acompanhadas por alterações de

temperatura e salinidade, provavelmente estão associadas a fenômenos de mesoescala da Corrente do Brasil com energia concentrada em 50 dias, aproximadamente.

Hirata (2008) utilizou estes dados para investigar características da variabilidade em baixa frequência (periodicidades mais longas que 2 dias) de nível, correntes, temperatura e salinidade. A investigação resultou, entre outros fatores, que ao largo, nas proximidades da quebra de plataforma, a variabilidade dos dados de corrente sugere movimentos baroclínicos aprisionados pela topografia de fundo local com o mesmo período. O autor encontrou os seguintes valores médios de velocidade de correntes longitudinais: profundidade entre 25 e 30m, 0,14m/s; profundidade entre 70 e 75m, 0,08 m/s e; profundidade entre 120 e 125m, 0,024m/s. A predominância da direção destas correntes é a sudoeste.

A figura 5.27 mostra o histograma dos 6456 dados coletados numa profundidade entre 25 e 30m. A maior frequência é observada na faixa de velocidade entre 0,045 e 0,09m/s com 851 dados. As faixas com velocidades pouco intensas entre 0,09 e 0,27m/s também mostram frequências bastante significativas, somando um total de 3631 dados. Já as faixas que representam velocidades maiores do que 0,5m/s compreendem 1126 dados.

A velocidade máxima observada para este conjunto de dados é de 0,8276m/s. Os dados foram ajustados pela distribuição de Weibull (Figura 5.28), com um coeficiente de forma (k) de 1,5373 e um coeficiente de escala (c) de 0,2672m/s. Calculando a FAP de Weibull a probabilidade de ocorrer uma velocidade igual ou superior a 0,5m/s é de 5,63%.

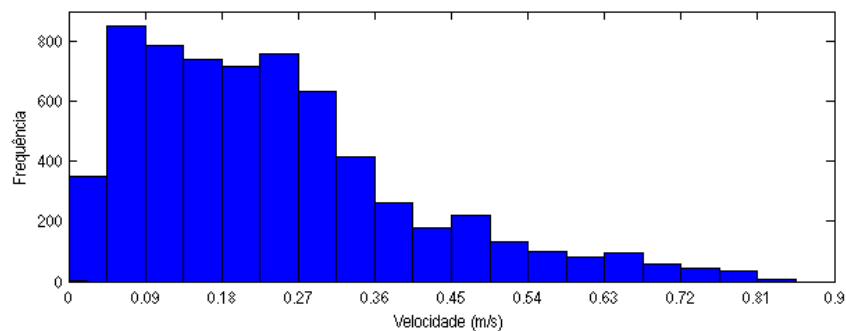


Figura 5.27: Histograma dos dados de velocidade (entre 25 e 30m) – SC.

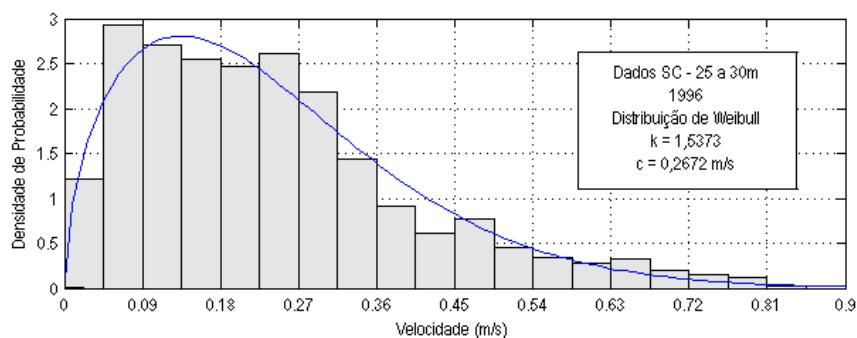


Figura 5.28: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (entre 25 e 30m) – SC.

O histograma dos dados lidos numa profundidade entre 70 e 75m foi feito com uma total de 6458 dados (Figura 5.29). A faixa entre 0,038 e 0,076m/s apresentou a maior frequência com um total de 1041 dados. As faixas com velocidades acima de 0,5m/s apresentaram somente 244 dados. O ajuste dos dados aplicando a distribuição de Weibull é mostrado na figura 5.30. O fator de forma (k) é de 1,4555 e o de escala (c) é de 0,222m/s. Pela FAP de Weibull a probabilidade de uma velocidade ser igualada ou excedida a 0,5m/s é de somente 3,77%. A velocidade máxima encontrada neste conjunto de dados é de 0,6939m/s.

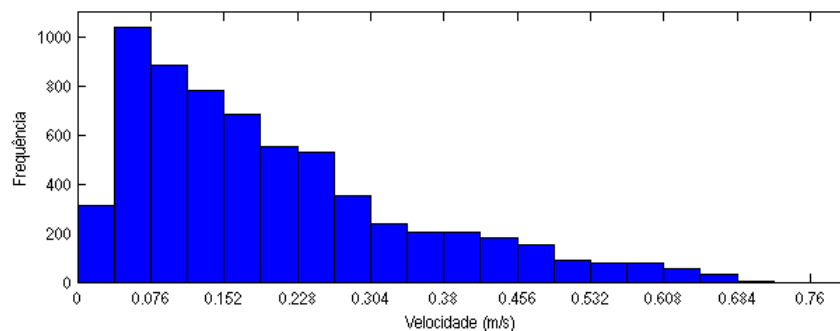


Figura 5.29: Histograma dos dados de velocidade (entre 70 e 75m) – SC.

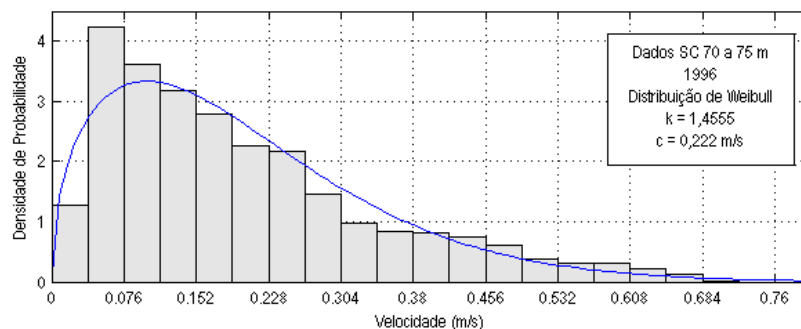


Figura 5.30: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (entre 70 e 75m) – SC.

O histograma que representa os dados coletados na profundidade entre 120 e 125m é mostrado na figura 5.31. A faixa que mostrou maior frequência, 831 dados, foi a de velocidades entre 0,14 e 0,175m/s. As faixas que possuem velocidade acima de 0,5m/s mostraram somente 63 dados de um total de 6463 dados analisados.

Os dados ajustados através da distribuição de Weibull podem ser visualizados na figura 5.32. O coeficiente de forma (k) foi de 1,6611 e o de forma (c) foi de 0,1982m/s. A FAP mostrou uma probabilidade de apenas 1,51% para uma velocidade exceder ou igualar 0,5m/s. A velocidade máxima encontrada foi de 0,6445m/s, mostrando que nesta profundidade os valores de velocidade são menos intensos.

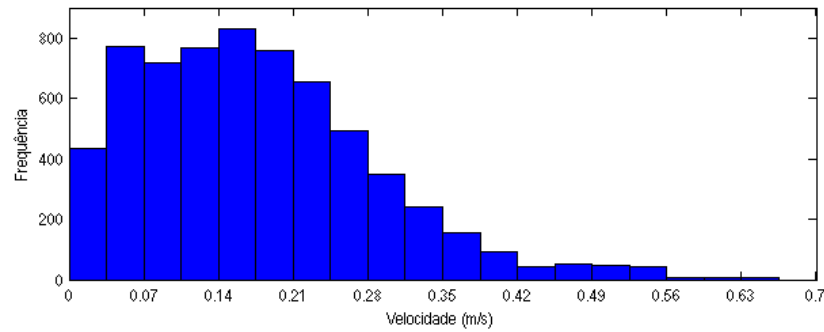


Figura 5.31: Histograma dos dados de velocidade (entre 120 e 125m) – SC.

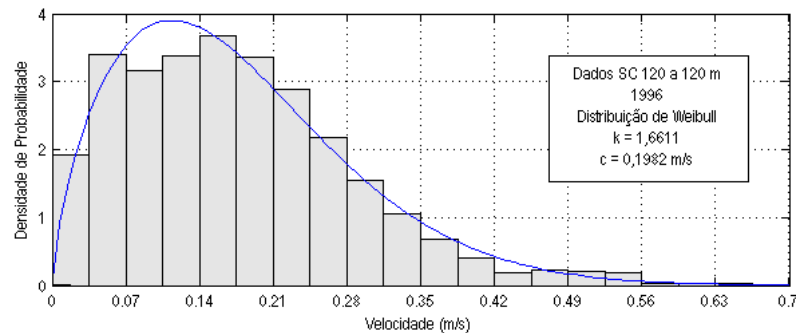


Figura 5.32: Ajuste da Distribuição de Weibull – dados de velocidade (entre 120 e 125m) – SC.

5.2 Potencial energético das correntes

A teoria para o estudo do potencial das correntes oceânicas é semelhante à feita para geração de energia eólica. As vantagens são a previsibilidade da intensidade e da direção das correntes e o fato da massa específica da água ser aproximadamente 800 vezes maior do que a do ar, tornando os equipamentos menores do que as turbinas eólicas. Como desvantagens têm-se as pequenas velocidades do fluxo e o severo ambiente marinho (TWIDELL; WEIR, 2006).

Na prática, são utilizadas as curvas de potência geradas pelas turbinas, fornecidas pelos fabricantes e confeccionadas em testes de laboratório, considerando o diâmetro do rotor (área de varredura), a velocidade do recurso energético e a densidade do fluido, tendo como resposta a potência da turbina.

A fração de energia extraída das correntes por um dispositivo pode ser entendida pela expressão:

$$E = \int_{v=0}^{\infty} E_v \cdot dv = \int_{v=0}^{\infty} (\Phi_v T) P dv = \int_{v=0}^{\infty} A \left[\frac{1}{2} \rho v^3 C_p (\Phi_v T) \right] dv \quad (5.1)$$

Onde:

v = velocidade da corrente (m/s)

Φ_v = probabilidade de ocorrer uma velocidade no intervalo ($v+dv$)

T = período (s)

P = capacidade de potência nominal (Watt)

A = área de varredura do dispositivo (m²)

ρ = massa específica da água (kg/m³)

C_p = coeficiente de potência (ou coeficiente de Betz), normalmente 59,3% (valor máximo para turbinas eólicas), representa o limite de energia que poderá ser extraído do escoamento através da turbina.

A partir da equação 5.1, considerando que ρ e C_p são constantes, a potência média extraída pelo equipamento pode ser escrita como:

$$\frac{E}{T} = P = \frac{\rho A}{2} C_p \int_{v=0}^{\infty} \Phi_v v^3 dv \quad (5.2)$$

Se a área de varredura do dispositivo (pás ou hidrofólios) não for suficientemente conhecida, é possível calcular a potência por unidade de área, chamada de densidade de potência (p), sendo:

$$p = \frac{P_T}{A} = \frac{\rho}{2} C_p \int_{v=0}^{\infty} \Phi_v v^3 dv \quad (5.3)$$

Onde:

p = densidade de potência (Watt/m²).

O cálculo da densidade de potência para uma velocidade de corrente específica pode ser feito através da equação 5.4:

$$p = \frac{1}{2} \rho * C_p * v^3 \quad (5.4)$$

Seguindo a metodologia proposta por (TWIDELL; WEIR, 2006) a análise da densidade de potência foi feita através da distribuição de potência ao longo de cada conjunto de dados.

A distribuição de potência mostra em qual velocidade de corrente é possível obter o maior valor de potência ao longo da distribuição de um determinado conjunto de dados, já a relação entre a densidade de potência e a frequência acumulada mostra a probabilidade de se obter o valor de uma potência em particular.

Os dados foram organizados em forma de tabelas (ANEXO I) para cada período sazonal. Nesta análise, a densidade da água do mar (ρ) foi considerada igual a 1025kg/m^3 e o coeficiente de Betz “ C_p ” igual a 1.

Para a região de Tramandaí, a figura 5.33 mostra a distribuição de potência para os dados da primavera/95 em duas profundidades diferentes, com cota de 5m e com cota de 15m. Neste período, para os dados mais profundos (cota 5m) o valor máximo da distribuição é de $0,57\text{W/m}^2$ e ocorre para uma velocidade de $0,44\text{m/s}$. Conforme a FAP de Weibull, a probabilidade de ocorrer velocidades iguais ou superiores a $0,44\text{m/s}$ é de $3,74\%$, já o estudo da frequência acumulada para distribuição discreta dos dados (Tabela 1, ANEXO I) a probabilidade é um pouco maior, $4,88\%$. Conforme análise anterior, as velocidades que ocorrem com maior frequência estão entre $0,034$ e $0,068\text{m/s}$, indicando uma limitação para geração de energia. A distribuição de potência para as correntes mais próximas da superfície com cota de 15m mostrou um valor máximo de $0,31\text{W/m}^2$ que está relacionada a uma velocidade de $0,33\text{m/s}$. A probabilidade desta velocidade ser igualada ou excedida é de $3,25\%$, de acordo com a FAP de Weibull e $5,27\%$ pela análise da distribuição discreta (Tabela 2, ANEXO 1).

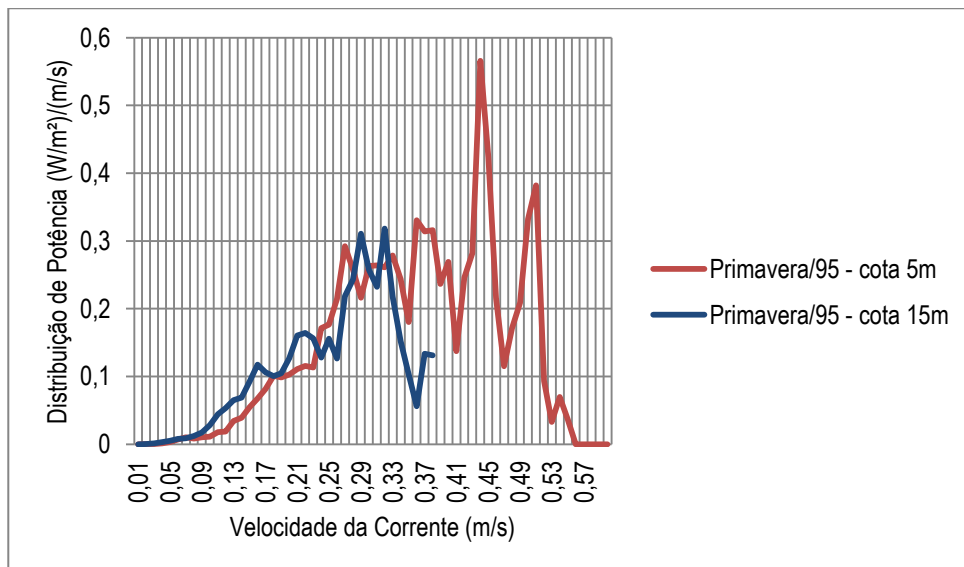


Figura 5.33: Distribuição de potência em função da velocidade das correntes – Tramandaí, primavera/95, cotas 5m e 15m.

Na figura 5.34 (A) e (B), pode ser visualizada a relação entre a densidade de potência e a frequência acumulada, ou probabilidade acumulada. Para ambos os conjuntos de dados é possível observar que quanto maior a densidade de potência menor é a probabilidade.

Os dados com cota de 5m estão representados na figura 5.34 (A), para este conjunto de dados a velocidade média é de 0,19m/s e a frequência acumulada para esta velocidade é de 0,46, sendo possível inferir que existe uma probabilidade de 46% da densidade de potência ser igual ou excedida a 3,5W/m². Já para um valor de velocidade mais significativo para geração de energia, de 0,5m/s, por exemplo, a densidade de potência é de 64,1W/m² e a probabilidade deste valor ser igual ou excedido é de apenas 1,38% (Tabela 1, ANEXO 1). A velocidade média para os dados com cota de 15m (Figura 5.34 (B)) é de 0,16m/s, com uma frequência acumulada de 0,47 para que a densidade de potência seja igual ou excedida a 2,1W/m². A velocidade máxima encontrada para este conjunto de dados é de 0,4m/s, a densidade de potência máxima é de 32,8 W/m², e a probabilidade deste valor ser igualado ou excedido é de apenas 0,22% (Tabela 2, ANEXO 1).

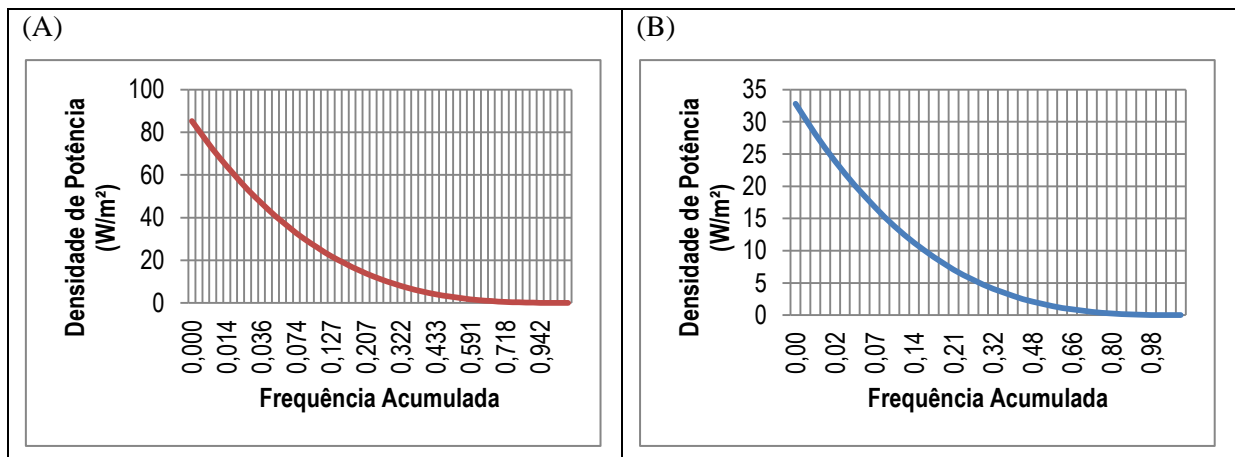


Figura 5.34: Densidade de potência x Frequência Acumulada – Tramandaí, primavera/95, (A) cota 5m e (B) cota 15m.

Para o período do verão/96 com dados na cota 5m, a figura 5.35 mostra a distribuição de potência com valor máximo de 0,24W/m² para velocidade de 0,28m/s. Calculando a FAP de Weibull, a probabilidade desta velocidade ser igualada ou excedida é de 6,25%. Já pela análise da frequência acumulada da distribuição discreta, a probabilidade é de 12,55%. Os dados do verão/96 para correntes mais superficiais, com cota de 15m, mostraram valores de velocidade um pouco mais intensos. A distribuição de potência para este período (Figura 5.35) mostrou um valor máximo de 0,34W/m² para uma velocidade de 0,36m/s. A probabilidade de ocorrência para uma velocidade de 0,36m/s ser igualada ou excedida é de

5,14%, de acordo com o cálculo da FAP de Weibull e de 8,48% de acordo com o cálculo da frequência acumulada pela distribuição discreta.

As figuras 5.36 (A) e (B) mostram a densidade de potência relacionados a sua frequência acumulada para os dados do verão/96, para as cotas de 5m e 15m. Pode-se observar que para os dados com cota de 5m, a velocidade média para este período é de 0,16m/s, com probabilidade de 49% do valor de densidade de potência ser igualado ou excedido a 2,1W/m², para esta velocidade (Figura 5.36 (A), Tabela 3, ANEXO 1). Para o conjunto de dados com cota de 15m (Figura 5.36 (B)), a velocidade média é de 0,17m/s. A densidade de potência é de 2,52W/m² para esta velocidade e a frequência acumulada é de 0,44 (Tabela 4, ANEXO 1).

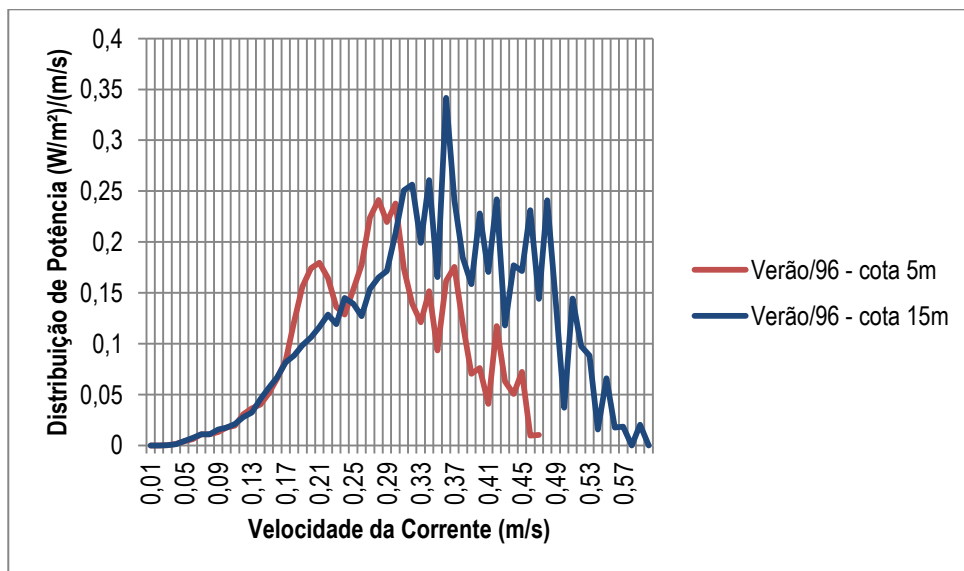


Figura 5.35: Distribuição de potência em função da velocidade das correntes – Tramandaí, verão/96, cotas 5m e 15m.

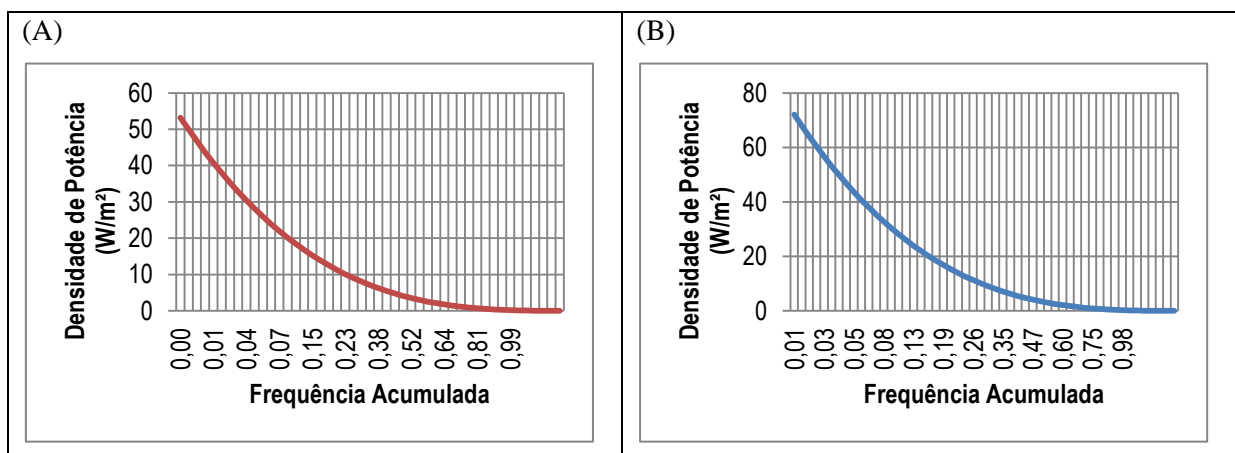


Figura 5.36: Densidade de potência x Frequência Acumulada – Tramandaí, verão/96, (A) cota 5m e (B) cota 15m.

A distribuição de potência para os dados do outono/96, cota 15m é mostrada na figura 5.37. O valor máximo da distribuição é de $0,35\text{W/m}^2$ para uma velocidade de $0,43\text{m/s}$, a probabilidade deste valor de velocidade ser igualado ou excedido é de apenas $1,15\%$, conforme a FAP de Weibull e de $1,1\%$ pela análise da frequência acumulada da distribuição discreta.

Pela figura 5.38 e tabela 5 (ANEXO 1) é possível observar que para a velocidade média deste conjunto de dados, $0,14\text{m/s}$, a frequência acumulada é de $0,46$, com uma densidade de potência de $1,41\text{W/m}^2$.

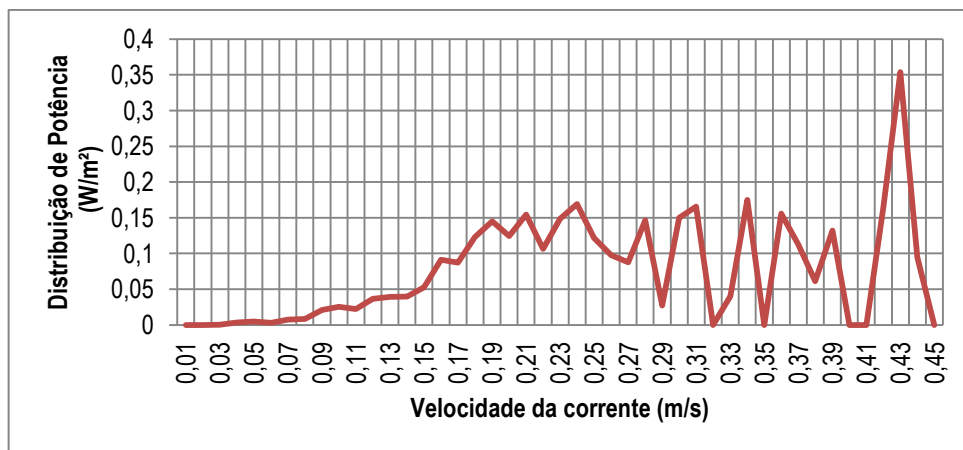


Figura 5.37: Distribuição de potência – Tramandaí, outono/96, cota 15m.

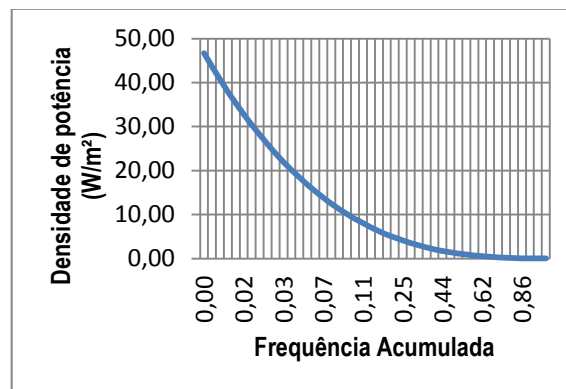


Figura 5.38: Densidade de potência x Frequência Acumulada – Tramandaí, outono/96, cota 15m.

Os dados do inverno/96 para cota de 5m e de 15m mostraram uma distribuição de potência conforme a figura 5.39. Para os dados coletados na cota de 5m, o valor máximo da distribuição foi de $0,31\text{W/m}^2$ para uma velocidade de $0,28\text{m/s}$. A probabilidade deste valor ser superado ou igualado é de $6,77\%$, de acordo com o cálculo da FAP de Weibull e de $16,42\%$ pela distribuição discreta. Assim como ocorreu no verão/96, os dados do inverno/96

mais próximos da superfície, com cota de 15m, também tiveram valores de velocidade com maior intensidade. A distribuição de potência mostra um valor máximo de $0,49\text{W/m}^2$ para uma velocidade de $0,48\text{m/s}$. Conforme o cálculo da FAP de Weibull, a probabilidade da velocidade de $0,48\text{m/s}$ ser igualada ou excedida é de $15,64\%$. Neste conjunto de dados foi encontrada a máxima velocidade para a localidade de Tramandaí para este período de aquisição. Esta velocidade foi de $0,76\text{m/s}$, que possibilita uma densidade de potência de aproximadamente 225W/m^2 , um valor bastante considerável para aproveitamento energético, porém com uma probabilidade de $0,04\%$ de ser igualada ou superada.

As figuras 5.40 (A) e (B) mostram a relação entre a frequência acumulada e a densidade de potência para os dados coletados no inverno/96 na cota de 5m e de 15m. Para o conjunto de dados coletados na cota de 5m, a velocidade média é de $0,17\text{m/s}$. Para este valor de velocidade a frequência acumulada é de $0,51$ e a densidade de potência de $2,52\text{W/m}^2$ (Tabela 6, ANEXO 1). Para os dados coletados na cota de 15m, a análise da densidade de potência para a velocidade média deste conjunto de dados foi feita a partir dos dados da tabela 7, ANEXO 1. A velocidade média para este período é de $0,2\text{m/s}$, com 42% de probabilidade deste valor ser igualado ou excedido. Para estes valores a densidade de potência é de $4,10\text{W/m}^2$.

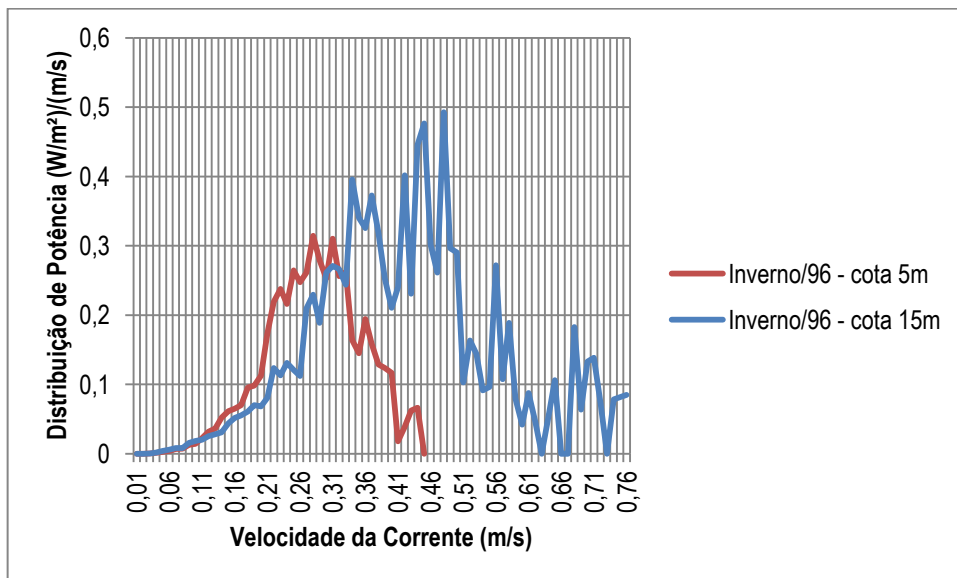


Figura 5.39: Distribuição de potência em função da velocidade das correntes – Tramandaí, inverno/96, cotas 5m e 15m.

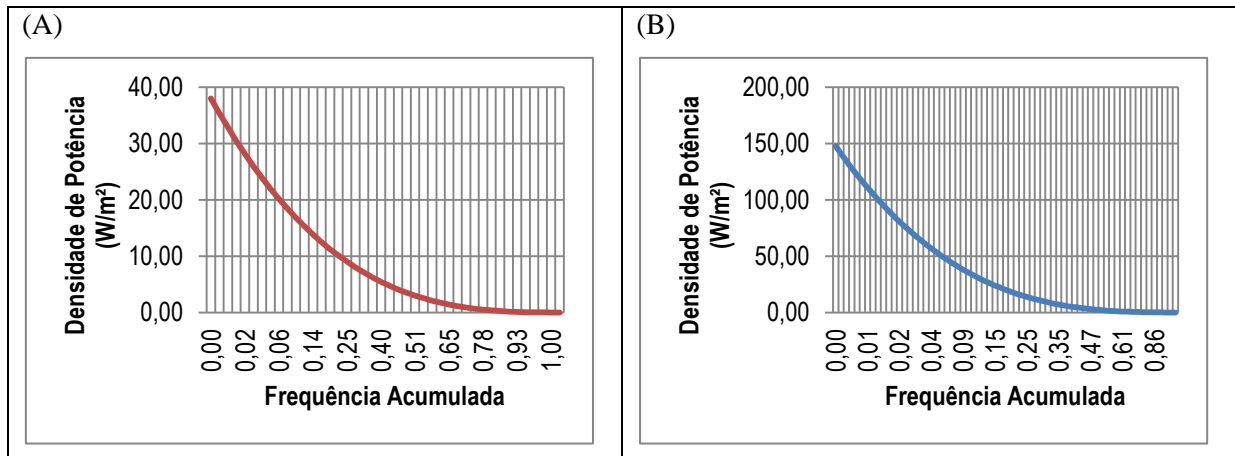


Figura 5.40: Densidade de potência x Frequência Acumulada – Tramandaí, inverno/96, (A) cota 5m e (B) cota 15m.

Foi feita a análise da distribuição de potência foi efetuada para a região de Rio Grande, com dados coletados nas profundidades de 15 e 45m (Figura 5.41).

Para o conjunto de dados coletados na profundidade de 15m, o valor máximo da distribuição de potência é de $1,05\text{W/m}^2$ e ocorre para uma velocidade de $0,91\text{m/s}$. Conforme a FAP de Weibull, a probabilidade de ocorrer velocidades iguais ou superiores a $0,91\text{m/s}$ é de 1,6%, já o estudo da frequência acumulada para distribuição discreta dos dados (Tabela 8, ANEXO I) a probabilidade é de 1,8%. Os dados coletados na profundidade de 45m mostram uma distribuição de potência máxima de $0,71\text{W/m}^2$ que ocorre para uma velocidade de corrente de $0,89\text{m/s}$. Também é possível observar que na velocidade de $0,59\text{m/s}$ a distribuição de potência mostrou um valor de $0,69\text{W/m}^2$ (Tabela 9, ANEXO 1). Porém, conforme a FAP de Weibull, a probabilidade destas velocidades $0,89$ e $0,69\text{m/s}$ serem igualadas ou excedidas é de somente 0,53 e 1,73%, respectivamente. No estudo das frequências acumuladas a probabilidade também foi pequena, de 0,58 e 2,50%, respectivamente.

As figuras 5.42 (A) e (B) mostram a relação entre a frequência acumulada e a densidade de potência para os dados coletados em Rio Grande, nas profundidades de 15m e de 45m. Na profundidade de 15m, a velocidade média é de $0,28\text{m/s}$ com probabilidade de 39,4% de ser igualada ou excedida, sendo a densidade de potência igual a $11,25\text{W/m}^2$ (Tabela 8, ANEXO 1). Para a profundidade de 45m, o valor médio de velocidade é de $0,21\text{m/s}$, com probabilidade de 44,2% de ser igualada ou excedida (Tabela 9, ANEXO 1). Para esta velocidade a densidade de potência é de $4,74\text{W/m}^2$.

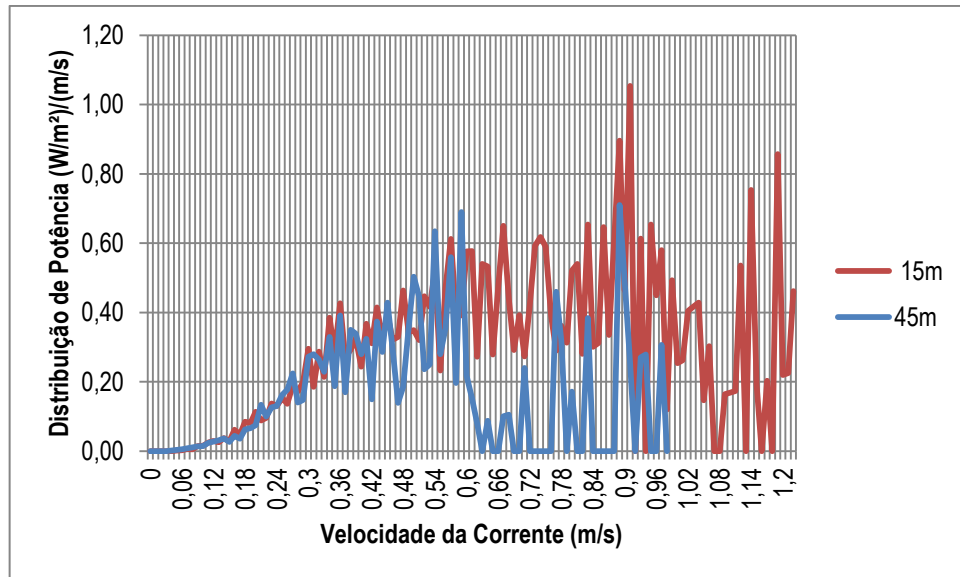


Figura 5.41: Distribuição de potência em função da velocidade das correntes – Rio Grande, profundidades de 15m e 45m.

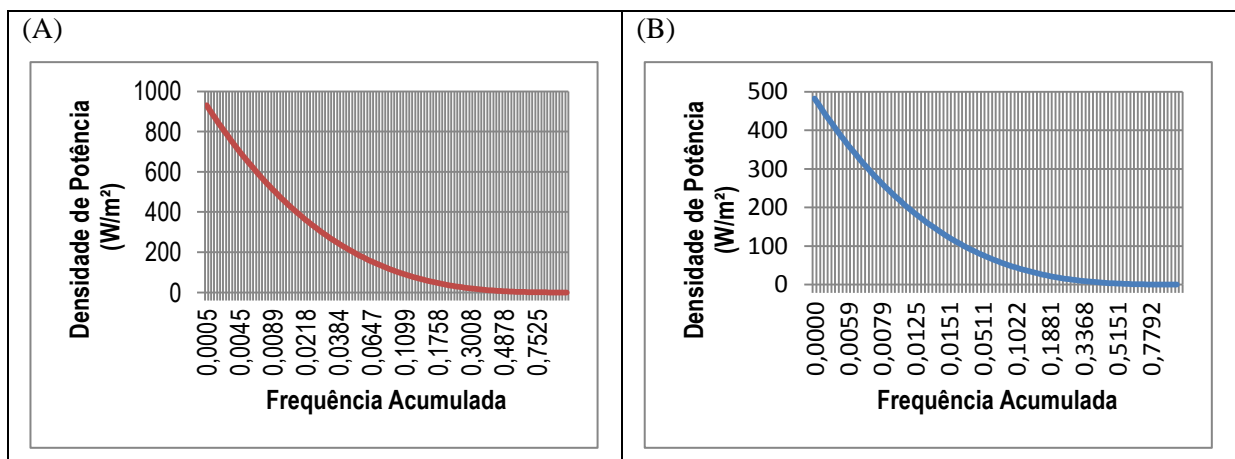


Figura 5.42: Densidade de potência x Frequência Acumulada – Rio Grande, (A) profundidade de 15m e (B) profundidade de 45m.

A Figura 5.43, mostra a distribuição de potência em função da velocidade da corrente para os dados coletados na costa do Estado de Santa Catarina, em três profundidades diferentes: entre 25 e 30m, entre 70 e 75m e entre 120 e 125m. Os dados coletados na profundidade entre 25 e 30m, mostram que na velocidade de 0,66m/s a distribuição de potência atinge seu máximo de 0,59W/m², com probabilidade de 2,24%, de acordo com a FAP de Weibull. Considerando a frequência acumulada, esta probabilidade é de 2,85% (Tabela 10, ANEXO 1). Os dados coletados entre 70 e 75m de profundidade mostraram uma distribuição de potência com valor máximo 0,57W/m² para a velocidade de 0,61m/s. Para este conjunto de dados a probabilidade desta velocidade ser igualada ou excedida é de 1,83%, conforme a FAP de Weibull e de 1,8% conforme o estudo da frequência acumulada da

distribuição discreta (Tabela 11, ANEXO 1). Já o conjunto de dados coletados nas profundidades entre 120 e 125m, mostra que o valor máximo na distribuição de potência de $0,27\text{W/m}^2$ para uma velocidade de $0,3\text{m/s}$. Calculando a FAP de Weibull, a probabilidade da velocidade de $0,3\text{m/s}$ ser igualada ou excedida é de 8%, já na análise da distribuição discreta dos dados a frequência acumulada mostrou um valor de 14,67% (Tabela 12, ANEXO 1).

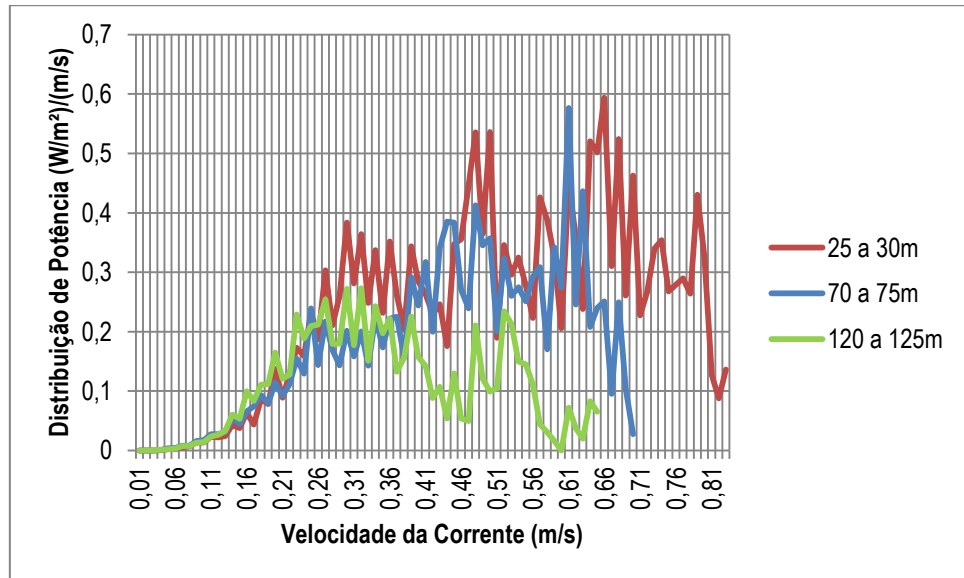


Figura 5.43: Distribuição de potência em função da velocidade das correntes – Santa Catarina, profundidades entre 25 e 30m, entre 70 e 75m e entre 120 e 125m.

As Figuras 5.44 (A), (B) e (C) mostram a relação entre a frequência acumulada e a densidade de potência para os dados de Santa Catarina, nas profundidades entre 25 e 30m, 70 e 75m e entre 120 e 125m.

Os dados com profundidade entre 25 e 30m mostram uma velocidade média de $0,24\text{m/s}$, com probabilidade de 45,2%. Para esta velocidade a densidade de potência é de $7,1\text{W/m}^2$ (Tabela 10, ANEXO 1).

Para a profundidade entre 70 e 75m, a velocidade média é de $0,2\text{m/s}$, com probabilidade de 42,6% de ser igualada ou superada, mostrando uma densidade de potência de $4,1\text{W/m}^2$ (Tabela 11, ANEXO 1).

Como esperado para dados mais profundos, com profundidade entre 120 e 125m, a velocidade média mostrou um valor menos intenso, de $0,18\text{m/s}$, com 47,3% de probabilidade, fornecendo um valor de densidade de potência de aproximadamente $3,0\text{W/m}^2$ (Tabela 12, ANEXO 1).

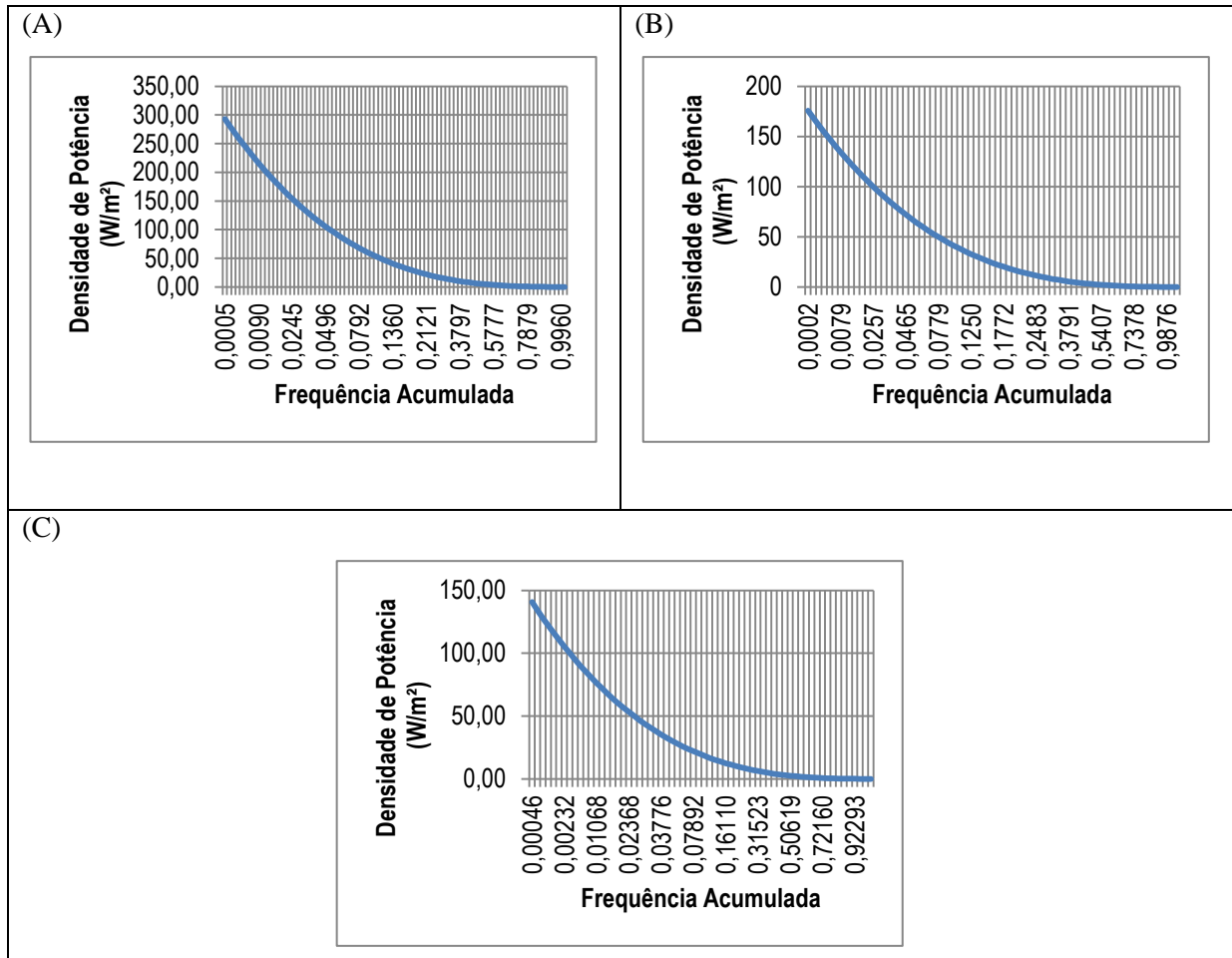


Figura 5.44: Densidade de potência x Frequência Acumulada – Santa Catarina, (A) profundidade entre 25 e 30m, (B) profundidade entre 70 e 75m e (C) profundidade entre 120 e 125m.

Além da análise discreta do potencial de correntes, a densidade da potência de correntes média (W/m^2) foi calculada com base nos parâmetros (c e k) da distribuição, segundo a expressão: $P = \frac{1}{2} \rho E(V^3)$ na qual P é a densidade de potência, ρ é a massa específica da água do mar ($1025 kg/m^3$), $E(V^3)$ é o valor esperado da velocidade média da correntes ao cubo. $E(V^3)$ corresponde ao terceiro momento centrado na origem da distribuição de Weibull: $E(V^3) = c^3 \Gamma(1 + \frac{3}{k})$, sendo Γ a função matemática gama.

As tabelas 5.5 e 5.6 mostram um resumo dos valores médios de velocidade e de densidade de potência para cada estação do ano, para os dados coletados nas cotas de 5 e 15m, respectivamente, em Tramandaí.

Tabela 5.5: Médias sazonais das velocidades e do potencial energético (densidade de potência) para as correntes oceânicas na região de Tramandaí (cota 5m).

Estações	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Média
Velocidade (m/s)	0,16	-	0,17	0,19	0,17
p (W/m²) Dist. discreta	2,10	-	2,51	3,50	2,53
p (W/m²) Dist. Contínua	1,90	-	2,42	3,25	2,52

Tabela 5.6: Médias sazonais das velocidades e do potencial energético (densidade de potência) para as correntes oceânicas na região de Tramandaí (cota 15m).

Estações	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Média
Velocidade (m/s)	0,17	0,14	0,20	0,16	0,18
p (W/m²) Dist. discreta	2,52	1,41	4,10	2,10	3,00
p (W/m²) Dist. Contínua	2,34	1,33	3,40	2,00	2,30

Verifica-se que tanto os valores médios de velocidade quanto de densidade de potência são muito próximos tanto para a cota de 5m (maior profundidade) quanto para a cota de 15m (dados mais próximos da superfície), isto ocorre devido à proximidade do local onde foram obtidos os dados com a linha de costa (aproximadamente 2500m) e também por que a distância entre os dois correntógrafos é de apenas 10m.

Outro ponto a analisar é que o potencial mostra-se bastante baixo para as velocidades analisadas. Pode-se observar que pequenos aumentos na velocidade das correntes já geram potenciais mais significativos. Isto ocorre porque o potencial é calculado considerando a velocidade ao cubo, de forma que pequenas variações na intensidade das correntes causam variações significativas no potencial gerado.

Os dados analisados em Rio Grande mostraram valores mais intensos do que os dados da região de Tramandaí. A tabela 5.7 mostra os valores médios de velocidade e densidade de potência analisados em função da profundidade. Os dados foram coletados entre março e maio de 1997, correspondendo ao final do verão e ao outono.

Tabela 5.7: Médias das velocidades e do potencial energético (densidade de potência) para as correntes oceânicas na região de Rio Grande.

Profundidades	15m	45m
Velocidade (m/s)	0,28	0,21
p (W/m²) Dist. discreta	11,25	4,74
p (W/m²) Dist. Contínua	9,00	4,24

Os valores médios de velocidade e de densidade de potência para a região de Santa Catarina correspondem ao período da primavera, entre setembro e novembro de 1996 (Tabela 5.8). Neste caso, é possível observar que na profundidade entre 25 e 30m o valor de velocidade e conseqüentemente de potencial é maior do que os valores encontrados na região de Tramandaí.

Tabela 5.8: Médias das velocidades e do potencial energético (densidade de potência) para as correntes oceânicas na região de Santa Catarina.

Profundidades	25 a 30m	70 a 75m	120 a 125m
Velocidade (m/s)	0,24	0,20	0,18
p (W/m²) Dist. discreta	7,10	4,10	3,00
p (W/m²) Dist. Contínua	6,40	3,90	2,75

Para todas as regiões e para as diferentes profundidades, o cálculo do potencial energético pela distribuição contínua de Weibull mostra valores um pouco menores quando comparados aos valores da função discreta (potência*frequência relativa), porém, de modo geral são muito semelhantes, concluindo que a avaliação do potencial energético pode ser efetuada pelas duas metodologias, sem grandes diferenças.

5.3 Potencial Energético de Ondas

A análise das correntes oceânicas possibilitou o conhecimento de valores para potencial energético das regiões. Além das correntes, as ondas oceânicas são fontes promissoras de energia e, por isso, têm sido alvo de diversos estudos para o conhecimento do potencial. Neste estudo, para que se pudesse estabelecer uma relação entre os potenciais gerados pelos dois sistemas (correntes e ondas) foram abordados dois trabalhos efetuados no litoral do Rio Grande do Sul que analisam os potenciais energéticos de ondas.

A energia de onda pode ser considerada uma forma concentrada de energia solar, pois o diferencial térmico da terra é responsável pela geração dos ventos e, como estes ventos escoam acima das grandes áreas oceânicas, parte de sua energia é convertida em ondas.

Segundo Costa (2004), os mecanismos de transferência de energia do vento para as ondas são complexos. O ar que escoam sobre a superfície do mar transfere energia através da atuação das tensões cisalhantes, resultando na formação e crescimento das ondas. O fluxo

turbulento do ar, próximo à superfície livre, gera uma intensa variação das tensões cisalhantes e do campo de pressões. Quando estas oscilações entram em fase com as ondas já existentes ocorre uma intensificação no processo de geração das ondas. Por último, quando as ondas atingem um determinado tamanho, o vento pode exercer uma ação mais intensa na sua face, acarretando um crescimento ainda maior.

O enrugamento da superfície do mar é originado pelas flutuações da pressão e das tensões tangenciais devidas ao caráter turbulento do vento. A maior rugosidade da superfície do mar produz maior atrito ao vento, o que origina uma transferência mais intensa de energia do vento para a superfície, logo mais energia na camada superficial, o que significa ainda maior rugosidade e ondas também maiores (GONÇALVES, 2003).

A quantidade de energia transferida e a altura das ondas geradas pelo vento dependem da intensidade do vento, do período de tempo de escoamento e da dimensão da zona onde este atua, que se designa por *fetch* ou comprimento de geração. Em cada uma destas etapas ocorre concentração de energia de modo que níveis de potência solar da ordem de $100\text{W}/\text{m}^2$ podem eventualmente se transformar em ondas com níveis de potência acima de 1000 W por metro de comprimento de onda (COSTA, 2004).

As ondas do mar podem ser classificadas por diversos critérios, de acordo com período ou frequência, com as forças perturbadoras e com as forças restauradoras. As ondas de menor período têm como principal força perturbadora o vento, que atua na interface atmosfera/oceano. O vento transfere energia da atmosfera para o oceano, resultando no movimento irregular da superfície do oceano, que é denominado por agitação marítima. Neste processo, a gravidade atua como força restauradora, para recuperar a condição de equilíbrio. Já as ondas de maior período têm como principais forças perturbadoras os sistemas de tempestades e tsunamis, bem como o movimento da terra na órbita do sol e o movimento da lua na órbita da terra. A força de Coriolis age como força restauradora primária.

Dentro da “área de geração”, ondas de tempestade exibem um padrão muito irregular, e estas ondas continuam viajando na mesma direção de sua formação mesmo depois do vento mudar sua direção ou parar. Em águas profundas, as ondas podem se propagar para fora das áreas de tempestade com uma mínima perda de energia, e progressivamente vão se tornando regulares, podendo persistir por grandes distâncias (dezenas ou centenas de quilômetros) a partir de sua origem. Consequentemente, costas expostas e com longos *fetches* tendem a ter um clima de ondas bastante energético, por exemplo, costa oeste das Américas, Europa e Nova Zelândia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2003).

O potencial de energia de onda em todo o mundo pode ser estimado entre 8000 e $80000\text{TWh}/\text{ano}$, que, por outro lado, é na mesma ordem de magnitude do consumo mundial

de energia elétrica (ISAACS; SEYMOUR, 1973; WEC,1993 apud INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2003).

A Figura 5.45 mostra que nas zonas temperadas, na latitude entre 30 e 60°, onde existe ocorrência de fortes tempestades, o clima de ondas possui uma média anual de níveis de energia entre 20 e 70kW/m de altura de onda. Entretanto, na faixa de 30° de latitude, ocorrem escoamentos regulares de vento proporcionando climas de ondas atrativos, onde o baixo nível de energia é compensado pela pequena variabilidade de energia de onda.

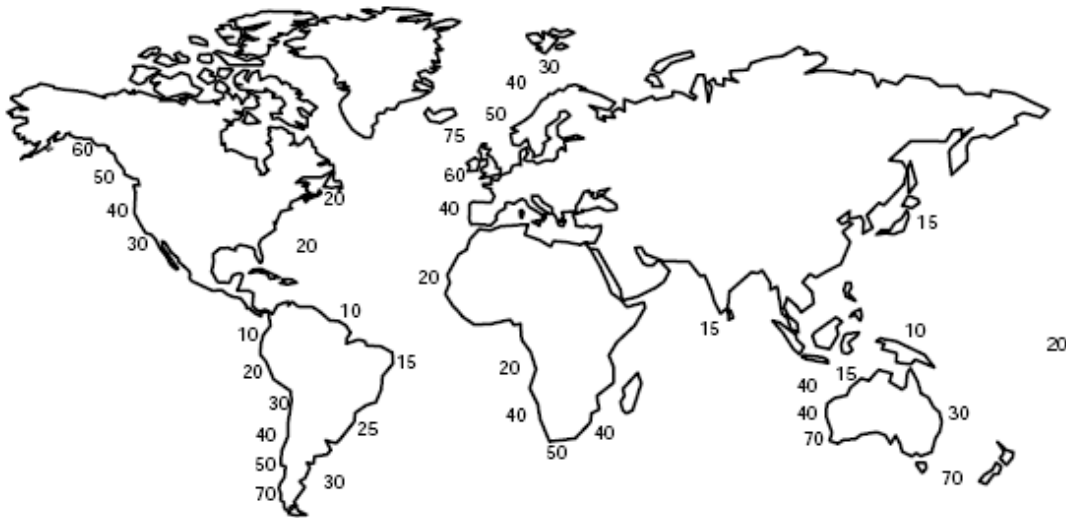


Figura 5.45 - Distribuição global do nível de energia de onda a *offshore* em kW/m de altura de onda.

Fonte: International Energy Agency, 2003. Disponível em <www.iea-oceans.org>.

A energia disponível é proporcional ao quadrado da altura de onda e ao período de onda. Existem variações diárias e mensais nos níveis de energia com a passagem de cada onda. Entretanto, a variação sazonal é geralmente favorável em zonas temperadas, uma vez que a energia de onda (como a energia dos ventos) é maior nos meses de inverno, coincidindo com o período de maior demanda de energia elétrica. Quando as ondas se aproximam da linha de costa, elas se modificam, com principais mudanças de direção (devido à refração) e de energia (devido ao atrito com o fundo e a quebra da onda). A refração pode causar a concentração de energia em linhas de costa com fundo de forma convexa, este comportamento é frequentemente observado nas vizinhanças de promontórios. Já em costas com fundos de forma côncava a refração ocorre de forma oposta, podendo ocorrer em baías.

As perdas de energia dependem da largura da costa continental e da declividade e rugosidade do leito marinho e podem chegar a níveis de energia próximos a metade do que possuíam em águas profundas, com profundidades maiores do que 50 m (*offshore*). A energia de onda na linha de costa é menor do que a energia entre as profundidades de 20 a 50 m (*nearshore*) devido às perdas de energia pelos mecanismos de dissipação.

Têm sido realizadas pesquisas para avaliação dos níveis regionais e nacionais de energia em volta do globo. Na Europa, o Atlas de Energia de Onda (WERATLAS) tem sido desenvolvido (PONTES et al., 1998), o qual contém uma descrição detalhada dos recursos à *offshore* e a *nearshore* do clima de ondas do Atlântico e do Mediterrâneo europeus. Estes dados permitem verificar que o recurso energético europeu é estimado em 120-190TWh/ano em águas profundas (*offshore*) e 34-46 TWh/ano nas proximidades da linha da costa (*nearshore*) (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1992b apud INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2003).

A teoria linear de onda e a análise espectral constituem uma base satisfatória para a caracterização energética da onda, ou mais genericamente, dos estados de agitação.

Quando se utiliza o termo “energia da onda”, entende-se como a energia mecânica da onda. Qualquer partícula líquida envolvida no movimento ondulatório contém energia cinética, porque possui uma velocidade diferente de zero, e contém energia potencial, porque se encontra afastada da sua posição de repouso. A “energia da onda” será o somatório das energias elementares de todas as partículas envolvidas no movimento. Como a onda tem dimensões indefinidas (em profundidade, na direção de propagação ou na direção normal a esta), é comum definir sua energia por “unidade de superfície horizontal”, ou por “unidade de comprimento de crista e por comprimento de onda”. Sendo, portanto:

$$E_t = E_c + E_p \quad (5.5)$$

Onde:

E_t = Energia Total

E_c = Energia Cinética

E_p = Energia Potencial

A dedução da equação (ANEXO 2) para obtenção da potência de onda foi feita a partir da análise de uma onda sinusoidal elementar pela Teoria Linear e através da análise espectral. Como resultado da dedução chega-se que o valor da potência de onda (P) por metro de onda é:

$$P(W/m) = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e$$

ou

$$P(kW/m) = 0,4906 H_s^2 T_e \quad (5.6)$$

Onde:

P = potência de onda (Watt/metro de onda);

ρ = massa específica da água do mar (1025kg/m³);

g = aceleração da gravidade (9,81m/s²);

H_s = altura Significativa da onda (m);

T_e = período de energia, correspondente ao pico espectral (s).

Assis (2010) realizou estudo sobre a avaliação e aproveitamento da energia de ondas oceânicas no litoral Sul do Rio Grande do Sul. Os dados foram obtidos, no período entre 1996 e 1999, através de um ondógrafo, posicionado na batimetria de 15m, nas coordenadas 32°10'S e 51°58'W na frente do molhe leste da barra do Porto de Rio Grande. Estes dados serviram como base para a avaliação de recurso energético das ondas do mar para a região de Rio Grande. Pela análise do potencial, conforme equação 5.6, o mês de maio foi o que apresentou o maior potencial energético, ou seja, uma média 14,2kW por metro de frente de onda. O mês de janeiro apresentou a menor média: 4,02kW/m. A tabela 5.9 apresenta os valores médios mensais encontrados para altura significativa, período de energia e potência.

Tabela 5.9: Valores médios mensais de altura significativa, período de energia e potência.

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
H_s (m)	1,23	1,73	1,72	1,97	2,06	1,71	1,33	1,73	1,45	1,63	1,70	1,60
T_e (s)	5,30	5,90	6,20	6,20	6,70	6,54	6,00	6,33	5,90	5,90	5,60	5,60
P (kW/m)	4,02	8,82	9,17	12,00	14,20	9,60	5,30	9,50	6,20	7,90	8,10	7,17

Fonte: Assis (2010)

A análise sazonal revelou que o outono possui a maior média de recurso energético: 11,35kW/m. A primavera apresentou o menor valor, ou seja, uma média de 7,40kW/m. Estes resultados podem ser visualizados na tabela 5.10.

Tabela 5.10: Valores médios sazonais de altura significativa, período de energia e potência.

Estação	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Hs (m)	1,61	1,62	1,88	1,60
Te (s)	5,71	5,80	6,40	6,30
P (kW/m)	7,40	7,70	11,35	8,06

Fonte: Assis (2010)

A figura 5.46 apresenta o valor médio anual de potência 8,6kW/m, e, também, os valores médios sazonais encontrados por Assis (2010).

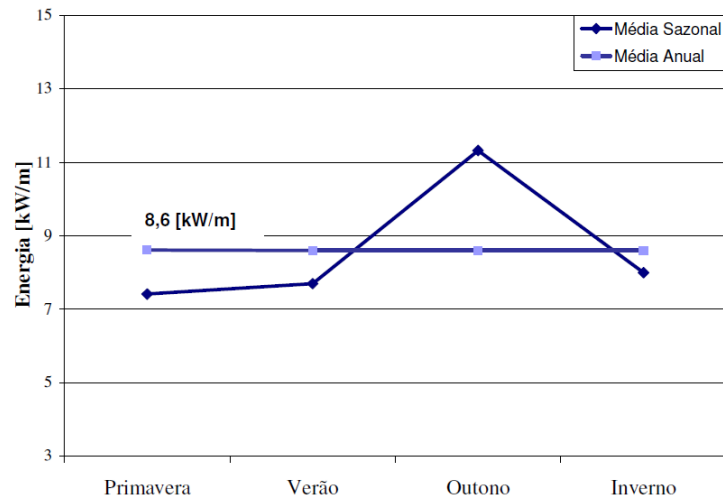


Figura 5.46: Valores de energia das ondas, litoral sul do Estado.

Fonte: Assis (2010).

Silva (2012) realizou estudo sobre a viabilidade de geração de energia elétrica a partir de ondas oceânicas no litoral do Rio Grande do Sul. Os dados utilizados para compor o estudo foram obtidos através do NOAA, para a região de Tramandaí, no ano de 2009. A figura 5.47 mostra os resultados de potência mensal, em kW/m de frente de onda.

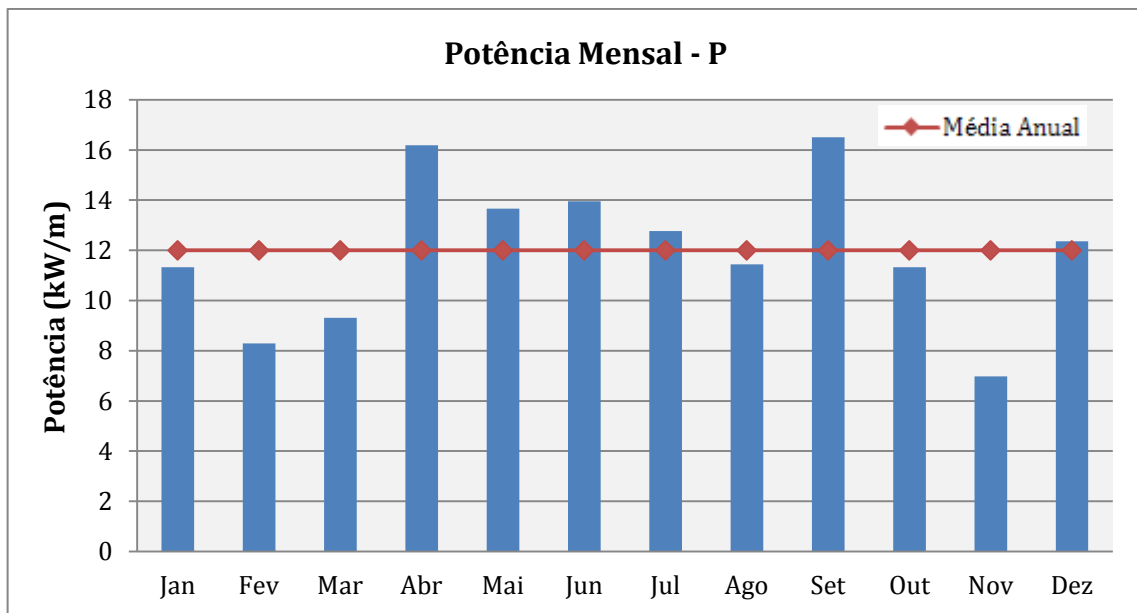


Figura 5.47: Médias mensais do potencial energético das ondas do mar para o litoral do RS. (dados NOAA/2009).

Fonte: Silva (2012)

Pela análise sazonal de dados médios de altura significativa (H_s) e de período de energia (T_e) foram calculados os valores médios de potência em kW/m, tabela 5.11 (SILVA, 2012).

Tabela 5.11: Médias sazonais das alturas significativas (H_s), dos períodos de energia (T_e) e do potencial energético (P) das ondas do mar para o litoral do RS (Dados NOAA/2009).

Estações	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Média
H_s (m)	1,46	1,51	1,59	1,66	1,55
T_e (s)	7,65	9,50	8,78	7,97	8,48
P (kW/m)	9,60	13,29	12,70	12,46	12

Fonte: Silva (2012)

Os valores de potencial energético encontrados por Silva (2012) no litoral Norte do Estado são maiores do que os apresentados por Assis (2010) no litoral Sul do Estado. Este resultado pode ser uma consequência da morfologia local, pois os dados obtidos em Rio Grande sofrem a influência exercida pelo fundo do mar e também a interferência dos molhes da barra de Rio Grande, devido a proximidade. Porém, segundo Strauch et al. (2009), o comportamento do clima de ondas e de correntes de Rio Grande e de Tramandaí é bastante similar.

5.4 Simulação do sistema de energia através do software Homer.

5.4.1 Recursos Energéticos

- **Dados de Correntes Oceânicas**

Os dados de velocidade das correntes oceânicas utilizados para a região de Tramandaí, não formam uma série completa para um ano, como pode ser verificado na metodologia, desta forma, para os dias/meses onde ocorrem dados faltantes, foram inseridos dados semelhantes aos dados dos meses do mesmo período sazonal, completando 8760 dados horários, necessários para a simulação com o *software HOMER*.

Os dados de velocidade de correntes foram inseridos no programa na tela de recursos eólicos, haja vista que não existe um módulo para o cálculo de potencial através de correntes oceânicas. Isto pode ser feito, pois o cálculo do potencial eólico é muito semelhante ao cálculo do potencial de correntes oceânicas, sendo mudados apenas os valores de massa específica.

Na figura 5.48, é possível identificar os valores médios, máximos e mínimos mensais e anual da série de dados, para o ano de 1996, que foi organizada para a simulação.

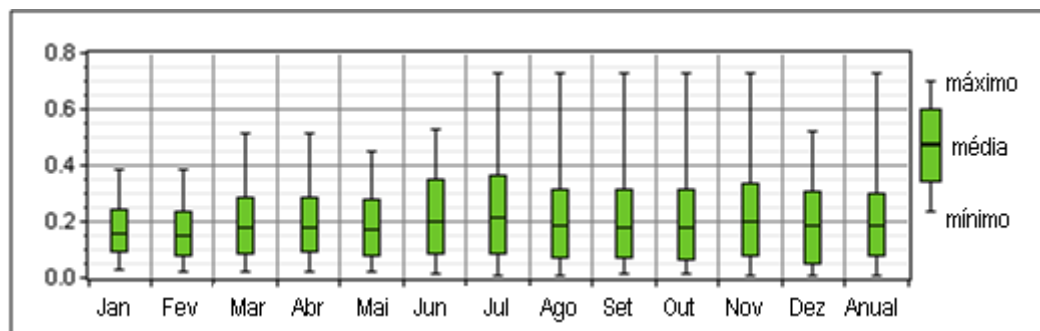


Figura 5.48: Valores Médios, Máximos e Mínimos mensais e anuais de velocidade das correntes na região de Tramandaí, ano de 1996.

O diagrama apresentado na figura 5.49, mostra a variação horária de velocidade para cada dia do ano de 1996. Neste diagrama é possível verificar que as velocidades das correntes sofrem variações ao longo do dia.

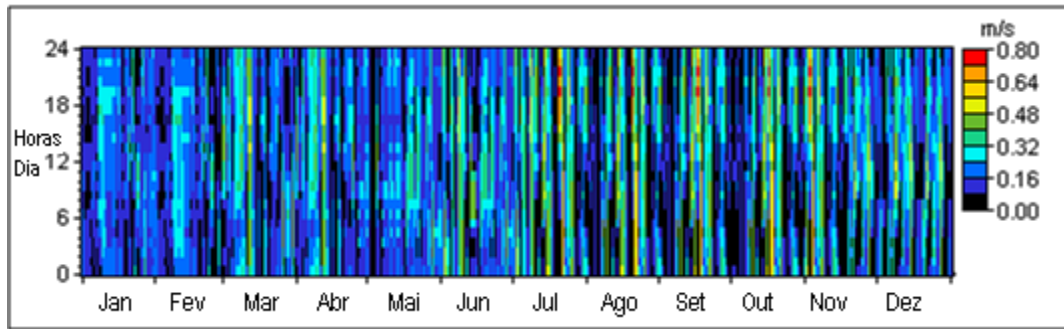


Figura 5.49: Série horária de dados de velocidade das correntes para a região de Tramandaí, 1996.

A série de dados utilizados também pode ser analisada pela variação horária das velocidades para cada mês do ano. As amplitudes encontradas variam de 0,04 a 0,06m/s (Figura 5.50).

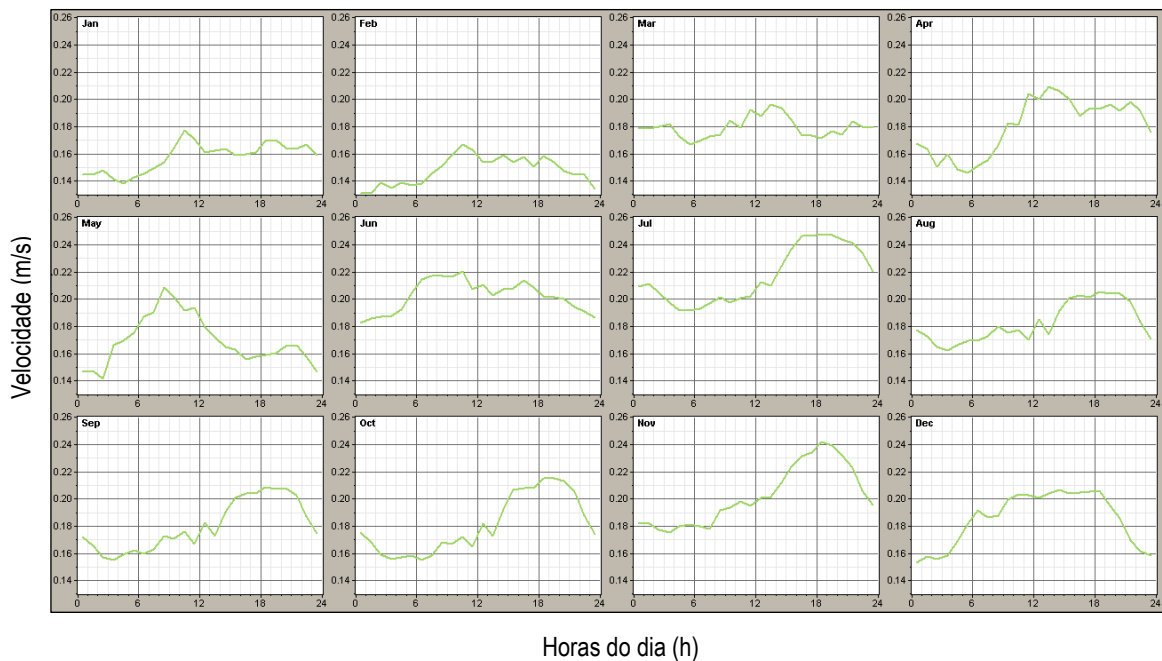


Figura 5.50: Variação horária de velocidade de corrente para cada mês do ano.

Pela simulação, o *software* mostrou que os dados correspondentes à série completa para um ano, se ajustam a distribuição de Weibull, com um coeficiente $k = 1,49$ e $c = 0,20\text{m/s}$ (Figura 5.51). Para o ajuste dos parâmetros da distribuição de Weibull, a rotina utilizada pelo *software* é o da Máxima Verossimilhança. Este mesmo ajuste e valores de coeficientes foram encontrados na rotina elaborada no *software MatLab*, para a série completa.

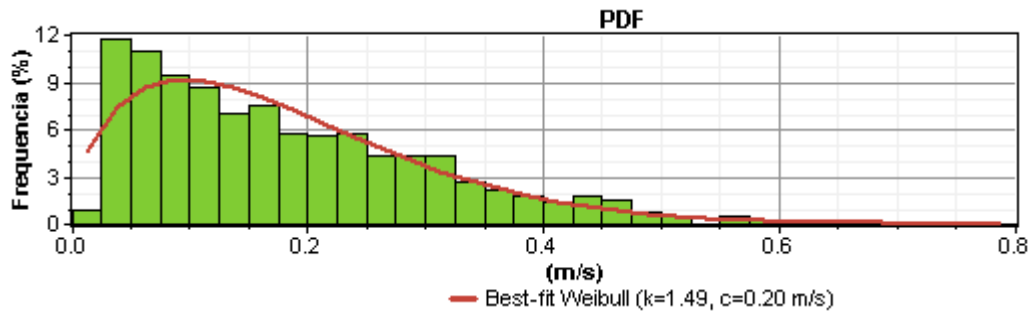


Figura 5.51: Ajuste da distribuição de Weibull (série de um ano de dados), utilizando simulação no *software* Homer.

- **Dados de Ondas Oceânicas**

Toda a análise dos dados de ondas oceânicas foi baseada no estudo desenvolvido por Silva (2012) que utilizou os dados de onda obtidos junto ao NOAA (2009).

Para o cálculo da potência foram utilizados os parâmetros de onda de altura significativa (H_s) e período de energia (T_e). O período de energia é calculado a partir do período significativo (T_s) (Equação 5.7).

$$T_s = 0,95 \cdot T_e \quad (5.7)$$

Os parâmetros de onda (H_s e T_e) foram transformados em vazões para que o programa pudesse calcular a potência gerada, tendo em vista que ainda não existe opção no programa *HOMER* para tecnologias de conversão de energia de ondas.

Assim, como efetuado por Silva (2012), foram calculados 8760 dados de vazões para que as simulações se tornem possíveis. Para tanto, foi realizada uma comparação entre a potência gerada pelas ondas do mar e a potência de um rio hipotético, visto que o programa possui a opção para uma usina hidrelétrica.

Realizou-se, então, uma comparação entre as fórmulas para o cálculo da potência gerada através das ondas oceânicas (Equação 5.6) e da potência gerada por uma turbina hidráulica:

$$P_{hidráulica} = \eta_t \cdot \rho \cdot h_q \cdot Q \quad (5.8)$$

Como a potência das ondas oceânicas, resulta em kW/m, e a potência hidráulica, em W, multiplicou-se a equação 5.6 por 1000. Foi necessário, ainda, acrescentar uma variável L na equação 5.6, representando o comprimento da usina de ondas, para que as duas fórmulas

tivessem as mesmas unidades resultantes (W). A equação 5.9 abaixo fornece a potência média gerada por uma usina de ondas segundo um determinado comprimento (SILVA, 2012).

$$P = 490,6 \cdot H_s^2 \cdot T_e \cdot L_u \quad (5.9)$$

Onde:

L: comprimento da usina de conversão da energia das ondas (m).

Somente após estes ajustes na equação 5.6, foi possível realizar a comparação entre a potência gerada por uma usina de ondas oceânicas com comprimento L (Equação 5.9) e a potência gerada por uma turbina hidráulica (Equação 5.8) conforme demonstrado a seguir:

$$P_{ondas} = P_{hidráulica}$$

$$490,6 \cdot H_s^2 \cdot T_e \cdot L_u = \eta_t \cdot \rho \cdot h_q \cdot Q$$

$$Q = \frac{490,6 \cdot H_s^2 \cdot T_e \cdot L_u}{\eta_t \cdot \rho \cdot g \cdot h_q} \quad (5.10)$$

Onde:

Q: vazão da turbina hidráulica (m³/s);

H_s: altura significativa (m);

T_e: período de energia (s);

L_u: comprimento da usina de ondas (m);

η_t: eficiência da turbina hidráulica (%);

ρ: massa específica da água (1025kg/m³);

g: aceleração da gravidade (9,81m/s²);

h_q: altura vertical ou altura de queda (m).

Fixou-se o valor de 100m para a altura vertical entre a linha d'água do reservatório e o eixo da turbina, e utilizou-se uma eficiência da turbina de 100% para o cálculo das vazões. Este valor de eficiência não deve ser confundido com os valores de eficiência utilizados no botão da usina hidrelétrica do *HOMER* para o cálculo da potência de saída da usina de ondas.

A figura 5.52 apresenta as vazões médias mensais obtidas pela equação 5.10. Neste mesmo gráfico, são apresentadas, também, as vazões máximas e mínimas para cada mês. Na última coluna do gráfico encontra-se a média anual da vazão, que atingiu o valor aproximado de 147112L/s. O valor máximo da vazão para a série de dados chegou a 941388L/s aproximadamente.

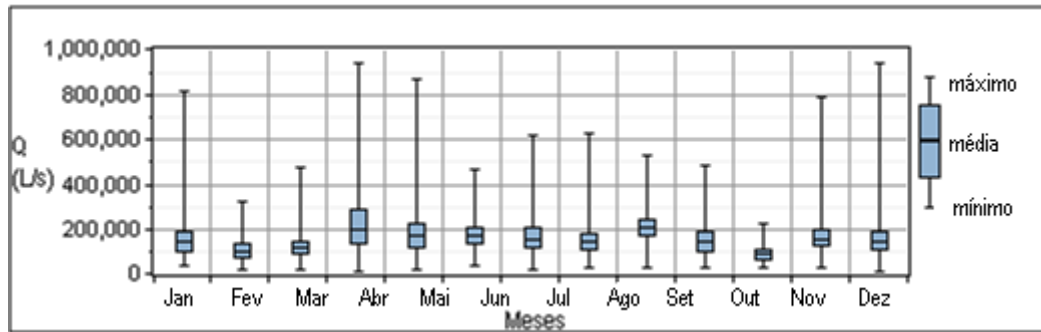


Figura 5.52: Vazões médias, máximas e mínimas mensais obtidas com a utilização do programa *HOMER* através da altura significativa (H_s) e do período de energia (T_e) das ondas oceânicas da região de Tramandaí/RS.

Fonte: Silva (2012) com modificações.

No gráfico apresentado na figura 5.53, é possível verificar o valor da vazão para cada hora do ano de 2009. Nota-se que ao longo das 24h do dia há uma constância nos valores de vazão, pois as linhas verticais apresentam-se contínuas em sua maioria. Esta constância representa, em termos energéticos, que não há grandes variações na energia das ondas ao longo do dia.

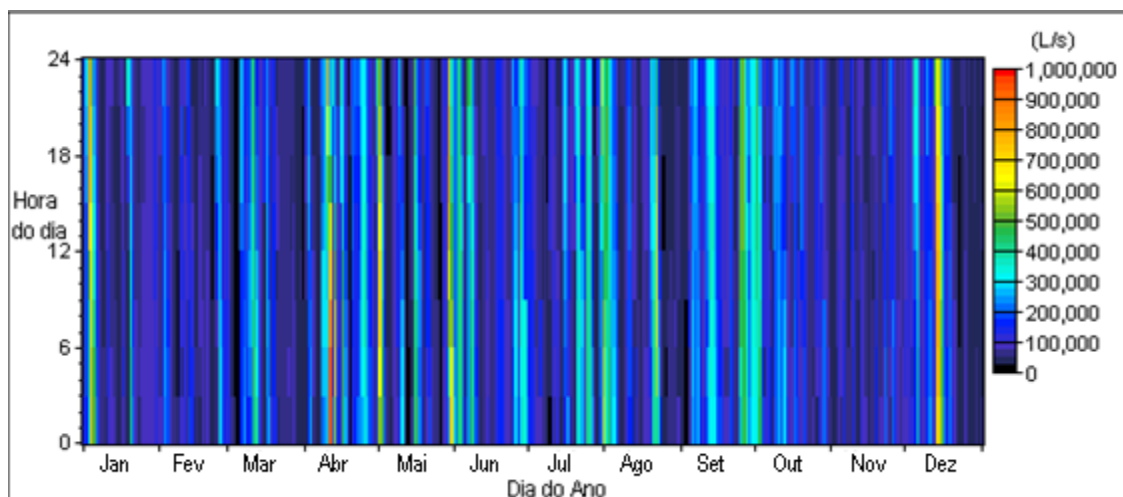


Figura 5.53: Série horária das vazões obtidas com a utilização do programa *HOMER* através da altura significativa (H_s) e do período de energia (T_e) das ondas oceânicas da região de Tramandaí/RS para o ano de 2009.

Fonte: Silva (2012) com modificações.

Na figura 5.54, observa-se que a variação horária das vazões ao longo de cada mês, com amplitudes bem menores se comparadas com as velocidades das correntes oceânicas, mostrando ser um recurso energético com pequenas variações ao longo do dia.

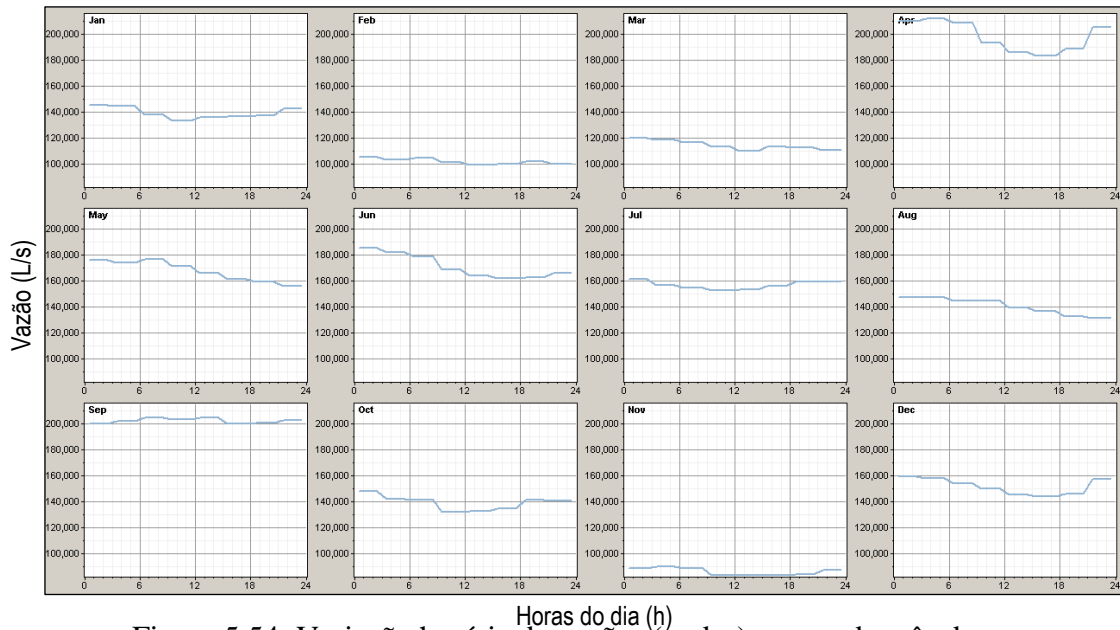


Figura 5.54: Variação horária de vazões (ondas) para cada mês do ano.

5.4.2 Demanda Elétrica para o litoral norte do Estado

Os dados de demanda para a região do litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul utilizados foram obtidos por Silva (2012), junto a CEEE para o ano de 2011.

A figura 5.55 apresenta um diagrama com a série de dados referente a esta demanda. Sendo possível verificar que nos meses do verão ocorre a maior demanda, principalmente entre os horários das 20h às 24h. Também é bastante claro que o período compreendido entre a meia noite e às oito horas da manhã representa o horário com a menor demanda energética.

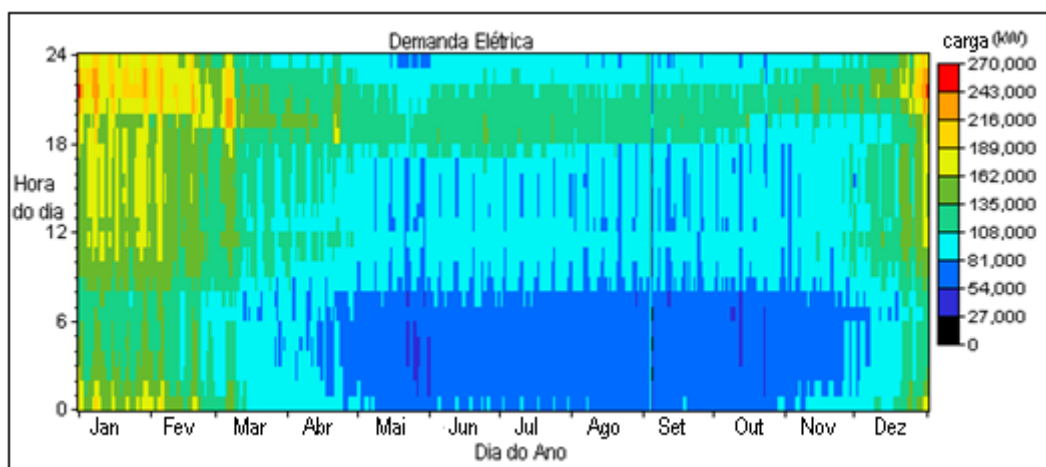


Figura 5.55: Demanda elétrica horária do litoral Norte do RS para o ano de 2011.

Fonte: Silva (2012) com modificações.

O gráfico da figura 5.56 apresenta um perfil da demanda média mensal para o litoral Norte, bem como as demandas máximas e mínimas mensais. A potência média anual para a região, segundo a última coluna do gráfico em questão, é de aproximadamente 105MW, e a potência de pico é de aproximadamente 259MW. O consumo médio diário de energia na região é de aproximadamente 2522MWh/d.

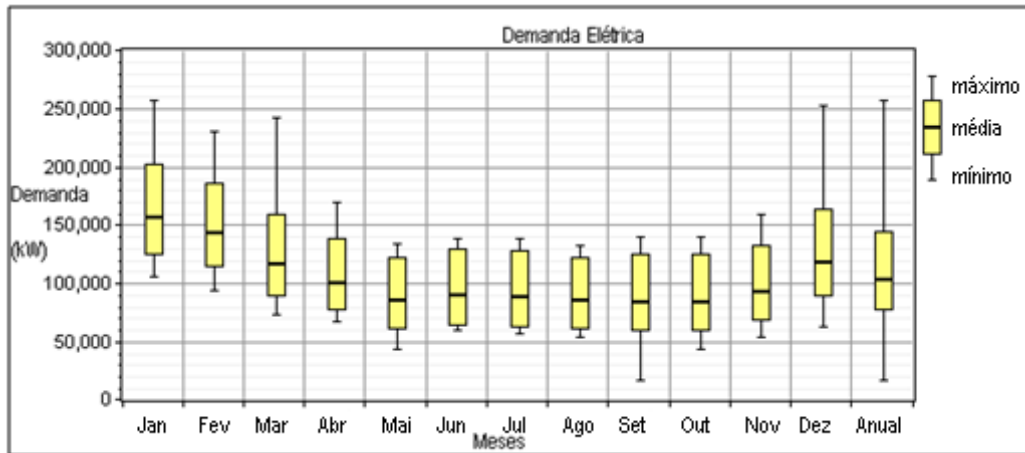


Figura 5.56: Médias mensais da demanda elétrica do litoral Norte do RS para o ano de 2011.

Fonte: Silva (2012), com modificações.

Silva (2012) apresentou as demandas sazonais, conforme tabela 5.12. A maior demanda ocorre no período de verão, média de 144MW, e a menor no inverno com uma média de 88MW. Já o outono e a primavera tiveram demandas praticamente iguais.

Tabela 5.12: Média sazonal da demanda elétrica do litoral Norte segundo as estações do ano.

Estações	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Média
Demanda (MW)	144	95	88	94	105

Fonte: Silva (2012).

5.4.3 Turbinas de Correntes Oceânicas

Foi considerada a turbina Evopod, com diâmetro de 18m, e potência nominal de 3300kW (Figura 5.57). A turbina Evopod foi desenvolvida pela empresa *Oceanflow* e está na fase de testes de protótipo. O investimento aproximado para o desenvolvimento de um protótipo para geração de 35kW é de 21 milhões de dólares.

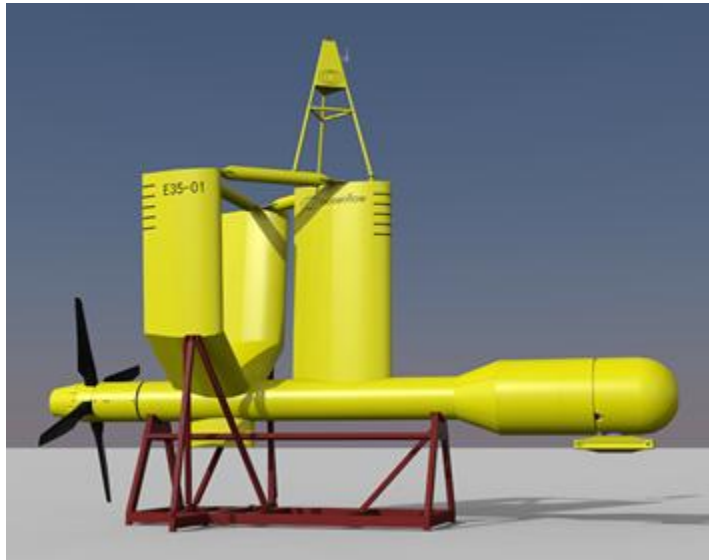


Figura 5.57: Turbina Evopod

Fonte: <http://www.oceanflowenergy.com> (acesso em dezembro/2012).

As simulações foram efetuadas considerando parques de geração compostos por 20 ou 45 turbinas.

O custo de capital do equipamento foi baseado no estudo de Cruz e Sarmiento (2004). Os autores fizeram uma análise tecnológica e econômica sobre aproveitamento de energia de ondas e, concluíram que um projeto que ainda não atingiu a fase de maturidade será rentável com um custo de 2879 €/kW. Além disso, concluíram que a partir do amadurecimento da tecnologia, o custo deverá ser de 946 €/kW.

Considerando os valores apontados por Cruz e Sarmiento (2004) e que Um euro é aproximadamente 1,3 dólares, pode-se considerar um custo de capital em 3,7 USD\$/W.

Desta forma, para uma turbina Evopod com potência nominal de 3300kW, o custo de capital foi fixado em USD\$ 12.210.000. O custo de reposição, considerando reaproveitamento de algumas partes do equipamento, foi estabelecido em USD\$ 10.989.000, considerando uma vida útil de 25 anos. O custo para manutenção e operação (O&M) foi estimado em 2% do valor do investimento, ficando em USD\$ 244.200.

5.4.4 Usina de geração a partir de ondas oceânicas

Assim como Silva (2012), as simulações feitas para verificação da geração através de ondas oceânicas, tiveram como referência a usina instalada no quebra-mar do Porto do Pecém, município de São Gonçalo do Amarante, estado do Ceará (Figura 5.58).

Este projeto foi o primeiro no Brasil a gerar energia elétrica a partir das ondas oceânicas, com um protótipo de 50kW. O desenvolvimento foi feito pelo Programa de

Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e intitulado como “*Implantação de Protótipo de Conversor de Ondas Onshore nas Condições de Mar do Nordeste do Brasil*”, o qual foi iniciado em 05/03/2009. A Tractebel Energia S.A entrou como empresa proponente e a Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos/Laboratório de Tecnologia Submarina (COPPETEC/UFRJ) como instituição executora. O projeto teve um custo total de R\$ 14,4 milhões e duração de 36 meses. A geração de energia elétrica através das ondas do mar aconteceu durante 10 minutos do dia 24/06/2012 e alimentou os sistemas auxiliares da própria usina (iluminação e ar-condicionado) (ANEEL, 2012; SILVA, 2012).

O funcionamento desta usina é feito através de módulos, de modo a atender a futuras ampliações. Cada módulo é composto por um flutuador com diâmetro de 10m, que se movimenta de forma ascendente e descendente assim como o movimento das ondas. O flutuador está fixado a um braço mecânico de 22m de comprimento. O braço aciona uma bomba alternativa que alimenta um circuito fechado de água doce de alta pressão, composto por acumulador hidropneumático e câmara hiperbárica. Este sistema fornece um jato de água doce de alta pressão, equivalente a uma coluna d’água de 400m, acionando uma turbina e conseqüentemente o gerador.

Assim como no trabalho de Silva (2012), foi considerada uma usina de ondas com potência de 150MW e com comprimento de 12km. O referido autor encontrou uma potência média de ondas de 12kW/m, no litoral do Rio Grande do Sul, de forma que para uma usina com comprimento de 12km, tem-se uma potência instalada de aproximadamente 144MW.

A usina com esta potência pode ser comparada ao parque composto por 45 turbinas para geração através de correntes oceânicas.

Silva (2012) estabeleceu os seguintes valores para usina de geração a partir de ondas: USD\$ 400.000.000; USD\$ 360.000.000 e USD\$ 8.000.000 para os custos de capital inicial, reposição e O&M, respectivamente. O autor ainda utilizou valores máximos: USD\$ 2,500.000.000; 2.250.000.000 e 50.000.000 para os custos de capital inicial, reposição e O&M, respectivamente.



Figura 5.58: Usina (protótipo) de conversão das ondas do mar desenvolvida pela COPPE e implantada no Porto do Pecém/Ceará.

Considerando 3,7 USD\$/W, segundo o estudo de Cruz e Sarmiento (2004), os custos foram estabelecidos como: USD\$ 555.000.000 para o capital inicial, USD\$ 499.500.000 para reposição e USD\$ 11.100.000 para O&M.

Para as simulações com os diversos valores, a vida útil estimada para a usina foi de 25 anos.

5.4.5 Sensibilidades inseridas nos sistemas de simulação

Nas simulações realizadas foram utilizados diversos valores de sensibilidade, para que fosse possível a análise dos sistemas com mudanças de fatores. Conforme Lilienthal et al. (2011), as análises de sensibilidade do modelo podem ser utilizadas para se verificar o efeito que mudanças em fatores como disponibilidade de recursos e condições econômicas poderiam ter sobre o custo-benefício de diferentes configurações de sistema. Para realizar uma análise de sensibilidade, é preciso fornecer ao *software* valores de sensibilidade que descrevam uma série de disponibilidade de recursos e de custos de componentes. O programa simula cada configuração de sistema com a série de valores fornecida. Os resultados de uma análise de sensibilidade podem ser usados para identificação dos fatores que possuem o maior impacto sobre o projeto e a operação de um sistema de energia.

Neste trabalho, os valores de sensibilidade inseridos para a realização das simulações foram:

- Custo da turbina Evopod.

Foi feita a análise considerando dois valores de sensibilidade: 0,5, que simula o sistema com um custo de 50% do valor inicial de capital, reposição e O&M estipulados e 2,0, simulando os custos em dobro.

- Custo da usina de ondas.

Foram analisados os valores de sensibilidade de 0,72 (corresponde ao custo de capital de USD\$ 400.000.000, estimado por (Silva, 2012) e de 2 (corresponde ao custo de USD\$ 1.110.000.00, representando um custo de capital 2 vezes maior do que o valor inicial estimado).

- Custo da energia da rede do sistema nacional interligado.

Considerando um custo de USD\$ 0,223 por kWh como o valor máximo e USD\$ 0,095 por kWh como valor mínimo.

- Velocidade das correntes oceânicas.

Como é possível avaliar no item 5.2, este recurso energético mostrou valores muito baixos para a possibilidade de um potencial considerável para geração de energia elétrica nos locais onde foram coletados os dados utilizados para a análise. A média dos 8760 dados de velocidades inseridos foi de 0,182 m/s. Desta forma, a análise da sensibilidade foi feita sempre para velocidades maiores, com o objetivo de se verificar potencial em locais onde a velocidade das correntes tenha maior intensidade. Para isto foram estabelecidas sensibilidades de 1,0m/s e 2,0m/s, isto significa que cada dado pertencente ao conjunto de 8760 dados de velocidade seja aproximadamente 5,5 e 11 vezes maior do que os valores inseridos no programa.

Estes valores de sensibilidade foram estimados, pois a revisão bibliográfica sobre os equipamentos para geração de energia elétrica através de correntes oceânicas mostrou que nos estudos de eficiência dos equipamentos projetados até o momento, a geração só é viável a partir da velocidade de 1,0m/s e que a velocidade de 2,0m/s seria a ideal em termos de custo/benefício, em praticamente todos os equipamentos analisados.

Os dados analisados para a região de Tramandaí não mostraram valores iguais ou superiores a 1,0m/s. Nos dados analisados para a região de Rio Grande, numa profundidade de 15m, foram encontradas velocidades iguais e superiores a 1,0m/s, com um percentual de apenas 2,4%, sendo a velocidade máxima encontrada igual a 1,2m/s. Os dados estudados na plataforma de Santa Catarina, coletados a uma distância entre 80 e 120km da costa, numa profundidade entre 25 e 30m, mostraram uma velocidade máxima de aproximadamente 0,9m/s, já nos dados coletados em profundidades maiores (entre 70 e 75m e entre 120 e 130m) foram encontradas velocidades menos intensas.

Como a profundidade exerce influência na intensidade das correntes oceânicas, foram procurados dados de correntes que ocorrem na superfície com o objetivo de verificar se

possuíam maior intensidade. Infelizmente não existem muitos dados disponíveis. Desta maneira, foram utilizados dados de deriva de boias ativas na região de estudo. Os dados foram encontrados através do Programa Nacional de boias (PNboia), junto ao GOOS-BRASIL que é um sistema nacional de observação dos oceanos visando a coleta, controle de qualidade, distribuição operacional de dados oceanográficos e monitoramento oceanográfico e climatológico no Atlântico Sul e Tropical. A boia utilizada para a análise foi a PNboia 31911, a figura 5.59 mostra a trajetória da boia próxima as costas dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

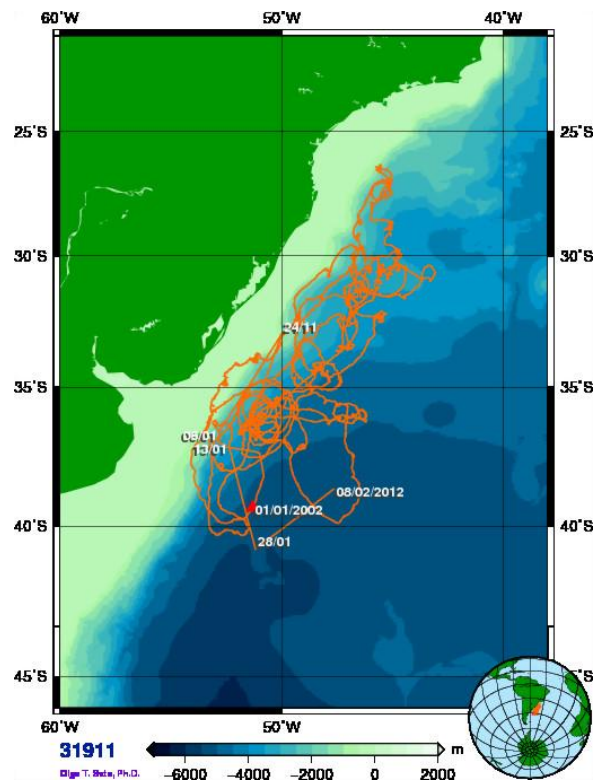


Figura 5.59: Trajetória da PNboia 31911

Fonte: <http://oceanlan.org/produtos/pnboia.php>

Na figura 5.60, é possível observar dados superficiais de velocidade da PNboia 31911. Pode-se analisar que na superfície há ocorrência de velocidades com intensidade acima de 1,0m/s, porém não com grande frequência. A velocidade de deriva da boia em que ocorre a maior frequência (2231 de um total de 16896 dados) é de 0,3m/s.

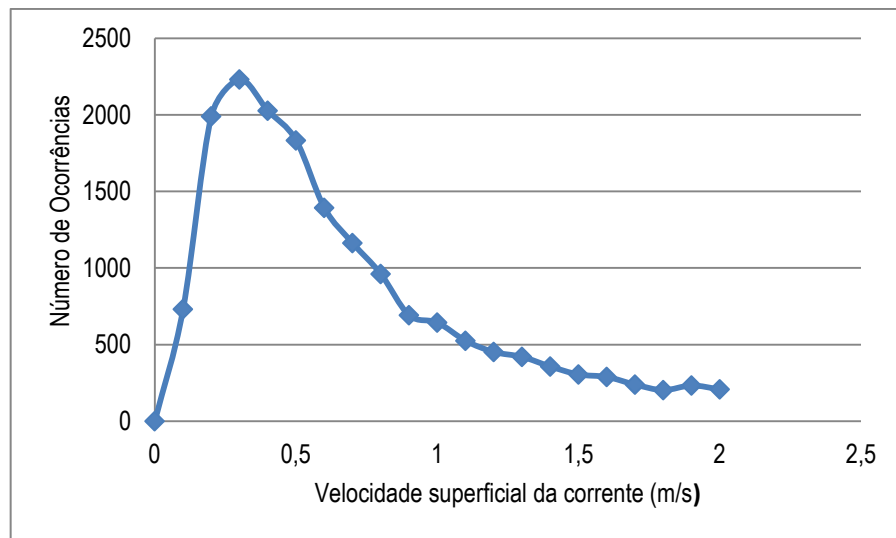


Figura 5.60: Velocidade de deriva da PNboia 31911.

5.4.6 Análise das simulações dos sistemas de energia.

O *software HOMER* permite a realização de simulações utilizando as diversas sensibilidades inseridas no sistema, desta forma, as análises foram efetuadas em relação aos dados econômicos (custos de capital) e em relação à disponibilidade dos recursos energéticos (principalmente voltados para a velocidade das correntes oceânicas).

Para todos os conjuntos analisados foram considerados:

- Vida útil de 25 anos tanto para a usina de correntes quanto para a usina de ondas.
- Demanda média do litoral norte de 2500MWh/dia.
- Eficiência da usina de ondas de 40% e com comprimento de 12km.

Na figura 5.61 pode ser visualizado um diagrama, chamado pelo programa de “tipo de sistema ideal”. Para a análise das simulações foram utilizados estes diagramas por permitirem a visualização rápida de todos os fatores pertencentes aos sistemas estimados.

Neste sistema foram analisados os dados de custo de capital da usina de correntes (Ev18) com as velocidades das correntes (m/s). Para isto foram fixados os valores da usina de ondas (em USD\$ 555.000.000) e do preço da energia elétrica da rede no Estado do Rio Grande do Sul (USD\$ 0,162/kWh). Para estes valores pode ser verificado que a usina de ondas é viável em todas as situações, já a usina de correntes só apresenta viabilidade a partir de uma velocidade de corrente de 1,1m/s para um custo de capital que seja a metade do valor inicial de referência. Para uma velocidade de 1,6m/s, o sistema é viável com o valor adotado inicialmente (USD\$ 12.210.000 por turbina). Já para velocidades próximas a 2,0m/s, o custo

de capital da usina de correntes pode ser aproximadamente 1,5 vezes maior que ainda assim existe viabilidade.

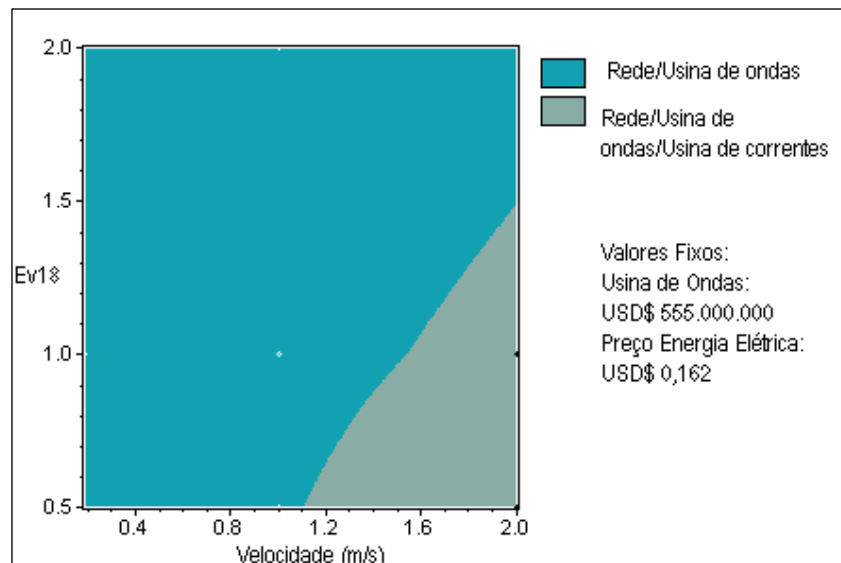


Figura 5.61: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,162/kWh”.

Na figura 5.62, é feita a mesma comparação do sistema anterior, porém considerando que o preço da energia elétrica da rede é de USD\$ 0,095/kWh. Novamente a usina de ondas mostrou viabilidade, porém este menor preço da rede de distribuição tornou menor o campo de viabilidade para uma usina de correntes. Como pode ser verificado, para uma velocidade de 1,2m/s o custo deverá ser metade do custo estimado inicialmente para a usina e para velocidades próximas de 2m/s existe viabilidade com o custo estimado (USD\$ 12.210.000 por turbina).

Ainda considerando o mesmo sistema, a figura 5.63, mostra a simulação com o maior preço de energia elétrica de rede no país (USD\$ 0,223/kWh). A usina de ondas continua viável e a usina de correntes poderá ser viável a partir da velocidade 1,06m/s. Para velocidades próximas a 2,0m/s, o custo da usina de correntes pode ser em torno de 1,7 vezes maior do que o valor inicial estipulado.

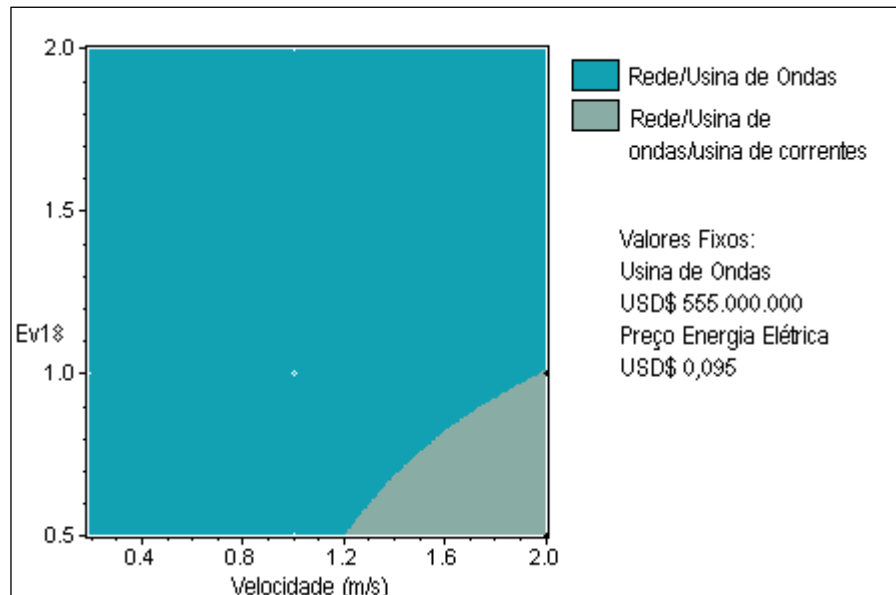


Figura 5.62: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,095”.

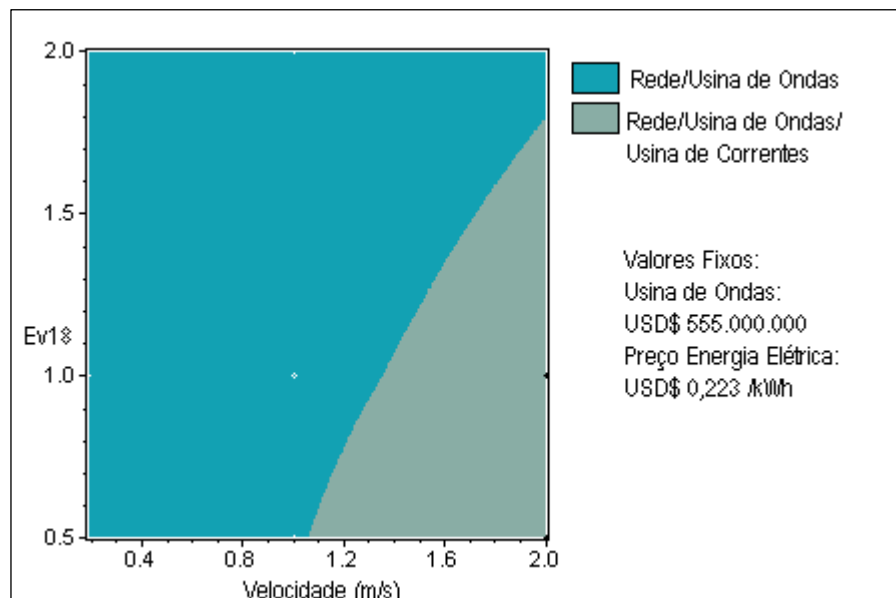


Figura 5.63: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,223”.

Na figura 5.64, o sistema de simulação mostra a relação entre o custo de capital da usina de correntes (Ev18) e a velocidade das correntes, considerando um custo de capital de USD\$ 400.000.000, para a usina de ondas. O preço da energia elétrica da rede foi fixado em (USD\$ 0,162). Como já esperado, com estes valores a usina de ondas é viável em todas as

situações, já a usina de correntes manteve a viabilidade dentro das faixas mostradas na figura 5.61, analisada anteriormente.

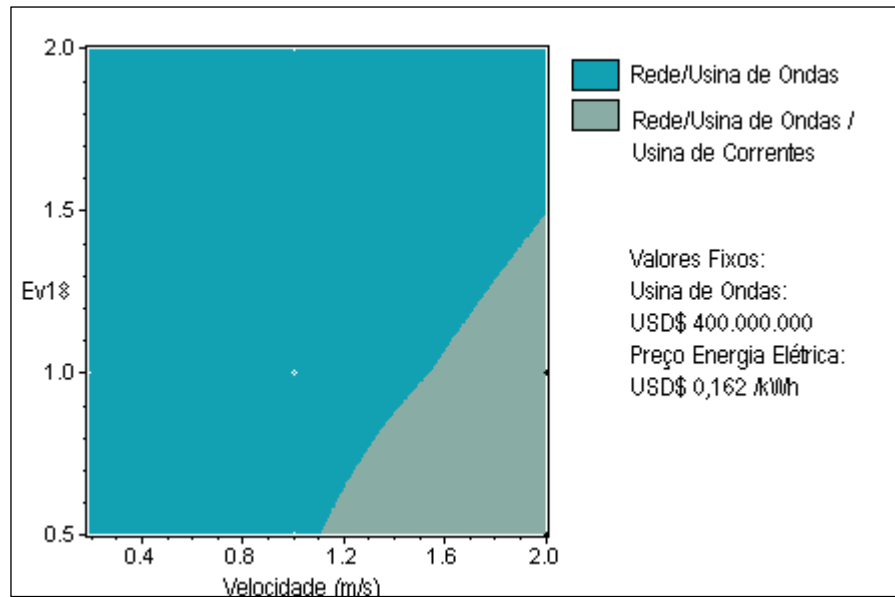


Figura 5.64: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,162/kWh e custo de capital da usina de ondas em USD\$ 400.000.00”.

Ainda analisando o mesmo sistema, porém considerando que a usina de ondas tem um custo de capital de USD\$ 1.110.000.000, ou seja, o dobro do valor inicial estimado, e que o preço da energia elétrica da rede é de USD\$ 0,162/kWh (Figura 5.65), verifica-se que para velocidades a partir de 1,9m/s e com um custo aproximado ao estipulado inicialmente (USD\$ 12.210.000 por turbina) é mais viável usar o sistema composto por rede convencional do sistema interligado e usina de correntes. Caso o custo da usina de correntes seja maior do que o valor inicial estipulado, ainda assim, a usina de ondas mostra viabilidade.

A figura 5.66 mostra a simulação utilizando um custo de capital para a usina de ondas de USD\$ 1.110.000.000, e o menor preço de energia elétrica (USD\$ 0,095/kWh). Neste caso pode-se verificar que a usina de ondas não é viável. A usina de correntes é viável para velocidades a partir de 1,2m/s, como já mencionado na análise da figura 5.62.

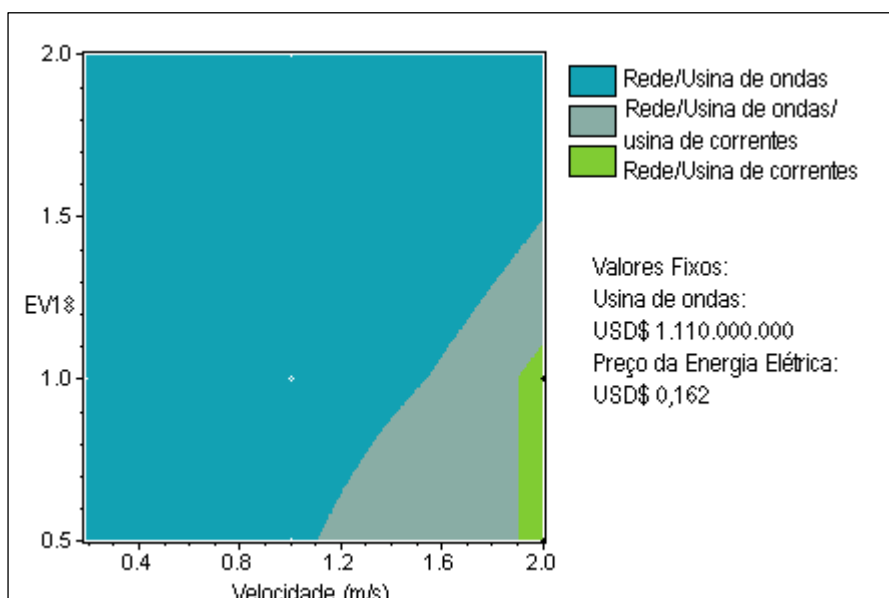


Figura 5.65: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,162/kWh e custo de capital da usina de ondas em USD\$ 1.110.000.000”.

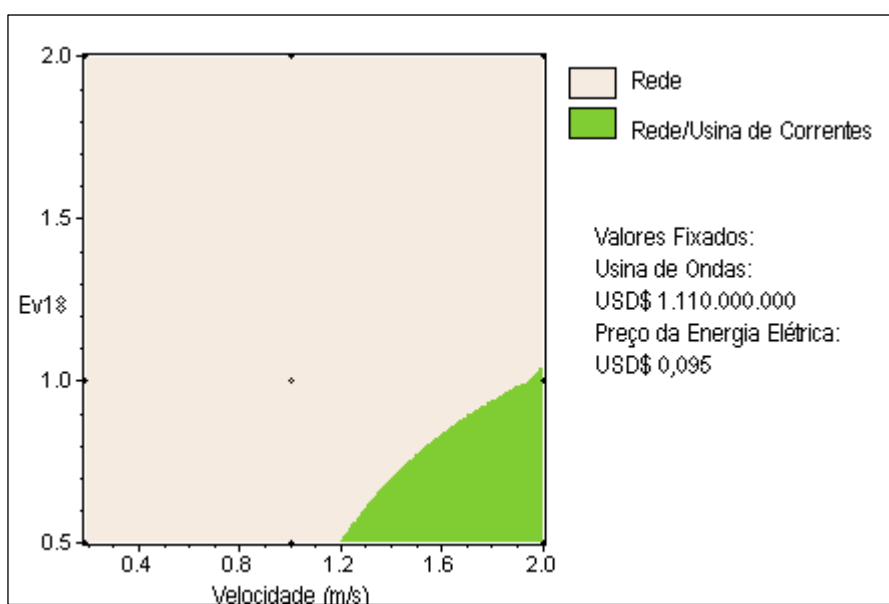


Figura 5.66: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X velocidade das correntes oceânicas (m/s) com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,095/kWh e custo de capital da usina de ondas em USD\$ 1.110.000.000”.

Na simulação feita entre o custo de capital da usina de correntes e o custo de capital da usina de ondas, fixando o valor de sensibilidade de velocidade para 1,0m/s, ou seja, os valores de intensidade das correntes são maiores cerca de 5,5 vezes do que os dados inseridos no programa, verifica-se a não viabilidade da usina de correntes. A usina de ondas mostra

viabilidade até um valor de custo de capital de aproximadamente USD\$ 825.000.000, a partir deste valor o sistema considerado como ótimo é somente alimentado pela rede de distribuição de energia elétrica, com um preço fixado em USD\$ 0,095/kWh (Figura 5.67).

Se o valor da energia elétrica da rede for aumentado, utilizando USD\$ 0,162/kWh, a usina de ondas mostra viabilidade para todos os custos de capital estimados (Figura 5.68).

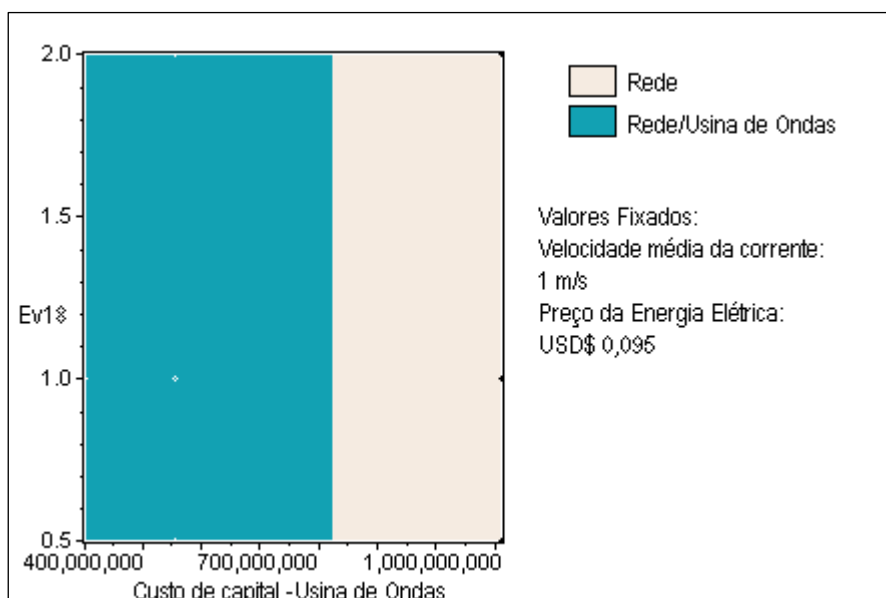


Figura 5.67: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X custo de capital da usina de ondas com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,095 e velocidade média de 1,0m/s”.

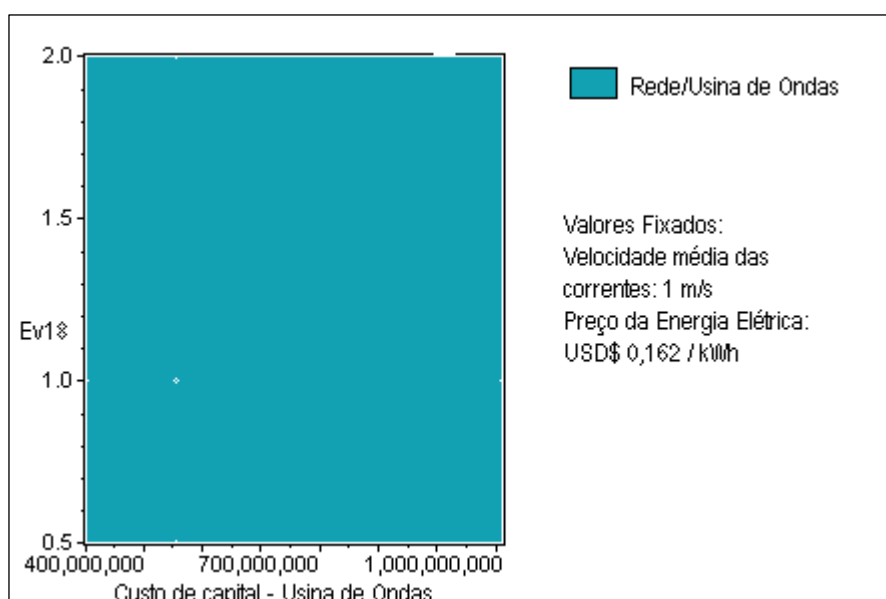


Figura 5.68: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X custo de capital da usina de ondas com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,162/kWh e velocidade média de 1,0m/s”.

A figura 5.69, mostra o sistema simulado considerando o custo de capital de usina de correntes (Ev18) e o custo de capital da usina de ondas, com valores fixados de preço de energia elétrica em USD\$ 0,162/kWh e velocidade de corrente com uma sensibilidade de 2,0m/s, ou seja, os valores de velocidade inseridos no programa foram aumentados em torno de 11 vezes em relação aos valores iniciais (média 0,182m/s). Com estas velocidades, o sistema mostrou viabilidade para a usina de correntes com um custo de capital até 1,5 vezes maior do que o valor inicial estimado (USD\$ 12.210.000 por turbina).

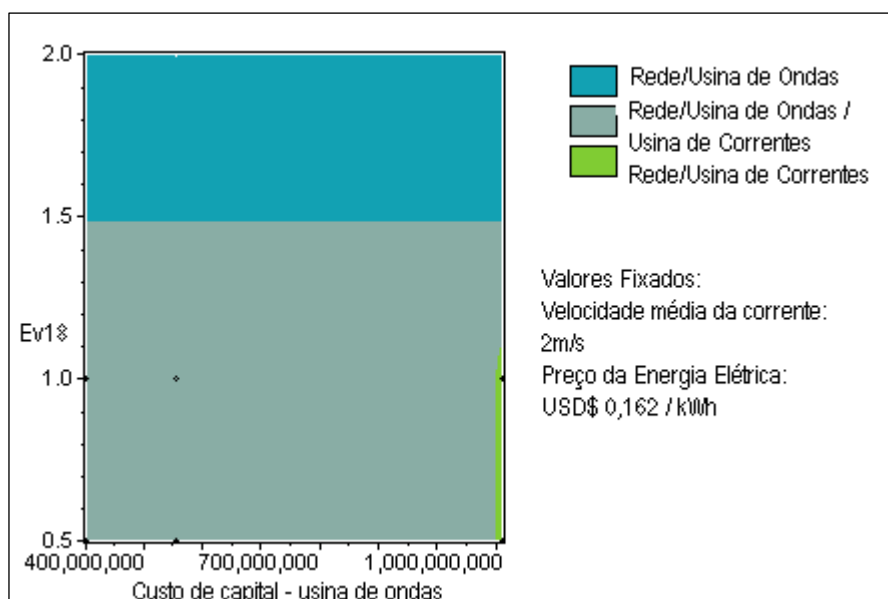


Figura 5.69: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X custo de capital da usina de ondas com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,162/kWh e velocidade média de 2,0m/s”.

O mesmo sistema foi simulado, porém com um preço de energia elétrica da rede convencional fixado em USD\$ 0,095/kWh (Figura 5.70). Neste caso é possível verificar que a usina de ondas mostra viabilidade para um investimento de capital até aproximadamente USD\$ 800.000.000. A usina de correntes é viável, considerando que o custo de capital gire em torno do valor inicial estimado. Valores maiores do que aproximadamente USD\$ 800.000.000 para a usina de ondas e de aproximadamente USD\$ 12.210.000 por turbina da usina de correntes, mostram que estes sistemas não são viáveis, para esta situação.

Se for considerado um aumento do preço da energia elétrica (USD\$ 0,223/kWh), considerando ainda uma velocidade média de 2,0m/s, tanto a usina de ondas quanto a usina de correntes mostram-se viáveis, até mesmo para valores de capital em torno de 1,8 vezes maior do que o valor inicial estimado para a usina de correntes (Figura 5.71).

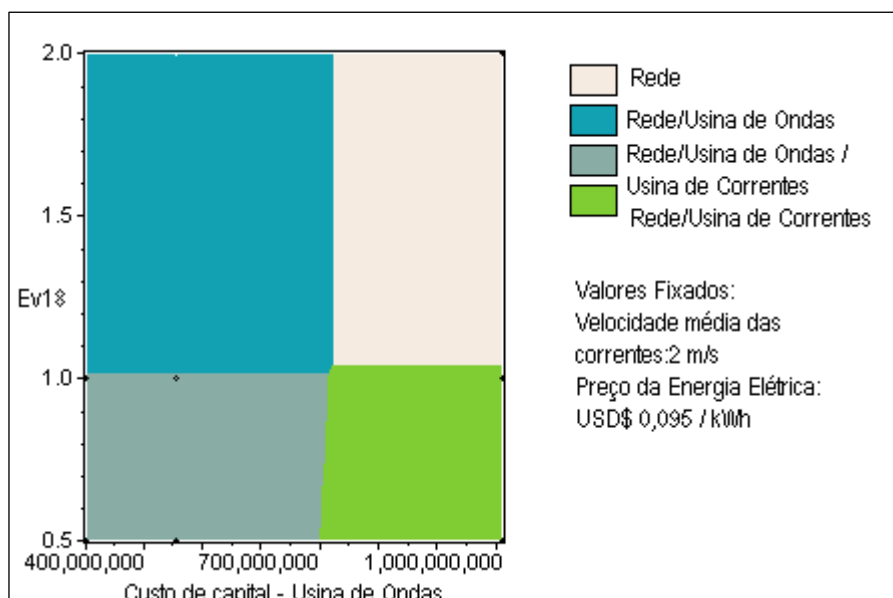


Figura 5.70: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X custo de capital da usina de ondas com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,095/kWh e velocidade média de 2,0m/s”.

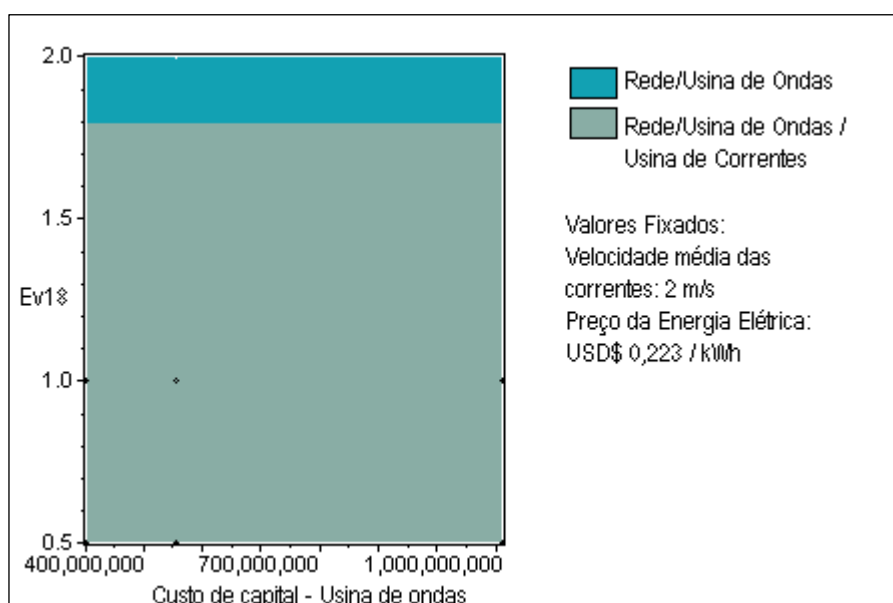


Figura 5.71: Resultado da Simulação “custo de capital da usina de correntes (Ev18) X custo de capital da usina de ondas com preço da energia elétrica da rede fixado em USD\$ 0,223/kWh e velocidade média de 2,0m/s”.

6. Conclusões

Dispositivos de Conversão de Energia

As turbinas de eixo horizontal para correntes oceânicas são os dispositivos com tecnologia mais evoluída e por isso, existe maior disponibilidade de informação a respeito do princípio de funcionamento e partes componentes dos dispositivos, bem como das condições que requerem para seu funcionamento. As turbinas de eixo vertical, os hidrofólios oscilantes, as turbinas no interior de dutos Venturi e outros projetos diferenciados, ainda estão em fase recente de projeto em sua maioria.

O período de desenvolvimento dos projetos é bastante extenso, aproximadamente 10 anos, entre o projeto conceitual, a modelagem e simulação numérica, o estudo das características do local planejado para instalação, os testes com protótipos e a instalação do equipamento para devido uso.

A maioria dos equipamentos pesquisados requerem velocidades de correntes a partir de 1,0m/s, para geração de uma parcela considerável de energia elétrica.

Características das Correntes Oceânicas

Região de Tramandaí

As direções predominantes, no período compreendido entre dezembro de 1995 e o inverno de 1996, para cota de 5m a partir do fundo, foram: Primavera (N), Verão (SSO e NNE), Inverno (NNE, N). Para os dados mais próximos da superfície, com cota de 15m a partir do fundo, as direções predominantes foram: Primavera (NNE), Verão (N, SO), Outono (NO) e Inverno (NNE).

No verão, devido à predominância de ventos do setor Nordeste, observa-se uma grande ocorrência de correntes migrando para o setor Sudoeste. Já no inverno, com a predominância de ventos de Oeste e Sudoeste, as correntes dirigem-se para o setor Nordeste. A análise das direções das correntes mais superficiais em conjunto com os dados de direção dos ventos mostrou que os ventos exercem influência significativa na direção das correntes oceânicas.

Fazendo uma comparação dos dados de corrente do verão/96 (cota de 5m) com os dados do verão de 1963, observa-se que as principais direções, SSO e NNE, se mantêm.

Também pode ser verificado que a direção das correntes varia ao longo do tempo do setor nordeste para o setor sudoeste e vice-versa. Como os dados de Tramandaí foram obtidos num local próximo à linha da costa (aproximadamente 2500m), pode-se dizer que o comportamento das correntes sofre a influência da batimetria, pois elas realizam uma espécie de “giro” e se mantêm paralelas em relação à costa, na direção NE/SO, com maior frequência.

A análise da intensidade das correntes mais profundas com cota 5m a partir do fundo, de 1995/1996 mostrou que o valor máximo de velocidade ocorreu no verão, com 0,54m/s. Os valores mínimos ficam bastante próximos de zero. O valor médio máximo ocorre no verão e na primavera, com 0,19m/s, considerando um desvio padrão de 0,12m/s.

Os dados das correntes mais próximos da superfície, coletados a 15m a partir do fundo, de 1995/1996 possuem valores máximos de 0,59m/s, na primavera e 0,75m/s no inverno, mostrando que na superfície são obtidas maiores intensidades. O valor médio máximo ocorre no inverno com 0,19m/s, com um desvio padrão de 0,14m/s.

Em 1963 (cota 9m), a velocidade máxima de corrente observada foi de 0,61m/s, e a média de 0,18m/s.

A modelagem estatística utilizando a distribuição de Weibull permitiu a determinação dos seus coeficientes e possibilitou a análise para as estimativas do comportamento das correntes, baseadas no período em que foram realizadas as medições. Os coeficientes da distribuição de Weibull mostraram que existe variação dos valores dos coeficientes para cada período sazonal analisado. O cálculo da Função Acumulada de Probabilidade (FAP) de Weibull permitiu que fossem avaliadas as probabilidades de ocorrência para determinadas velocidades.

A análise dos dados foi feita sazonalmente, porém é importante salientar que existem falhas nos dados, principalmente por problemas ocorridos com os correntógrafos durante as campanhas de coleta de dados, mostrando a importância de se complementar o regime de correntes mostrado para este local.

Região de Rio Grande

A direção predominante das correntes na região de Rio Grande, no período de março a maio de 1997 é a Nordeste.

A análise mostrou que na região de Rio Grande as velocidades tem uma intensidade maior que as velocidades de correntes do litoral Norte. Para uma profundidade de 15m, a velocidade máxima encontrada foi de 1,217m/s e para uma profundidade de 45m a velocidade máxima foi de 0,9613m/s. Para os dados coletados numa profundidade de 15m, a FAP de

Weibull mostrou que para uma velocidade ser maior ou igual a 0,5m/s a probabilidade de ocorrência é de 10,23% enquanto que para uma velocidade ser igual ou maior do que 1,0m/s é de 1,05%. Já para profundidade de 45m, a probabilidade de uma velocidade se igualar ou exceder 0,5m/s é de 5,3%.

Região de Santa Catarina

Os dados analisados na região de Santa Catarina, sobre a isóbata de 160m, mostraram que numa profundidade entre 25 e 30m, a velocidade máxima que ocorreu para o período de coleta de dados foi de 0,8276m/s, calculando a FAP de Weibull para este conjunto de dados a probabilidade de ocorrer uma velocidade igual ou superior a 0,5m/s é de 5,63%. Já para as profundidades entre 70 e 75m, a velocidade máxima foi de 0,6939m/s e pela FAP de Weibull a probabilidade de uma velocidade ser igualada ou excedida a 0,5m/s é de 3,77%. Numa profundidade entre 120 e 125m, a velocidade máxima é de 0,6445m/s e FAP mostrou uma probabilidade de apenas 1,51% para uma velocidade exceder ou igualar 0,5m/s.

Como esperado, pode-se verificar que a profundidade influencia na intensidade da corrente, visto que os dados coletados em maior profundidade indicam velocidades mais baixas.

Através do estudo estatístico também é possível concluir que o regime de correntes das três regiões analisadas não é estável, devido aos grandes valores dos coeficientes de variação (entre 46 e 77%) para todos os conjuntos de dados analisados. A implantação de um sistema de geração através de correntes oceânicas dimensionado para as velocidades médias calculadas sofrerá grandes oscilações.

Potencial Energético das Correntes Oceânicas

As duas metodologias, utilizando distribuição contínua ou distribuição discreta, para calcular o potencial energético das correntes mostram resultados finais muito semelhantes. Os valores encontrados pela distribuição contínua são um pouco menores.

O potencial energético médio anual calculado para os dados mais próximos da superfície do mar (cota 15m) da região de Tramandaí é de 3,00W/m² pela análise da distribuição discreta, e de 2,30W/m² pela distribuição contínua de Weibull. Para dados mais próximos ao leito marinho (cota 5m), o valor médio anual do potencial é de 2,50W/m² em ambas as distribuições. Não foi verificada uma grande diferença nos valores de potencial para esta diferença de profundidade.

Estabelecendo uma comparação entre potencial energético de ondas, calculado por Assis (2010) e Silva (2012), e o de correntes oceânicas para o litoral Norte, é verificado que as ondas têm um potencial de aproximadamente 12kW/m, enquanto que as correntes apresentam um potencial médio de aproximadamente 2,75W por m² de área de varredura do dispositivo.

Na região de Rio Grande, os dados analisados apresentaram um maior potencial, se comparados com os dados das regiões de Tramandaí e Santa Catarina, 11,25W/m² para a profundidade de 15m, com uma velocidade média de 0,28m/s e uma densidade de potência de 4,74W/m² para a profundidade de 45m, e velocidade média de 0,21m/s. Já pela distribuição contínua de Weibull os valores foram de 9,00W/m² e 4,24W/m², para as profundidades de 15 e 45m, respectivamente.

Já na região de Santa Catarina, a densidade de potência foi de 7,10W/m², 4,10W/m² e 3,00W/m² pela análise discreta e de 6,40W/m², 3,90W/m² e 2,75W/m² pela análise da distribuição contínua, para as profundidades entre 25 e 30m, 70 e 75m e 120 e 125m, respectivamente.

Simulações de cenários de pré-viabilidade técnica e econômica através do *software* Homer

As simulações efetuadas com o *software* Homer permitiram estabelecer limites de pré-viabilidade para a inserção das energias de correntes e ondas oceânicas.

É possível concluir que a usina de ondas, com as características que foram consideradas, mostra viabilidade em todos os cenários exceto quando é considerado um preço de USD\$ 0,095 para a energia elétrica da rede e um custo de capital de USD\$ 1.110.000.000.

Já a usina de correntes oceânicas mostrou limitações em todos os cenários analisados. Mostra viabilidade para velocidades a partir de aproximadamente 1,1m/s com um custo de USD\$ 6.105.000 por turbina, ou seja, metade do valor estimado como custo de capital. Também mostrou viabilidade num cenário com velocidades a partir de 1,6m/s considerando o custo de capital inicial estimado (USD\$ 12.210.000 por turbina). Já o cenário que se estipulou uma velocidade de 2,0m/s o custo estimado de capital poderá ser o dobro, ou seja, USD\$ 24.420.000 por turbina, sendo viável. Todos estes fatores dependem do preço da energia elétrica da rede do sistema nacional interligado.

A caracterização dos dados é importante para estudos de viabilidade técnica e econômica. O estudo estatístico dos dados, para os períodos analisados, mostrou que para as regiões analisadas (Regiões de Rio Grande e Tramandaí, Costa Norte de Santa Catarina) a intensidade das correntes é baixa. Atualmente a maioria dos equipamentos projetados e testados para o aproveitamento da energia das correntes oceânicas requerem velocidades de correntes a partir de 1,0m/s, para produzirem uma parcela considerável de energia elétrica, com viabilidade técnica e econômica. A solução seria uma pesquisa voltada para equipamentos que possam converter energia com baixas velocidades de corrente, ou equipamentos com acessórios capazes de incrementar a velocidade de funcionamento (tal como dutos Venturi).

7. Recomendações

Intensificação das campanhas para coleta de dados oceanográficos, incluindo as medições de correntes e suas forçantes.

Desenvolvimento de projetos de dispositivos de conversão de energia de correntes para funcionamento em locais com baixas velocidades de correntes.

Análise de projetos de turbinas no interior de tubos Venturi, a fim de incrementar a intensidade das correntes que ocorrem ao longo do litoral brasileiro.

Inserção de sistemas de simulação a partir da energia de ondas e de correntes oceânicas no *software* Homer.

8. Referências Bibliográficas

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Tarifas Residenciais Vigentes. 2012. Disponível em <www.aneel.gov.br>. Acesso em outubro/2012.

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasília, DF). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ª edição. Brasília, 2005. 243 p. Disponível em <www.aneel.gov.br/atlas>.

ALMEIDA, L.E.S.B., TOLDO JR. E.E., 1997. **Projeto Estudos Ambientais em Áreas Costeiras e Oceânicas na Região Sul do País – Região de Osório, RS**. Porto Alegre. Grupo de Física. IPH/UFRGS. Relatório Técnico.

ASEFF, C. D. 2006. **Comparação das Estruturas Oceanográficas da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul, Brasil, em duas Situações de Outono**. Monografia, Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Rio Grande.

ASEFF, C. D. 2009. **Estudo da variação sazonal na composição físico-química das massas de água da Plataforma Continental do Atlântico Sudoeste (PCASO) entre Mar del Plata (Argentina, 38° S) e Itajaí (SC, 26° S)**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica), Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Rio Grande.

ASSIS, L.E. 2010. **Avaliação e Aproveitamento de Energia de Ondas Oceânicas no litoral do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas/IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. Porto Alegre.

ATLANTISSTROM. Empresa Alemã que apresenta o dispositivo Atlantisstrom. Disponível em <<http://www.atlantisstrom.de>>. Acesso em novembro/2011.

BIOPOWER SYSTEMS. Empresa situada em Sydney, na Austrália, apresenta o dispositivo Biostream. Disponível em <www.biopowersystems.com>. Acesso em novembro/2011.

BLUE ENERGY. Apresenta Empresa Canadense Green Energy e o desenvolvimento da turbina oceânica denominada “Blue Energy”. Disponível em <<http://www.blueenergy.com/technology.html>>. Acesso em janeiro/2012.

BLUE WATER. Empresa da Holanda que apresenta o dispositivo Blue Tec. Disponível em <<http://www.bluewater.com/bluetec>>. Acesso em dezembro/2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional - BEN. Brasília: MME, 2005. Disponível em <www.mme.gov.br>.

BRAGA, M. F; KRUSCHE, N. Padrão de ventos em Rio Grande, RS, no período de 1992 a 1995. *Atlântica*, v.22, p.27-40, 2000.

CASARES P. E. 1998. **Regime de correntes na plataforma continental externa de Santa Catarina**. Dissertação. (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica), Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Rio Grande.

CASTRO, B., MIRANDA, L. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf between 4°N and 34°S. In Brink, K. & Robinson, A., editors, **The Sea - The Global Coastal Oceans**, v. 10, c.8, p. 209–251,1998.

CECÍLIO, R. O. 2006. **Estrutura tridimensional das correntes geradas pelo vento na plataforma continental da região sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Oceanografia. Universidade de São Paulo. São Paulo.

CENTRO EUROPEU DE ENERGIA MARINHA – EMEC. Apresenta vários conceitos de dispositivos desenvolvidos e em desenvolvimento para aproveitamento da energia dos oceanos. Disponível em <<http://www.emec.org.uk>>.

CLEAN CURRENT, Renewable Energy from the Tides. Apresenta desenvolvimento do dispositivo para aproveitamento de correntes oceânicas denominado “Clean Current”. Disponível em <<http://www.cleancurrent.com/>>. Acesso em outubro/2011.

COSTA, P. R. 2004. **Energia das Ondas do Mar para Geração de Eletricidade**. Dissertação (Mestrado). COPPE. Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

COSTA, R. L. 2009. **Estudo sobre a variabilidade sazonal e da estrutura vertical das correntes costeiras da plataforma interna, ao largo de Rio Grande – RS**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica). Universidade Federal do Rio Grande. FURG. Rio Grande.

CRUZ, J. M. B. P., SARMENTO, A. J. N. A. **Energia das Ondas: Introdução aos Aspectos Econômicos, Tecnológicos e Ambientais**. Instituto do Ambiente, Alfragide, Portugal, 2004, 65p.

DEFANT, A. **Physical oceanography**. v.2, Pergamon Press, 1961.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DE OXFORD (Kepler Energy). Apresenta o dispositivo THAWT – Transverse Horizontal Axis Water Turbine. Disponível em <<http://www.keplerenergy.co.uk>>. Acesso em fevereiro/2012.

EVANS, D.L, SIGNORINI S.S. E MIRANDA L.B. A note on the transport of the Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, v.13, p.1732-1738. 1983.

FRANCO, A. S., **Tides. Fundamentals, Analysis and Prediction**. IPT. São Paulo, 1981, 232 p.

FREITAS, A. 2000. **Circulação das águas da plataforma continental de Santa Catarina**. Monografia (Graduação em Oceanologia) Universidade federal do Rio Grande. FURG. Rio Grande.

GISLER, C. A. F., FISCH, G., CORREA, C.S. Análise Estatística do Perfil do Vento na camada limite superficial no centro de lançamento de Alcântara. **Journal of the Aerospace and Technology Management**, v.3, n.2, p.193-202, May-Aug., 2011.

GONÇALVES, A. M. **Utilização de Dados de Altímetro na Avaliação do Recurso Energético das ondas do Mar**. Lisboa, 2003. Relatório de Estágio Profissionalizante.

HAMMERFEST STROM. Empresa privada da Noruega que apresenta o dispositivo Tidal Stream Turbine. Disponível em <www.hammerfeststrom.com>. Acesso em novembro/2011.

GUERRERO, R. A; ACHA, E. M; FRAMIÑAN, M. B; LASTA, C. A. Physical oceanography of the Río de la Plata Estuary, Argentina. **Continental Shelf Research**, v.17 (7), p.727-742, 1997.

HALES ENERGY LTD. Empresa do Reino Unido que apresenta o dispositivo Hales Turbine. Disponível em <www.hales-turbine.co.uk>. Acesso em novembro/2011.

HERZ, R. 1977. **Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos**. Universidade Federal de São Paulo. USP.

HIRATA, F. E. 2008. **Variabilidade de nível de correntes em baixa frequência na plataforma externa de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica). Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande.

HOMER, versão 2.68 beta: *The Micropower Optimization Model*. HOMER Energy, 2011. Disponível em: <<http://www.homerenergy.com/>>. Acesso em junho/2012.

KRUSCHE, N; SARAIVA, J. M; REBOITA, M. S. 2002. **Normais climatológicas provisórias para 1991 a 2000 para Rio Grande, RS**. Imprensa Universitária. FURG.

HYDRA TIDAL. Empresa da Noruega que apresenta o dispositivo Morild Hydra Tidal II. Disponível em <<http://www.hydratidal.com>>. Acesso em janeiro/2012.

IHC ENGINEERING BUSINESS LTD. Apresenta o dispositivo denominado “Stingray Tidal Stream Generator”. Disponível em <www.engb.com>. Acesso em agosto/2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Implementing Agreement on Ocean Energy Systems. Status and research and development priorities. Wave and marine current energy. 2003. 85 p. Disponível em <www.iea-oceans.org>.

LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA SUBMARINA - LTS. Instituto Alberto Luiz Coimbra e Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.lts.coppe.ufrj.br>>. Acesso em março/2008.

LILIENTHAL, P.; GILMAN, P.; LAMBERT, T. *Getting Started Guide for HOMER Legacy (Version 2.68)*. HOMER Energy: 2011.

LUCID ENERGY TECHNOLOGY. Apresenta o dispositivo denominado “Gorlov Turbina”. Disponível em <www.gcktechnology.com>. Acesso em agosto/2011.

LUNAR ENERGY. Apresenta o dispositivo denominado “Rotech Tidal Turbine”. Disponível em <www.lunarenergy.co.uk>. Acesso em novembro/2011.

MARINE CURRENT TURBINE LTD. Apresenta o dispositivo denominado “Seagen”. Disponível em <www.marineturbines.com>. Acesso em novembro/2011.

MÖLLER, O.O. JR; PIOLA A.R; FREITAS A. C; CAMPOS E. J. D; The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, doi:10.1016/j.csr.2008.03.012. 2008.

NATIONAL OCEANIC E ATMOSPHERIC ADMINISTRATION /NOAA. Disponível em: <<http://www.noaa.gov/>>. Acesso em março/2012.

NEPTUNE SYSTEMS. Apresenta o Conversor “Proteus”. Disponível em <www.neptunerenewableenergy.com>. Acesso em novembro/2011.

NEW ENERGY CORPORATION INC. Apresenta o dispositivo denominado “Encurrent Vertical Axis Hidroturbine”. Disponível em <www.newenergycorp.ca>. Acesso em fevereiro/2012.

OCEAN POWER ENERGY. Apresenta o dispositivo para aproveitamento de correntes oceânicas “Evopod” e artigos relacionados. Disponível em <<http://www.oceanflowenergy.com>>. Acesso em fevereiro/2012.

OPEN HYDRO TIDAL TECHNOLOGY. Apresenta a Turbina “Open Centre”. Disponível em <www.openhydro.com>. Acesso em novembro/2011.

PACHECO, F. Energias Renováveis: Breves Conceitos. **Conjuntura e Planejamento**. Salvador. v. 149, p. 4-11. 2006. Disponível em:
http://www.ieham.org/html/docs/Conceitos_Energias_renov%EA1veis.pdf.

PALMA, E. D; MATANO, R. P; PIOLA, A. R. A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Stratified ocean response to local and offshore forcing. **Journal Geophysical Research**, 113, --, 2008.

PANICKER, N.N., Power resource estimate of ocean surface waves. **Ocean Engineering**, v.3, n. 6, p.429-439. 1976.

PEREIRA, C. S. Seasonal variability in the coastal circulation on the Brazilian continental shelf (29°S-35°S). **Continental Shelf Research**, v.9, p.285-299. 1989.

PIOLA, A. R; MÖLLER, O. O; GUERRERO, R. A; CAMPOS, E. J. Variability of the subtropical shelf front off eastern South America: Winter 2003 and summer 2004. **Continental Shelf Research**, v.28, p.1639-1648, 2008.

PONTA, F.L; JACOVKIS, P.M. Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines. **Renewable Energy**. 2007.

PONTE DI ARCHIMEDE INTERNATIONAL. Apresenta o dispositivo denominado “Kobold”. Disponível em <www.pontediarchimede.it>. Acesso em novembro/2011.

PONTES, M.T. Assessing the European Wave Energy Resource. **Transactions of ASME – Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering**, v.120, n.4, p. 226-230. 1998. Disponível em <www.ineti.pt/ite/weratlas>.

PROGRAMA NACIONAL DE BOIAS, PNboia. Disponível em <<http://www.goosbrasil.org/pnboia>>. Acesso em Junho/2012.

PULSE TIDAL. Apresenta o dispositivo denominado “Pulse Generator”. Disponível em <www.pulsetidal.co.uk>. Acesso em agosto/2011.

ROBERT GORDON UNIVERSITY – RGU. Apresenta o dispositivo denominado “Sea Snail”. Disponível em <www4.rgu.ac.uk/cree/general>. Acesso em janeiro /2011.

SILVA, J. S. 2012. **Viabilidade de geração de energia elétrica a partir de ondas oceânicas no Litoral do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas/IPH. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. Porto Alegre.

SOARES I; MÖLLER O. O. Low-frequency currents and water mass spatial distribution on the southern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**. v. 21, p.1785–1814. 2001.

SOUZA; GRANJA. Estimativa dos Parâmetros “C” e “K” do modelo de Weibull e da direção dos ventos para Campo Grande e Dourados/MS, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.109-114, 1997.

STARFISH ELECTRONICS LTD. Apresenta o dispositivo “Star Tider”. Disponível em <www.starfishelectronics.co.uk>. Acesso em agosto/2008.

STRAUCH, J. C.; CUCHIARA, D. C.; JÚNIOR, E. E. T.; ALMEIDA, L. E. S. B. O padrão das ondas de verão e outono no litoral sul e norte do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 4, p. 29-37, 2009.

SWANTURBINES TIDAL TECHNOLOGY. Apresenta o dispositivo “Swanturbine”. Disponível em <www.swanturbines.co.uk>. Acesso em novembro/2011.

TIDAL ELECTRIC. Apresenta o dispositivo “Deep Gen” e artigos relacionados. Disponível em <<http://www.tidalgeneration.com>>. Acesso em novembro /2011.

TWIDELL J; WEIR T. 2006. **Renewable Energy Resources**. 2ª ed. Taylor & Francis Group. Londres. 601 p. Disponível em <www.eBookstore.tandf.co.uk>.

VERDANT POWER. Apresenta a Turbina “Rite”. Disponível em <www.verdantpower.com>. Acesso em novembro/2011.

Zavialov, P. O.; Möller O. O.; Campos E. First direct measurements of currents on the continental shelf of Southern Brazil. **Continental Shelf Research**, v.22, p.1975–1986, 2002.

ZAVIALOV P. O.; KOSTIANOY A. G.; MÖLLER O. O. SAFARI cruise: Mapping river discharge effects on Southern Brazilian shelf. **Geophysical Research Letters**. v. 30, nº. 21, 2126, doi:10.1029/2003GL018265, 2003.

ZEMBRUSCKI, S. 1979. Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. **Projeto REMAC**, 7: 129-174. Rio de Janeiro.

ANEXO 1

Tabela 1: Primavera/95 – cota 5m

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr) (m/s) ⁻¹	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)^*(v)$	(v) ³ (m/s) ³	$\Sigma(fr)^*(v)^3$ (m/s) ²	$p = 1/2\rho(v)^3$ (W/m ²)	Distribuição de Potência p*(fr)
0,6	0	0	0	0	0,21600	0	110,70000	0
0,59	0	0	0	0	0,20538	0	105,25674	0
0,58	0	0	0	0	0,19511	0	99,994900	0
0,57	0	0	0	0	0,18519	0	94,911413	0
0,56	0	0	0	0	0,17562	0	90,003200	0
0,55	1	0,00043	0,00043	0,00024	0,16638	7,19E-05	85,267188	0,036848396
0,54	2	0,00086	0,00130	0,00047	0,15746	0,000136	80,700300	0,069749611
0,53	1	0,00043	0,00173	0,00023	0,14888	6,43E-05	76,299463	0,032972974
0,52	3	0,00130	0,00303	0,00067	0,14061	0,000182	72,061600	0,093424719
0,51	13	0,00562	0,00864	0,00287	0,13265	0,000745	67,983638	0,381930548
0,5	12	0,00519	0,01383	0,00259	0,12500	0,000648	64,062500	0,332216940
0,49	8	0,00346	0,01729	0,00169	0,11765	0,000407	60,295113	0,208453284
0,48	7	0,00303	0,02031	0,00145	0,11059	0,000335	56,678400	0,171455834
0,47	5	0,00216	0,02247	0,00102	0,10382	0,000224	53,209288	0,114972531
0,46	10	0,00432	0,02679	0,00199	0,09734	0,000421	49,884700	0,215577787
0,45	21	0,00908	0,03587	0,00408	0,09113	0,000827	46,701563	0,423825762
0,44	30	0,01296	0,04883	0,0057	0,08518	0,001104	43,656800	Max: 0,56599135
0,43	16	0,00691	0,05575	0,00297	0,07951	0,00055	40,747338	0,281744771
0,42	15	0,00648	0,06223	0,00272	0,07409	0,00048	37,970100	0,246132887
0,41	9	0,00389	0,06612	0,00159	0,06892	0,000268	35,322013	0,137380342
0,4	19	0,00821	0,07433	0,00328	0,06400	0,000525	32,800000	0,269317200
0,39	18	0,00778	0,08211	0,00303	0,05932	0,000461	30,400988	0,236481320
0,38	26	0,01124	0,09334	0,00427	0,05487	0,000617	28,121900	0,315976404
0,37	28	0,01210	0,10545	0,00448	0,05065	0,000613	25,959663	0,314118647
0,36	32	0,01383	0,11927	0,00498	0,04666	0,000645	23,911200	0,330664823
0,35	19	0,00821	0,12748	0,00287	0,04288	0,000352	21,973438	0,180421483
0,34	28	0,01210	0,13959	0,00411	0,03930	0,000476	20,143300	0,243739153
0,33	35	0,01513	0,15471	0,00499	0,03594	0,000544	18,417713	0,278573871
0,32	36	0,01556	0,17027	0,00498	0,03277	0,00051	16,793600	0,261266033
0,31	40	0,01729	0,18755	0,00536	0,02979	0,000515	15,267888	0,263921997
0,3	44	0,01901	0,20657	0,0057	0,02700	0,000513	13,837500	0,263115817
0,29	40	0,01729	0,22385	0,00501	0,02439	0,000422	12,499363	0,216065039
0,28	53	0,02290	0,24676	0,00641	0,02195	0,000503	11,250400	0,257679862
0,27	67	0,02895	0,27571	0,00782	0,01968	0,00057	10,087538	0,292076496
0,26	55	0,02377	0,29948	0,00618	0,01758	0,000418	9,007700	0,214098315
0,25	51	0,02204	0,32152	0,00551	0,01563	0,000344	8,007813	0,176490250
0,24	56	0,02420	0,34572	0,00581	0,01382	0,000335	7,084800	0,171455834
0,23	42	0,01815	0,36387	0,00417	0,01217	0,000221	6,235588	0,113178338
0,22	49	0,02118	0,38505	0,00466	0,01065	0,000225	5,457100	0,115556569
0,21	54	0,02334	0,40838	0,0049	0,00926	0,000216	4,746263	0,110759799
0,2	58	0,02506	0,43345	0,00501	0,00800	0,000201	4,100000	0,102765774
0,19	65	0,02809	0,46154	0,00534	0,00686	0,000193	3,515238	0,098742626
0,18	78	0,03371	0,49525	0,00607	0,00583	0,000197	2,988900	0,100749438
0,17	75	0,03241	0,52766	0,00551	0,00491	0,000159	2,517913	0,081609091
0,16	74	0,03198	0,55964	0,00512	0,00410	0,000131	2,099200	0,067130856
0,15	73	0,03155	0,59118	0,00473	0,00338	0,000106	1,729688	0,054566632
0,14	64	0,02766	0,61884	0,00387	0,00274	7,59E-05	1,406300	0,038895073
0,13	70	0,03025	0,64909	0,00393	0,00220	6,65E-05	1,125963	0,034061096
0,12	49	0,02118	0,67027	0,00254	0,00173	3,66E-05	0,885600	0,018752982
0,11	60	0,02593	0,69620	0,00285	0,00133	3,45E-05	0,682138	0,017687230
0,1	50	0,02161	0,71780	0,00216	0,00100	2,16E-05	0,512500	0,011073898
0,09	62	0,02679	0,74460	0,00241	0,00073	1,95E-05	0,373613	0,010010361
0,08	75	0,03241	0,77701	0,00259	0,00051	1,66E-05	0,262400	0,008504754
0,07	132	0,05704	0,83405	0,00399	0,00034	1,96E-05	0,175788	0,010027636
0,06	140	0,06050	0,89455	0,00363	0,00022	1,31E-05	0,110700	0,006697494
0,05	110	0,04754	0,94209	0,00238	0,00012	5,94E-06	0,064062	0,003045322
0,04	70	0,03025	0,97234	0,00121	0,00006	1,94E-06	0,032800	0,000992221
0,03	11	0,00475	0,97710	0,00014	0,00003	1,28E-07	0,013837	6,57790E-05
0,02	52	0,02247	0,99957	0,00045	0,00001	1,8E-07	0,004100	9,21348E-05
0,01	1	0,00043	1	4,3E-06	0,00000	4,32E-10	0,000512	2,21478E-07
	Total 2314	Total: 1		Vmédia 0,19		V³ méd 0,017		

Tabela 2: Primavera/95 – cota 15m

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr) (m/s) ⁻¹	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)*(v)$	(v) ³ (m/s) ³	$\Sigma(fr)*(v)^3$ (m/s) ²	$p = 1/2\rho(v)^3$ (W/m ²)	Distribuição de Potência $p*(fr)$ (W/m ²)/(m/s)
0,4	5	0,00216	0,00216	0,00086	0,06400	0,000138229	32,800000	0,0708423
0,39	10	0,00432	0,00648	0,00168	0,05932	0,000256238	30,400988	0,1313218
0,38	11	0,00475	0,01123	0,00181	0,05487	0,000260731	28,121900	0,1336246
0,37	5	0,00216	0,01339	0,00080	0,05065	0,000109402	25,959663	0,0560684
0,36	10	0,00432	0,01771	0,00156	0,04666	0,000201538	23,911200	0,1032881
0,35	16	0,00691	0,02462	0,00242	0,04288	0,000296328	21,973438	0,1518683
0,34	25	0,01080	0,03542	0,00367	0,03930	0,000424449	20,143300	0,2175302
0,33	40	0,01728	0,05270	0,00570	0,03594	0,000620942	18,417713	Max: 0,318232
0,32	32	0,01382	0,06652	0,00442	0,03277	0,000452949	16,793600	0,2321362
0,31	39	0,01685	0,08337	0,00522	0,02979	0,000501879	15,267888	0,2572128
0,3	52	0,02246	0,10583	0,00674	0,02700	0,000606479	13,837500	0,3108207
0,29	45	0,01944	0,12527	0,00564	0,02439	0,000474084	12,499363	0,2429682
0,28	45	0,01944	0,14471	0,00544	0,02195	0,000426713	11,250400	0,2186903
0,27	29	0,01253	0,15724	0,00338	0,01968	0,000246569	10,087538	0,1263666
0,26	40	0,01728	0,17451	0,00449	0,01758	0,000303689	9,007700	0,1556406
0,25	37	0,01598	0,19050	0,00400	0,01563	0,00024973	8,007813	0,1279866
0,24	51	0,02203	0,21253	0,00529	0,01382	0,000304546	7,084800	0,1560798
0,23	61	0,02635	0,23888	0,00606	0,01217	0,000320599	6,235588	0,1643071
0,22	68	0,02937	0,26825	0,00646	0,01065	0,000312771	5,457100	0,1602949
0,21	62	0,02678	0,29503	0,00562	0,00926	0,000248027	4,746263	0,1271137
0,2	59	0,02549	0,32052	0,00510	0,00800	0,000203888	4,100000	0,1044924
0,19	66	0,02851	0,34903	0,00542	0,00686	0,000195548	3,515238	0,1002184
0,18	82	0,03542	0,38445	0,00638	0,00583	0,000206576	2,988900	0,1058703
0,17	108	0,04665	0,43110	0,00793	0,00491	0,000229203	2,517913	0,1174663
0,16	102	0,04406	0,47516	0,00705	0,00410	0,000180	2,099200	0,0924917
0,15	92	0,03974	0,51490	0,00596	0,00338	0,000134125	1,729688	0,0687392
0,14	107	0,04622	0,56112	0,00647	0,00274	0,000126829	1,406300	0,0649996
0,13	109	0,04708	0,60821	0,00612	0,00220	0,000103444	1,125963	0,0530151
0,12	116	0,05011	0,65832	0,00601	0,00173	8,65866E-05	0,885600	0,0443756
0,11	96	0,04147	0,69978	0,00456	0,00133	5,51948E-05	0,682138	0,0282873
0,1	78	0,03369	0,73348	0,00337	0,00100	3,36933E-05	0,512500	0,0172678
0,09	74	0,03197	0,76544	0,00288	0,00073	2,33028E-05	0,373613	0,0119427
0,08	78	0,03369	0,79914	0,00270	0,00051	1,7251E-05	0,262400	0,0088411
0,07	103	0,04449	0,84363	0,00311	0,00034	1,52609E-05	0,175788	0,0078212
0,06	104	0,04492	0,88855	0,00270	0,00022	9,70E-06	0,110700	0,0049731
0,05	119	0,05140	0,93996	0,00257	0,00012	6,42549E-06	0,064062	0,0032931
0,04	89	0,03844	0,97840	0,00154	0,00006	2,46048E-06	0,032800	0,0012610
0,03	32	0,01382	0,99222	0,00041	0,00003	3,73218E-07	0,013837	0,0001913
0,02	13	0,00562	0,99784	0,00011	0,00001	4,49244E-08	0,004100	0,0000230
0,01	5	0,00216	1,00000	0,00002	0,00000	2,15983E-09	0,000512	0,0000011
	Total	Total		V média		V ³ média		
	2315	1		0,16		0,008386274		

Tabela 3: Verão/96 – cota 5m

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr) (m/s) ⁻¹	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)^*(v)$	(v) ³ (m/s) ³	$\Sigma(fr)^*(v)^3$ (m/s) ²	$\rho = 1/2\rho(v)^3$ (W/m ²)	Distribuição de Potência $\rho^*(fr)$ (W/m ²)/(m/s)
0,5	0	0	0	0	0,12500	0	64,063	0,00000
0,49	0	0	0	0	0,11765	0	60,295	0,00000
0,48	0	0	0	0	0,11059	0	56,678	0,00000
0,47	1	0,00019	0,000193	9,08E-05	0,10382	2,01E-05	53,209	0,01028
0,46	1	0,00019	0,000386	8,88E-05	0,09734	1,88E-05	49,885	0,00963
0,45	8	0,00154	0,001931	0,000695	0,09113	0,000141	46,702	0,07215
0,44	6	0,00116	0,003090	0,000510	0,08518	9,87E-05	43,657	0,05059
0,43	8	0,00154	0,004635	0,000664	0,07951	0,000123	40,747	0,06295
0,42	16	0,00309	0,007725	0,001298	0,07409	0,000229	37,970	0,11733
0,41	6	0,00116	0,008884	0,000475	0,06892	7,99E-05	35,322	0,04093
0,4	12	0,00232	0,011201	0,000927	0,06400	0,000148	32,800	0,07601
0,39	12	0,00232	0,013519	0,000904	0,05932	0,000137	30,401	0,07045
0,38	22	0,00425	0,017767	0,001615	0,05487	0,000233	28,122	0,11948
0,37	35	0,00676	0,024527	0,002501	0,05065	0,000342	25,960	0,17547
0,36	35	0,00676	0,031286	0,002433	0,04666	0,000315	23,911	0,16162
0,35	22	0,00425	0,035535	0,001487	0,04288	0,000182	21,973	0,09336
0,34	39	0,00753	0,043067	0,002561	0,03930	0,000296	20,143	0,15172
0,33	34	0,00657	0,049633	0,002167	0,03594	0,000236	18,418	0,12094
0,32	43	0,00830	0,057937	0,002657	0,03277	0,000272	16,794	0,13946
0,31	59	0,01139	0,069332	0,003532	0,02979	0,000339	15,268	0,17397
0,3	89	0,01719	0,086520	0,005156	0,02700	0,000464	13,838	0,23784
0,29	91	0,01757	0,104094	0,005097	0,02439	0,000429	12,499	0,21967
0,28	111	0,02144	0,125531	0,006002	0,02195	0,000471	11,250	Max: 0,24117
0,27	115	0,02221	0,147740	0,005997	0,01968	0,000437	10,088	0,22404
0,26	102	0,01970	0,167439	0,005122	0,01758	0,000346	9,008	0,17744
0,25	99	0,01912	0,186559	0,00478	0,01563	0,000299	8,008	0,15310
0,24	94	0,01815	0,204712	0,004357	0,01382	0,000251	7,085	0,12862
0,23	113	0,02182	0,226535	0,005019	0,01217	0,000266	6,236	0,13608
0,22	156	0,03013	0,256663	0,006628	0,01065	0,000321	5,457	0,16441
0,21	196	0,03785	0,294515	0,007949	0,00926	0,000351	4,746	0,17966
0,2	220	0,04249	0,337003	0,008497	0,00800	0,00034	4,100	0,17420
0,19	230	0,04442	0,381421	0,008440	0,00686	0,000305	3,515	0,15614
0,18	210	0,04056	0,421978	0,007300	0,00583	0,000237	2,989	0,12122
0,17	172	0,03322	0,455195	0,005647	0,00491	0,000163	2,518	0,08364
0,16	162	0,03129	0,486481	0,005006	0,00410	0,000128	2,099	0,06568
0,15	153	0,02955	0,516029	0,004432	0,00338	9,97E-05	1,730	0,05111
0,14	148	0,02858	0,544612	0,004002	0,00274	7,84E-05	1,406	0,04020
0,13	168	0,03244	0,577057	0,004218	0,00220	7,13E-05	1,126	0,03653
0,12	179	0,03457	0,611626	0,004148	0,00173	5,97E-05	0,886	0,03061
0,11	147	0,02839	0,640015	0,003123	0,00133	3,78E-05	0,682	0,01937
0,1	176	0,03399	0,674005	0,003399	0,00100	3,4E-05	0,513	0,01742
0,09	180	0,03476	0,708768	0,003129	0,00073	2,53E-05	0,374	0,01299
0,08	213	0,04114	0,749903	0,003291	0,00051	2,11E-05	0,262	0,01079
0,07	317	0,06122	0,811124	0,004285	0,00034	2,1E-05	0,176	0,01076
0,06	288	0,05562	0,866744	0,003337	0,00022	1,2E-05	0,111	0,00616
0,05	310	0,05987	0,926613	0,002993	0,00012	7,48E-06	0,064	0,00384
0,04	231	0,04461	0,971224	0,001784	0,00006	2,86E-06	0,033	0,00146
0,03	97	0,01873	0,989958	0,000562	0,00003	5,06E-07	0,014	0,00026
0,02	41	0,00792	0,997876	0,000158	0,00001	6,33E-08	0,004	0,00003
0,01	11	0,00212	1	2,12E-05	0,00000	2,12E-09	0,001	0,00000
	Total	Total		V média		V ³ média		
	5178	1		0,16		0,0085		

Tabela 4: Verão/96 – cota 15m

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr) (m/s) ⁻¹	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)^*(v)$	(v) ³ (m/s) ³	$\Sigma(fr)^*(v)^3$ (m/s) ²	$\rho = 1/2\rho(v)^3$ (W/m ²)	Distribuição de Potência $\rho^*(fr)$ (W/m ²)/(m/s)
0,6	0	0	0	0	0,216	0	110,700	0
0,59	1	0,00019	0,00019	0,000114	0,205379	3,967E-05	105,257	0,02033
0,58	0	0	0,00019	0	0,195112	0	99,995	0
0,57	1	0,00019	0,00039	0,0001101	0,185193	3,577E-05	94,911	0,01833
0,56	1	0,00019	0,00058	0,0001082	0,175616	3,392E-05	90,003	0,01739
0,55	4	0,00077	0,00135	0,000425	0,166375	0,00013	85,267	0,06588
0,54	1	0,00019	0,00155	0,0001043	0,157464	3,042E-05	80,700	0,01559
0,53	6	0,00116	0,00270	0,0006143	0,148877	0,00017	76,299	0,08843
0,52	7	0,00135	0,00406	0,0007031	0,140608	0,0001901	72,062	0,09744
0,51	11	0,00212	0,00618	0,0010836	0,132651	0,00028	67,984	0,14445
0,5	3	0,00058	0,00676	0,0002897	0,125	7,244E-05	64,063	0,03712
0,49	12	0,00232	0,00908	0,0011358	0,117649	0,00027	60,295	0,13976
0,48	22	0,00425	0,01333	0,0020398	0,110592	0,00047	56,678	0,24086
0,47	14	0,00270	0,01603	0,001271	0,103823	0,00028	53,209	0,14389
0,46	24	0,00464	0,02067	0,0021325	0,097336	0,00045	49,885	0,23126
0,45	19	0,00367	0,02434	0,0016515	0,091125	0,00033	46,702	0,17140
0,44	21	0,00406	0,02839	0,0017848	0,085184	0,00035	43,657	0,17709
0,43	15	0,00290	0,03129	0,0012459	0,079507	0,00023	40,747	0,11806
0,42	33	0,00637	0,03767	0,0026772	0,074088	0,00047	37,970	0,24203
0,41	25	0,00483	0,04250	0,0019799	0,068921	0,00033	35,322	0,17057
0,4	36	0,00695	0,04945	0,0027815	0,064	0,00045	32,800	0,22809
0,39	27	0,00522	0,05466	0,002034	0,059319	0,00031	30,401	0,15855
0,38	34	0,00657	0,06123	0,0024957	0,054872	0,00036	28,122	0,18469
0,37	48	0,00927	0,07050	0,0034306	0,050653	0,00047	25,960	0,24069
0,36	74	0,01429	0,08480	0,0051458	0,046656	0,00067	23,911	Max: 0,34179
0,35	39	0,00753	0,09233	0,0026367	0,042875	0,00032	21,973	0,16553
0,34	67	0,01294	0,10527	0,0044002	0,039304	0,00051	20,143	0,26069
0,33	56	0,01082	0,11609	0,0035696	0,035937	0,00039	18,418	0,19923
0,32	79	0,01526	0,13135	0,0048831	0,032768	0,00050	16,794	0,25627
0,31	85	0,01642	0,14777	0,0050898	0,029791	0,00049	15,268	0,25068
0,3	78	0,01507	0,16284	0,00452	0,027	0,00041	13,838	0,20848
0,29	71	0,01371	0,17655	0,0039772	0,024389	0,00033	12,499	0,17142
0,28	76	0,01468	0,19123	0,0041105	0,021952	0,00032	11,250	0,16516
0,27	79	0,01526	0,20649	0,0041201	0,019683	0,00030	10,088	0,15393
0,26	73	0,01410	0,22059	0,0036662	0,017576	0,00025	9,008	0,12702
0,25	90	0,01738	0,23798	0,0043461	0,015625	0,00027	8,008	0,13921
0,24	106	0,02048	0,25845	0,004914	0,013824	0,00028	7,085	0,14506
0,23	99	0,01912	0,27757	0,0043983	0,012167	0,00023	6,236	0,11924
0,22	122	0,02357	0,30114	0,0051845	0,010648	0,00025	5,457	0,12860
0,21	127	0,02453	0,32567	0,0051516	0,009261	0,00023	4,746	0,11643
0,2	134	0,02588	0,35155	0,0051767	0,008	0,00021	4,100	0,10612
0,19	145	0,02801	0,37956	0,0053216	0,006859	0,00019	3,515	0,09846
0,18	153	0,02955	0,40912	0,0053197	0,005832	0,00017	2,989	0,08833
0,17	168	0,03245	0,44157	0,0055167	0,004913	0,00016	2,518	0,08171
0,16	165	0,03187	0,47344	0,0050995	0,004096	0,00013	2,099	0,06691
0,15	169	0,03264	0,50608	0,0048967	0,003375	0,00011	1,730	0,05646
0,14	168	0,03245	0,53854	0,0045432	0,002744	8,905E-05	1,406	0,04564
0,13	148	0,02859	0,56712	0,0037164	0,002197	6,281E-05	1,126	0,03219
0,12	163	0,03149	0,59861	0,0037782	0,001728	5,441E-05	0,886	0,02788
0,11	160	0,03091	0,62952	0,0033997	0,001331	4,114E-05	0,682	0,02108
0,1	177	0,03419	0,66370	0,003419	0,001	3,419E-05	0,513	0,01752
0,09	216	0,04172	0,70543	0,0037551	0,000729	3,042E-05	0,374	0,01559
0,08	217	0,04192	0,74734	0,0033533	0,000512	2,146E-05	0,262	0,01100
0,07	324	0,06258	0,80993	0,0043809	0,000343	2,147E-05	0,176	0,01100
0,06	354	0,06838	0,87831	0,0041028	0,000216	1,477E-05	0,111	0,00757
0,05	350	0,06761	0,94591	0,0033803	0,000125	8,451E-06	0,064	0,00433
0,04	184	0,03554	0,98146	0,0014217	6,4E-05	2,275E-06	0,033	0,00117
0,03	59	0,01140	0,99285	0,0003419	2,7E-05	3,077E-07	0,014	0,00016
0,02	27	0,00522	0,99807	0,0001043	8E-06	4,172E-08	0,004	0,00002
0,01	10	0,00193	1,00000	1,932E-05	1E-06	1,932E-09	0,001	0,00000
	Total	Total		V média		V ³ média		
	5177	1		0,17		0,012866		

Tabela 5: Outono/96 – cota 15m

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr) (m/s) ⁻¹	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)^*(v)$	(v) ³ (m/s) ³	$\Sigma(fr)^*(v)^3$ (m/s) ²	$p = 1/2\rho(v)^3$ (W/m ²)	Distribuição de Potência p*(fr) (W/m ²)/(m/s)
0,45	0	0	0	0	0,091125	0	46,70	0
0,44	1	0,00217	0,00217	0,000954	0,085184	0,000185	43,66	0,09470
0,43	4	0,00868	0,01085	0,003731	0,079507	0,00069	40,75	Max: 0,35356
0,42	2	0,00434	0,01518	0,001822	0,074088	0,000321	37,97	0,16473
0,41	0	0	0,01518	0	0,068921	0	35,32	0
0,4	0	0	0,01518	0	0,064	0	32,80	0
0,39	2	0,00434	0,01952	0,001692	0,059319	0,000257	30,40	0,13189
0,38	1	0,00217	0,02169	0,000824	0,054872	0,000119	28,12	0,06100
0,37	2	0,00434	0,02603	0,001605	0,050653	0,00022	25,96	0,11262
0,36	3	0,00651	0,03254	0,002343	0,046656	0,000304	23,91	0,15560
0,35	0	0	0,03254	0	0,042875	0	21,97	0
0,34	4	0,00868	0,04121	0,00295	0,039304	0,000341	20,14	0,17478
0,33	1	0,00217	0,04338	0,000716	0,035937	7,8E-05	18,42	0,03995
0,32	0	0	0,04338	0	0,032768	0	16,79	0
0,31	5	0,01085	0,05423	0,003362	0,029791	0,000323	15,27	0,16560
0,3	5	0,01085	0,06508	0,003254	0,027	0,000293	13,84	0,15008
0,29	1	0,00217	0,06725	0,000629	0,024389	5,29E-05	12,50	0,02711
0,28	6	0,01302	0,08026	0,003644	0,021952	0,000286	11,25	0,14643
0,27	4	0,00868	0,08894	0,002343	0,019683	0,000171	10,09	0,08753
0,26	5	0,01085	0,09978	0,00282	0,017576	0,000191	9,01	0,09770
0,25	7	0,01518	0,11497	0,003796	0,015625	0,000237	8,01	0,12159
0,24	11	0,02386	0,13883	0,005727	0,013824	0,00033	7,08	0,16905
0,23	11	0,02386	0,16269	0,005488	0,012167	0,00029	6,24	0,14879
0,22	9	0,01952	0,18221	0,004295	0,010648	0,000208	5,46	0,10654
0,21	15	0,03254	0,21475	0,006833	0,009261	0,000301	4,75	0,15443
0,2	14	0,03037	0,24512	0,006074	0,008	0,000243	4,10	0,12451
0,19	19	0,04121	0,28633	0,007831	0,006859	0,000283	3,52	0,14488
0,18	19	0,04121	0,32755	0,007419	0,005832	0,00024	2,99	0,12319
0,17	16	0,03471	0,36226	0,0059	0,004913	0,000171	2,52	0,08739
0,16	20	0,04338	0,40564	0,006941	0,004096	0,000178	2,10	0,09107
0,15	14	0,03037	0,43601	0,004555	0,003375	0,000102	1,73	0,05253
0,14	13	0,02820	0,46421	0,003948	0,002744	7,74E-05	1,41	0,03966
0,13	16	0,03471	0,49892	0,004512	0,002197	7,63E-05	1,13	0,03908
0,12	19	0,04121	0,54013	0,004946	0,001728	7,12E-05	0,89	0,03650
0,11	15	0,03254	0,57267	0,003579	0,001331	4,33E-05	0,68	0,02220
0,1	23	0,04989	0,62256	0,004989	0,001	4,99E-05	0,51	0,02557
0,09	26	0,05640	0,67896	0,005076	0,000729	4,11E-05	0,37	0,02107
0,08	15	0,03254	0,71150	0,002603	0,000512	1,67E-05	0,26	0,00854
0,07	20	0,04338	0,75488	0,003037	0,000343	1,49E-05	0,18	0,00763
0,06	12	0,02603	0,78091	0,001562	0,000216	5,62E-06	0,11	0,00288
0,05	36	0,07809	0,85900	0,003905	0,000125	9,76E-06	0,06	0,00500
0,04	46	0,09978	0,95879	0,003991	6,4E-05	6,39E-06	0,03	0,00327
0,03	17	0,03688	0,99566	0,001106	2,7E-05	9,96E-07	0,01	0,00051
0,02	2	0,00434	1,00000	8,68E-05	8E-06	3,47E-08	0,004	0,00002
0,01	0	0	1,00000	0	1E-06	0	0,001	0
	Total	Total		V média		V ³ média		
	461	1,00000		0,14		0,006828		

Tabela 6: Inverno/96 – cota 5m

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr) (m/s) ⁻¹	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)^*(v)$	(v) ³ (m/s) ³	$\Sigma(fr)^*(v)^3$ (m/s) ²	$p = 1/2\rho(v)^3$ (W/m ²)	Distribuição de Potência $p^*(fr)$ (W/m ²)/(m/s)
0,45	0	0	0	0	0,091125	0	46,702	0
0,44	3	0,00153	0,00153	0,0006711	0,085184	0,0001299	43,657	0,066584
0,43	3	0,00153	0,00305	0,0006558	0,079507	0,0001213	40,747	0,062146
0,42	2	0,00102	0,00407	0,000427	0,074088	7,533E-05	37,970	0,038607
0,41	1	0,00051	0,00458	0,0002084	0,068921	3,504E-05	35,322	0,017957
0,4	7	0,00356	0,00813	0,0014235	0,064000	0,0002278	32,800	0,116726
0,39	8	0,00407	0,01220	0,0015862	0,059319	0,0002413	30,401	0,123644
0,38	9	0,00458	0,01678	0,0017387	0,054872	0,0002511	28,122	0,128672
0,37	12	0,00610	0,02288	0,0022572	0,050653	0,000309	25,960	0,158371
0,36	16	0,00813	0,03101	0,0029283	0,046656	0,0003795	23,911	0,194499
0,35	13	0,00661	0,03762	0,0023132	0,042875	0,0002834	21,973	0,145224
0,34	16	0,00813	0,04575	0,0027656	0,039304	0,0003197	20,143	0,163850
0,33	28	0,01423	0,05999	0,0046975	0,035937	0,0005116	18,418	0,262174
0,32	30	0,01525	0,07524	0,0048805	0,032768	0,0004998	16,794	0,256130
0,31	40	0,02034	0,09558	0,006304	0,029791	0,0006058	15,268	0,310481
0,3	36	0,01830	0,11388	0,0054906	0,027000	0,0004942	13,838	0,253254
0,29	44	0,02237	0,13625	0,006487	0,024389	0,0005456	12,499	0,279599
0,28	55	0,02796	0,16421	0,0078292	0,021952	0,0006138	11,250	Max: 0,314577
0,27	51	0,02593	0,19014	0,0070005	0,019683	0,0005103	10,088	0,261548
0,26	54	0,02745	0,21759	0,0071378	0,017576	0,0004825	9,008	0,247288
0,25	65	0,03305	0,25064	0,0082613	0,015625	0,0005163	8,008	0,264620
0,24	60	0,03050	0,28114	0,0073208	0,013824	0,0004217	7,085	0,216110
0,23	75	0,03813	0,31927	0,0087697	0,012167	0,0004639	6,236	0,237758
0,22	79	0,04016	0,35943	0,0088358	0,010648	0,0004277	5,457	0,219172
0,21	72	0,03660	0,39603	0,0076868	0,009261	0,000339	4,746	0,173732
0,2	54	0,02745	0,42349	0,0054906	0,008000	0,0002196	4,100	0,112557
0,19	55	0,02796	0,45145	0,0053127	0,006859	0,0001918	3,515	0,098291
0,18	63	0,03203	0,48348	0,0057651	0,005832	0,0001868	2,989	0,095730
0,17	55	0,02796	0,51144	0,0047534	0,004913	0,0001374	2,518	0,070404
0,16	61	0,03101	0,54245	0,0049619	0,004096	0,000127	2,099	0,065100
0,15	70	0,03559	0,57804	0,0053381	0,003375	0,0001201	1,730	0,061555
0,14	73	0,03711	0,61515	0,0051957	0,002744	0,0001018	1,406	0,052191
0,13	64	0,03254	0,64769	0,0042298	0,002197	7,148E-05	1,126	0,036635
0,12	71	0,03610	0,68378	0,0043315	0,001728	6,237E-05	0,886	0,031966
0,11	65	0,03305	0,71683	0,003635	0,001331	4,398E-05	0,682	0,022541
0,1	55	0,02796	0,74479	0,0027961	0,001000	2,796E-05	0,513	0,014330
0,09	67	0,03406	0,77885	0,0030656	0,000729	2,483E-05	0,374	0,012726
0,08	56	0,02847	0,80732	0,0022776	0,000512	1,458E-05	0,262	0,007470
0,07	76	0,03864	0,84596	0,0027046	0,000343	1,325E-05	0,176	0,006792
0,06	73	0,03711	0,88307	0,0022267	0,000216	8,016E-06	0,111	0,004108
0,05	84	0,04270	0,92578	0,0021352	0,000125	5,338E-06	0,064	0,002736
0,04	73	0,03711	0,96289	0,0014845	0,000064	2,375E-06	0,033	0,001217
0,03	53	0,02694	0,98983	0,0008083	0,000027	7,275E-07	0,014	0,000373
0,02	16	0,00813	0,99797	0,0001627	0,000008	6,507E-08	0,004	0,000033
0,01	4	0,00203	1,00000	2,034E-05	0,000001	2,034E-09	0,001	0,000001
	Total	Total		V média		V ³ média		
	1967	1		0,17		0,0101648		

Tabela 7: Inverno/96 – cota 15m

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr) (m/s) ⁻¹	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)*(v)$	$(v)^3$ (m/s) ³	$\Sigma(fr)*(v)^3$ (m/s) ²	$p = 1/2\rho(v)^3$ (W/m ²)	Distribuição de Potência $p*(fr)$ (W/m ²)/(m/s)
0,76	1	0,000377929	0,000378	0,0002872	0,438976	0,0001659	224,98	0,085025
0,75	1	0,000377929	0,000756	0,0002834	0,421875	0,0001594	216,21	0,081712
0,74	1	0,000377929	0,001134	0,0002797	0,405224	0,0001531	207,68	0,078487
0,73	0	0	0,001134	0	0,389017	0	199,37	0
0,72	1	0,000377929	0,001512	0,0002721	0,373248	0,0001411	191,29	0,072294
0,71	2	0,000755858	0,002268	0,0005367	0,357911	0,0002705	183,43	0,138647
0,7	2	0,000755858	0,003023	0,0005291	0,343	0,0002593	175,79	0,132870
0,69	1	0,000377929	0,003401	0,0002608	0,328509	0,0001242	168,36	0,063628
0,68	3	0,001133787	0,004535	0,000771	0,314432	0,0003565	161,15	0,182706
0,67	0	0	0,004535	0	0,300763	0	154,14	0
0,66	0	0	0,004535	0	0,287496	0	147,34	0
0,65	2	0,000755858	0,005291	0,0004913	0,274625	0,0002076	140,75	0,106383
0,64	1	0,000377929	0,005669	0,0002419	0,262144	9,907E-05	134,35	0,050774
0,63	0	0	0,005669	0	0,250047	0	128,15	0
0,62	1	0,000377929	0,006047	0,0002343	0,238328	9,007E-05	122,14	0,046161
0,61	2	0,000755858	0,006803	0,0004611	0,226981	0,0001716	116,33	0,087927
0,6	1	0,000377929	0,007181	0,0002268	0,216	8,163E-05	110,70	0,041837
0,59	2	0,000755858	0,007937	0,000446	0,205379	0,0001552	105,26	0,079559
0,58	5	0,001889645	0,009826	0,001096	0,195112	0,0003687	99,99	0,188955
0,57	3	0,001133787	0,010960	0,0006463	0,185193	0,00021	94,91	0,107609
0,56	8	0,003023432	0,013983	0,0016931	0,175616	0,000531	90,00	0,272119
0,55	3	0,001133787	0,015117	0,0006236	0,166375	0,0001886	85,27	0,096675
0,54	3	0,001133787	0,016251	0,0006122	0,157464	0,0001785	80,70	0,091497
0,53	5	0,001889645	0,018141	0,0010015	0,148877	0,0002813	76,30	0,144179
0,52	6	0,002267574	0,020408	0,0011791	0,140608	0,0003188	72,06	0,163405
0,51	4	0,001511716	0,021920	0,000771	0,132651	0,0002005	67,98	0,102772
0,5	12	0,004535147	0,026455	0,0022676	0,125	0,0005669	64,06	0,290533
0,49	13	0,004913076	0,031368	0,0024074	0,117649	0,000578	60,30	0,296234
0,48	23	0,008692366	0,040060	0,0041723	0,110592	0,0009613	56,68	0,492669
0,47	13	0,004913076	0,044974	0,0023091	0,103823	0,0005101	53,21	0,261421
0,46	16	0,006046863	0,051020	0,0027816	0,097336	0,0005886	49,88	0,301646
0,45	27	0,010204082	0,061224	0,0045918	0,091125	0,0009298	46,70	0,476547
0,44	27	0,010204082	0,071429	0,0044898	0,085184	0,0008692	43,66	0,445478
0,43	15	0,005668934	0,077098	0,0024376	0,079507	0,0004507	40,75	0,230994
0,42	28	0,010582011	0,087680	0,0044444	0,074088	0,000784	37,97	0,401800
0,41	18	0,006802721	0,094482	0,0027891	0,068921	0,0004689	35,32	0,240286
0,4	17	0,006424792	0,100907	0,0025699	0,064	0,0004112	32,80	0,210733
0,39	22	0,008314437	0,109221	0,0032426	0,059319	0,0004932	30,40	0,252767
0,38	30	0,011337868	0,120559	0,0043084	0,054872	0,0006221	28,12	0,318842
0,37	38	0,0143613	0,134921	0,0053137	0,050653	0,0007274	25,96	0,372815
0,36	36	0,013605442	0,148526	0,004898	0,046656	0,0006348	23,91	0,325322
0,35	41	0,015495087	0,164021	0,0054233	0,042875	0,0006644	21,97	0,340480
0,34	52	0,019652305	0,183673	0,0066818	0,039304	0,0007724	20,14	0,395862
0,33	35	0,013227513	0,196901	0,0043651	0,035937	0,0004754	18,42	0,243621
0,32	42	0,015873016	0,212774	0,0050794	0,032768	0,0005201	16,79	0,266565
0,31	47	0,017762661	0,230537	0,0055064	0,029791	0,0005292	15,27	0,271198
0,3	50	0,018896447	0,249433	0,0056689	0,027	0,0005102	13,84	0,261480
0,29	40	0,015117158	0,264550	0,004384	0,024389	0,0003687	12,50	0,188955
0,28	54	0,020408163	0,284958	0,0057143	0,021952	0,000448	11,25	0,229600
0,27	55	0,020786092	0,305745	0,0056122	0,019683	0,0004091	10,09	0,209680
0,26	33	0,012471655	0,318216	0,0032426	0,017576	0,0002192	9,01	0,112341
0,25	40	0,015117158	0,333333	0,0037793	0,015625	0,0002362	8,01	0,121055
0,24	49	0,018518519	0,351852	0,0044444	0,013824	0,000256	7,08	0,131200
0,23	48	0,01814059	0,369992	0,0041723	0,012167	0,0002207	6,24	0,113117
0,22	60	0,022675737	0,392668	0,0049887	0,010648	0,0002415	5,46	0,123744
0,21	45	0,017006803	0,409675	0,0035714	0,009261	0,0001575	4,75	0,080719
0,2	44	0,016628874	0,426304	0,0033258	0,008	0,000133	4,10	0,068178

0,19	53	0,020030234	0,446334	0,0038057	0,006859	0,0001374	3,52	0,070411
0,18	54	0,020408163	0,466742	0,0036735	0,005832	0,000119	2,99	0,060998
0,17	58	0,021919879	0,488662	0,0037264	0,004913	0,0001077	2,52	0,055192
0,16	65	0,024565382	0,513228	0,0039305	0,004096	0,0001006	2,10	0,051568
0,15	67	0,02532124	0,538549	0,0037982	0,003375	8,546E-05	1,73	0,043798
0,14	58	0,021919879	0,560469	0,0030688	0,002744	6,015E-05	1,41	0,030826
0,13	66	0,024943311	0,585412	0,0032426	0,002197	5,48E-05	1,13	0,028085
0,12	76	0,0287226	0,614135	0,0034467	0,001728	4,963E-05	0,89	0,025437
0,11	78	0,029478458	0,643613	0,0032426	0,001331	3,924E-05	0,68	0,020108
0,1	95	0,03590325	0,679516	0,0035903	0,001	3,59E-05	0,51	0,018400
0,09	112	0,042328042	0,721844	0,0038095	0,000729	3,086E-05	0,37	0,015814
0,08	85	0,032123961	0,753968	0,0025699	0,000512	1,645E-05	0,26	0,008429
0,07	122	0,046107332	0,800076	0,0032275	0,000343	1,581E-05	0,18	0,008105
0,06	148	0,055933485	0,856009	0,003356	0,000216	1,208E-05	0,11	0,006192
0,05	175	0,066137566	0,922147	0,0033069	0,000125	8,267E-06	0,06	0,004237
0,04	138	0,052154195	0,974301	0,0020862	6,4E-05	3,338E-06	0,03	0,001711
0,03	43	0,016250945	0,990552	0,0004875	2,7E-05	4,388E-07	0,01	0,000225
0,02	20	0,007558579	0,998110	0,0001512	8E-06	6,047E-08	0,00	0,000031
0,01	5	0,001889645	1	1,89E-05	1E-06	1,89E-09	0,00	0,000001
	Total	Total		V média		V³ média		
	2646	1		0,196		0,0213477		

Tabela 8: Rio Grande - Profundidade 15m.

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr)	Frequência Acumulada (Fa)	$\sum(fr)^*(v)$	$(v)^3$ (m/s) ³	$\sum(fr)^*(v)^3$	$P = 1/2p(v)^3$	Distribuição de Potência (P*(fr))
1,22	2	0,00049603	0,0004960	0,0006052	1,815848	0,00090072	930,62	0,461618
1,21	1	0,00024802	0,0007440	0,0003001	1,771561	0,00043938	907,93	0,225180
1,2	1	0,00024802	0,0009921	0,0002976	1,728000	0,00042857	885,60	0,219643
1,19	4	0,00099206	0,0019841	0,0011806	1,685159	0,00167178	863,64	0,856790
1,18	0	0,00000000	0,0019841	0,0000000	1,643032	0,00000000	842,05	0,000000
1,17	1	0,00024802	0,0022321	0,0002902	1,601613	0,00039723	820,83	0,203578
1,16	0	0,00000000	0,0022321	0,0000000	1,560896	0,00000000	799,96	0,000000
1,15	1	0,00024802	0,0024802	0,0002852	1,520875	0,00037720	779,45	0,193316
1,14	4	0,00099206	0,0034722	0,0011310	1,481544	0,00146979	759,29	0,753265
1,13	0	0,00000000	0,0034722	0,0000000	1,442897	0,00000000	739,48	0,000000
1,12	3	0,00074405	0,0042163	0,0008333	1,404928	0,00104533	720,03	0,535733
1,11	1	0,00024802	0,0044643	0,0002753	1,367631	0,00033919	700,91	0,173837
1,1	1	0,00024802	0,0047123	0,0002728	1,331000	0,00033011	682,14	0,169181
1,09	1	0,00024802	0,0049603	0,0002703	1,295029	0,00032119	663,70	0,164609
1,08	0	0,00000000	0,0049603	0,0000000	1,259712	0,00000000	645,60	0,000000
1,07	0	0,00000000	0,0049603	0,0000000	1,225043	0,00000000	627,83	0,000000
1,06	2	0,00049603	0,0054563	0,0005258	1,191016	0,00059078	610,40	0,302776
1,05	1	0,00024802	0,0057044	0,0002604	1,157625	0,00028711	593,28	0,147144
1,04	3	0,00074405	0,0064484	0,0007738	1,124864	0,00083695	576,49	0,428938
1,03	3	0,00074405	0,0071925	0,0007664	1,092727	0,00081304	560,02	0,416683
1,02	3	0,00074405	0,0079365	0,0007589	1,061208	0,00078959	543,87	0,404665
1,01	2	0,00049603	0,0084325	0,0005010	1,030301	0,00051106	528,03	0,261919
1	2	0,00049603	0,0089286	0,0004960	1,000000	0,00049603	512,50	0,254216
0,99	4	0,00099206	0,0099206	0,0009821	0,970299	0,00096260	497,28	0,493332
0,98	1	0,00024802	0,0101687	0,0002431	0,941192	0,00023343	482,36	0,119633
0,97	5	0,00124008	0,0114087	0,0012029	0,912673	0,00113179	467,74	0,580041
0,96	4	0,00099206	0,0124008	0,0009524	0,884736	0,00087771	453,43	0,449829
0,95	6	0,00148810	0,0138889	0,0014137	0,857375	0,00127586	439,40	0,653876
0,94	0	0,00000000	0,0138889	0,0000000	0,830584	0,00000000	425,67	0,000000
0,93	6	0,00148810	0,0153770	0,0013839	0,804357	0,00119696	412,23	0,613442
0,92	0	0,00000000	0,0153770	0,0000000	0,778688	0,00000000	399,08	0,000000
0,91	11	0,00272817	0,0181052	0,0024826	0,753571	0,00205587	386,21	Max: 1,053635
0,9	5	0,00124008	0,0193452	0,0011161	0,729000	0,00090402	373,61	0,463309
0,89	10	0,00248016	0,0218254	0,0022073	0,704969	0,00174844	361,30	0,896073
0,88	7	0,00173611	0,0235615	0,0015278	0,681472	0,00118311	349,25	0,606344
0,87	4	0,00099206	0,0245536	0,0008631	0,658503	0,00065328	337,48	0,334804
0,86	8	0,00198413	0,0265377	0,0017063	0,636056	0,00126202	325,98	0,646783
0,85	4	0,00099206	0,0275298	0,0008433	0,614125	0,00060925	314,74	0,312241
0,84	4	0,00099206	0,0285218	0,0008333	0,592704	0,00058800	303,76	0,301350
0,83	9	0,00223214	0,0307540	0,0018527	0,571787	0,00127631	293,04	0,654109
0,82	4	0,00099206	0,0317460	0,0008135	0,551368	0,00054699	282,58	0,280333
0,81	8	0,00198413	0,0337302	0,0016071	0,531441	0,00105445	272,36	0,540404
0,8	8	0,00198413	0,0357143	0,0015873	0,512000	0,00101587	262,40	0,520635
0,79	5	0,00124008	0,0369544	0,0009797	0,493039	0,00061141	252,68	0,313346
0,78	6	0,00148810	0,0384425	0,0011607	0,474552	0,00070618	243,21	0,361917
0,77	5	0,00124008	0,0396825	0,0009549	0,456533	0,00056614	233,97	0,290145
0,76	7	0,00173611	0,0414187	0,0013194	0,438976	0,00076211	224,98	0,390582
0,75	11	0,00272817	0,0441468	0,0020461	0,421875	0,00115095	216,21	0,589861
0,74	12	0,00297619	0,0471230	0,0022024	0,405224	0,00120602	207,68	0,618087
0,73	12	0,00297619	0,0500992	0,0021726	0,389017	0,00115779	199,37	0,593367
0,72	9	0,00223214	0,0523313	0,0016071	0,373248	0,00083314	191,29	0,426986
0,71	6	0,00148810	0,0538194	0,0010565	0,357911	0,00053261	183,43	0,272960
0,7	9	0,00223214	0,0560516	0,0015625	0,343000	0,00076563	175,79	0,392383
0,69	7	0,00173611	0,0577877	0,0011979	0,328509	0,00057033	168,36	0,292293
0,68	11	0,00272817	0,0605159	0,0018552	0,314432	0,00085783	161,15	0,439636
0,67	17	0,00421627	0,0647321	0,0028249	0,300763	0,00126810	154,14	0,649900
0,66	13	0,00322421	0,0679563	0,0021280	0,287496	0,00092695	147,34	0,475060
0,65	8	0,00198413	0,0699405	0,0012897	0,274625	0,00054489	140,75	0,279257
0,64	16	0,00396825	0,0739087	0,0025397	0,262144	0,00104025	134,35	0,533130
0,63	17	0,00421627	0,0781250	0,0026563	0,250047	0,00105427	128,15	0,540311
0,62	9	0,00223214	0,0803571	0,0013839	0,238328	0,00053198	122,14	0,272641
0,61	20	0,00496032	0,0853175	0,0030258	0,226981	0,00112590	116,33	0,577023
0,6	21	0,00520833	0,0905258	0,0031250	0,216000	0,00112500	110,70	0,576562
0,59	15	0,00372024	0,0942460	0,0021949	0,205379	0,00076406	105,26	0,391580

0,58	16	0,00396825	0,0982143	0,0023016	0,195112	0,00077425	99,99	0,396805
0,57	26	0,00644841	0,1046627	0,0036756	0,185193	0,00119420	94,91	0,612028
0,56	21	0,00520833	0,1098710	0,0029167	0,175616	0,00091467	90,00	0,468767
0,55	11	0,00272817	0,1125992	0,0015005	0,166375	0,00045390	85,27	0,232624
0,54	26	0,00644841	0,1190476	0,0034821	0,157464	0,00101539	80,70	0,520389
0,53	22	0,00545635	0,1245040	0,0028919	0,148877	0,00081232	76,30	0,416317
0,52	25	0,00620040	0,1307044	0,0032242	0,140608	0,00087183	72,06	0,446811
0,51	19	0,00471230	0,1354167	0,0024033	0,132651	0,00062509	67,98	0,320359
0,5	22	0,00545635	0,1408730	0,0027282	0,125000	0,00068204	64,06	0,349547
0,49	23	0,00570437	0,1465774	0,0027951	0,117649	0,00067111	60,30	0,343945
0,48	33	0,00818452	0,1547619	0,0039286	0,110592	0,00090514	56,68	0,463886
0,47	25	0,00620040	0,1609623	0,0029142	0,103823	0,00064374	53,21	0,329919
0,46	26	0,00644841	0,1674107	0,0029663	0,097336	0,00062766	49,88	0,321677
0,45	34	0,00843254	0,1758433	0,0037946	0,091125	0,00076842	46,70	0,393813
0,44	30	0,00744048	0,1832837	0,0032738	0,085184	0,00063381	43,66	0,324827
0,43	41	0,01016865	0,1934524	0,0043725	0,079507	0,00080848	40,75	0,414345
0,42	33	0,00818452	0,2016369	0,0034375	0,074088	0,00060637	37,97	0,310767
0,41	42	0,01041667	0,2120536	0,0042708	0,068921	0,00071793	35,32	0,367938
0,4	30	0,00744048	0,2194940	0,0029762	0,064000	0,00047619	32,80	0,244048
0,39	43	0,01066468	0,2301587	0,0041592	0,059319	0,00063262	30,40	0,324217
0,38	42	0,01041667	0,2405754	0,0039583	0,054872	0,00057158	28,12	0,292936
0,37	42	0,01041667	0,2509921	0,0038542	0,050653	0,00052764	25,96	0,270413
0,36	72	0,01785714	0,2688492	0,0064286	0,046656	0,00083314	23,91	0,426986
0,35	52	0,01289683	0,2817460	0,0045139	0,042875	0,00055295	21,97	0,283388
0,34	77	0,01909722	0,3008433	0,0064931	0,039304	0,00075060	20,14	0,384681
0,33	47	0,01165675	0,3125000	0,0038467	0,035937	0,00041891	18,42	0,214691
0,32	69	0,01711310	0,3296131	0,0054762	0,032768	0,00056076	16,79	0,287390
0,31	49	0,01215278	0,3417659	0,0037674	0,029791	0,00036204	15,27	0,185547
0,3	86	0,02132937	0,3630952	0,0063988	0,027000	0,00057589	13,84	0,295145
0,29	64	0,01587302	0,3789683	0,0046032	0,024389	0,00038713	12,50	0,198403
0,28	62	0,01537698	0,3943452	0,0043056	0,021952	0,00033756	11,25	0,172997
0,27	76	0,01884921	0,4131944	0,0050893	0,019683	0,00037101	10,09	0,190142
0,26	61	0,01512897	0,4283234	0,0039335	0,017576	0,00026591	9,01	0,136277
0,25	77	0,01909722	0,4474206	0,0047743	0,015625	0,00029839	8,01	0,152927
0,24	74	0,01835317	0,4657738	0,0044048	0,013824	0,00025371	7,08	0,130029
0,23	89	0,02207341	0,4878472	0,0050769	0,012167	0,00026857	6,24	0,137641
0,22	71	0,01760913	0,5054563	0,0038740	0,010648	0,00018750	5,46	0,096095
0,21	75	0,01860119	0,5240575	0,0039063	0,009261	0,00017227	4,75	0,088286
0,2	112	0,02777778	0,5518353	0,0055556	0,008000	0,00022222	4,10	0,113889
0,19	93	0,02306548	0,5749008	0,0043824	0,006859	0,00015821	3,52	0,081081
0,18	115	0,02852183	0,6034226	0,0051339	0,005832	0,00016634	2,99	0,085249
0,17	77	0,01909722	0,6225198	0,0032465	0,004913	0,00009382	2,52	0,048085
0,16	119	0,02951389	0,6520337	0,0047222	0,004096	0,00012089	2,10	0,061956
0,15	66	0,01636905	0,6684028	0,0024554	0,003375	0,00005525	1,73	0,028313
0,14	109	0,02703373	0,6954365	0,0037847	0,002744	0,00007418	1,41	0,038018
0,13	94	0,02331349	0,7187500	0,0030308	0,002197	0,00005122	1,13	0,026250
0,12	136	0,03373016	0,7524802	0,0040476	0,001728	0,00005829	0,89	0,029871
0,11	150	0,03720238	0,7896825	0,0040923	0,001331	0,00004952	0,68	0,025377
0,1	121	0,03000992	0,8196925	0,0030010	0,001000	0,00003001	0,51	0,015380
0,09	159	0,03943452	0,8591270	0,0035491	0,000729	0,00002875	0,37	0,014733
0,08	90	0,02232143	0,8814484	0,0017857	0,000512	0,00001143	0,26	0,005857
0,07	143	0,03546627	0,9169147	0,0024826	0,000343	0,00001216	0,18	0,006235
0,06	112	0,02777778	0,9446925	0,0016667	0,000216	0,00000600	0,11	0,003075
0,05	127	0,03149802	0,9761905	0,0015749	0,000125	0,00000394	0,06	0,002018
0,04	47	0,01165675	0,9878472	0,0004663	0,000064	0,00000075	0,03	0,000382
0,03	26	0,00644841	0,9942956	0,0001935	0,000027	0,00000017	0,01	0,000089
0,02	23	0,00570437	1	0,0001141	0,000008	0,00000005	0,00	0,000023
0,01	0	0,00000000	1	0	0,000001	0	0,00	0,000000
	Total	Total		V média		V² média		
	4032	1		0,28		0,07239644		

Tabela 9: Rio Grande - Profundidade 45m.

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr)	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)^*(v)$	$(v)^3$ (m/s) ³	$\Sigma(fr)^*(v)^3$	$P = 1/2p(v)^3$	Distribuição de Potência (P*(fr))
0,98	0	0	0	0	0,941192	0	482,36	0
0,97	1	0,000655	0,000655	0,00063565	0,912673	0,000598	467,74	0,306517
0,96	0	0	0,000655	0	0,884736	0	453,43	0,000000
0,95	0	0	0,000655	0	0,857375	0	439,40	0,000000
0,94	1	0,000655	0,001311	0,00061599	0,830584	0,000544	425,67	0,278948
0,93	1	0,000655	0,001966	0,00060944	0,804357	0,000527	412,23	0,270140
0,92	0	0	0,001966	0	0,778688	0	399,08	0,000000
0,91	1	0,000655	0,002621	0,00059633	0,753571	0,000494	386,21	0,253083
0,9	2	0,001311	0,003932	0,00117955	0,729	0,000955	373,61	0,489663
0,89	3	0,001966	0,005898	0,00174967	0,704969	0,001386	361,30	Max: 0,710282
0,88	0	0	0,005898	0	0,681472	0	349,25	0,000000
0,87	0	0	0,005898	0	0,658503	0	337,48	0,000000
0,86	0	0	0,005898	0	0,636056	0	325,98	0,000000
0,85	0	0	0,005898	0	0,614125	0	314,74	0,000000
0,84	0	0	0,005898	0	0,592704	0	303,76	0,000000
0,83	2	0,001311	0,007208	0,00108781	0,571787	0,000749	293,04	0,384064
0,82	0	0	0,007208	0	0,551368	0	282,58	0,000000
0,81	0	0	0,007208	0	0,531441	0	272,36	0,000000
0,8	1	0,000655	0,007864	0,00052425	0,512	0,000336	262,40	0,171953
0,79	0	0	0,007864	0	0,493039	0	252,68	0,000000
0,78	2	0,001311	0,009174	0,00102228	0,474552	0,000622	243,21	0,318752
0,77	3	0,001966	0,011140	0,00151376	0,456533	0,000898	233,97	0,459973
0,76	0	0	0,011140	0	0,438976	0	224,98	0,000000
0,75	0	0	0,011140	0	0,421875	0	216,21	0,000000
0,74	0	0	0,011140	0	0,405224	0	207,68	0,000000
0,73	0	0	0,011140	0	0,389017	0	199,37	0,000000
0,72	0	0	0,011140	0	0,373248	0	191,29	0,000000
0,71	2	0,001311	0,012451	0,00093054	0,357911	0,000469	183,43	0,240405
0,7	0	0	0,012451	0	0,343	0	175,79	0,000000
0,69	0	0	0,012451	0	0,328509	0	168,36	0,000000
0,68	1	0,000655	0,013106	0,00044561	0,314432	0,000206	161,15	0,105601
0,67	1	0,000655	0,013761	0,00043906	0,300763	0,000197	154,14	0,101010
0,66	0	0	0,013761	0	0,287496	0	147,34	0,000000
0,65	0	0	0,013761	0	0,274625	0	140,75	0,000000
0,64	1	0,000655	0,014417	0,0004194	0,262144	0,000172	134,35	0,088040
0,63	0	0	0,014417	0	0,250047	0	128,15	0,000000
0,62	1	0,000655	0,015072	0,00040629	0,238328	0,000156	122,14	0,080041
0,61	2	0,001311	0,016383	0,00079948	0,226981	0,000297	116,33	0,152461
0,6	3	0,001966	0,018349	0,00117955	0,216	0,000425	110,70	0,217628
0,59	10	0,006553	0,024902	0,00386632	0,205379	0,001346	105,26	0,689756
0,58	3	0,001966	0,026868	0,00114024	0,195112	0,000384	99,99	0,196582
0,57	9	0,005898	0,032765	0,00336173	0,185193	0,001092	94,91	0,559766
0,56	6	0,003932	0,036697	0,00220183	0,175616	0,00069	90,00	0,353879
0,55	5	0,003277	0,039974	0,0018021	0,166375	0,000545	85,27	0,279381
0,54	12	0,007864	0,047837	0,0042464	0,157464	0,001238	80,70	0,634603
0,53	5	0,003277	0,051114	0,00173657	0,148877	0,000488	76,30	0,249998
0,52	5	0,003277	0,054391	0,0017038	0,140608	0,000461	72,06	0,236113
0,51	10	0,006553	0,060944	0,00334207	0,132651	0,000869	67,98	0,445502
0,5	12	0,007864	0,068807	0,00393185	0,125	0,000983	64,06	0,503768
0,49	9	0,005898	0,074705	0,00288991	0,117649	0,000694	60,30	0,355607
0,48	5	0,003277	0,077982	0,00157274	0,110592	0,000362	56,68	0,185709
0,47	4	0,002621	0,080603	0,00123198	0,103823	0,000272	53,21	0,139474
0,46	9	0,005898	0,086501	0,00271298	0,097336	0,000574	49,88	0,294209
0,45	14	0,009174	0,095675	0,00412844	0,091125	0,000836	46,70	0,428455
0,44	10	0,006553	0,102228	0,00288336	0,085184	0,000558	43,66	0,286087
0,43	14	0,009174	0,111402	0,00394495	0,079507	0,000729	40,75	0,373829
0,42	6	0,003932	0,115334	0,00165138	0,074088	0,000291	37,97	0,149293
0,41	14	0,009174	0,124509	0,00376147	0,068921	0,000632	35,32	0,324055
0,4	13	0,008519	0,133028	0,0034076	0,064	0,000545	32,80	0,279423
0,39	17	0,011140	0,144168	0,00434469	0,059319	0,000661	30,40	0,338674
0,38	19	0,012451	0,156619	0,00473132	0,054872	0,000683	28,12	0,350142
0,37	10	0,006553	0,163172	0,00242464	0,050653	0,000332	25,96	0,170116
0,36	25	0,016383	0,179554	0,00589777	0,046656	0,000764	23,91	0,391730

0,35	13	0,008519	0,188073	0,00298165	0,042875	0,000365	21,97	0,187192
0,34	25	0,016383	0,204456	0,00557012	0,039304	0,000644	20,14	0,330002
0,33	19	0,012451	0,216907	0,00410878	0,035937	0,000447	18,42	0,229316
0,32	24	0,015727	0,232634	0,00503277	0,032768	0,000515	16,79	0,264120
0,31	28	0,018349	0,250983	0,00568807	0,029791	0,000547	15,27	0,280145
0,3	30	0,019659	0,270642	0,00589777	0,027	0,000531	13,84	0,272035
0,29	18	0,011796	0,282438	0,00342071	0,024389	0,000288	12,50	0,147437
0,28	19	0,012451	0,294889	0,00348624	0,021952	0,000273	11,25	0,140077
0,27	34	0,022280	0,317169	0,00601573	0,019683	0,000439	10,09	0,224755
0,26	30	0,019659	0,336828	0,0051114	0,017576	0,000346	9,01	0,177085
0,25	31	0,020315	0,357143	0,00507864	0,015625	0,000317	8,01	0,162675
0,24	28	0,018349	0,375491	0,00440367	0,013824	0,000254	7,08	0,129996
0,23	31	0,020315	0,395806	0,00467235	0,012167	0,000247	6,24	0,126673
0,22	28	0,018349	0,414155	0,0040367	0,010648	0,000195	5,46	0,100130
0,21	43	0,028178	0,442333	0,00591743	0,009261	0,000261	4,75	0,133741
0,2	28	0,018349	0,460682	0,00366972	0,008	0,000147	4,10	0,075229
0,19	29	0,019004	0,479685	0,00361075	0,006859	0,00013	3,52	0,066803
0,18	32	0,020970	0,500655	0,00377457	0,005832	0,000122	2,99	0,062677
0,17	22	0,014417	0,515072	0,00245085	0,004913	7,08E-05	2,52	0,036300
0,16	32	0,020970	0,536042	0,00335518	0,004096	8,59E-05	2,10	0,044020
0,15	24	0,015727	0,551769	0,00235911	0,003375	5,31E-05	1,73	0,027203
0,14	40	0,026212	0,577982	0,00366972	0,002744	7,19E-05	1,41	0,036862
0,13	43	0,028178	0,606160	0,00366317	0,002197	6,19E-05	1,13	0,031728
0,12	48	0,031455	0,637615	0,00377457	0,001728	5,44E-05	0,89	0,027856
0,11	53	0,034731	0,672346	0,00382045	0,001331	4,62E-05	0,68	0,023692
0,1	43	0,028178	0,700524	0,00281782	0,001	2,82E-05	0,51	0,014441
0,09	57	0,037353	0,737877	0,00336173	0,000729	2,72E-05	0,37	0,013955
0,08	63	0,041284	0,779161	0,00330275	0,000512	2,11E-05	0,26	0,010833
0,07	69	0,045216	0,824377	0,00316514	0,000343	1,55E-05	0,18	0,007948
0,06	72	0,047182	0,871560	0,00283093	0,000216	1,02E-05	0,11	0,005223
0,05	83	0,054391	0,925950	0,00271953	0,000125	6,8E-06	0,06	0,003484
0,04	70	0,045872	0,971822	0,00183486	6,4E-05	2,94E-06	0,03	0,001505
0,03	38	0,024902	0,996723	0,00074705	2,7E-05	6,72E-07	0,01	0,000345
0,02	5	0,003277	1	6,5531E-05	8E-06	2,62E-08	0,00	0,000013
0,01	0	0	1	0	1E-06	0	0,00	0
	Total	Total		V média		V³ média		
	1526	1		0,21348624		0,031688		

Tabela 10: Santa Catarina - Profundidade 25 a 30m.

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr)	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)*(v)$	$(v)^3$ (m/s) ³	$\Sigma(fr)*(v)^3$	$P = 1/2\rho(v)^3$	Distribuição de Potência (P*(fr))
0,83	3	0,000465	0,000465	0,000386	0,57179	0,0002657	293,04	0,136192
0,82	2	0,000310	0,000775	0,000254	0,55137	0,0001708	282,58	0,087553
0,81	3	0,000465	0,001239	0,000376	0,53144	0,000247	272,36	0,126583
0,8	8	0,001239	0,002479	0,000991	0,51200	0,0006345	262,40	0,325205
0,79	11	0,001704	0,004183	0,001346	0,49304	0,0008402	252,68	0,430598
0,78	7	0,001084	0,005267	0,000846	0,47455	0,0005146	243,21	0,263742
0,77	8	0,001239	0,006507	0,000954	0,45653	0,0005658	233,97	0,289974
0,76	8	0,001239	0,007746	0,000942	0,43898	0,000544	224,98	0,278823
0,75	8	0,001239	0,008985	0,000930	0,42188	0,0005229	216,21	0,267961
0,74	11	0,001704	0,010689	0,001261	0,40522	0,0006905	207,68	0,353904
0,73	11	0,001704	0,012393	0,001244	0,38902	0,0006629	199,37	0,339750
0,72	9	0,001394	0,013788	0,001004	0,37325	0,0005204	191,29	0,266709
0,71	8	0,001239	0,015027	0,000880	0,35791	0,0004436	183,43	0,227333
0,7	17	0,002634	0,017661	0,001844	0,34300	0,0009033	175,79	0,462957
0,69	10	0,001549	0,019210	0,001069	0,32851	0,0005089	168,36	0,260822
0,68	21	0,003253	0,022463	0,002212	0,31443	0,0010229	161,15	0,524256
0,67	13	0,002014	0,024477	0,001349	0,30076	0,0006057	154,14	0,310431
0,66	26	0,004028	0,028505	0,002658	0,28750	0,0011158	147,34	0,593475
0,65	23	0,003563	0,032068	0,002316	0,27462	0,0009785	140,75	0,501494
0,64	25	0,003873	0,035941	0,002479	0,26214	0,0010153	134,35	0,520328
0,63	12	0,001859	0,037800	0,001171	0,25005	0,0004648	128,15	0,238232
0,62	19	0,002943	0,040744	0,001825	0,23833	0,0007015	122,14	0,359523
0,61	25	0,003873	0,044617	0,002363	0,22698	0,0008791	116,33	0,450534
0,6	12	0,001859	0,046476	0,001115	0,21600	0,0004015	110,70	0,205794
0,59	20	0,003098	0,049574	0,001828	0,20538	0,0006363	105,26	0,326125
0,58	25	0,003873	0,053447	0,002246	0,19511	0,0007557	99,99	0,387277
0,57	29	0,004493	0,057940	0,002561	0,18519	0,000832	94,91	0,426403
0,56	16	0,002479	0,060418	0,001388	0,17562	0,0004353	90,00	0,223091
0,55	21	0,003253	0,063672	0,001789	0,16637	0,0005413	85,27	0,277399
0,54	26	0,004028	0,067699	0,002175	0,15746	0,0006342	80,70	0,325052
0,53	25	0,003873	0,071572	0,002053	0,14888	0,0005766	76,30	0,295505
0,52	31	0,004802	0,076375	0,002497	0,14061	0,0006753	72,06	0,346074
0,51	18	0,002789	0,079163	0,001422	0,13265	0,0003699	67,98	0,189575
0,5	54	0,008366	0,087529	0,004183	0,12500	0,0010457	64,06	0,535922
0,49	39	0,006042	0,093571	0,002960	0,11765	0,0007108	60,30	0,364293
0,48	61	0,009450	0,103021	0,004536	0,11059	0,0010451	56,68	0,535613
0,47	54	0,008366	0,111387	0,003932	0,10382	0,0008685	53,21	0,445128
0,46	46	0,007126	0,118513	0,003278	0,09734	0,0006936	49,88	0,355491
0,45	48	0,007436	0,125949	0,003346	0,09112	0,0006776	46,70	0,347277
0,44	26	0,004028	0,129977	0,001772	0,08518	0,0003431	43,66	0,175845
0,43	39	0,006042	0,136019	0,002598	0,07951	0,0004804	40,75	0,246188
0,42	39	0,006042	0,142060	0,002538	0,07409	0,0004476	37,97	0,229409
0,41	48	0,007436	0,149497	0,003049	0,06892	0,0005125	35,32	0,262658
0,4	56	0,008675	0,158172	0,003470	0,06400	0,0005552	32,80	0,284555
0,39	73	0,011309	0,169481	0,004411	0,05932	0,0006708	30,40	0,343807
0,38	47	0,007281	0,176762	0,002767	0,05487	0,0003995	28,12	0,204761
0,37	65	0,010070	0,186832	0,003726	0,05065	0,0005101	25,96	0,261406
0,36	95	0,014717	0,201549	0,005298	0,04666	0,0006866	23,91	0,351908
0,35	68	0,010534	0,212084	0,003687	0,04287	0,0004517	21,97	0,231479
0,34	108	0,016731	0,228815	0,005689	0,03930	0,0006576	20,14	0,337022
0,33	87	0,013478	0,242293	0,004448	0,03594	0,0004844	18,42	0,248233
0,32	140	0,021689	0,263981	0,006940	0,03277	0,0007107	16,79	0,364230
0,31	119	0,018435	0,282417	0,005715	0,02979	0,0005492	15,27	0,281468
0,3	179	0,027730	0,310147	0,008319	0,02700	0,0007487	13,84	0,383720
0,29	134	0,020759	0,330906	0,006020	0,02439	0,0005063	12,50	0,259476
0,28	121	0,018745	0,349651	0,005249	0,02195	0,0004115	11,25	0,210891
0,27	194	0,030054	0,379706	0,008115	0,01968	0,0005916	10,09	0,303173
0,26	134	0,020759	0,400465	0,005397	0,01758	0,0003649	9,01	0,186992
0,25	188	0,029125	0,429589	0,007281	0,01562	0,0004551	8,01	0,233225
0,24	145	0,022463	0,452053	0,005391	0,01382	0,0003105	7,08	0,159147
0,23	179	0,027730	0,479783	0,006378	0,01217	0,0003374	6,24	0,172916
0,22	152	0,023548	0,503331	0,005180	0,01065	0,0002507	5,46	0,128502
0,21	121	0,018745	0,522076	0,003936	0,00926	0,0001736	4,75	0,088969

0,2	216	0,033462	0,555538	0,006692	0,00800	0,0002677	4,10	0,137196
0,19	143	0,022153	0,577692	0,004209	0,00686	0,0001519	3,52	0,077874
0,18	187	0,028970	0,606662	0,005215	0,00583	0,000169	2,99	0,086588
0,17	112	0,017351	0,624012	0,002950	0,00491	8,524E-05	2,52	0,043688
0,16	196	0,030364	0,654376	0,004858	0,00410	0,0001244	2,10	0,063740
0,15	141	0,021844	0,676220	0,003277	0,00338	7,372E-05	1,73	0,037782
0,14	199	0,030829	0,707049	0,004316	0,00274	8,459E-05	1,41	0,043355
0,13	139	0,021534	0,728582	0,002799	0,00220	4,731E-05	1,13	0,024246
0,12	162	0,025097	0,753679	0,003012	0,00173	4,337E-05	0,89	0,022226
0,11	221	0,034237	0,787916	0,003766	0,00133	4,557E-05	0,68	0,023354
0,1	168	0,026026	0,813943	0,002603	0,00100	2,603E-05	0,51	0,013338
0,09	235	0,036406	0,850349	0,003277	0,00073	2,654E-05	0,37	0,013602
0,08	167	0,025871	0,876220	0,002070	0,00051	1,325E-05	0,26	0,006789
0,07	202	0,031294	0,907514	0,002191	0,00034	1,073E-05	0,18	0,005501
0,06	153	0,023703	0,931216	0,001422	0,00022	5,12E-06	0,11	0,002624
0,05	201	0,031139	0,962355	0,001557	0,00013	3,892E-06	0,06	0,001995
0,04	131	0,020294	0,982649	0,000812	0,00006	1,299E-06	0,03	0,000666
0,03	86	0,013323	0,995972	0,000400	0,00003	3,597E-07	0,01	0,000184
0,02	26	0,004028	1	0,000081	0,000008	3,222E-08	0,00	0,000017
0,01	0	0	1	0	0,000001	0	0,00	0
	Total		Total	V média		V³ média		
	6455		1	0,24		0,0386		

Tabela 11: Santa Catarina - Profundidade 70 a 75m.

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr)	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)*(v)$	$(v)^3$ (m/s) ³	$\Sigma(fr)*(v)^3$	$P = 1/2\rho(v)^3$	Distribuição de Potência ($P^*(fr)$)
0,7	1	0,000155	0,000155	0,0001084	0,343	5,31206E-05	175,79	0,027224
0,69	4	0,000619	0,000774	0,0004274	0,328509	0,000203506	168,36	0,104297
0,68	10	0,001549	0,002323	0,0010531	0,314432	0,000486963	161,15	0,249569
0,67	4	0,000619	0,002943	0,0004151	0,300763	0,000186317	154,14	0,095488
0,66	11	0,001704	0,004646	0,0011244	0,287496	0,000489772	147,34	0,251008
0,65	11	0,001704	0,006350	0,0011073	0,274625	0,000467845	140,75	0,239771
0,64	10	0,001549	0,007898	0,0009912	0,262144	0,000405984	134,35	0,208067
0,63	22	0,003407	0,011306	0,0021465	0,250047	0,000851949	128,15	0,436624
0,62	13	0,002013	0,013319	0,0012483	0,238328	0,00047983	122,14	0,245913
0,61	32	0,004956	0,018275	0,0030231	0,226981	0,001124886	116,33	0,576504
0,6	16	0,002478	0,020753	0,0014868	0,216	0,000535233	110,70	0,274307
0,59	21	0,003252	0,024005	0,0019188	0,205379	0,000667951	105,26	0,342325
0,58	11	0,001704	0,025709	0,0009881	0,195112	0,000332388	99,99	0,170349
0,57	21	0,003252	0,028961	0,0018538	0,185193	0,0006023	94,91	0,308679
0,56	21	0,003252	0,032213	0,0018213	0,175616	0,000571153	90,00	0,292716
0,55	19	0,002943	0,035156	0,0016184	0,166375	0,000489566	85,27	0,250902
0,54	22	0,003407	0,038563	0,0018399	0,157464	0,000536504	80,70	0,274958
0,53	22	0,003407	0,041970	0,0018058	0,148877	0,000507247	76,30	0,259964
0,52	29	0,004491	0,046461	0,0023354	0,140608	0,000631506	72,06	0,323647
0,51	19	0,002943	0,049404	0,0015007	0,132651	0,000390331	67,98	0,200045
0,5	36	0,005575	0,054979	0,0027877	0,125	0,000696918	64,06	0,357171
0,49	37	0,005730	0,060709	0,0028078	0,117649	0,000674154	60,30	0,345504
0,48	47	0,007279	0,067988	0,0034939	0,110592	0,000804991	56,68	0,412558
0,47	29	0,004491	0,072479	0,0021109	0,103823	0,000466295	53,21	0,238976
0,46	35	0,005420	0,077900	0,0024934	0,097336	0,000527607	49,88	0,270399
0,45	53	0,008208	0,086108	0,0036937	0,091125	0,000747967	46,70	0,383333
0,44	57	0,008828	0,094936	0,0038842	0,085184	0,000751973	43,66	0,385386
0,43	54	0,008363	0,103299	0,0035961	0,079507	0,000664918	40,75	0,340771
0,42	34	0,005266	0,108564	0,0022116	0,074088	0,000390118	37,97	0,199935
0,41	58	0,008982	0,117547	0,0036828	0,068921	0,000619083	35,32	0,317280
0,4	48	0,007434	0,124981	0,0029735	0,064	0,000475763	32,80	0,243828
0,39	62	0,009602	0,134583	0,0037448	0,059319	0,00056958	30,40	0,291910
0,38	36	0,005575	0,140158	0,0021186	0,054872	0,00030593	28,12	0,156789
0,37	56	0,008673	0,148831	0,0032089	0,050653	0,000439301	25,96	0,225142
0,36	60	0,009292	0,158123	0,0033452	0,046656	0,000433539	23,91	0,222189
0,35	51	0,007898	0,166021	0,0027644	0,042875	0,000338644	21,97	0,173555
0,34	72	0,011151	0,177172	0,0037912	0,039304	0,000438267	20,14	0,224612
0,33	50	0,007744	0,184916	0,0025554	0,035937	0,000278279	18,42	0,142618
0,32	77	0,011925	0,196841	0,003816	0,032768	0,00039076	16,79	0,200264
0,31	67	0,010376	0,207217	0,0032167	0,029791	0,000309121	15,27	0,158425
0,3	94	0,014558	0,221775	0,0043674	0,027	0,000393062	13,84	0,201444
0,29	74	0,011460	0,233235	0,0033235	0,024389	0,000279508	12,50	0,143248
0,28	97	0,015022	0,248258	0,0042063	0,021952	0,000329773	11,25	0,169009
0,27	139	0,021527	0,269785	0,0058123	0,019683	0,000423716	10,09	0,217155
0,26	103	0,015952	0,285736	0,0041474	0,017576	0,000280367	9,01	0,143688
0,25	193	0,029890	0,315626	0,0074725	0,015625	0,000467032	8,01	0,239354
0,24	118	0,018275	0,333901	0,0043859	0,013824	0,00025263	7,08	0,129473
0,23	160	0,024779	0,358681	0,0056992	0,012167	0,00030149	6,24	0,154514
0,22	132	0,020443	0,379123	0,0044974	0,010648	0,000217676	5,46	0,111559
0,21	125	0,019359	0,398482	0,0040654	0,009261	0,000179282	4,75	0,091882
0,2	180	0,027877	0,426359	0,0055753	0,008	0,000223014	4,10	0,114295
0,19	145	0,022456	0,448815	0,0042667	0,006859	0,000154027	3,52	0,078939
0,18	201	0,031129	0,479944	0,0056032	0,005832	0,000181544	2,99	0,093041
0,17	190	0,029425	0,509370	0,0050023	0,004913	0,000144567	2,52	0,074091
0,16	202	0,031284	0,540654	0,0050054	0,004096	0,000128139	2,10	0,065671
0,15	166	0,025709	0,566362	0,0038563	0,003375	8,67663E-05	1,73	0,044468
0,14	248	0,038408	0,604770	0,0053771	0,002744	0,000105391	1,41	0,054013
0,13	179	0,027722	0,632492	0,0036038	0,002197	6,09049E-05	1,13	0,031214
0,12	200	0,030974	0,663466	0,0037169	0,001728	5,35233E-05	0,89	0,027431
0,11	262	0,040576	0,704042	0,0044634	0,001331	5,40068E-05	0,68	0,027678
0,1	218	0,033762	0,737804	0,0033762	0,001	3,37618E-05	0,51	0,017303
0,09	277	0,042899	0,780703	0,0038609	0,000729	3,12735E-05	0,37	0,016028
0,08	205	0,031748	0,812452	0,0025399	0,000512	1,62552E-05	0,26	0,008331

0,07	287	0,044448	0,856899	0,0031114	0,000343	1,52456E-05	0,18	0,007813
0,06	245	0,037943	0,894843	0,0022766	0,000216	8,19576E-06	0,11	0,004200
0,05	370	0,057302	0,952145	0,0028651	0,000125	7,16277E-06	0,06	0,003671
0,04	229	0,035465	0,987610	0,0014186	0,000064	2,26978E-06	0,03	0,001163
0,03	55	0,008518	0,996128	0,0002555	0,000027	2,29983E-07	0,01	0,000118
0,02	25	0,003872	1	7,744E-05	0,000008	3,09741E-08	0,00	0,000016
0,01	0	0	1	0	0,000001	0	0,00	0
	Total		Total	V média		V ³ média		
	6457		1	0,205		0,0248		

Tabela 12: Santa Catarina - Profundidade 120 a 125m.

Classes (v) (m/s)	Nº de ocorrências	Frequência Relativa (fr)	Frequência Acumulada (Fa)	$\Sigma(fr)^*(v)$	$(v)^3$ (m/s) ³	$\Sigma(fr)^*(v)^3$	$P = 1/2\rho(v)^3$	Distribuição de Potência (P*(fr))
0,65	3	0,000464	0,000464	0,0003018	0,274625	0,0001275	140,75	0,065341
0,64	4	0,000619	0,001083	0,0003962	0,262144	0,0001623	134,35	0,083162
0,63	1	0,000155	0,001238	9,749E-05	0,250047	3,869E-05	128,15	0,019831
0,62	2	0,000310	0,001548	0,0001919	0,238328	7,376E-05	122,14	0,037803
0,61	4	0,000619	0,002167	0,0003776	0,226981	0,0001405	116,33	0,072007
0,6	0	0,000000	0,002167	0	0,216	0	110,70	0,000000
0,59	1	0,000155	0,002321	9,13E-05	0,205379	3,178E-05	105,26	0,016289
0,58	2	0,000310	0,002631	0,0001795	0,195112	6,039E-05	99,99	0,030949
0,57	3	0,000464	0,003095	0,0002646	0,185193	8,598E-05	94,91	0,044063
0,56	8	0,001238	0,004333	0,0006933	0,175616	0,0002174	90,00	0,111425
0,55	11	0,001702	0,006035	0,0009362	0,166375	0,0002832	85,27	0,145147
0,54	12	0,001857	0,007892	0,0010028	0,157464	0,0002924	80,70	0,149861
0,53	18	0,002786	0,010678	0,0014763	0,148877	0,0004147	76,30	0,212533
0,52	21	0,003250	0,013928	0,0016899	0,140608	0,0004569	72,06	0,234183
0,51	10	0,001548	0,015475	0,0007892	0,132651	0,0002053	67,98	0,105205
0,5	10	0,001548	0,017023	0,0007738	0,125	0,0001934	64,06	0,099137
0,49	13	0,002012	0,019034	0,0009858	0,117649	0,0002367	60,30	0,121299
0,48	24	0,003714	0,022748	0,0017827	0,110592	0,0004107	56,68	0,210505
0,47	6	0,000929	0,023677	0,0004364	0,103823	9,64E-05	53,21	0,049405
0,46	7	0,001083	0,024760	0,0004983	0,097336	0,0001054	49,88	0,054038
0,45	18	0,002786	0,027546	0,0012535	0,091125	0,0002538	46,70	0,130088
0,44	8	0,001238	0,028784	0,0005447	0,085184	0,0001055	43,66	0,054047
0,43	17	0,002631	0,031414	0,0011312	0,079507	0,0002092	40,75	0,107197
0,42	15	0,002321	0,033736	0,0009749	0,074088	0,000172	37,97	0,088139
0,41	26	0,004024	0,037759	0,0016496	0,068921	0,0002773	35,32	0,142119
0,4	31	0,004797	0,042556	0,0019189	0,064	0,000307	32,80	0,157351
0,39	48	0,007428	0,049985	0,0028969	0,059319	0,0004406	30,40	0,225820
0,38	36	0,005571	0,055556	0,002117	0,054872	0,0003057	28,12	0,156668
0,37	33	0,005107	0,060662	0,0018895	0,050653	0,0002587	25,96	0,132570
0,36	60	0,009285	0,069947	0,0033426	0,046656	0,0004332	23,91	0,222017
0,35	58	0,008976	0,078923	0,0031414	0,042875	0,0003848	21,97	0,197224
0,34	78	0,012071	0,090994	0,004104	0,039304	0,0004744	20,14	0,243141
0,33	53	0,008202	0,099195	0,0027066	0,035937	0,0002947	18,42	0,151058
0,32	105	0,016249	0,115444	0,0051996	0,032768	0,0005324	16,79	0,272877
0,31	75	0,011606	0,127050	0,003598	0,029791	0,0003458	15,27	0,177204
0,3	127	0,019653	0,146704	0,005896	0,027	0,0005306	13,84	0,271953
0,29	93	0,014392	0,161096	0,0041736	0,024389	0,000351	12,50	0,179889
0,28	103	0,015939	0,177035	0,004463	0,021952	0,0003499	11,25	0,179324
0,27	163	0,025224	0,202259	0,0068106	0,019683	0,0004965	10,09	0,254452
0,26	152	0,023522	0,225781	0,0061158	0,017576	0,0004134	9,01	0,211880
0,25	169	0,026153	0,251934	0,0065382	0,015625	0,0004086	8,01	0,209427
0,24	172	0,026617	0,278552	0,0063881	0,013824	0,000368	7,08	0,188577
0,23	237	0,036676	0,315227	0,0084355	0,012167	0,0004462	6,24	0,228696
0,22	151	0,023367	0,338595	0,0051408	0,010648	0,0002488	5,46	0,127518
0,21	164	0,025379	0,363974	0,0053296	0,009261	0,000235	4,75	0,120456
0,2	260	0,040235	0,404209	0,008047	0,008	0,0003219	4,10	0,164964
0,19	205	0,031724	0,435933	0,0060275	0,006859	0,0002176	3,52	0,111517
0,18	240	0,037140	0,473073	0,0066852	0,005832	0,0002166	2,99	0,111008
0,17	214	0,033117	0,506190	0,0056298	0,004913	0,0001627	2,52	0,083385
0,16	307	0,047509	0,553699	0,0076014	0,004096	0,0001946	2,10	0,099730
0,15	200	0,030950	0,584649	0,0046425	0,003375	0,0001045	1,73	0,053534
0,14	277	0,042866	0,627515	0,0060012	0,002744	0,0001176	1,41	0,060282
0,13	189	0,029248	0,656763	0,0038022	0,002197	6,426E-05	1,13	0,032932
0,12	192	0,029712	0,686475	0,0035655	0,001728	5,134E-05	0,89	0,026313
0,11	227	0,035128	0,721603	0,0038641	0,001331	4,676E-05	0,68	0,023962
0,1	179	0,027700	0,749304	0,00277	0,001	2,77E-05	0,51	0,014196
0,09	229	0,035438	0,784742	0,0031894	0,000729	2,583E-05	0,37	0,013240
0,08	189	0,029248	0,813989	0,0023398	0,000512	1,497E-05	0,26	0,007675

0,07	276	0,042711	0,856701	0,0029898	0,000343	1,465E-05	0,18	0,007508
0,06	189	0,029248	0,885949	0,0017549	0,000216	6,318E-06	0,11	0,003238
0,05	239	0,036985	0,922934	0,0018493	0,000125	4,623E-06	0,06	0,002369
0,04	218	0,033736	0,956670	0,0013494	0,000064	2,159E-06	0,03	0,001107
0,03	230	0,035593	0,992262	0,0010678	0,000027	9,61E-07	0,01	0,000493
0,02	50	0,007738	1	0,0001548	0,000008	6,19E-08	0,00	0,000032
0,01	0	0	1	0	0,000001	0	0,00	0
	Total		Total	V média		V ³ média		
	6462		1	0,18		0,0139		

ANEXO 2

Dedução da Fórmula do Potencial Energético das Ondas

A energia de onda pode ser entendida como a energia mecânica da onda:

$$E_t = E_c + E_p \quad (1)$$

Onde:

E_t = Energia Total

E_c = Energia Cinética

E_p = Energia Potencial

Pela análise de uma onda sinusoidal elementar pela Teoria Linear chegam-se as seguintes relações:

A função potencial de velocidades tem a seguinte expressão:

$$\phi(x, z, t) = -\frac{Hg}{2\omega} \frac{\cosh K(h+z)}{\cosh Kh} \cos(Kx - \omega t) \quad (2)$$

onde:

H = altura de onda, distância entre cava e crista sucessivas.

K = número de onda; $K = \frac{2\pi}{L}$

ω = velocidade angular; $\omega = \frac{2\pi}{T}$

h = profundidade relativa ao nível de repouso.

O comprimento de onda (L) é:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (3)$$

A elevação da superfície livre $\eta(x,t)$ é expressa por:

$$\eta = \frac{H}{2} \text{sen}(Kx - \omega t) \quad (4)$$

A amplitude de onda (a) é:

$$a = \frac{H}{2} \quad (5)$$

Para calcular a energia potencial da onda, pode-se considerar o princípio básico que um elemento de massa “ m ” à uma distância vertical “ z ” de um plano horizontal contém, em

relação a este, uma energia potencial ($E_p = gmz$). Considerando uma coluna líquida de base unitária estendendo-se desde a superfície livre (η) até o fundo ($z = -h$), a energia potencial contida nesta coluna (E_{pc}), avaliada em relação ao plano horizontal será:

$$E_{pc} = \int_{-h}^{\eta} g\rho z dz \quad (6)$$

Uma vez que “ $g\rho z dz$ ” é a energia potencial contida no volume elementar $dv = 1 \times dz$, somente parte desta energia estará associada ao movimento ondulatório, necessitando deduzir a energia potencial correspondente ao repouso “ E_{p0} ”:

$$E_{p0} = \int_{-h}^0 g\rho z dz$$

A energia potencial associada à onda “ $E_p(\eta)$ ” será definida por:

$$E_p(\eta) = E_{pc} - E_{p0} = \rho g \int_{-h}^{\eta} z dz - \int_{-h}^0 z dz = \int_0^{\eta} z dz$$

$$E_p(\eta) = \frac{1}{2} \rho g \eta^2 \quad (7)$$

Como η é expressa pela equação 4, a energia potencial por unidade de superfície será então:

$$E_p = \frac{1}{L} \int_x^{x+L} E_p(\eta) dx = \frac{\rho g H^2}{2L} \frac{1}{4} \int_x^{x+L} \text{sen}^2(Kx - \omega t) dx = \frac{1}{16} \rho g H^2$$

$$E_p = \frac{1}{16} \rho g H^2 = \frac{1}{4} \rho g a^2 \quad (8)$$

A energia cinética da massa de água contida numa coluna unitária pode ser expressa por:

$$E_c(x) = \frac{1}{2} \rho \int_{-h}^{\eta} (u^2 + v^2) dz = \frac{1}{2} \rho \int_{-h}^0 (u^2 + v^2) dz \quad (9)$$

Onde u e v são as componentes horizontal e vertical da velocidade das partículas de água. As componentes variam com x da mesma forma que varia $E_c(x)$. O valor de E_c por unidade de superfície será obtido integrando $E_c(x)$ num comprimento de onda (L) e dividindo por L :

$$E_c = \frac{\rho}{2L} \int_x^{x+L} dx = \int_{-h}^0 (u^2 + v^2) dz \quad (10)$$

Substituindo u e v por suas seguintes expressões (em águas profundas):

$$u = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \text{sen}(kx - \omega t) \quad (11)$$

$$v = -\frac{\pi H}{T} e^{kz} \text{cos}(kx - \omega t) \quad (12)$$

E integrando $E_c(x)$, é obtida a expressão:

$$E_c = \frac{1}{16} \rho g H^2 = \frac{1}{4} \rho g a^2 \quad (13)$$

Pelas equações 8 e 13, é possível observar que a energia potencial e a energia cinética são iguais. Desta forma, a energia total por unidade de superfície horizontal será a soma das energias potencial e cinética, segundo a teoria linear:

$$E_t = E_p + E_c = \frac{1}{8}\rho g H^2 = \frac{1}{2}\rho g a^2 \quad (14)$$

A energia total por unidade de comprimento de onda e por comprimento de crista será:

$$E_{tL} = \frac{1}{8}\rho g H^2 L = \frac{1}{2}\rho g a^2 L \quad (15)$$

A quantidade de energia que atravessa uma faixa de largura unitária perpendicular à direção da propagação da onda, na unidade de tempo é chamada de “fluxo de energia por unidade de tempo ou potência transmitida”. A potência transmitida é obtida através da seguinte expressão:

$$P = E_t \cdot C_g \quad (16)$$

Onde C_g é a celeridade de grupo. A “ C_g ” depende basicamente da profundidade:

$$C_g = C \cdot m \quad (17)$$

Onde: $m = \frac{1}{2}$ em águas profundas ($h > \frac{L}{2}$)

$$C_g = \frac{gT}{4\pi} \quad (18)$$

$m = 1$ em águas rasas $h < \frac{L}{20}$

$$C_g = C = \sqrt{gh} \quad (19)$$

Pelas equações 21 e 22 é possível afirmar que, da energia total (E_t), uma fração (mE) acompanha a onda na sua propagação com celeridade C . Em águas profundas, em que $m = \frac{1}{2}$, metade da energia se propaga com a onda, já em águas rasas (mais especificamente na arrebentação), $m = 1$, a totalidade da energia se propaga com a celeridade da onda. A potência transmitida, em águas profundas, é expressa por:

$$P = E_t \cdot C_g = \left[\frac{1}{8}\rho g H^2 \right] \cdot \left[\frac{gT}{4\pi} \right] = \frac{1}{32\pi}\rho g^2 H^2 T = \frac{1}{8\pi}\rho g^2 a^2 T \quad (20)$$

Assis (2010) analisou o estado de agitação através da análise espectral. Pela análise espectral do estado de agitação do mar pode-se afirmar que num determinado estado de mar encontra-se presente uma larga gama de frequências f e de direções θ , contribuindo para a variância ou energia de um sinal aleatório. Assim, a variância σ^2 do espectro direcional $S(f, \theta)$ representa a distribuição da densidade de energia em termos da frequência f e direção θ ,

que permite descrever o estado de mar. Algumas vezes não são consideradas as características direcionais e utiliza-se apenas o espectro de frequência ou energia $S(f)$ que resulta da integração de $S(f, \theta)$ em relação à direção e se relaciona com o espectro direcional por:

$$S(f) = \int_0^{2\pi} S(f, \theta) d\theta \quad (21)$$

A função $S(f)$ representa a distribuição de energia da onda no domínio da frequência.

A informação contida no espectro direcional é geralmente condensada em parâmetros de altura H , período $T = 1/f$ e direção θ . Estes parâmetros são determinados utilizando-se os momentos espectrais, sendo o momento espectral m_n de ordem n definido por:

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df \quad (22)$$

Os primeiros momentos espectrais são de especial importância para a descrição espectral de ondas oceânicas. O momento espectral m_0 é definido por:

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(f) df \quad (23)$$

Onde o m_0 é denominado de momento-zero do espectro. Este parâmetro espectral é utilizado para achar a altura significativa H_s através de:

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (24)$$

O momento espectral m_1 é definido por:

$$m_1 = \int_0^{\infty} f^1 S(f) df \quad (25)$$

Sendo determinado para encontrar a frequência (f_m) ou o período (T_m) médio de ondas, sendo:

$$f_m = \frac{m_1}{m_0} \text{ e } T_m = \frac{m_0}{m_1} \quad (26)$$

Onde T_m é o período que corresponde a T_e , período médio de energia.

A partir deste parâmetro pode-se determinar o fluxo de energia, pois o mesmo depende da banda das baixas frequências do espectro, onde está concentrada a maior parte da energia (Gonçalves, 2003 *apud* Assis, 2010). Assim T_e torna-se mais estável que o período médio de cruzamentos de zeros T_0 definido por:

$$T_0 = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (27)$$

Onde T_0 representa a média de cruzamentos de zeros ascendentes consecutivos.

A dependência de T_0 com m_2 faz com que este período seja muito sensível na parte do espectro que corresponde às altas frequências, apresentando maior variabilidade e reduzido conteúdo energético (Gonçalves, 2003 *apud* Assis, 2010).

O potencial energético é caracterizado pelo fluxo de energia por unidade de comprimento de frente de onda que para águas de profundidade constante:

$$P = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} S(f, \theta) C_g(f, d) df d\theta \quad (28)$$

que depende do espectro de variância, isto é, da forma do espectro que é característico de cada estado de agitação do mar.

Considerando a celeridade em águas profundas, o potencial é definido por:

$$P = \frac{\rho g^2}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} S(f, \theta) f^{-1} df d\theta \quad (29)$$

Considerando $\rho = 1025 \text{kg/m}^3$ e $g = 9,81 \text{m/s}^2$ e multiplicando e dividindo a equação 28 por m_0 , tem-se:

$$P(W/m) = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e$$

ou

$$P(kW/m) = 0,4906 H_s^2 T_e \quad (30)$$