



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG  
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA**



**NÚCLEO DE GERENCIAMENTO COSTEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GERENCIAMENTO COSTEIRO**

**BEATRIZ OLIVEIRA DE SENA**

**ANÁLISE LOCACIONAL DO POTENCIAL DA LAGOA DOS PATOS PARA O  
APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DA ENERGIA EÓLICA**

**Rio Grande, RS**

**2018**



**BEATRIZ OLIVEIRA DE SENA**

**ANÁLISE LOCACIONAL DO POTENCIAL DA LAGOA DOS PATOS PARA O  
APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DA ENERGIA EÓLICA**

Versão Original

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento Costeiro da Universidade Federal do Rio Grande.

Área de concentração:  
Gerenciamento Costeiro Integrado

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Armani Tagliani

Coorientador: Prof. Dr. Jean Marcel de Almeida Espinoza.

**Rio Grande, RS  
2018**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

### Ficha catalográfica

S474a Sena, Beatriz Oliveira de.  
Análise locacional do potencial da Lagoa dos Patos para o aproveitamento sustentável da energia eólica / Beatriz Oliveira de Sena. – 2018.  
97p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento Costeiro, Rio Grande/RS, 2018.  
Orientador: Dr. Paulo Roberto Armani Tagliani.  
Coorientador: Dr. Jean Marcel de Almeida Espinoza.

1. Parque Eólico 2. Lagoa dos Patos 3. Análise Locacional Multicritério 4. Gerenciamento Costeiro I. Tagliani, Paulo Roberto Armani II. Espinoza, Jean Marcel de Almeida III. Título.

CDU 620.91(816.5)

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos aqueles que me apoiaram e incentivaram na elaboração desta dissertação. Meus professores, colegas, amigos e família.

Agradeço ao meu eu orientado Paulo Roberto Armani Tagliani, por sua orientação, paciência e apoio ao longo dessa jornada. Ao meu coorientador Jean Marcel de Almeida Espinoza, por sua confiança e oportunidade de trabalhar ao seu lado, por sua paciência interminável e por ser o maior incentivador para minha superação e os meus limites.

A minha MÃE, pelo apoio incondicional e pelos valores que sempre me transmitiu, entre os quais a força para nunca desistir de lutar. Minha eterna gratidão por enfrentar tantas dificuldades no caminho e mesmo assim me proporcionar a continuidade nos estudos até à chegada a este mestrado. Sem você não conseguiria MÃE.

Agradeço a minha sogra, por todo o apoio e carinho para que eu conseguisse terminar este trabalho.

Ao meu namorado André Amaral, agradeço especialmente pelos inúmeros cafés, que garantiram a disposição necessária para as longas horas de trabalho. Agradeço todo carinho e paciência nos momentos difíceis, e pela presença incansável com que me apoiou ao longo do período de elaboração desta dissertação.

Agradeço minha família, por ser meu porto seguro, ser meu sorriso, ser o melhor de mim.

A todos obrigada por permitirem que esta dissertação seja uma realidade.

## RESUMO

SENA, Beatriz, Oliveira. **Análise Locacional do Potencial da Lagoa dos Patos para o Aproveitamento Sustentável da Energia Eólica**, 2018. 94p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento Costeiro). Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, 2018.

A fonte de energia eólica *offshore* emite baixas quantidades de gases causadores do efeito estufa, oferece menos turbulência e maior estabilidade e potência dos ventos, o que possibilita gerar mais energia a partir de um número menor de aerogeradores. O objetivo deste trabalho é implementar um modelo computacional de decisão hierárquica sobre uma base de dados georreferenciada para a análise multicriterial de alternativas locais visando uma futura expansão de fonte de energia com menos conflitos socioambientais e maior eficiência energética. A metodologia utilizou critérios impeditivos e critérios de seleção. Os critérios de seleção (subestação, vias de acesso, população consumidora e dados de vento) foram utilizados na análise locacional do método AHP linear (*Analytic Hierarchy Process*), estipulando os pesos para cada um dos critérios através da comparação pareada entre as variáveis em uma tabela de cruzamento. Através dos critérios impeditivos (Unidades de Conservação, APPs e navegação) foi constituída a máscara de exclusão. O cruzamento desses critérios gerou os mapas aptidão para energia eólica no corpo lagunar. Atualmente não existem parques eólicos *offshore* no país, apesar do alto potencial brasileiro para esse tipo de empreendimento. Desta forma, o presente estudo analisou as condições ambientais, sociais e técnicas da área de estudo para instalação de um parque eólico, através de uma ferramenta fundamentada, servindo assim como base para que tomadores de decisões possam se embasar perante autorização e emissão de licenciamentos.

*Palavras-Chave:* Parque Eólico. Lagoa dos Patos. Análise Locacional Multicritério. Gerenciamento Costeiro.

## ABSTRACT

SENA, Beatriz, Oliveira. **Locational Analysis of the Patos Lagoon Potential for the Sustainable Use of Wind Energy**. 94p. Thesis (Master of Science in Coastal Management). Oceanography Institute, Federal University of Rio Grande, Rio Grande, 2018.

The offshore wind energy source emits low amounts of greenhouse gases, provides less turbulence and greater wind stability and power, which enables it to generate more energy from a smaller number of wind turbines. The objective of this work is to implement a hierarchical decision model on a geo-referenced database for the multicriterial analysis of locational alternatives aiming at a future expansion of energy source with less socio-environmental conflicts and greater energy efficiency. The methodology used impeding criteria and selection criteria. The selection criteria (substation, access routes, consuming population and wind data) were used in the locational analysis of the AHP linear method (Analytic Hierarchy Process), stipulating the weights for each of the criteria through the paired comparison between the variables in a crossing table. Through the impediment criteria (Units of Conservation, APPs and navigation) was constituted the mask of exclusion. The crossing of these criteria generated the fitness maps for wind power in the lagoon body. Currently there are no offshore wind farms in the country, despite the high potential of Brazil for this type of project. In this way, the present study analyzed the environmental, social and technical conditions of the study area for the installation of a wind farm, through a well-founded tool, thus serving as a basis for decision-makers to rely on authorization and issuance of licenses

*Keywords:* Wind Farm. Patos Lagoon. Multicriteria Locational Analysis. Coastal Management

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Lagoa dos Patos – Rio Grande do Sul.....	14
Figura 2 – Capacidade da energia eólica instalada anual global e a capacidade acumulada, entre 2001 e 2017.....	16
Figura 3– Capacidade anual acumulada offshore .....	17
Figura 4– Mapa eólico da Lagoa dos Patos .....	18
Figura 6– Estimativa de empregos diretos e indiretos em energia renovável no mundo,.....	21
Figura 5: Capacidade mundial e adições anuais de energia eólica .....	21
Figura 7– Emissão de CO2 evitadas por mês em 2016(toneladas).....	24
Figura 8 – Acesso construído para Parque Eólico em Rymanów .....	25
Figura 9– Abertura de Vala para passagem de cabos .....	25
Figura 10 – Gráfico da estimativa de mortes anuais de pássaros nos Países.....	26
Figura 11– Nível de ruídos de diferentes atividades.....	29
Figura 12– Armazenamento da hidrelétrica do Rio São Francisco e potencial eólico .....	31
Figura 13 – Estrutura simplificada da parte superior do aerogerador .....	33
Figura 14: Estrutura da parte inferior do aerogerador <i>Offshore</i> .....	33
Figura 15: Tipos de fundações mais utilizados .....	34
Figura 16 – Tipos de fundações para águas rasas.....	36
<b>Figura 17 – Mapa simplificado das principais estruturas geológicas do</b> .....	<b>38</b>
Figura 18 – Geomorfologia da Planície costeira inserida na Província .....	39
Figura 19 – Perfil da elevação do Rio Grande do Sul, entre o Litoral Sul e a .....	40
Figura 20 – Localização ilustrativa dos esporões arenosos na Lagoa dos Patos .....	42
Figura 21 – Localização do estuário da Lagoa dos Patos.....	44
Figura 22 – Mapa das Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul .....	45
Figura 23– Comparação entre pares .....	50
Figura 24 – Representação meteorológica do vento.....	52
Figura 25 – Representação vetorial do vento.....	52
Figura 26 – Exemplo de campo de vento obtido via sensoriamento remoto por radar. Velocidade Radial (a), Refletividade (b), velocidade do vento integrada (c) e o vento recuperado (d).....	56
Figura 27: Modelo para geração da intensidade do vento e energia cinética eólica, gerado através das componentes $u$ e $v$ .....	63
Figura 28: Modelo dos critérios de seleção e impeditivos.....	64
Figura 29– Multiplicação dos pesos com o critério (AHP).....	66
Figura 30 – Mapa para o critério <i>Energia cinética do vento</i> .....	70
Figura 31– Mapa para o critério <i>variação do vento</i> .....	71
Figura 32– Mapa com restrição a aves.....	73

Figura 33 – Mapa de distância para o critério densidade populacional .....	74
Figura 34 – Mapa de distância para o critério hidrovia na Lagoa dos Patos .....	76
Figura 35– Mapa distância para o critério subestações .....	77
Figura 36– Mapa de distância para o critério Unidades de Conservação .....	78
Figura 37 – Mapa de distância para vias de acesso.....	79
Figura 38– Mapa do cenário eco-desenvolvimentista .....	80
Figura 39– Mapa do cenário conservacionista.....	81
Figura 40 – Mapa do cenário equilibrado .....	82

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Impacto ambiental de diferentes fontes de energia .....	24
Quadro 2 – Modelos de estruturas <i>offshore</i> mais comuns .....	35
Quadro 3 – Características dos tipos de fundações .....	36
Quadro 4 – Principais esporões arenosos na Lagoa dos Patos .....	42
Quadro 5 – Escala de relativa importância Saaty .....	49
Quadro 6: Matriz comparativa (supondo que critério 1 domina o critério 2).....	50
Quadro 7: Tipos de anemômetro e suas características .....	55
Quadro 8 – Cidades no entorno da área de estudo.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa da mortalidade entre aves e morcegos, devido a causas .....	26
Tabela 2 – Valores típicos de rugosidade associados a classes de cobertura .....	41
Tabela 3 – Dados técnicos do projeto Ventos do Sul Energia, .....	67

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	IV
<b>RESUMO</b> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VI
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	VII
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	IX
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	X
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1. <i>Área de Estudo</i> .....	13
<b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....	16
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	19
3.1. Objetivo Geral.....	19
3.2. Objetivos específicos.....	19
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
4.1. Panorama da energia eólica no mundo.....	20
4.2. Panorama da energia eólica no Brasil.....	22
4.3. Contribuições e os impactos da energia eólica .....	23
4.3.1. Emissão de poluentes e impactos biológicos .....	23
4.3.2. Impacto sobre os peixes .....	27
4.3.3. Impactos eletromagnéticos e sonoros.....	27
4.3.4. Impacto visual sobre a paisagem .....	29
4.3.5. Vantagens da energia eólica <i>offshore</i> sobre outras matrizes energéticas.....	30
4.4. Sistema <i>offshore</i> .....	32
4.5. Caracterização Ambiental do Corpo Lagunar da Lagoa dos Patos.....	37
4.5.1. Formação Geológica, Relevo e Rugosidade .....	37
4.5.2. Batimetria e Recursos Minerais .....	41
4.5.3. Bacias hidrográficas.....	43
4.5.4. Características das margens e entorno .....	46
4.6. Análise Locacional Multicritério.....	48
4.7. Coleta de dados meteorológicos via sensoriamento remoto .....	51
4.7.1. Dados de vento .....	51
4.7.2. Energia Eólica .....	53
4.7.3. Sensores para coleta de dados de vento .....	54
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	58
5.1. Material Utilizado .....	58

5.1.1.	Base cartográfica.....	58
5.1.2.	Dados de vento obtidos via sensoriamento remoto .....	58
5.1.3.	Softwares utilizados .....	59
5.2.	Descrição das etapas metodológicas .....	59
5.2.1.	Definições dos critérios .....	59
5.2.2.	Tabela de cruzamentos dos critérios de aptidão .....	61
5.2.3.	Tratamento dos dados de vento .....	61
5.2.4.	Geração e/ou compatibilização dos arquivos digitais dos critérios de aptidão e exclusão .....	63
5.2.5.	Aplicação do método AHP.....	66
5.2.6.	Cálculo potencial de geração eólico do corpo da Lagoa dos Patos.....	66
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>69</b>
6.1.	Mapas temáticos dos critérios adotados.....	69
6.1.1.	Mapa para o critério vento.....	69
6.1.2.	Mapa para restrição de aves .....	72
6.1.3.	Mapa para o critério de <i>Densidade Populacional</i> .....	73
6.1.4.	Mapa com critério <i>Hidrovias</i> .....	75
6.1.5.	Mapa de distância para o critério <i>Subestações</i> .....	76
6.1.6.	Mapa de distância para o critério <i>Unidades de Conservação</i> .....	77
6.1.7.	Mapa de distância para o critério <i>vias de acesso</i> .....	78
6.1.8.	Mapas temático dos cenários propostos.....	79
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>83</b>
7.1.	Limitações do Estudo .....	84
7.2.	Recomendações para o seu seguimento .....	85
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>86</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A energia eólica, utilizada a milhares de anos, utiliza a energia contida nas massas de ar para conversão de energia elétrica. As características meteorológicas da região de instalação do parque devem ser observadas garantindo a eficiência energética local (MIYASHIRO, 2013). Em busca de uma geração mais sustentável, no *Protocolo de Quioto* em 1997, muitos países assinaram o tratado para redução da emissão dos gases responsáveis pelo efeito estufa e do aquecimento global, promovendo o uso de energias renováveis (NASCIMENTO, 2012).

Mundialmente, a fonte energética mais utilizada para a produção de energia elétrica é proveniente de fontes fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural), há décadas esse tipo de fonte de energia assume o papel de protagonistas na geração e no fornecimento energético. Mas as fontes não renováveis, além de serem finitas e altamente poluentes, estão concentradas em determinadas regiões do globo, e por isso são motivo de conflitos militares e/ou econômicos entre povos e nações.

Nesse contexto, surgem as chamadas fontes alternativas de energia como soluções locais capazes de suprir as necessidades energéticas globais. Entre as fontes alternativas, a energia eólica é atualmente considerada uma das mais promissoras fontes de energia limpa. A energia derivada dos ventos, além de ser encontrada em abundância na natureza, gera poucos impactos ambientais, não emite poluentes atmosféricos e pode ainda garantir a segurança da matriz energética nacional.

Atualmente o Brasil apresenta uma geração de energia predominantemente hidráulica, onde 67,1% da energia gerada do país é proveniente das hidrelétricas (MME, 2016). Mesmo sendo considerada uma fonte de energia renovável, essa vem se mostrando um sistema muito vulnerável, visto que dependente de uma única matéria-prima que é suscetível às intempéries da natureza (WESCHENFELDER; SCHAEFFER, 2013). O Brasil está apenas começando a explorar o seu potencial eólico com produção da ordem de 300 MW. O Brasil possui um potencial eólico estimado de 143GW (AMARANTE, DA SILVA, 2001), no entanto este valor pode ser ainda maior devido ao aumento das dimensões dos aerogeradores e à possibilidade de exploração do potencial *offshore*.

Nos últimos anos o país vem tentando atingir uma melhor qualidade no suprimento energético através da expansão de parques eólicos, dando incentivos e subsídios ao setor, estimulando a implementação tecnológica e alavancando recursos para fixar a energia eólica como fonte sustentável e confiável, contribuindo desta forma no fornecimento de energia limpa para a matriz energética brasileira. Além disso, a energia eólica pode gerar muitos empregos. Atualmente a Dinamarca emprega mais de 16 mil funcionários no setor eólico (KROHN, 2002; MILLAIS & TESKE, 2005). Além de ser uma energia limpa, os empregos

gerados na produção de eletricidade por meio dos ventos são cerca de 100 vezes maiores do que aqueles gerados por um reator nuclear, para uma mesma quantidade de energia, não produzindo resíduos nucleares (GWEC, 2018).

Assim como a expansão da energia eólica mundial, a expansão eólica nacional depende do apoio governamental. No Brasil, a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA) foi o ponto de partida do setor eólico nacional, através da Lei 10.438, de 26 de abril de 2002, e revisado e ajustado pela Lei no 10.762, de 11 de novembro de 2003 o programa alavancou a energia eólica no país (SALINO, 2011). Somente no ano de 2012, o BNDES financiou cerca de US \$ 1,4 bilhões para parques eólicos (FOLHA DE SÃO PAULO, 2013).

Através do PROINFA o Brasil passou, em pouco mais de 3 anos, de apenas cerca de 22 MW de energia eólica instalada, para 414 MW instalados, e, em breve serão completos os demais MW previstos (PROINFA, 2012). No primeiro semestre de 2017 a produção de energia eólica em operação comercial no Sistema Interligado Nacional (SIN), foi 25,3% maior que à geração no mesmo período do ano passado, segundo dados do boletim mensal divulgado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Ao todo, 446 usinas eólicas estão em operação comercial no país, somando 11,3 GW de capacidade instalada.

O potencial eólico *onshore* (em terra) no Brasil foi estimado em 146 GW (AMARANTE *et al.*, 2001), maior do que a geração total de energia no país, que é atualmente cerca de 113 GW (ANEEL, 2010). Contudo, mesmo que o potencial *onshore* no Brasil seja consideravelmente abundante, apenas uma pequena parcela poderia ser utilizada adequadamente, devido ao relevo, ocupação da terra e impactos ambientais. Por outro lado, o potencial eólico *offshore* (no mar) os ventos não encontram barreiras naturais, não há relevante restrição de área e os impactos ambientais são minimizados. Em vista disso, vários países estão investindo em energia eólica *offshore*. Como por exemplo, o Reino Unido, que possui uma capacidade de geração eólica instalada em ambiente *offshore* de 40 GW (WECC, 2010). No Brasil, somente nas regiões Sul – Sudeste, este potencial é de 215 GW, na faixa entre 0 e 100 metros.

Como a escolha de uma área ideal para a implantação depende de diversos fatores, tais como clima, distâncias de centros urbanos, distâncias de linhas de transmissão, uso do solo, além de outros fatores, é necessário aplicar uma metodologia que permita a integração e o processamento de todos os dados considerados (MOILLOA, 2009).

O dimensionamento num parque eólico deve obedecer a requisitos técnicos e operacionais para seu pleno funcionamento. Modelos computacionais são utilizados para prever e avaliar a potência que pode ser gerada, como também de indicar os melhores locais para instalação das turbinas eólicas (PES, 2009). A análise multicritério é um conjunto de procedimentos que envolvem a utilização de dados espaciais em conjunto com

definições estabelecidas pelo tomador de decisão (MALCZEWSKI, 2004). A análise multicritério é um fator comum na maioria dos estudos realizados para a avaliação da aptidão e/ou viabilidade para instalação de empreendimentos. Isso se deve ao fato de essa metodologia apresentar a capacidade de agregar diferentes critérios em um resultado prático (MOILLOA, 2009).

Pelo histórico das variações de velocidade dos ventos da região da Lagoa dos Patos, a energia eólica produzida estará disponível em média 85%, ao longo dos 365 dias do ano. No cálculo do desempenho foi considerado ainda um fator de disponibilidade de 98%, e uma eficiência de usina (interferência aerodinâmica entre rotores) de 97% e os Fatores de Forma de Weibull (k) locais (GARBE; MELLO; TOMASELLI, 2011).

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo a verificação da viabilidade de instalação de um Parque Eólico na Lagoa dos Patos, localizada no litoral do estado do Rio Grande do Sul, verificando a existência dos critérios de caráter técnico, legal, ambiental e a proximidade com a rede elétrica. O estudo utilizou o sensoriamento remoto como ferramenta para analisar a aptidão da área de estudo. Segundo Pimenta *et al.*, (2008) o sensoriamento remoto é uma ferramenta prática e acurada para a análise do potencial eólico *offshore* de grandes áreas.

### 1.1. ÁREA DE ESTUDO

Segundo Garbe *et al.* (2014) a Lagoa dos Patos (LP) é a maior laguna do Brasil e a segunda maior da América Latina, e está inserida no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Possui uma extensão de 250 km e uma largura média de 60 km, ocupando uma área de aproximadamente 10.360 km<sup>2</sup>, a laguna possui profundidade média de 5 m e fica localizada paralelamente ao Oceano Atlântico (ASMUS, 1998).

O Oceano Atlântico está conectado com o sul da Lagoa dos Patos por um único canal formando uma área estuarina que representa 10% da área total da laguna (MÖLLER E FERNANDES, 2010). O limite médio da entrada de água do mar é a região da Ponta da Feitoria, podendo se estender até a parte norte da laguna ou ficar restrita a desembocadura na Barra do Rio Grande.



**Figura 1– Lagoa dos Patos – Rio Grande do Sul**

**Fonte: Google Earth (2018).**

O clima da região é temperado subtropical úmido, constituído por invernos e verões bem definidos e chuvas bem distribuídas ao longo do ano. O clima da região de estudo apresenta características que permitem classificá-lo como sendo do tipo mesotérmico brando, super úmido e sem estação seca definida, onde a temperatura média anual oscila entre 16 e 20°C e a precipitação pluviométrica anual fica entre 1.000 e 1.500mm (SILVA, 2008). O regime de ventos predominante na região é o de nordeste, associado ao anticiclone sobre o Oceano Atlântico. Porém, no inverno o aumento da frequência de passagem de sistemas frontais provoca um aumento na frequência da ocorrência de ventos do quadrante sul (MÖLLER, 1996).

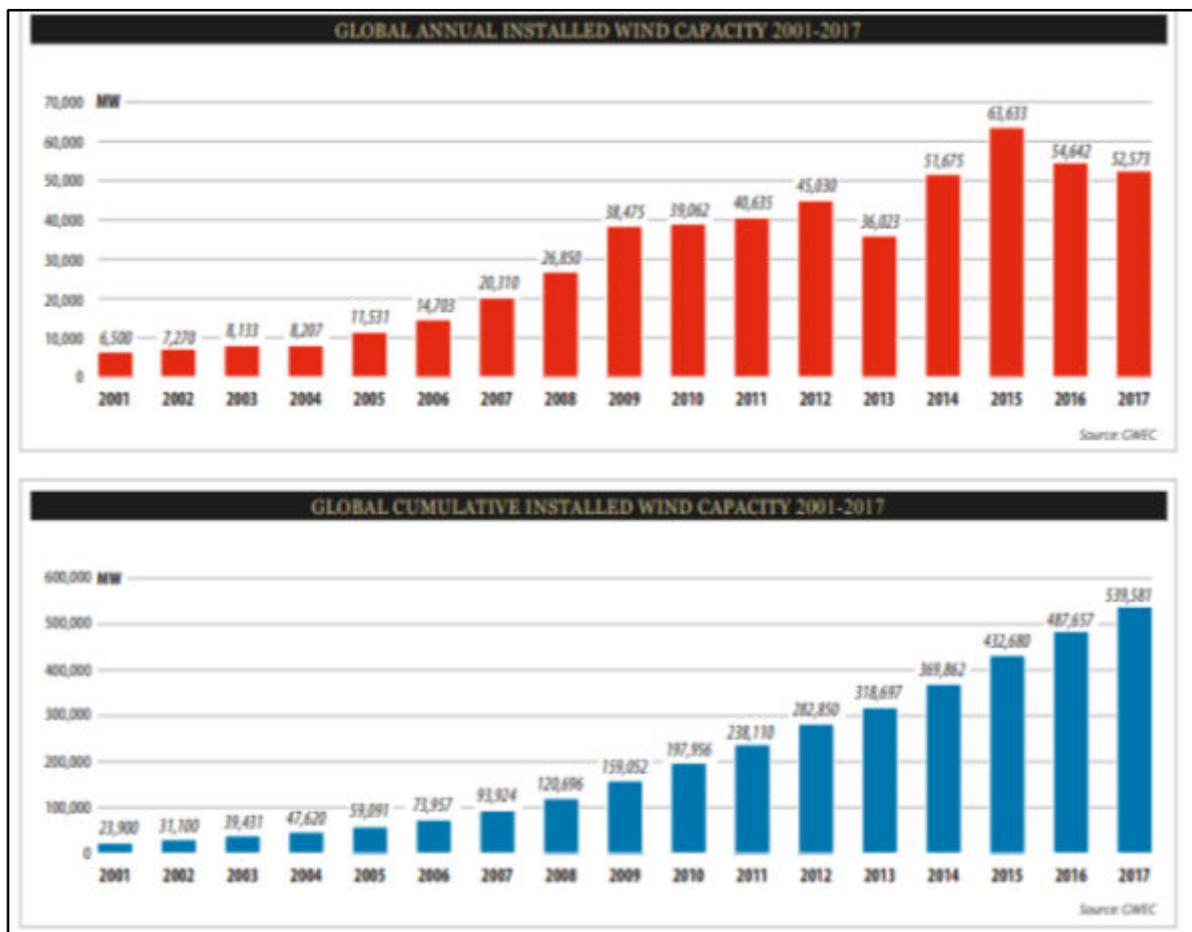
A hidrodinâmica da Lagoa dos Patos é influenciada principalmente pela ação dos ventos e a descarga fluvial dos rios que compõem a sua bacia hidrográfica. O estuário da Lagoa dos Patos possui micro maré principalmente do tipo diurna, com amplitude média de 0,47 m, e o pequeno canal que conecta o estuário com o oceano funciona também como um obstáculo para a corrente de maré, diminuindo o efeito desta no interior da laguna toda (MÖLLER, 2001).

As águas da Lagoa dos Patos são provenientes das bacias do Guaíba, Camaquã e do Canal São Gonçalo (conectado com a Lagoa Mirim), que deságuam pela região norte, central e sul da laguna, respectivamente, correspondendo a uma bacia de drenagem de aproximadamente 201.626 km<sup>2</sup> (ASMUS, 1998).

Sedimentos arenosos predominam das margens da laguna até a isóbata de 5 m e sedimentos lodosos dominam nas partes mais profundas. Cordões arenosos transversais ao eixo da laguna estão presentes acima do nível da água (em média 1 m), dando ao corpo principal uma configuração de múltiplas células (*TOLDO, 1991*). A área de estudo deste trabalho envolve duas unidades da laguna, Enseada de Tapes e o corpo central lagunar. As outras três unidades biológicas (Rio Guaíba, Lagoa do Casamento e estuário) foram excluídas da área de estudo, com intuito de preservá-las já que são áreas com intenso uso e conflitos.

## 2. JUSTIFICATIVA

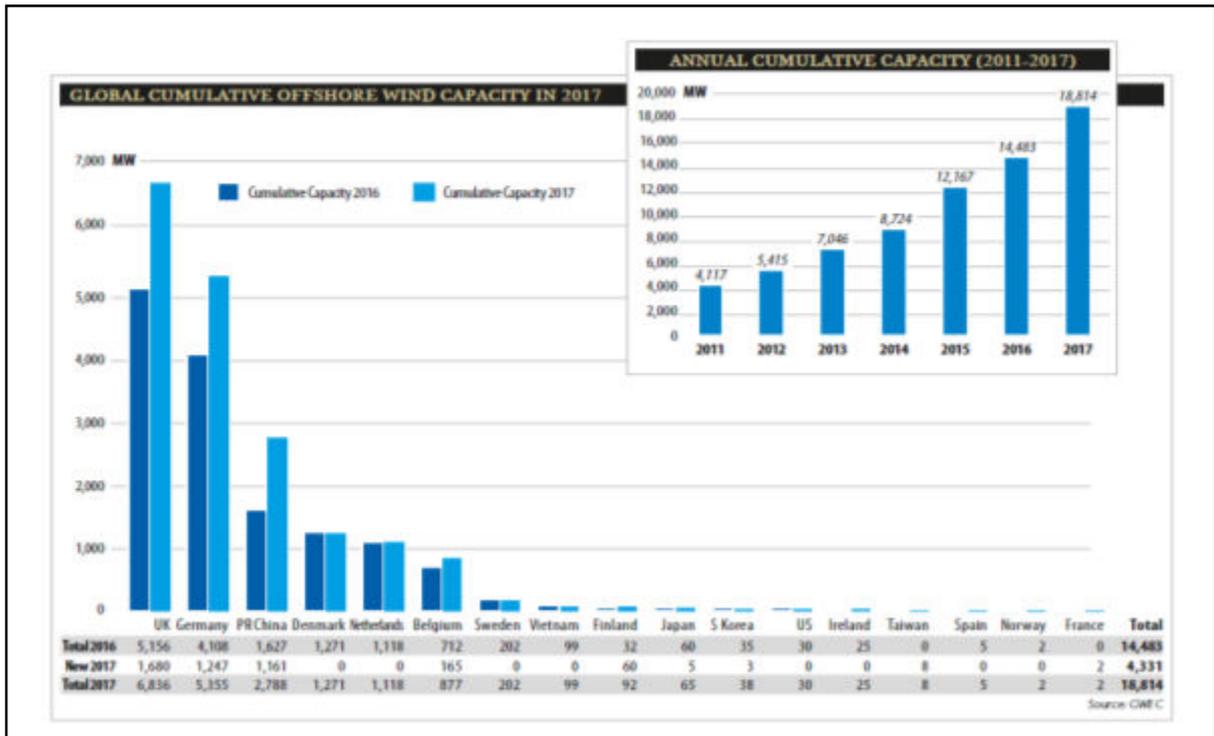
A capacidade eólica *onshore* (em terra) instalada ao redor mundo cresceu rapidamente nas últimas décadas, assim como sua capacidade acumulada. Segundo o Conselho Global de Energia Eólica (*Global Wind Energy Council– GWEC, 2017*), a capacidade instalada global continua elevada e acima de 50 Giga-Watts (GW). Além disso, a capacidade global acumulada de produção de energia eólica continua aumentando, tendo passado de 23 GW em 2001, para 539 GW em 2017(Figura 2). Em 17 anos a capacidade global instalada cresceu 22,6 vezes, que dá uma média de variação anual de 20% ao ano entre 2001 e 2017 (*GWEC, 2017*).



**Figura 2 – Capacidade da energia eólica instalada anual global e a capacidade acumulada, entre 2001 e 2017.**

**Fonte: Gwec, 2017.**

O crescimento referente à energia eólica *offshore* global não é diferente, a capacidade global acumulada de produção de energia eólica continua aumentando, tendo passado de 4GW em 2011, para cerca de 18GW em 2017(Figura 3).



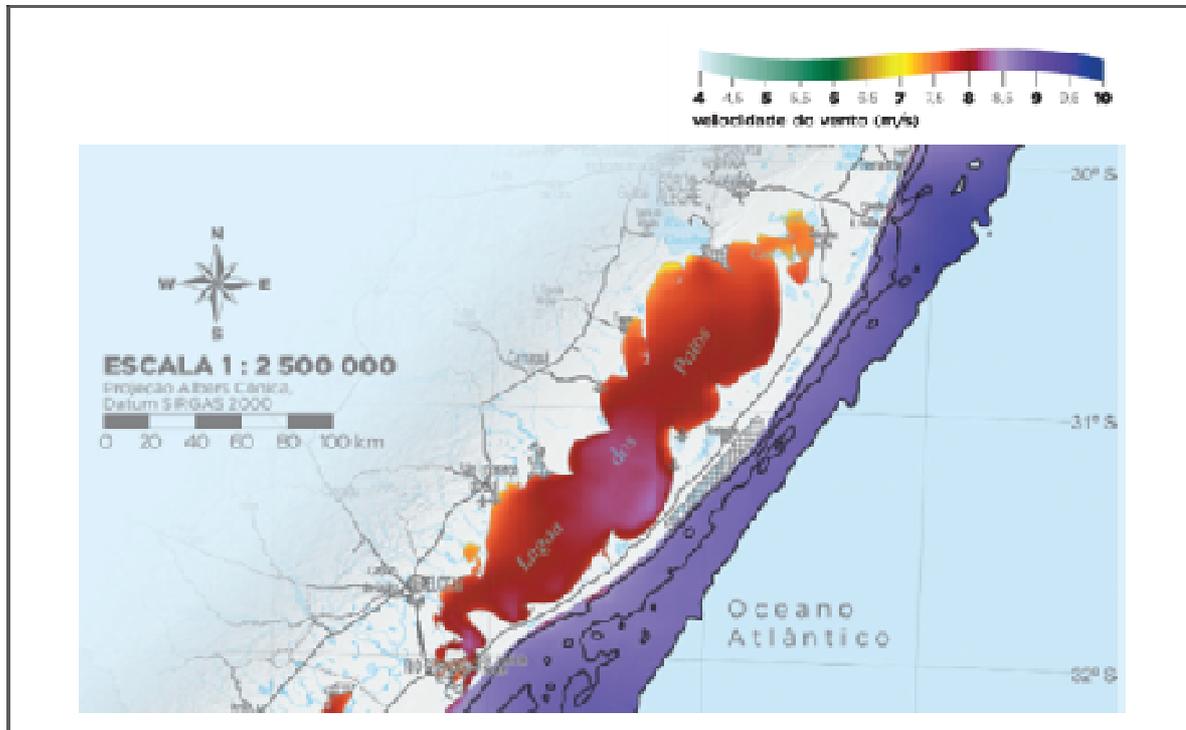
**Figura 3– Capacidade anual acumulada offshore**  
**Fonte: Gwec, 2018.**

Devido às inúmeras vantagens da energia eólica *offshore* (apresentadas mais detalhadamente ao longo do trabalho) muitos países estão investindo nessa fonte energética. No Brasil ainda não se tem parques eólicos *offshore* instalados. Porém, um estudo realizado para costa (Sudeste-Sul) brasileira mostra que a estimativa do potencial eólico *offshore* nesta região, é cerca de 215 GW a 80 m de altura e em uma profundidade entre 0 e 100 m (PIMENT et al., 2008). Sendo que um estudo mais recente realizado por (ORTIZ; KAMPEL, 2011), mostrou que esse potencial pode ser três vezes maior, ou seja, em torno de 600 GW a 80 m de altura e em uma profundidade entre 0 e 100 m para toda a costa brasileira.

Apesar do grande potencial, o Brasil carece de mais estudos sobre a geração eólica *offshore* em suas águas marinhas e lagunares. Um dos fatores que limitam os investimentos em empreendimentos eólicos nas águas brasileiras tem sido exatamente a falta de dados consistentes e confiáveis sobre a viabilidade técnica, ambiental e econômica para esse tipo de projeto.

Segundo mapa eólico do Rio Grande do Sul (2014), a Lagoa dos Patos no Rio Grande do Sul possui 10.144 km<sup>2</sup> e um alto potencial eólico devido os ventos acima de 7m/s. Desenvolvimentos recentes em tecnologias para montagem de parques eólicos sobre águas muito rasas (menos do que 10 m de profundidade) poderão futuramente viabilizar projetos sobre as lagoas do Rio Grande do Sul, de profundidades médias menores do que 7

m. Somente a Lagoa dos Patos possui um potencial eólico estimado em 24 GW, em locais com velocidades maiores que 7,0 m/s, a 100 m de altura (Figura 4).



**Figura 4– Mapa eólico da Lagoa dos Patos**  
**Fonte: Mapa Eólico do Rio Grande do Sul, 2014**

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GERAL**

Definir uma proposta de zoneamento para auxiliar na determinação da implantação de possíveis parques eólicos no corpo Lagunar da Lagoa dos Patos, com base em um modelo de decisão hierárquica computacional com uso de critérios técnicos e socioambientais.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar o potencial energético do corpo Lagunar da Lagoa dos Patos, considerando as restrições de caráter técnico, legal, ambiental, paisagístico e socioeconômico;
- Definir quais critérios são mais relevantes para a instalação de complexos eólicos.
- Criar e ajustar camadas de informação representativas de cada critério relevante para a implantação de parques eólicos (áreas de interesse ambiental, mapa de ventos, subestações, redes e vias de acesso, modelo digital de terreno, hidrovias, cotas batimétricas, pontos de referência, entre outros);
- Gerar um modelo multicriterial hierárquico de viabilidade locacional para parques eólicos para lagoa dos patos.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1. PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

A energia eólica foi a principal fonte de energia renovável na Europa e nos Estados Unidos em 2015 e a segunda maior na China. A produção de energia eólica mundial bateu seu recorde e atingiu cerca de 433 GW no final de 2015, cerca de 7% da capacidade global de geração de energia (Figura 5). As principais fabricantes de turbinas eólicas bateram seu próprio recorde anual e para atender a demanda crescente, novas fábricas foram abertas e começaram a ser construídas no mundo todo. O setor foi o terceiro maior gerador de empregos diretos e indiretos em energia renovável no mundo (Figura 6) (REN21, 2016).

De acordo com o Conselho Global de Energia Eólica (GWEC), cerca de 12% do consumo mundial de energia, será proveniente da geração de energia eólica até 2020, isso representará aproximadamente 3.000 Tera-Watt-hora - TWh (VITERBO, 2008). Dentro dessa expectativa, a energia eólica poderá fornecer mais de 20% da demanda mundial em 2040 (DUTRA, 2001).

O Conselho Europeu de Energia Renovável (*European Renewable Energy Council - EREC*), propõe metas mais audaciosas para o futuro da geração de energia eólica, onde se estima que a geração eólica aumentará para 6 000 Tera-Watts-hora até 2030 e 8 000 Tera-Watts-hora até 2040 (LIGHTING THE WAY, 2012).

O setor *offshore* teve um ano forte, com estimados 3,4 GW conectados a redes, principalmente na Europa, produzindo um total mundial de mais de 12 GW (REN21, 2016). Atualmente, mais de 92% de todas as instalações eólicas *offshore* estão em águas europeias, mas Países como a China, Japão, Coreia do Sul, Taiwan e os EUA começam a investir forte no setor e já mostram que possuem objetivos ainda mais ambiciosos para o futuro da energia eólica *offshore*. Isso será extremamente benéfico para a tecnologia, reduzindo o risco de mercado, aumentando a base de fornecimento e permitindo que as inovações cresçam nesse setor (WORLD ENERGY COUNCIL, 2016).

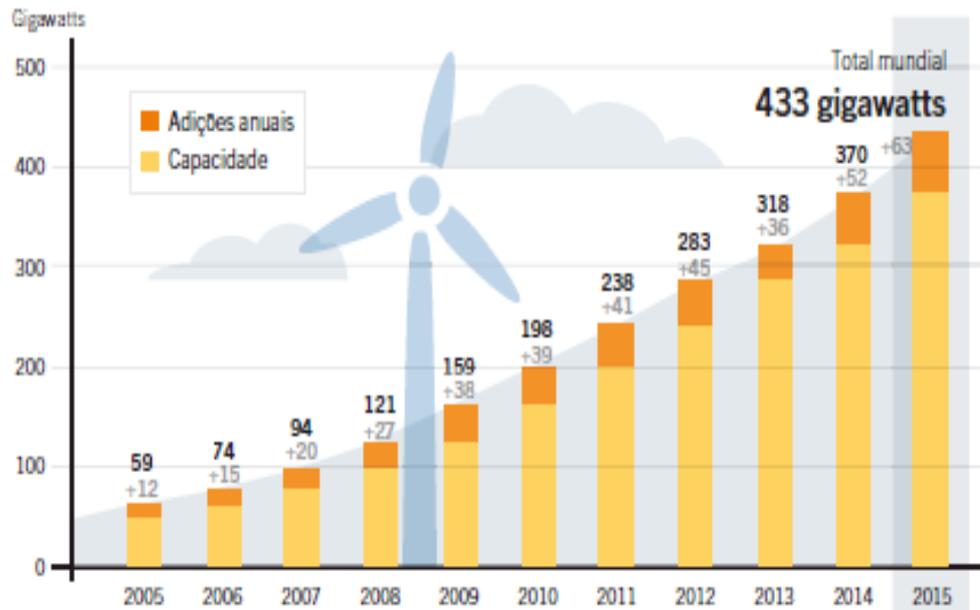


Figura 5: Capacidade mundial e adições anuais de energia eólica

Fonte: Ren21, 2016.

	Mundo	China	Brasil	Estados Unidos	Índia	Japão	Bangladesh	União Europeia		
								Alemanha	França	Resto da UE
<b>MILHARES DE EMPREGOS</b>										
☀ Solar FV	2.772	1.652	4	194	103	377	127	38	21	84
🔥 Biocombustíveis líquidos	1.678	71	821 <sup>f</sup>	277 <sup>f</sup>	35	3		23	35	47
🌬 Energia eólica	1.081	607	41	88	48	6	0,1	149	20	162
☀ Aquecimento/refrigeração solar	939	743	41 <sup>d</sup>	10	75	0,7		10	6	19
🔥 Biomassa sólida <sup>g</sup>	822	241		152 <sup>g</sup>	58			49	48	214
🔥 Biogás	382	209			85		9	48	4	14
🌊 Hidrelétrica (pequena escala) <sup>h</sup>	204	100	12	8	12		5	12	4	31
🌋 Energia geotérmica <sup>h</sup>	160			35		2		17	31	55
☀ CSP	14			4				0,7		5
<b>Total</b>	<b>8.079<sup>a</sup></b>	<b>3.523</b>	<b>918</b>	<b>769</b>	<b>416</b>	<b>388</b>	<b>141</b>	<b>355</b>	<b>170</b>	<b>644<sup>b</sup></b>

Figura 6– Estimativa de empregos diretos e indiretos em energia renovável no mundo, por setor

Fonte: Ren21, 2016.

#### 4.2. PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

A matriz energética brasileira é considerada uma das mais limpas do mundo, onde 67,1% da energia gerada no país é oriunda das fontes hidráulicas. No início do século XXI, o Brasil passou por uma grande seca, que diminuiu o nível das águas em barragens hidrelétricas do país, o que causou uma grave escassez de energia. Essa crise arrasou a economia nacional e como consequência necessitou de um racionamento de energia. Com isso foi possível concluir que o país depende basicamente da gestão dos estoques de água nos seus reservatórios para conseguir superar a alternância entre períodos chuvosos e períodos de seca, aumentando o uso de energia não renovável e de maior custo para o consumidor final (*LUCINDA, 2015*).

A crise energética no Brasil foi o resultado da combinação da falta de investimentos na geração e na transmissão de energia elétrica com uma estiagem prolongada, que reduziu drasticamente os níveis dos principais reservatórios de água no país. Para contornar a falta de estabilidade energética, políticas públicas buscaram investir na diversificação da matriz energética brasileira (*OLIVEIRA, 2016*).

Foi então que veio o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), que se traduziu pela intervenção no mercado de energia alternativa, por meio da inserção de um modelo de regulação de preços, baseado no modelo alemão de apoio a energia eólica. Entre os objetivos do programa estava a viabilidade da implantação de 1.050 *Mega-Watts* (MW) de potência de base eólica até dezembro de 2003, integrando-a ao Sistema Interligado Nacional (SIN), promover o uso da energia eólica como modelo alternativo para o desenvolvimento, não apenas na esfera energética, mas considerando as esferas econômica, social e ambiental. Além de aproveitar a complementaridade sazonal do regime eólico em relação ao hidrológico (*WACHSMANN et al., 2003*).

Posteriormente foi estabelecido o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) instituído no Brasil em 2002, através da lei nº 10.438, tinha como objetivo aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos com base em fontes renováveis de energia em especial a eólica. O intuito é promover a diversificação da matriz energética brasileira e a valorização das características e potencialidades regionais e locais.

Em 2016, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) ficou em 619,7 TWh. Aonde as fontes renováveis chegaram a 81,7% de participação na matriz de OIEE, entre as fontes renováveis que merecem destaque está a energia eólica que aumentou sua oferta para 54,9%, energia solar 44,7% e nuclear 7,7%. As ofertas por óleo fóssil, gás natural e carvão mineral recuaram 52,8%, 28,9% e 9,8%, respectivamente. Entre as energias renováveis a geração hidráulica continua tendo maior participação na matriz energética brasileira, ficando

com 67,1% na estrutura da OIEE (64% em 2015, 65,2% em 2014 e 70,6% em 2013) (MME, 2016).

De acordo com relatório do Ministério das Minas e Energia de 2016, já é possível observar que apesar da fonte de energia hidráulica ainda ser dominante perante as outras fontes de energia renováveis, essa vem diminuindo sua participação ao longo dos anos e outras formas de fonte energética começam a se destacar no país, como por exemplo a fonte de energia eólica.

No Brasil, a geração de energia oriunda dos ventos ainda é pequena quando comparada aos Países líderes em geração eólica. Porém, o Brasil é considerado o país mais promissor em termos de produção de energia eólica. A perspectiva é de que a capacidade instalada no país aumente 63,4 GW em torno de dez anos. Onde as regiões do País com o maior potencial eólico estão na região Nordeste, Sudeste e Sul (WESS, 2014).

### **4.3. CONTRIBUIÇÕES E OS IMPACTOS DA ENERGIA EÓLICA**

A energia eólica, assim como outras fontes de energia, apresenta impactos tanto positivos quanto negativos. Em relação aos seus impactos positivos, a geração de energia elétrica através dos ventos não emite poluentes atmosféricos, não produzem resíduos e por isso é considerada uma fonte de energia limpa em relação à emissão de gases, especialmente quando comparada com outras fontes energéticas. Já os principais pontos negativos são: impacto visual, impacto eletromagnético, impacto sonoro e danos à fauna (MANWELL *et al.*, 2009).

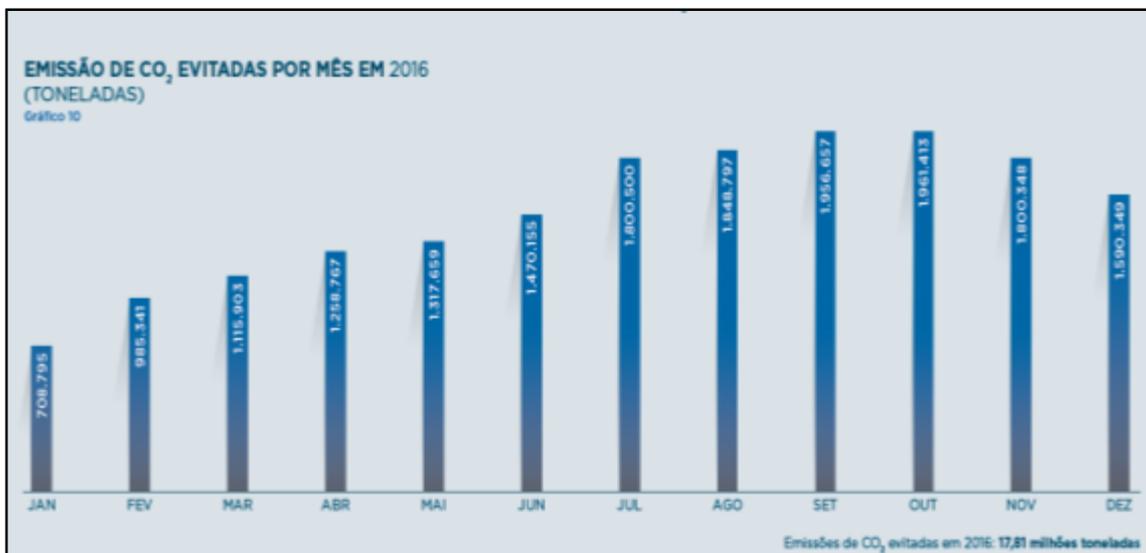
#### **4.3.1. Emissão de poluentes e impactos biológicos**

A energia eólica é uma fonte de energia limpa e renovável. Essa fonte energética inesgotável, que depende apenas de um recurso natural, o vento, traz muitas vantagens para a qualidade ambiental do sistema energético, já que não gera resíduos nem emite gases poluentes, comparando com outras fontes energéticas (Quadro 1). Assim, a geração de energia eólica no Brasil evitou a emissão de 17,81 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> no ano de 2016 (Figura 7), o equivalente à emissão anual de cerca de 12 milhões de automóveis (ABEEÓLICA, 2016).

**Quadro 1– Impacto ambiental de diferentes fontes de energia**

<b>Impacto</b>	<b>Eólica</b>	<b>Nuclear</b>	<b>Carvão</b>	<b>Gás Natural</b>
Emissão de gases de efeito estufa	Não	Não	Sim	Sim
Poluição do ar	Não	Não	Sim	Limitada
Mercúrio	Não	Não	Sim	Não
Mineração/Extração	Não	Sim	Sim	Sim
Resíduo sólido	Não	Sim	Sim	Não
Uso de água	Não	Sim	Sim	Sim
Impacto no habitat	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: American Wind Energy Association, 2009.



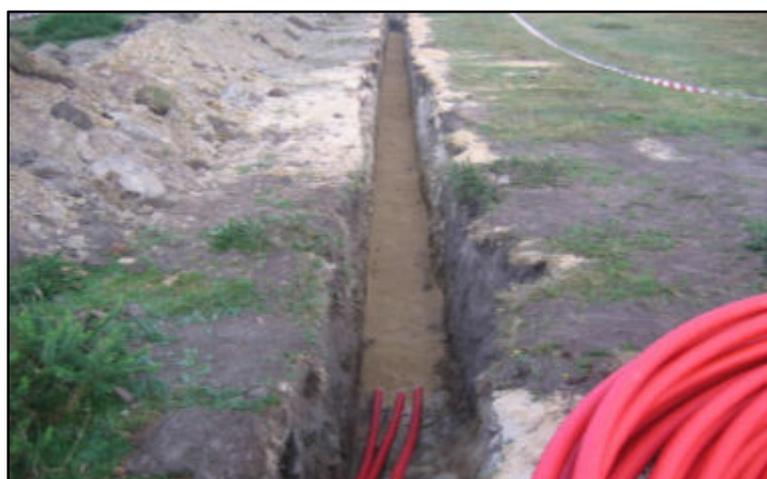
**Figura 7– Emissão de CO2 evitadas por mês em 2016(toneladas)**  
Fonte: Aneel/Mcti/Abreeólica, 2016.

Um parque eólico tende a ser construído afastado de zonas habitadas, esse afastamento implica na criação de acessos (Figura 8), que é fundamental devido à necessidade de movimentar um grande número de equipamentos e todos os componentes de um aerogerador, porém tais vias podem causar impactos ambientais nos habitats naturais como por exemplo, o aterramento de pequenos banhados ou interromper os fluxos de drenagem de pequenos arroios (WEISS *et al.*, 2017).



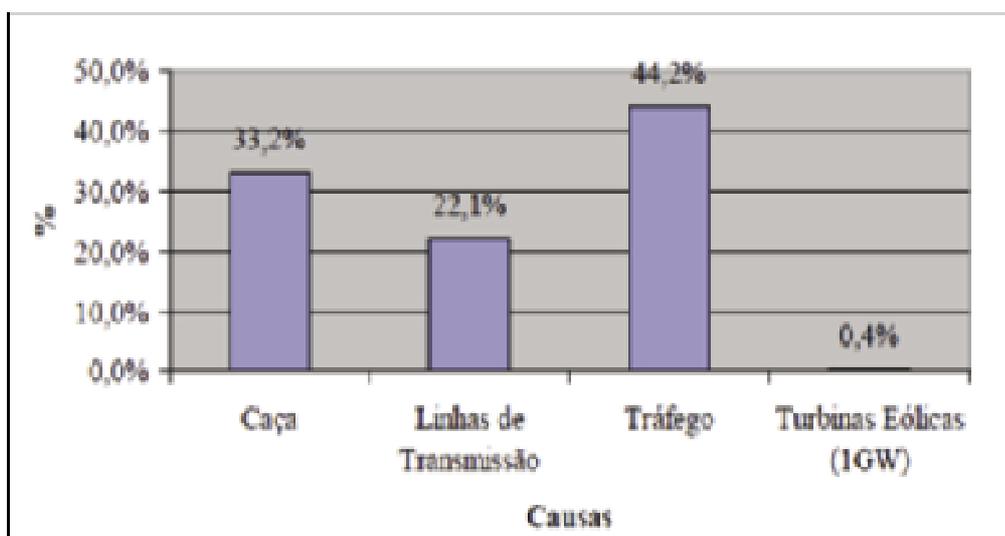
**Figura 8 – Acesso construído para Parque Eólico em Rymanów**  
**Fonte: Cjrwind, 2014c.**

Além disso, a abertura de valas também pode causar danos aos habitats naturais. A abertura de valas é criada para colocar diversos tipos de cabo, como por exemplo os cabos que ligam as turbinas à subestação (Figura 9). As valas são úteis pois acabam diminuindo o impacto visual causado pelo parque eólico, evitando a existência de diversos cabos em linhas aéreas (PINHO 2008). Mas, uma vez estabelecidos (Acessos e valas), tendem a serem mantidos para assegurar a manutenção dos equipamentos.



**Figura 9– Abertura de Vala para passagem de cabos**  
**Fonte: Miceli, 2012**

Uma das maiores preocupações em relação aos impactos negativos proveniente dos parques eólicos é com a avi-fauna, as quais podem vir a colidir com os aerogeradores, levando a morte. Porém, (BOURILLON, 1999) apresenta estudo que revela alguns impactos diretos e indiretos sobre as aves, o resultado do estudo revela que o tráfego de veículos nos países baixos, mata 100 vezes mais aves do que uma usina eólica de 1GW(Figura 10).



**Figura 10 – Gráfico da estimativa de mortes anuais de pássaros nos Países Baixos**  
**Fonte: Bourillion, 1999.**

Existem outros estudos que desmistificam essa problemática ambiental relacionada às usinas eólicas, como por exemplo, a pesquisa realizada por (ERICKSON *et al.*, 2005), que estima que cerca 1bilhão de aves e morcegos morrem anualmente nos EUA devido a causas antrópicas. A pesquisa revela que o maior vetor das mortes de aves e morcegos são causados por edifícios (58,2%), seguida das linhas de transmissão (13,7%), e menos de 0,01% das mortes anuais de aves e morcegos nos EUA são causadas por turbinas eólicas (Tabela 1).

**Tabela 1– Estimativa da mortalidade entre aves e morcegos, devido a causas antrópicas nos EUA**

Causa da mortalidade	Mortalidade anual estimada (aves/morcegos)	Porcentagem geral
Edifícios	550 milhões	58,2
Linhas de transmissão	130 milhões	13,7
Gatos	100 milhões	10,6
Automóveis(veículos)	80 milhões	8,5
Pesticidas	67 milhões	7,1
Torres de Comunicação	4,5 milhões	0,5
Turbinas eólicas	28,5 mil	<0,01
Aviões	25 mil	<0,01
Outras Fontes	Não calculado	Não calculado
<b>Total</b>	<b>931.554</b>	<b>98,62</b>

**Fonte: ERIKSON *et al.*, 2005.**

As primeiras instalações de parques eólicos trouxeram essa repercussão negativa para esse tipo de empreendimento, já que as primeiras usinas eólicas não exigiam estudos de rotas migratórias para serem instaladas. Atualmente são realizados estudos referentes a rota de aves que antecede a instalação do parque eólico. Além disso, alguns empreendimentos já contam com tecnologia que emana estímulos visuais e auditivos nas torres eólicas, evitando a colisão das aves (COSTA *et al.*, 2009).

#### 4.3.2. Impacto sobre os peixes

Segundo (World Wide Fund for Nature, 2014), os parques eólicos *offshore* podem ter impactos negativos e positivos para os peixes. Entre os impactos negativos está o deslocamento dos animais, devido ao ruído operacional durante a construção, perturbação oriunda da sedimentação, mudanças de habitat, onde os efeitos decorrentes do campo eletromagnético podem acabar evitando ou até mesmo atraindo os peixes. Por outro lado, vários estudos também apontaram os potenciais impactos positivos dos parques eólicos *offshore* para os peixes. Estes incluem uma maior produtividade biológica e uma melhor conectividade ecológica em função da exclusão de arrasto e do funcionamento das estruturas eólicas *offshore* como recifes artificiais.

A experiência dos parques eólicos Vindeby (Dinamarca) e Ljsselmeer (Holanda) sugere que eles tiveram um efeito positivo nas populações de peixes. Ambos os parques eólicos têm fundação tipo base de gravidade, que atuam como recifes artificiais para os organismos que vivem no fundo mar, aumentando assim a quantidade de alimento disponível para peixes. As fundações monopilares serão menos efetivas como recifes artificiais e, portanto, algumas conclusões podem ser extraídas da experiência desses dois projetos (FERNÁNDEZ, 2010).

#### 4.3.3. Impactos eletromagnéticos e sonoros

Com os desenvolvimentos em larga escala da energia eólica *offshore*, o número de cabos elétricos subaquáticos cresce com as várias tecnologias aplicadas. Um parque eólico está associado a diferentes tipos de cabos usados para transmissões intra-turbina, da matriz para o transformador e do transformador para costa. À medida que as correntes elétricas em cabos submarinos causam os chamados campos eletromagnéticos, há uma preocupação de como eles podem influenciar na vida marinha.

Conforme a literatura decorre alguns pontos importantes e que são relevantes para o estudo da energia eólica (FADIGAS, 2011, p.254).

- Interação da fauna com os aerogeradores;
- Impacto visual dos aerogeradores;
- Ruídos provocados pelos aerogeradores;
- Efeitos de interferência eletromagnética;
- Impactos no uso da terra.

As interferências eletromagnéticas (EMI), são distúrbios eletromagnéticos que interrompem ou obstruem a performance de dispositivos eletrônicos e elétricos. As turbinas eólicas, se localizadas entre dispositivos emissores de ondas eletromagnéticas e o receptor do sinal, podem ter impactos negativos em vários sinais importantes para as atividades humanas, como televisão, rádio, sistemas de transmissão por microondas, telefones celulares e radar (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2007).

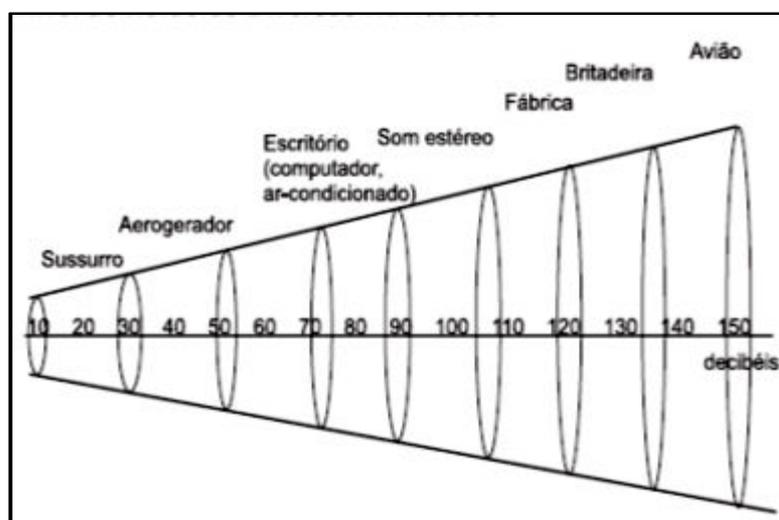
Assim, os principais impactos destas descargas serão ecológicos, com possíveis distúrbios nas populações de peixes de água doce. Contudo, e de acordo com as simulações realizadas, serão muito baixos e até desprezíveis. Da mesma forma, estimou-se um valor baixo de 0,001 mECU95/kWh (ABREU, 2006). Mesmo que os estudos tenham demonstrado que o campo magnético pode afetar os peixes, existem evidências limitadas de que os peixes são influenciados pelo campo eletromagnético que os cabos subaquáticos dos aerogeradores geram.

Estes estudos vêm demonstrando que existem espécies de peixes que são sensíveis ao magneto, e esses utilizam informações do campo geomagnético para fins de orientação. Isto implica que, se o campo geomagnético for alterado localmente, poderia influenciar padrões espaciais em peixes. Há também aspectos fisiológicos a considerar, especialmente para espécies que estão menos inclinadas a se mover, uma vez que a exposição pode ser persistente em uma área específica.

Além disso, pouco se sabe sobre o efeito dos ruídos subaquáticos e das vibrações na vida marinha. As informações disponíveis sugerem que o ruído subaquático gerado pelos parques eólicos *offshore* está na mesma faixa de frequência que as fontes já existentes, como embarcações de transporte, vento e ondas. Além do mais, é importante destacar que o projeto de uma turbina e estrutura de suporte *offshore* é impulsionado pelo objetivo primordial de evitar ressonância, a fim de prolongar a vida útil da turbina (FERNÁNDEZ, 2010).

A intensidade do ruído depende muito do modelo dos equipamentos e da localização do parque. Muitos fabricantes alegam que parte do ruído que se ouve nesse tipo de usina é causado pelo próprio zumbido dos ventos e não pelos aerogeradores. Os equipamentos modernos apresentam motores mais silenciosos e pás com aerodinâmica especialmente projetada para reduzir o som gerado pelo “corte” do vento pela pá em seu movimento de

rotação. De acordo com estudo, a uma distância de 350 metros da turbina, o ruído é de aproximadamente 35 a 45 decibéis, isto é, mais baixo que aquele presente em um ambiente de escritório (Figura 11)(COSTA *et al.*, 2009).



**Figura 11– Nível de ruídos de diferentes atividades**  
**Fonte: COSTA, 2009**

#### 4.3.4. Impacto visual sobre a paisagem

O impacto visual e estético relacionado a áreas públicas e turísticas é um dos principais fatores a serem levados em conta na implantação de um parque eólico (MOLNAROVA *et al.*, 2012). Dentro deste contexto, Gipe (1995) afirma que a maior objeção para à construção de parques eólicos são os possíveis impactos causados pelas turbinas geradoras de energia nas funções estéticas da paisagem. E, paradoxalmente, embora estes empreendimentos denotem uma considerável preocupação ambiental, surge o questionamento sobre possíveis impactos em virtude do impacto visual causado pelas turbinas geradoras, sobretudo ao considerar a noção de qualidade da paisagem (LOTHIAN, 2008).

Impactos visuais podem ser previstos e evitados através de um estudo de implantação cuidadoso, evitando efeitos de sombras, que podem incomodar mais do que os efeitos acústicos (EUREC Agency, 2002). Por exemplo, pintar os aerogeradores com as cores da paisagem é uma boa solução para minimizar o impacto visual.

Os impactos visuais são decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores, principalmente no caso de centrais eólicas com um número considerável de turbinas, também conhecidas como parque eólico (SOUZA *et al.*, 2015). A indústria de energia eólica *onshore* desenvolveu três sofisticadas ferramentas para avaliação qualitativa e quantitativa do impacto visual. Entre essas:

1°- Mapeamento da zona de influência visual (ZIV), para mostrar quantas turbinas são visíveis a partir daquela localização e quão dominante os aerogeradores parecem ser.

2°- Técnicas de fotomontagem que colocam imagens das turbinas geradas por computadores em uma imagem fotográfica da paisagem.

3°- Animações, que mostram o movimento das turbinas sobreposto na paisagem.

De acordo com (IZAGUIRRE, 2010), estas ferramentas podem ser adaptadas para parques eólicos *offshore*.

É enfatizado que os benefícios econômicos gerados pela implantação das fazendas eólicas muitas vezes são cruciais para amenizar potenciais atitudes ou percepções negativas em relação à tecnologia (EWEA, 2004 *apud* CORREA, 2015). Além disso, a paisagem modificada pelas fazendas eólicas traz a possibilidade de atrair turistas, o que é um fator de geração de emprego e renda.

Atualmente, citam-se como os impactos socioambientais mais graves durante a implantação de parques eólicos aqueles relacionados à qualidade e estética da paisagem, emissão de ruídos, alterações na dinâmica de aves e vida selvagem, formas de ocupação e manejo do território, sombreamento e interferência eletromagnética (KATSAPRAKAKIS, 2012).

Estudos realizados no Brasil e no exterior (ESSLEMONT; MOCCORMICK, 1996; WINDS ENERGY, 2012 e EUREC AGENCY, 2002), argumentam que o impacto visual dos parques eólicos pode ser positivo no primeiro momento, já que os parques eólicos estão associados a uma energia limpa, mas também pode ser negativo, se não forem tomadas as medidas adequadas para a instalação das torres, estes estudos revelaram também, que ao longo do tempo pode haver mudança na percepção e interferência na qualidade da paisagem.

#### **4.3.5. Vantagens da energia eólica *offshore* sobre outras matrizes energéticas**

De acordo com (PORTELLA, 2007), a energia eólica *offshore*, apresenta certas vantagens em relação a outras fontes de energia, devido as suas características e condições, das quais podemos destacar:

- Melhor condição dos ventos;
- Menor impacto visual e sonoro;
- Menor risco de falha por fadiga;
- Vasta disponibilidade, e podendo ser aproveitada em grandes áreas;
- Menor restrição ao tamanho das turbinas, podendo usar turbinas de grandes dimensões;
- Possibilidade de instalação próxima aos grandes centros consumidores;

- Baixo impacto ambiental.

A principal vantagem para o sistema *offshore* é a velocidade superior do vento verificada no mar, cuja média pode atingir valores bem acima dos 8 m/s a uma altura de 60 metros. Além disso, um parque eólico localizado no mar reduz o impacto na paisagem e muitos dos projetos em desenvolvimento não são sequer visíveis da costa (EWEA, Greenpeace, 2005).

A energia eólica assume especial importância na região Nordeste brasileira, não só por ser considerada como das mais privilegiadas do Mundo em recursos eólicos, como também por sua complementaridade com a energia de proveniência hidroelétrica, pois a estação do ano mais seca (junho a dezembro) coincide com a de maior potencial eólico, permitindo uma gestão mais eficiente do nível das águas nas represas, permitindo poupar os níveis dos reservatórios em épocas de pouca chuva (ANEEL, 2008).

Além disso, o potencial da energia eólica no Brasil é mais intenso nos meses que a intensidade das chuvas é menor, ou seja, os meses que o vento tem maior intensidade é exatamente os meses que chove menos (Figura 12). Silva (2011) investigou a variabilidade interanual e sazonal do vento à superfície na área litorânea do Nordeste do Brasil. Detectou também que nos meses menos chuvosos as intensidades dos ventos são maiores potencializando a atuação da energia eólica.

Durante esse período pode-se preservar as bacias hidrográficas brasileiras, fechando ou minimizando o uso das hidrelétricas. Isso torna a energia eólica uma fonte suplementar à energia oriunda das hidrelétricas, a maior fonte de energia elétrica do país.

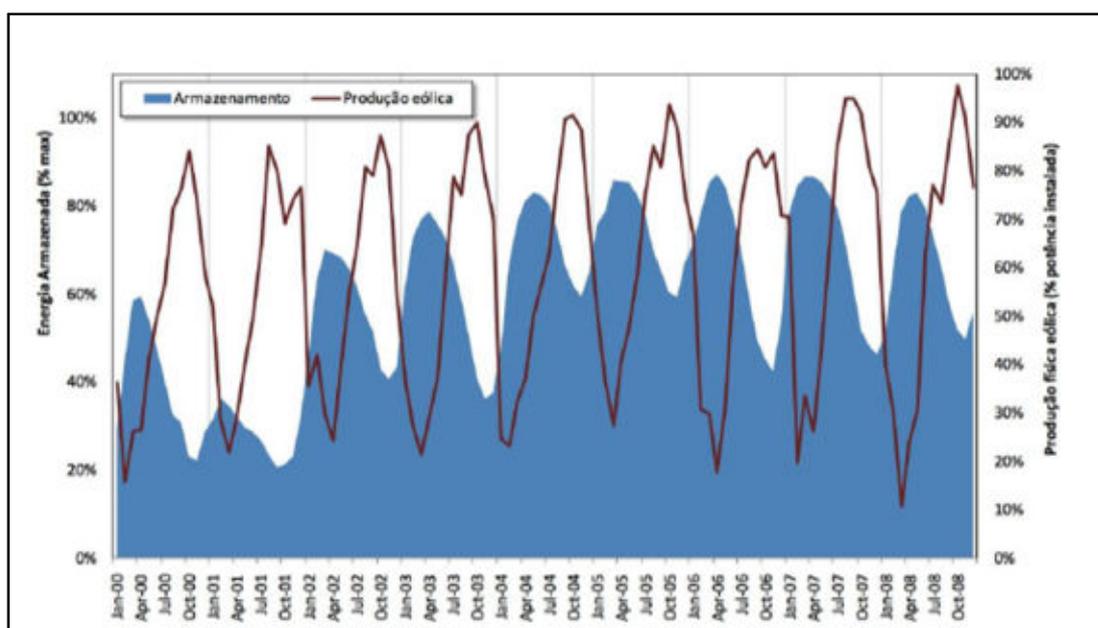


Figura 12– Armazenamento da hidrelétrica do Rio São Francisco e potencial eólico  
Fonte: MORELLI, 2012.

Essa complementaridade entre as duas fontes renováveis é um elemento importante para expansão de parques eólicos no país. Atualmente um bom sistema de planejamento energético é fundamental e necessário para o Brasil, trazendo assim mais estabilidade e credibilidade para o sistema energético brasileiro (MORELLI, 2012). Segundo HINRICHS e KLEINBACH (2003), outros fatores que tornam a energia eólica promissora em relação às outras matrizes energéticas:

- Não emitem gases de efeito estufa;
- Independência da variação dos preços de combustíveis;
- Criação de novos empregos especializados (na Alemanha, o mercado criado em torno da energia eólica já emprega mais pessoas do que o da indústria automobilística).

#### 4.4. SISTEMA OFFSHORE

As principais estruturas que compõem um aerogerador *Offshore* (PORTELLA, 2007):

- **Rotor:** é o componente que efetua a transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação. No rotor são fixadas as pás ou hélices da turbina. Todo o conjunto é conectado a um eixo que transmite a rotação das pás para o gerador, muitas vezes, através de uma caixa multiplicadora.
- **Nacele:** é o compartimento instalado no alto da torre e que abriga todo o mecanismo do gerador, o qual pode incluir: caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico, sistema hidráulico.
- **Torre:** é o elemento que sustenta o rotor e a *nacele* na altura adequada ao funcionamento da turbina eólica.
- **Caixa de transmissão:** é o mecanismo que transmite a energia mecânica do eixo do rotor ao eixo do gerador.
- **Pás do rotor:** captam o vento e convertem sua potência ao centro do rotor.
- **Anemômetro:** mede a intensidade, a velocidade e a direção do vento. Esses dados são lidos pelo sistema de controle, que garante o posicionamento mais adequado para a turbina (Figura 13)

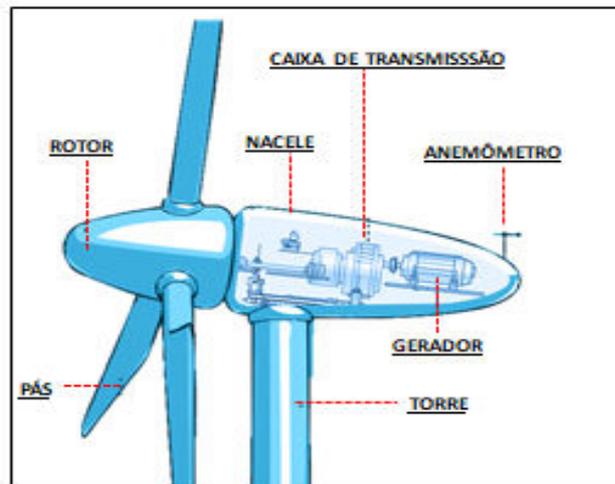


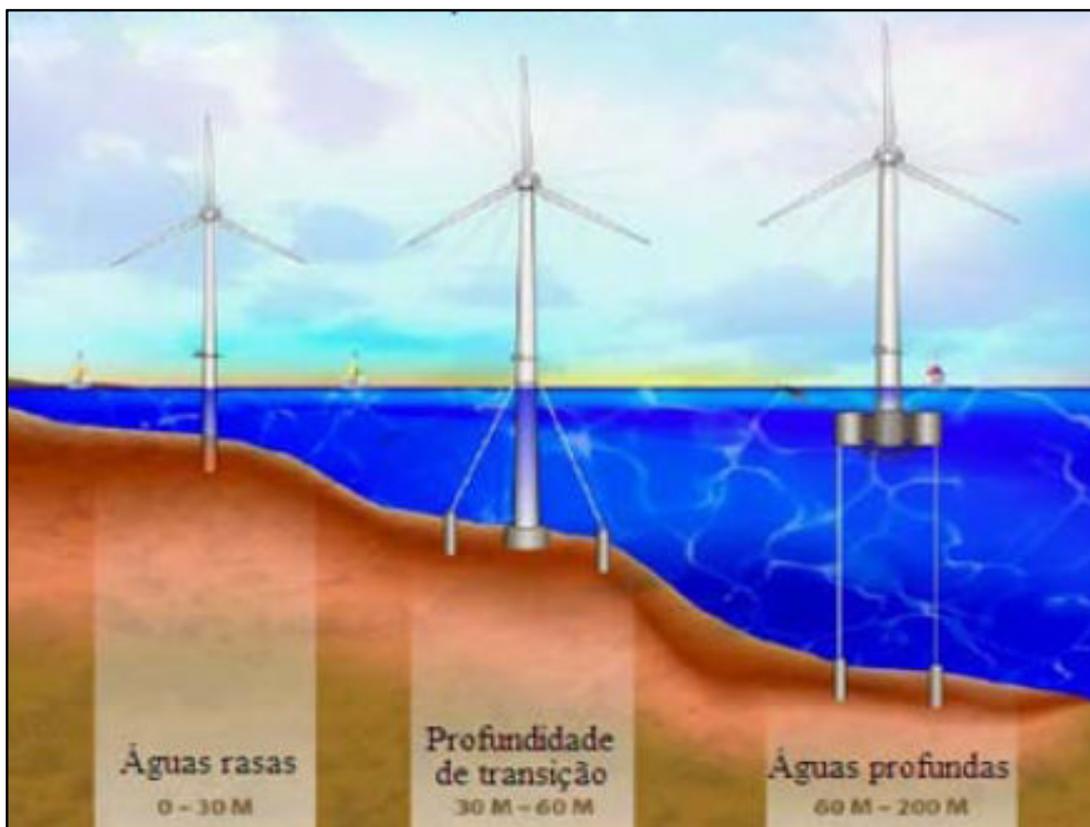
Figura 13 – Estrutura simplificada da parte superior do aerogerador  
Fonte: o AUTOR.

- **Estrutura de Suporte**:situando-se entre a torre que integra a turbina e a respectiva fundação. Existem vários tipos de estrutura no mercado.
- **Fundação**: é a base que fica em contato com o solo ou que mantém a estrutura de suporte na parte inferior do fundo oceânico. Porém em muitos locais, a estrutura de suporte também é considerada como uma parte integrante da fundação (Figura 14).



Figura 14: Estrutura da parte inferior do aerogerador *Offshore*  
Fonte: 4COFFSHORE, 2017.

A parte superior de um aerogerador *onshore* se assemelha muito a estrutura de um *offshore*, porém uma das principais diferenças de uma torre eólica *offshore* para uma torre eólica *onshore* está na parte inferior, ou seja, no sistema de fixação das torres. No caso *offshore* os sistemas de fixação são variados e dependem de muitos fatores, como por exemplo, a batimetria, características do relevo submerso, custos, riscos técnicos entre outros (BRANDÃO, 2017). Atualmente as estruturas *offshore* podem ser divididas em dois grupos: as fixadas diretamente no fundo do mar (ou lagoa) e as flutuantes, fixadas por cabos (Figura 15) (TRAPP, 2009).



**Figura 15: Tipos de fundações mais utilizados**  
Fonte: Trapp, 2009.

O Quadro 2 demonstra modelos de estruturas de suporte e suas respectivas características.

**Quadro 2–Modelos de estruturas *offshore* mais comuns**

<b>ESTRUTURA DE SUPORTE</b>	<b>PROFUNDIDADE</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Monopile	Águas rasas e medianas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atualmente é a estrutura mais usada;</li> <li>• Estrutura de suporte mais leve no setor <i>offshore</i>;</li> <li>• Feita de tubo de aço;</li> <li>• Forma cilíndrica;</li> <li>• Instalada usando método de condução e/ou perfuração;</li> <li>• Peça de transição encapsulada em direção ao topo do pilar.</li> </ul>
Gravity Base	Águas rasas e medianas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esse tipo de estrutura é a segunda mais utilizada;</li> <li>• Feita de aço ou concreto;</li> <li>• O solo marinho pode precisar de alguma preparação;</li> <li>• Suscetíveis à erosão e infiltrações devido ao tamanho.</li> </ul>
Tripile	Águas medianas e profundas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feita de tubos de aço soldados;</li> <li>• Estrutura é constituída por três estacas cilíndricas em aço;</li> <li>• Peça de transição incorporada em direção ao centro da coluna;</li> <li>• Ancorado por pilares de condução ou perfurados.</li> </ul>
Jacket	Águas medianas e profundas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feita de tubos de aço soldados;</li> <li>• Ancorada por pilares de condução ou perfurados.</li> </ul>
Flutuantes	Águas de grandes profundidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esse tipo de estrutura ainda esta em desenvolvimento;</li> <li>• Essa estrutura flutuante é elaborada para resistir ao tombamento;</li> <li>• Não são afetados pelas condições do fundo do mar.</li> </ul>

**Fonte: European Wind Energy Association, 2009.**

Hoje em dia a maioria dos projetos de energia eólica *offshore* estão em águas rasas, entre 5 e 18 m. A (Figura 16) ilustra os modelos de fundações mais utilizados em águas de pouca profundidade (MUSICAL, 2006). Porém o tipo de fundação utilizada depende do terreno assentado, para que a fixação da turbina eólica seja correta e estável. E o Quadro 3 exemplifica as características dos três modelos de fundação.



**Figura 16 – Tipos de fundações para águas rasas**  
**Fonte: MUSICAL, 2006.**

**Quadro 3– Características dos tipos de fundações**

<b>TIPOS DE FUNDAÇÃO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
ESTACAS/ MONOPILAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de fundação mais utilizada, por ser mais simples de construir e de instalar (MUSIAL&amp; BUTTERFIELD, 2006).</li> <li>- O tubo de aço insere-se no fundo oceânico (DNV, 2007).</li> <li>- Ideal para águas com profundidades até 25m (DNV, 2007).</li> </ul>
BASE DE GRAVIDADE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esta fundação se apóia sobre a superfície do solo marinho (BERTUZZI, 2013).</li> <li>- Não é necessário recorrer a métodos de perfuração para se manter fixa no solo (BERTUZZI, 2013).</li> <li>- Ideal para águas com profundidades até 30m (Brandão).</li> </ul>
BALDE DE SUCÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esse tipo de fundação ainda não foi usada como uma alternativa para águas rasas, porem vem sendo muito estudada e alguns estudiosos já apontam esse tipo de fundação como promissora para águas rasas (MUSIAL&amp; BUTTERFIELD, 2006).</li> </ul>

**Fonte: MUSICAL, 2006.**

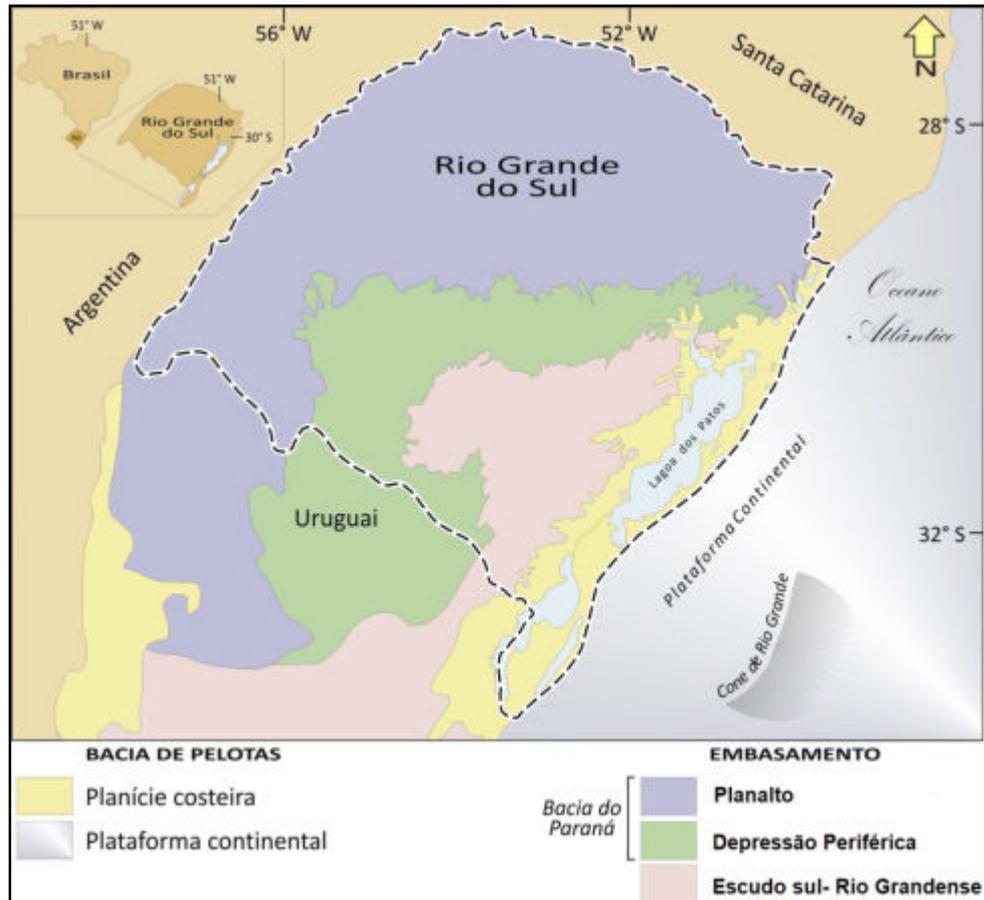
## **4.5. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO CORPO LAGUNAR DA LAGOA DOS PATOS**

### **4.5.1. Formação Geológica, Relevo e Rugosidade**

A Lagoa dos Patos está inserida na Planície Costeira do Estado do Rio Grande do Sul (PCRS). A PCRS é constituída por dois grandes elementos geológicos: o Embasamento e a Bacia de Pelotas. O Embasamento é constituído pelo complexo cristalino pré-cambriano e pelas sequências sedimentares e vulcânicas, paleozoicas e mesozoicas da Bacia do Paraná, a Bacia de Pelotas teve sua origem relacionada com os movimentos tectônicos que, a partir do Cretáceo, conduziram à abertura do oceano Atlântico Sul. De um modo geral, os sedimentos que estão sendo acumulados na laguna têm sua fonte nas rochas poli metamórficas, ígneas e sedimentares, pré-cambrianas e paleozoicas do embasamento cristalino, além das sequências sedimentares e ígneas, paleozoicas e mesozoicas, todas constituintes do embasamento da Bacia de Pelotas (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995; 2008).

O pacote sedimentar que se acumulou na Bacia de Pelotas assenta sobre rochas antigas que constituem seu embasamento. Apoiados sobre este embasamento cristalino antigo estão os depósitos sedimentares cenozoicos da Bacia de Pelotas (VILLWOCK & TOMAZELLI, 2008). A Bacia de Pelotas é uma extensa bacia marginal aberta, preenchida por sedimentos terciários e quaternários, cuja origem está relacionada aos eventos geotectônicos que conduziram a abertura do Oceano Atlântico Sul, a partir do Jurássico (ASMUS; PORTO, 1972).

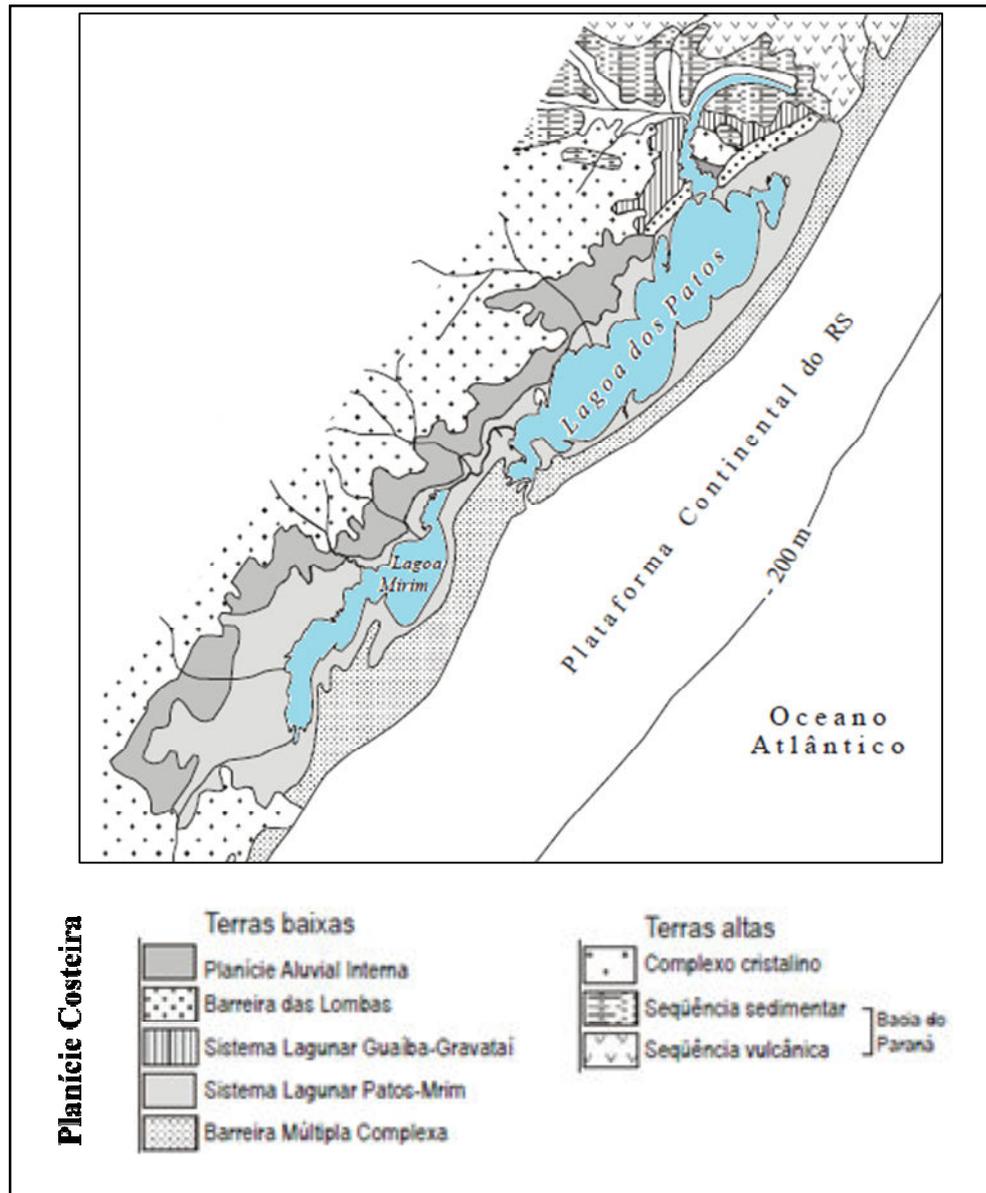
A Bacia de Pelotas é dividida em dois grandes compartimentos que integram a Província Costeira: o das Terras Altas, onde estão inclusos o Escudo-Sul-Rio-Grandense, a Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias; e o das Terras Baixas, que compreende a Planície Costeira e a Plataforma Continental (Figura 17).



**Figura 17 – Mapa simplificado das principais estruturas geológicas do embasamento e da Bacia de Pelotas**  
 Fonte: Baitelli, 2012.

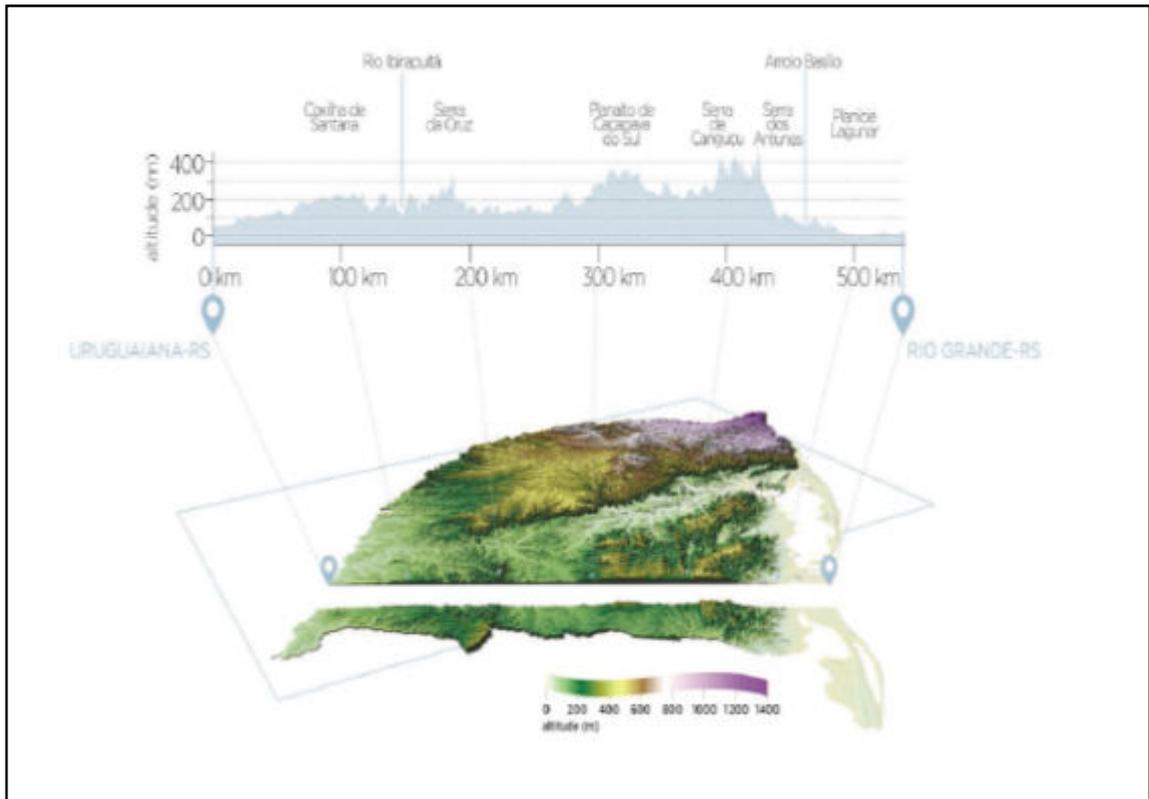
A Planície Costeira mostra uma compartimentação geomorfológica compreendendo cinco terrenos distintos: Planície Aluvial Interna, Barreira das Lombas, Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, Barreira Múltipla Complexa e o Sistema Lagunar Patos-Mirim (Figura 18).

O processo de evolução do Complexo de Barreiras Múltiplas levou o isolamento de uma extensa planície hoje ocupada pelos enormes corpos d'água costeiros da Lagoa dos Patos e da Lagoa Mirim (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995).



**Figura 18 – Geomorfologia da Planície costeira inserida na Província Costeira do Rio Grande do Sul.**  
Fonte: Villwock, 1995.

Segundo Tagliani (1995) para elaborar estratégias de desenvolvimento para área de estudo, respeitando as restrições ambientais da região, é fundamental compreender não só organização estrutural e funcional dos ecossistemas costeiros, mas também os processos da evolução geológica da Planície costeira pela qual a área de estudo está inserida. A Figura 20 exemplifica o perfil transversal entre o litoral sul e a campanha gaúcha, nele é possível visualizar os principais elementos do relevo desta faixa do território gaúcho, onde o litoral Sul apresenta grande potencial eólico, pois as altitudes do relevo nessa área não ultrapassam os 100 metros, o que facilita a ocorrência de ventos com escoamento laminar (ATLAS EÓLICO, 2014).



**Figura 19 – Perfil da elevação do Rio Grande do Sul, entre o Litoral Sul e a campanha gaúcha**  
**Fonte: Mapa Eólico do Rio Grande do Sul, 2014.**

As estimativas corretas dos valores de rugosidade aerodinâmica são importantes nos projetos para parques eólicos, principalmente para modelagem do vento próximo à superfície. A rugosidade do terreno é determinada pela altura, espaçamento e característica dos elementos distribuídos sobre a superfície do terreno. Através da tabela 2, é possível observar os valores típicos de rugosidade associados a diversos tipos de cobertura e uso da terra (ATLAS EÓLICO, 2014).

**Tabela 2 – Valores típicos de rugosidade associados a classes de cobertura**

<b>Tipo de cobertura e/ ou uso da terra</b>	<b>Faixa de rugosidade Z0[m]</b>
Áreas urbanas	0,7 - 3
Florestas	0,4 - 1
Reflorestamento	0,4 - 0,95
Vegetação de áreas úmidas	0,1 - 0,4
Culturas agrícolas	0,02 - 0,15
Pastagem	0,02 - 0,20
Solo exposto	0,001 - 0,01
<b>Corpos de água [lagos, oceanos]</b>	<b>0,0002 - 0,001</b>

**Fonte: ALTAS EÓLICO, 2014.**

A superfície da Lagoa dos Patos não possui grandes ondulações, desta forma podemos desconsiderar a influência negativa que a rugosidade do terreno poderia oferecer para área de estudo, conseqüentemente a laguna apresenta um alto potencial de velocidade do vento (*ATLAS EÓLICO, 2014*).

#### **4.5.2. Batimetria e Recursos Minerais**

O relevo submerso da laguna pode ser dividido em dois setores bem distintos: o primeiro setor é a margem arenosa da laguna e o segundo é o piso lagunar lamoso localizado no interior da laguna. A margem lagunar é a região que está entre a linha de costa e a isóbata de 5m, essa possui uma composição sedimentar essencialmente arenosa, com a formação de esporões arenosos (Figura 20). Já o piso lagunar, correspondente a área mais central e profunda da Lagoa, essa se desenvolve além da isóbata de 5m, e tem uma composição sedimentar essencialmente silítico-argilosa. Sendo que as margens arenosas constituem aproximadamente 40% da área da laguna.

Outra característica morfológica marcante nas margens da laguna são os esporões arenosos, com uma altura média de um metro acima do nível da água. Tais esporões se desenvolvem sobre bancos arenosos presentes na Lagoa dos Patos (*TOLDO, 1994*). As margens da Lagoa dos Patos possuem 15 esporões arenosos, localizados a oeste, norte e leste da laguna (Quadro 4).

Quadro 4– Principais esporões arenosos na Lagoa dos Patos

Oeste da LP	Norte da LP	Leste da LP
Ponta da Feitoria	Pontal das desertas	Ponta dos Lençóis
Ponta do Quilombo	Pontal do Abreu	Pontal do Bojurú
Ponta do Vitoriano	Pontal de Itapuã	Pontal do Cristóvão Pereira
Pontal Dona Maria	-	Pontal São Simão
Pontal Dona Helena	-	Pontal do Anastácio
Pontal do santo Antônio	-	-
Ponta da Formiga	-	-

Fonte: AUTOR.



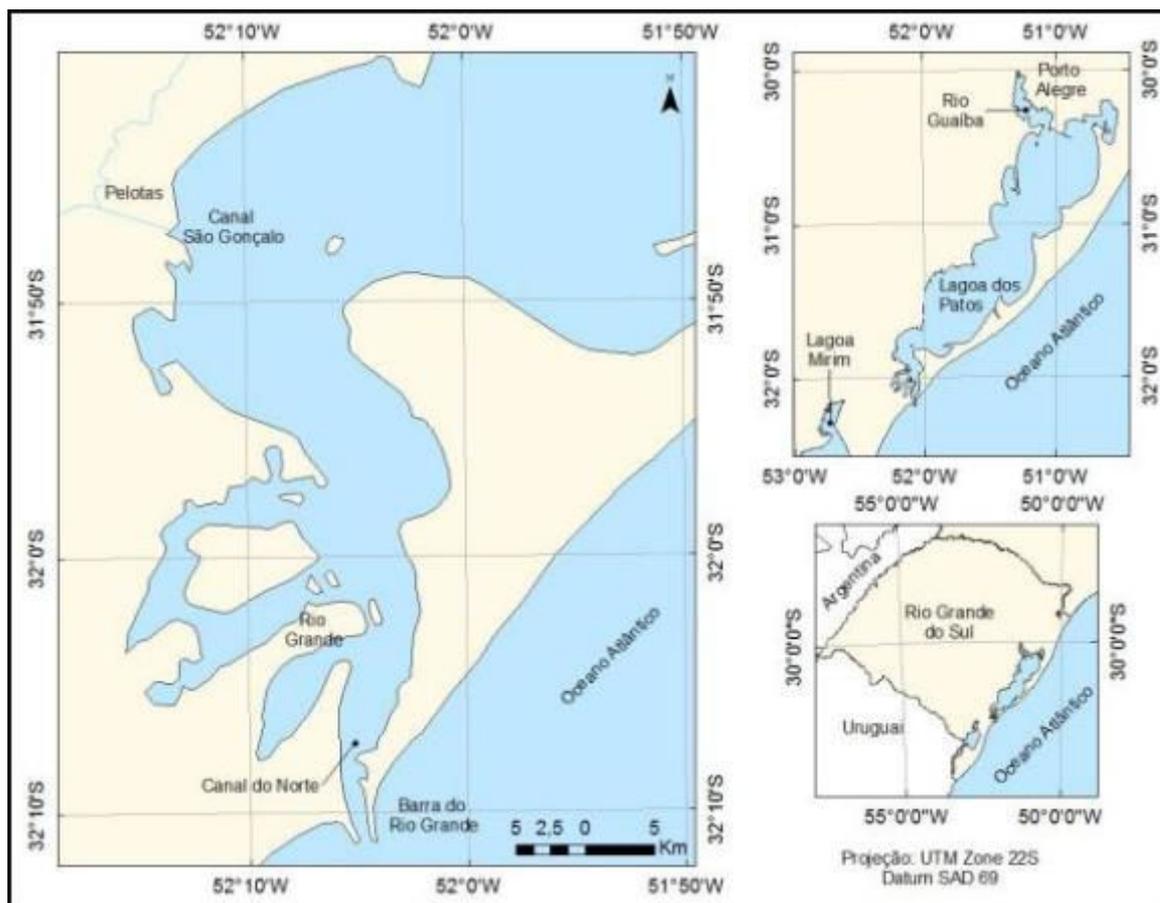
Figura 20 – Localização ilustrativa dos esporões arenosos na Lagoa dos Patos  
 Fonte: TOLDO, 1994.

O modelo proposto por Zenkovitch (1958), sobre o crescimento dos esporões arenosos, aplica-se ao corpo lagunar, ora estudado, somente ao longo das margens leste, norte e oeste, em razão da distribuição dos ventos predominantes ao longo do eixo principal da laguna e por se tratar de um ambiente submetido à micro marés.

#### **4.5.3. Bacias hidrográficas**

A água das Lagoas dos Patos é, em grande parte, utilizada para irrigação dos arrozais que se encontram ao redor das lagoas. (PEREIRA; NIENCHESKI; BAUMGARTEN, 2005). Segundo Barrella (2001) a bacia hidrográfica, ou Bacia de Drenagem corresponde ao conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes. As Bacias hidrográficas são formadas em áreas mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, onde as cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas. A medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios, esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocarem no oceano.

O Oceano Atlântico está conectado com o sul da Lagoa por um único canal de 20 km de comprimento e 0,5 a 3 km de largura formando uma área estuarina (Figura 21), que pode ficar restrita à desembocadura na Barra do Rio Grande ou se estender até a parte norte da Lagoa, correspondendo a uma área de 971 km<sup>2</sup> (10% da lagoa) (ASMUS, 1998; MÖLLER; FERNANDES, 2010). No canal do Norte a profundidade pode chegar a 18 m (CALLIARI, CUNHA; ANTIQUEIRA, 2010).



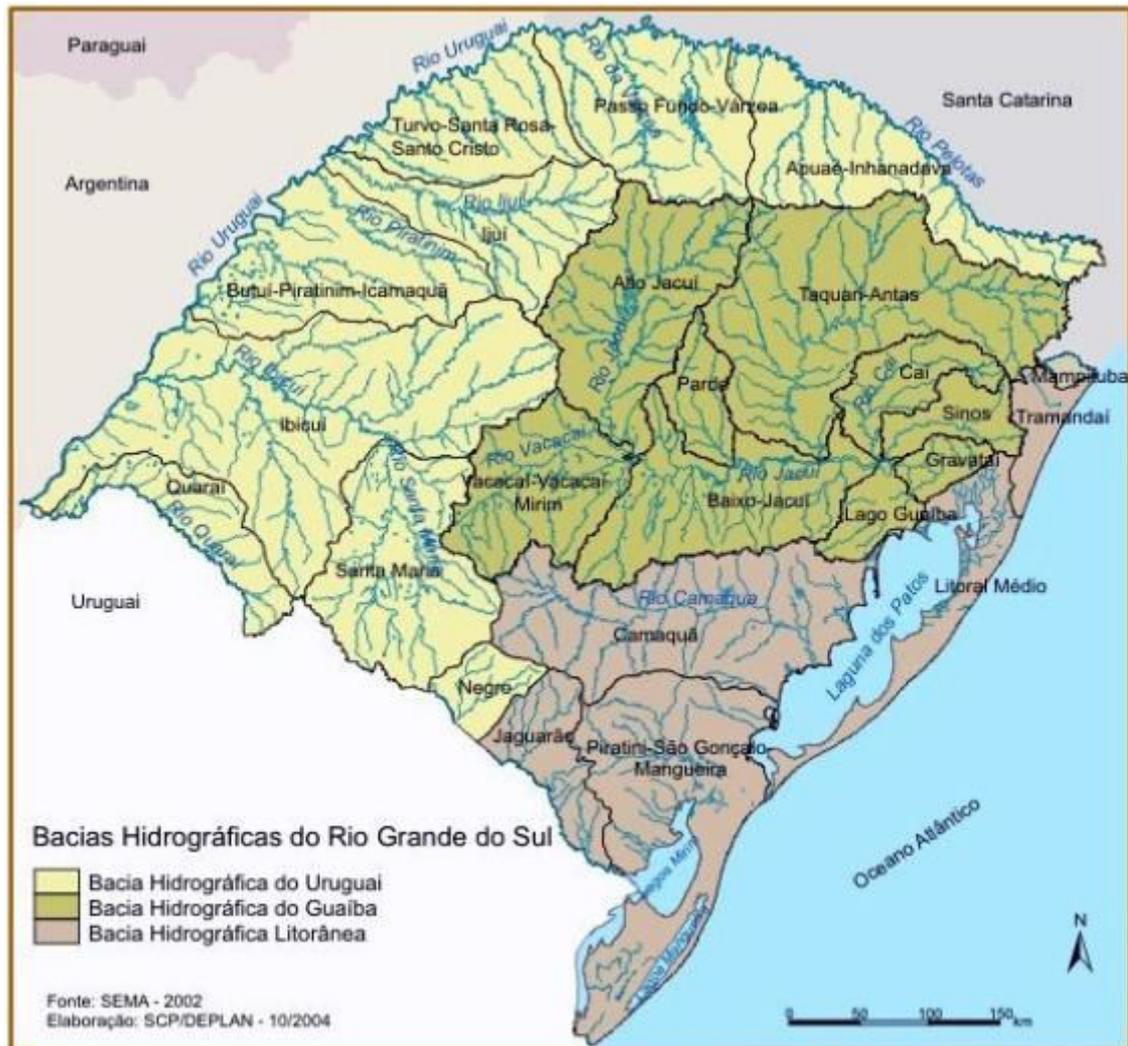
**Figura 21 – Localização do estuário da Lagoa dos Patos**  
**Fonte: ASMUS, 1998.**

Já a agricultura e a pecuária são atividades de grande importância na região de estudo. Na bacia Litorânea, a área total cultivada é de aproximadamente 800.000 ha, e as principais culturas são: arroz, trigo, milho, feijão e tabaco. A rizicultura irrigada ocupa uma área de 1.600.000 há no Rio Grande do Sul, consumindo 10.000 m<sup>3</sup>/ha-ano (REISDORFER, 2004). Entre 35 e 40% da bacia litorânea é utilizada como área de pastagem extensiva, onde se encontram cerca de 6 milhões de animais domésticos de grande porte. Estas atividades têm as mais diversas consequências diretas tanto na Lagoa dos Patos quanto nos rios que nela deságuam, entre eles pode-se destacar: drenagem de banhados e de cursos de água pela lavoura irrigada (prejudica demais usos da água), erosão e compactação do solo pela ausência de práticas de conservação (assoreamento de rios e diminuição da infiltração), contaminação das águas por agrotóxicos e resíduos agropecuários (diminuição da qualidade e disponibilidade da água), etc.

Uma consequência da intensa utilização e da Lagoa dos Patos é o forte impacto ambiental gerado, principalmente em função da falta de acompanhamento de serviços de saneamento básico, dragagens, obras de engenharia, despejo de contaminantes industriais e pesca. Os impactos gerados por essas atividades conduzidas de forma irregular alteram a estrutura e as funções ecológicas do ambiente, bem como a integridade e o

desenvolvimento socioeconômico das comunidades ao seu redor (SEELIGER; ODEBRECHT; CASTELLO, 1997).

O Rio Grande do Sul é formado por três grandes Bacias hidrográficas: a Bacia do Uruguai, Bacia do Guaíba e a Bacia Litorânea. Sendo que a Lagoa dos Patos está cercada por duas delas: Bacia do Guaíba e a Bacia Litorânea (SILVA, 2008). A Figura 22 apresenta o mapa das Bacias e sub-bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul.



**Figura 22 – Mapa das Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul**  
Fonte: SEMA, 2002.

As características hidrográficas estuarina e lagunar da Lagoa dos Patos são completamente dominadas pelos ciclos hidrológicos do conjunto de rios, lagos e arroios que fazem parte desta bacia hidrográfica. Cerca de 85% da água da bacia de drenagem da Lagoa dos Patos é originada do Rio Guaíba, Rio Camaquã, e Canal do São Gonçalo localizados na parte norte, centro e sul da Lagoa (HERZ, 1997; NIENCHESKI & WINDOM, 1994).

#### 4.5.4. Características das margens e entorno

Os principais ecossistemas nas margens e entorno da área de estudo são: dunas, matas ripárias, matas de restinga, campos litorâneos, lagoas, banhados e marismas.

##### 4.5.4.1. Dunas

As dunas exercem um papel fundamental na manutenção da morfologia da costa, atuando como barreira contra ação dos ventos, ondas e tempestades. Além disso, formam uma área de refúgio, alimentação, nidificação de aves, além de ser o habitat de uma grande diversidade de espécies vegetais e animais. As dunas são grandes reservatórios de água, devendo ser analisadas como partes integrais dos sistemas costeiros, permutando massa, energia, biota e informações com meio ambientes transicionais (WEISS, 2017).

No lado externo da Laguna existem falésias arenosas junto à laguna do Peixe. Importantes campos de dunas lacustres projetam-se para a Laguna dos Patos na forma de pontais, principalmente em São José do Norte. Nesta região também existem extensos campos de dunas frontais. Além disso, Dunas alteradas por reflorestamentos e agricultura também são identificadas na área de estudo (BURGES & RAMOS, 2007).

##### 4.5.4.2. Mata de restinga e Mata ripária

É possível encontrar mata de restinga situada próximo à Lagoa dos Patos, desenvolvendo-se sobre depósitos arenosos, inclusive sobre as dunas. Na porção norte da laguna se encontra a maior parte da mata ripária. Na região que compreende o delta do rio Camaquã e adjacências são encontrados extensos remanescentes de mata de restinga e mata ripária, juntamente com várzeas de rio periodicamente inundadas, braços de rio, ilhas e banhados com diferentes características. Esta diversidade de ambientes resulta numa grande riqueza de espécies, uma vez que proporciona variedade de habitats para a flora e, como consequência, oferece locais de abrigo, reprodução e alimentação para a fauna (BURGER & RAMOS, 2007).

#### 4.5.4.3. Campos litorâneos

Os campos litorâneos são parte da vegetação característica que compõe a zona Costeira do Rio Grande do Sul. Os campos litorâneos compõem um mosaico com os banhados e matas de restinga, sendo formados por gramíneas, leguminosas e ciperáceas, estas últimas principalmente nas áreas inundáveis.

A agricultura local, assim como a criação de gado causam grande impacto nos campos litorâneos, resultando em modificações no padrão estrutural e composição florística na área (BURGER & RAMOS, 2007).

#### 4.5.4.4. Banhados

Banhados podem ser definidos como regiões alagadas permanente ou temporariamente, são conhecidos também como brejos, pântanos, pantanal, charcos, varjões, alagados, etc. (MITSCH & GOSELINK, 1986). Os banhados estão geralmente associados às lagoas costeiras, apresentando ampla diversidade de vegetais macrofíticas, variando de acordo com o seu regime hidrológico, morfometria e outras características físicas de cada sistema (SCHWARZBOLD & SCHÄFER, 1984).

As áreas de grandes banhados e lagoas e lagunas ocorrem no sul da planície costeira, da foz do arroio Chuí (extremo sul) até o Município de Palmares do Sul, incluindo também a margem oeste da Laguna dos Patos. Em direção ao norte de Palmares do Sul, a dimensão dos banhados, lagoas e lagunas diminui devido ao estreitamento da planície costeira. Os maiores remanescentes localizam-se na faixa compreendida entre a lagoa Mirim e a Laguna dos Patos e o oceano Atlântico (BURGER; RAMOS, 2007).

#### 4.5.4.5. Marismas

Marismas são ecossistemas costeiros intermareais, recobertos por plantas herbáceas, com relevo pouco expressivo, em geral planícies ou depressões alagadas. No Brasil as marismas estão presentes nos estuários, lagunas e baías ao longo da costa dos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul (COSTA, 1998).

A ilha da pólvora que está inserida no estuário da Lagoa dos Patos apresenta como sua principal característica às marismas bem preservadas, representativas dos 70km<sup>2</sup> de marismas irregularmente alagadas da Laguna dos Patos (NOGUEIRA et al., 2001).

#### 4.6. ANÁLISE LOCACIONAL MULTICRITÉRIO

O método no qual nos estamos referindo é o Processo Analítico Hierárquico (AHP). A Análise Multicritério ganhou identidade e terminologia própria por volta da década de 1970 a partir dos trabalhos de *Thomas L. Saaty*. A sua origem data de 1971, quando o Dr. Thomas L. Saaty trabalhava no Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Foi desenvolvido em 1972, num estudo para o NSF sobre o racionamento de energia para indústrias (durante o mesmo ano Dr. Saaty também criou a escala que relaciona as opiniões aos números). Com base nos trabalhos de Saaty desenvolveram-se os métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e suas variações (COSTA, 2006). Chegou à sua maturidade aplicativa com o Estudo dos Transportes do Sudão em 1973 e houve um grande enriquecimento teórico entre 1974 e 1978 (JORDÃO; PEREIRA, 2006).

As escalas de razão, proporcionalidade e escalas de razão normalizadas são essenciais para a geração e síntese de prioridades, no AHP ou em qualquer outro método multicritério que necessite integrar medidas de comparação com sua própria escala. Adicionalmente, escalas de razão são a única maneira de generalizar uma teoria de decisão para o caso de dependência e feedback, porque as escalas de razão podem ser somadas e multiplicadas quando elas pertencem a mesma escala. Nesse método, o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, facilitando, assim, sua compreensão e avaliação. (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

A teoria do AHP é inspirada no método natural de funcionamento da mente humana, isto é, diante de um grande número de elementos (controláveis ou não), a mente os agrega em grupos segundo propriedades comuns. O cérebro repete esse processo e agrupa novamente os elementos em outro nível “mais elevado”, em função de propriedades comuns existentes nos grupos de nível imediatamente abaixo. A repetição dessa sistemática atinge o nível máximo quando este representa o objetivo do nosso processo decisório. E, assim, é formada a hierarquia, por níveis estratificados (SILVA, 2007).

A utilização do método AHP se inicia pela decomposição do problema em uma hierarquia de critérios mais facilmente analisáveis e comparáveis de modo independente e que tenha relevância a um objetivo do estudo. A partir do momento em que essa hierarquia lógica está construída, os tomadores de decisão avaliam sistematicamente as alternativas por meio da comparação, de duas a duas, dentro de cada um dos critérios. Essa comparação pode utilizar dados concretos das alternativas ou julgamentos humanos como forma de informação subjacente (SAATY, 2008).

Uma grande vantagem do AHP é que tal método transforma as comparações muitas vezes empíricas, em valores numéricos que são processados e comparados. O peso de cada um dos fatores permite a avaliação de cada um dos elementos dentro da hierarquia

definida. Essa capacidade de conversão de dados empíricos em modelos matemáticos é o principal diferencial do AHP com relação a outras técnicas comparativas (GOMEDE *et al.*, 2012).

No quadro abaixo (Quadro 5) é possível observar uma escala de comparação entre o par de critérios a ser analisado, de modo a determinar o grau de importância de cada critério individual em relação ao objetivo. Segundo Saaty (1980), essa escala tem como lógica atribuir valores entre 1 e 9 que representem a importância relativa de um critério ou alternativa com relação a outra.

**Quadro 5 –Escala de relativa importância Saaty**

<b>ESCALA</b>	<b>AVALIAÇÃO</b>	<b>RECÍPROCO</b>	<b>OBSERVAÇÃO</b>
<b>Igual importância</b>	1	1	Os dois critérios contribuem igualmente para os objetivos.
<b>Importância moderada</b>	3	1/3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre outro.
<b>Mais importante</b>	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente em relação ao outro.
<b>Muito importante</b>	7	1/7	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado na prática.
<b>Importância extrema</b>	9	1/9	Um critério é favorecido em relação a outro com mais alto grau de certeza.
<b>Valores intermediários</b>	2, 4, 6 e 8		Quando se procura condições de Compromisso entre duas definições. É necessário acordo

**Fonte: Adaptado De Weiss, 2014.**

Nesse sentido, a comparação entre pares pode variar entre dois extremos de importância, onde um critério recebe um valor (1-9) e outro critério a ser comparado recebe o seu recíproco(1/2,1/3,1/4,1/5,1/6,1/7,1/8,1/9). Quando o par de critérios a ser comparado for o mesmo, o valor de importância para ambos é igual (1). Conforme ilustrado na Figura 23.

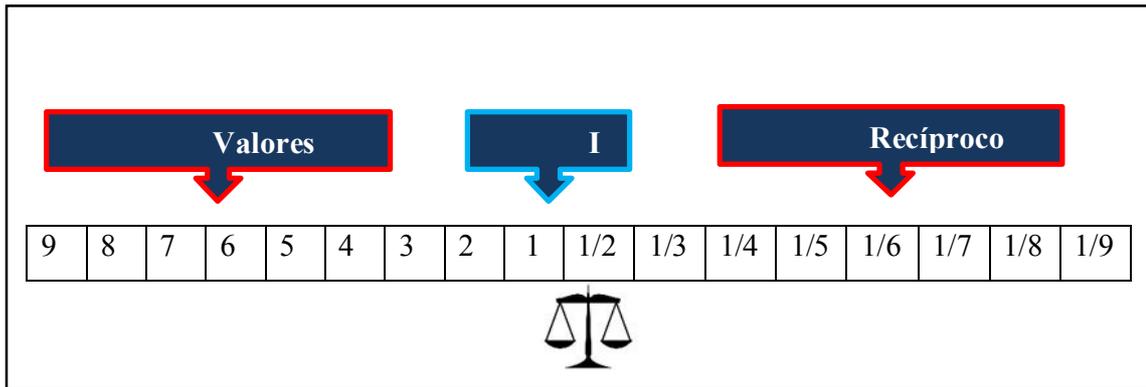


Figura 23– Comparação entre pares

Fonte: AUTOR.

Usualmente procura-se utilizar os números ímpares da tabela para assegurar razoável distinção entre os pontos da medição. O uso dos números pares só deve ser adotado quando existir a necessidade de negociação entre os avaliadores e quando o consenso natural não for obtido, gerando a necessidade de determinação de um ponto médio como solução negociada (SAATY, 1980).

Com os dados gerados pela Escala de Saaty, é gerada uma matriz de comparação entre todos os critérios com base na lógica da tabela abaixo (SAATY, 2008). O Quadro 6 apresenta a lógica para apenas 2 critérios, mas vale ressaltar que essa lógica deve ser extrapolada para o número de critérios do estudo em questão.

Quadro 6: Matriz comparativa (supondo que critério 1 domina o critério 2)

	Critério 1	Critério 2
Critério 1	1	Avaliação Numérica
Critério 2	1/Avaliação Numérica (Recíproco)	1

Fonte: AUTOR.

A partir do momento em que todas as comparações foram efetuadas e os pesos relativos entre os critérios a serem avaliados foi estabelecida, a probabilidade numérica de cada uma das alternativas é calculada. Essa probabilidade determina a probabilidade que a alternativa tem de atender a meta estabelecida.

O fato da atribuição de pesos em função do decaimento, no AHP geométrico, oferece maior flexibilidade para descrição da variabilidade dos critérios e das distribuições de probabilidade. O modelo é constituído de uma técnica para tomada de decisão em árvores de decisão complexas, onde diversos critérios são considerados para determinação de probabilidades. Pelo fato da atribuição subjetiva nos pesos de cada critério, a análise

dedecaimento minimiza os erros de distribuição linear para variáveis não lineares, possibilitando uma análise mais próxima da realizada (WEISS, 2014).

Os cálculos matemáticos envolvendo o AHP podem parecer simples em um primeiro momento, no entanto, em casos mais complexos, as análises e cálculos tornam-se grandes e exaustivos e, usualmente, só são viáveis através do uso de *softwares* específicos de cálculo.

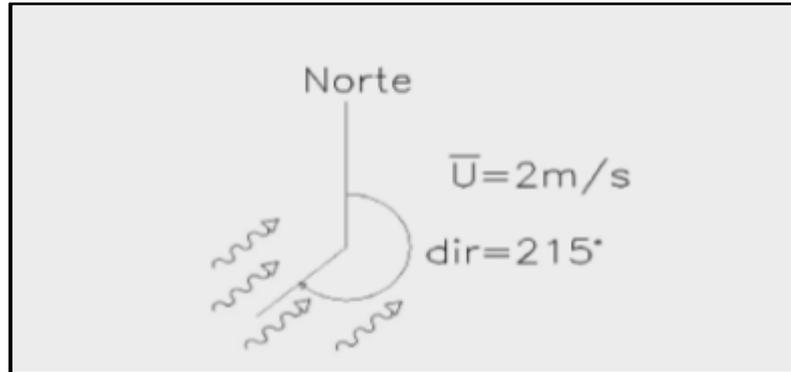
## **4.7. COLETA DE DADOS METEOROLÓGICOS VIA SENSORIAMENTO REMOTO**

### **4.7.1. Dados de vento**

O Brasil é um país favorecido tanto em relação aos ventos quanto à incidência de radiação solar. Isso leva a um grande potencial de geração energético a partir de parques eólicos e solares (ANEEL, 2008). A variável explicativa básica é uma série de ventos, que usualmente inclui velocidade e direção do vento. Algumas fontes de dados meteorológicos são públicas, como Merra da Nasa (2016) e Era (2006), outras são privadas como Vortex (20014) *apud Saavedra et al., (2015)* e 3tier (S.N.) *apud Saavedra et al., (2015)*. Como vimos na seção 2.1, a direção do vento exerce uma influência considerável sobre a geração. Por isso, é importante que haja uma série anexa à série de velocidades que contenha a direção do vento.

O vento é um fenômeno extremamente sazonal. Ele é causado por diversos fatores, como diferenças de pressão atmosférica, rotação da Terra (força de Coriolis), gradientes de temperatura e características do relevo. Como muitos desses fatores apresentam ciclos (notavelmente rotação da Terra e diferenças de pressão e temperatura), é natural que a velocidade do vento também apresente ciclos com comportamentos bastante característicos (BESSA *et al., 2014*).

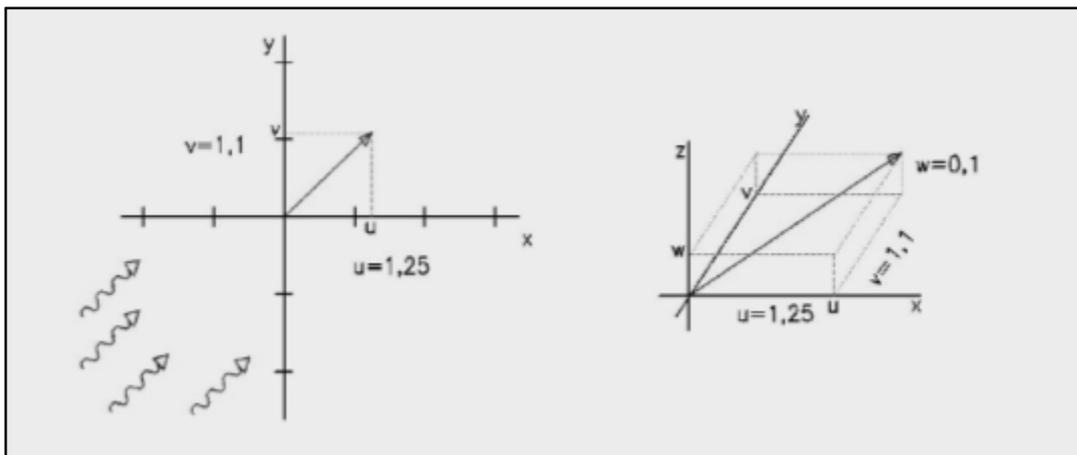
Análises para geração eólica quanto à variação na velocidade do vento, faixa de rotações por minuto para a geração, variações do torque de entrada uma vez que variações na velocidade do vento induzem variações de potência disponível no eixo, exigência de frequência e tensão constante na energia final produzida (CRESESB, 2014). Frequentemente, o vento é representado por sua intensidade (ou módulo) em m/s e pela sua direção de origem, em um ângulo (em graus) com origem no Norte e em sentido horário (Figura 24).



**Figura 24 – Representação meteorológica do vento.**  
**Fonte: O Autor.**

No caso acima é visto que a componente vertical do vento, no eixo z, é igual a zero, o que está correto, considerando apenas valores médios ao longo do tempo.

Outra forma de representar o vento é por meio de notação vetorial, na qual as componentes X, Y, Z do vetor que simboliza o vento são representadas pelos valores U, V, W, sendo o vetor resultante indicado pela letra U, como ilustrado na Figura 25.



**Figura 25 – Representação vetorial do vento.**  
**Fonte: O Autor.**

Pela soma dos vetores temos que a intensidade do vetor resultante U é dada por:

$$U = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$$

A notação vetorial facilita os cálculos de totalização dos dados de vento, possibilita a representação da componente vertical e é mais adequada à modelagem matemática do vento. O conhecimento sobre a direção predominante do vento, velocidade média e possíveis fenômenos cíclicos que ocorrem num local, fornecem informações importantes

para fins científicos e de planejamento de atividades que dependam das condições do vento como, por exemplo, empreendimentos Eólicos.

É particularmente importante analisar os potenciais riscos de dispersão e ignição de gás através do sistema de transporte (gasodutos), que podem resultar de uma libertação volumosa ou de uma fuga através de uma falha de pequenas dimensões, originando uma nuvem inflamável na atmosfera. Dependendo das condições meteorológicas e topográficas, esta nuvem estará sujeita à dispersão atmosférica podendo alcançar uma fonte de ignição. (ABREU, 2006).

A avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime de ventos. Geralmente, uma avaliação rigorosa requer levantamentos específicos, mas dados coletados em aeroportos, estações meteorológicas e outras aplicações similares podem fornecer uma primeira estimativa do potencial bruto ou teórico de aproveitamento da energia eólica. (GRUBB; MEYER, 1993)

Atualmente boa parte dos locais com melhores condições de vento já estão em exploração para garantir um retorno rápido do investimento

Então, o potencial de energia eólica dos locais não explorados tem uma tendência de não ser tão excepcional, mas devido a novas aplicações de pesquisa e economia de escala (produção em massa), o custo unitário do vento instalado quilowatt de energia é agora menor do que anteriormente e as turbinas eólicas são hoje maiores e mais eficientes. Neste cenário, o projeto de layout parque eólico devem ser analisados com cautela, escolhendo a melhor solução que fornece uma maior produção para um determinado investimento. (GONZALEZ. et al. 2010).

#### **4.7.2. Energia Eólica**

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas para a geração de eletricidade (ANEEL, 2005).

O projeto do parque eólico envolve vários fatores que devem ser considerados como: máxima capacidade desejada instalada do parque eólico, as restrições do local, plano de impacto ambiental, avaliação de ruído para ruídos de habitações sensíveis, impacto visual e custo total. Sempre buscando com o objetivo principal maximizar a produção de energia, reduzindo o total de custos associados à construção e a manutenção do parque eólico. Para atingir uma máxima produção várias ferramentas de design de parques eólicos estão sendo

estudas e implementadas sempre buscando o melhor processo de otimizar o layout do parque eólico (MITTAL, 2010).

A avaliação do potencial eólico de uma determinada região requer trabalho sistemático de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime dos ventos. As características do vento são altamente variáveis tanto geograficamente quanto sazonalmente (CUNHA, 2008). Para reduzir o erro gerado por uma inadequada quantificação da velocidade e direção do vento em um projeto eólico, devem ser selecionadas fontes confiáveis de dados de ventos.

#### **4.7.3. Sensores para coleta de dados de vento**

No meio científico é possível encontrar, basicamente, três métodos para construir bancos de dados especializados das variáveis meteorológicas: a interpolação de dados obtidos em estações, a técnica de reanálise por modelagem computacional e a combinação de dados de estações com o sensoriamento remoto. Em se tratando de dados relacionados ao vento (intensidade e direção do vento; pressão atmosférica), podemos dividir as fontes desses dados em duas categorias: medidas diretas e medidas indiretas do vento, descritas em sequência.

##### **4.7.3.1. Tipos de Anemômetro (medidas diretas)**

Um anemômetro é um aparelho que mede a velocidade a que o vento sopra, denominada como intensidade ( $I$ ). Como tal, é um dos mais importantes instrumentos numa estação meteorológica. Podendo apresentar diversos tipos e princípios de funcionamento (Quadro 7) (PUC-Rio, 2009).

Quadro 7: Tipos de anemômetro e suas características

TIPOS DE ANEMÔMETRO	CARACTERÍSTICAS
Rotacional	<p>-São construídos, basicamente, por hélices que giram a uma velocidade angular proporcional a velocidade do vento que passa por elas;</p> <p><b>-Vantagem:</b> São os mais simples</p> <p><b>-Desvantagem:</b> estar em contato com o ar, obstruindo a passagem do fluxo de ar para medir a velocidade do vento.</p>
Tubo de Pressão	<p>-Usa diferenças de pressão exercida pelo movimento das moléculas do ar em movimento, convertendo a energia cinética em energia potencial;</p> <p><b>-Vantagem:</b> pode ser construído a um custo muito reduzido, quando comparado aos demais anemômetros disponíveis;</p> <p><b>-Desvantagem:</b> sua exatidão e resolução espacial, insuficientes para algumas aplicações.</p>
Deflexão	<p>-Pode ser construído facilmente, pois é formado apenas por uma chapa metálica em que um dos lados é livre e outro é preso à ponta do arco que a constitui;</p> <p><b>-Vantagem:</b> Seu funcionamento é muito simples;</p> <p><b>-Desvantagem:</b> A incerteza deste dispositivo é muito grande quando comparada aos anemômetros comerciais.</p>
Termoelétricos	<p>-baseiam-se na troca de calor para determinar a velocidade do fluido;</p> <p><b>-vantagem:</b> não possuem partes móveis, ter um tamanho reduzido quando comparado com os anemômetros rotacionais, e apresentar maior sensibilidade para baixas velocidades do vento;</p> <p><b>-desvantagem:</b> são frágeis e seus parâmetros são muito sensíveis às partículas de poluição depositadas no fio, o que implica diretamente em recalibração e custo elevado.</p>
Ultra-sônicos	<p>-Os sônicos operam com base no princípio de que o movimento das partículas do ar em movimento afeta a velocidade de uma onda acústica, com frequência ultra-sônica;</p> <p><b>-vantagem:</b> não produzem perdas de pressão quando instalados no meio de medição, não contaminam o fluido, não causam desgaste algum e podem ser utilizados em aplicações com condições extremas de pressão e temperatura e boa exatidão e resposta rápida.</p>

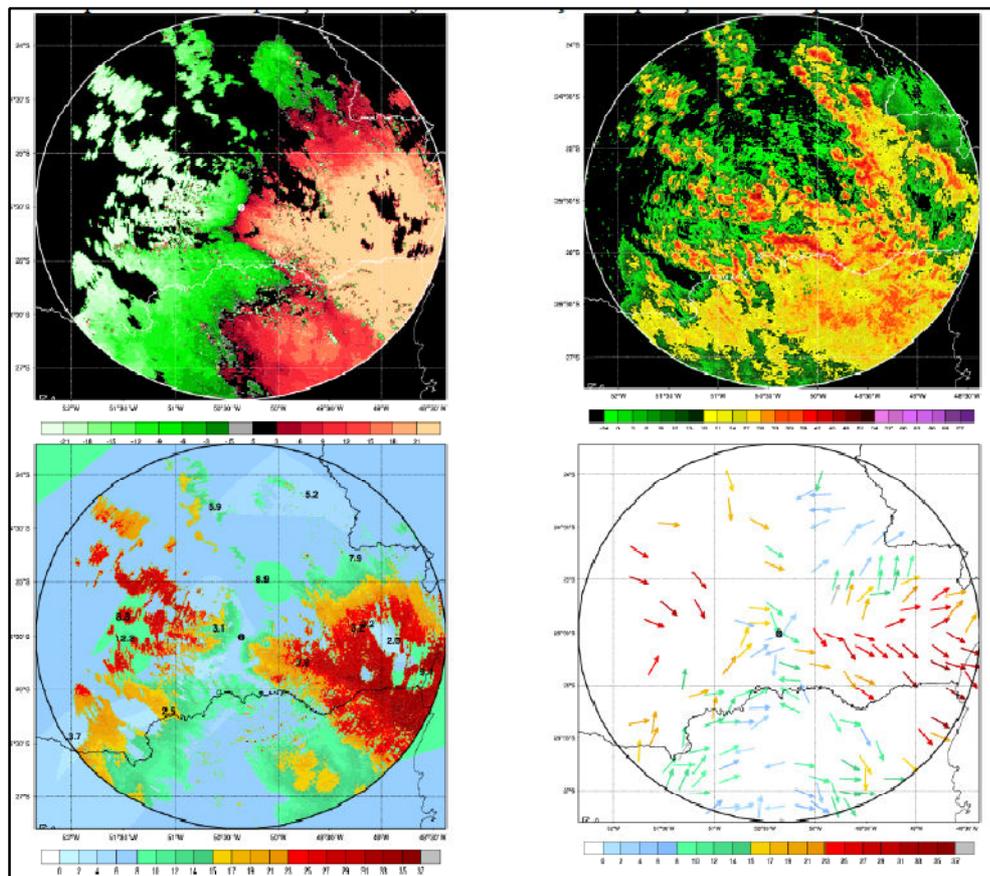
Fonte: PUC-Rio, 2009.

Os anemômetros permitem determinar a energia cinética referida ao movimento local das massas de ar. A limitação principal está no custo e no fato de se obter medidas pontuais, descaracterizando a natureza do campo de vento, uma grandeza contínua espacialmente. Com isso, é possível mensurar com que grandeza sopra o vento e referir a essa velocidade o montante correspondente de energia associada.

#### 4.7.3.2. Sensoriamento remoto (medidas indiretas)

O sensoriamento remoto pode ser conceituado como a ciência que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objetos, áreas ou fenômenos), utilizando um sensor remoto, e, assim, não havendo contato direto entre o alvo e o sensor (JENSEN, 2009). Basicamente, grande parte dos sensores remotos opera a partir do registro da interação da radiação eletromagnética com a superfície ou alvo em estudo e normalmente são embarcados em plataformas orbitais (satélites) ou em aeronaves (JENSEN, 2009).

Em se tratando de medidas de vento, o sensoriamento remoto permite o monitoramento e o registro dessa variável a partir do mapeamento por radar meteorológico do tipo Doppler (JENSEN, 2009). Essa técnica é conhecida como Recuperação do Campo de Vento a partir de Radar Meteorológico Doppler (CALVETTI et al 2014). Um exemplo do produto produzido está presente na Figura 26.



**Figura 26 – Exemplo de campo de vento obtido via sensoriamento remoto por radar. Velocidade Radial (a), Refletividade (b), velocidade do vento integrada (c) e o vento recuperado (d).**

**Fonte: Adaptado de Calvetti et al, 2014.**

Uma alternativa atual e sem custos para trabalhos interessados em tratar a variável *vento* são os dados de mapeamento por radar meteorológico orbital da série de satélites GPM/NASA-NOAA-JAXA com sensor radar DPR (JENSEN, 2009). Tais dados são produzidos por mapeamento radar com intervalo máximo de 15 min., resolução espacial de  $0,25 \times 0,25^\circ$  ( $\cong 27,75 \times 27,75$  Km). Esses dados são disponibilizados em formato NETCDF e permitem avaliar a distribuição e o comportamento do vento ao longo de uma área de interesse.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1. MATERIAL UTILIZADO**

Para realização do presente estudo foram utilizados dados meteorológicos de vento, dados (vetoriais e raster) de caracterização técnica e ambiental da laguna e seu entorno. Todos os dados foram aplicados em um conjunto de passos metodológicos que serão discutidos na sequência.

#### **5.1.1. Base cartográfica**

Os arquivos *shapfile* referentes às áreas úmidas, lagos/lagoas, unidade de paisagem natural, limite municipal e rede viária, utilizados no presente estudo, foram obtidos da biblioteca digital da Fepam (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS). Os dados disponibilizados pela Fepam são encontrados na extensão *shapefile*, em coordenadas geográficas, *datum* SIRGAS2000

Cada arquivo *shapfile* das Unidades de conservação foi obtido por meio do arquivo digital do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Já os dados referentes à população consumidora foram adquiridos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O estudo utilizou a carta náutica disponibilizada no site do DHN (Diretoria de Hidrovia e Navegação) para estipular a hidrovia existente na laguna. Além disso, o mapa eólico do Rio Grande do Sul (2014) foi utilizado para identificar as subestações existentes e próximas a Lagoa dos Patos.

#### **5.1.2. Dados de vento obtidos via sensoriamento remoto**

No presente trabalho, foram utilizados dados de vento oriundos do sensor orbital DPR, satélite GPM na faixa das microondas, constituindo um radar meteorológico com fins principais de mensurar a precipitação, mas permitindo extrair os vetores de vento. Tais dados cobriram os últimos 10 anos (2007-2017) para toda a área superficial da Lagoa dos Patos. Esses dados foram obtidos a partir do repositório eletrônico público mantido pela NOAA/NASA/JAXA.

### 5.1.3. Softwares utilizados

O estudo utilizou como ferramenta o Software ARCGIS. O ARCGIS pode ser utilizado por qualquer pessoa que queira trabalhar com informação geográfica. Fundamentalmente devido à sua facilidade em carregar informação alfanumérica, seja ela em ficheiros *dBase* ou outros. Desta forma torna-se possível visualizar, manipular e organizar a respectiva informação geográfica utilizadas no presente estudo. O ARCGIS está organizado de forma extremamente compreensível e intuitiva de forma a tirar melhor partido de todas as suas potencialidades. Desta forma, a aplicação está dividida em três módulos funcionais: *ArcCatalog*®; *ArcMap*® e *ArcToolbox*®. A utilização destas três subaplicações permite ao utilizador desempenhar qualquer tarefa simples ou complexa, incluindo a gestão de dados geográficos, construção de cartografia, análise espacial, edição avançada de dados ou ligação a base de dados externas.

As aplicações ARCGIS® podem ser executadas com recurso a três produtos distintos, cada um disponibilizando níveis diferentes de funcionalidades tais como:

- ❖ ARCGIS *ArcMap*®: disponibiliza ferramentas de construção de cartografia e análise espacial com ferramentas de edição simples;
- ❖ ARCGIS *ArcEditor*®: inclui todas as funcionalidades do *ArcMap*® e acrescenta-lhes capacidades de edição complexa de dados;
- ❖ ARCGIS *ArcInfo*®: amplia as capacidades de ambos para níveis de geoprocessamento avançado.

## 5.2. Descrição das etapas metodológicas

### 5.2.1. Definições dos critérios

A definição das variáveis (critérios) mais importantes para o processo de licenciamento da Lagoa dos Patos para instalação de parques eólicos, considerado para este estudo, foi baseado em consultas a literatura referente à metodologia empregada, à área de estudo e ao tema de pesquisa. As variáveis foram definidas de acordo com a importância, diante do objetivo do trabalho, o qual está baseado na parte operacional de um parque eólico, nas constantes físicas do ambiente e no meio ambiente da região de estudo.

Este impacto só está relacionado com o parque *offshore*. Na Dinamarca foram feitos estudos sobre a vida dos peixes antes e depois da instalação de outro parque eólico do género (Vindeby). Desses estudos concluiu-se que não surgiu efeito algum negativo. Não se verificou diminuição do crescimento de ovas naquela área e até aumentou o número de bacalhaus à volta das bases (ABREU, 2006).

A comunidade do Cumbe tem cerca de 600 habitantes formando cerca de 150 famílias. Localizada no litoral do Ceará, ela está situada entre um campo de dunas e lagoas periódicas interdunares, um rio, mangues e o mar. Seus moradores vivem, sobretudo, da pesca artesanal (nos mangues, rio e mar), do turismo, da agricultura de subsistência, do artesanato (com madeira, raízes e côco), do labirinto (renda em tecido), e como assalariados na carcinicultura (criação de camarão em cativeiro).

A comunidade recebeu três parques eólicos em 2008 e desde então seus moradores lutam contra o desrespeito a leis ambientais e a direitos de populações afetadas e comunidades ribeirinhas tradicionais. Nesse sentido, o Cumbe tornou-se emblemático da má implementação que pode ser feita de uma fonte de energia considerada sustentável. As causas desse problema, que também vem ocorrendo em outras comunidades do litoral do NE, é o que tentaremos tratar aqui. Pesquisas acadêmicas e mídia já relataram conflitos socioambientais e falhas na implementação de parques eólicos nos seguintes municípios do Nordeste: Aracati- CE; Acaraú – CE; BitupitáCE; Camocim-CE; Caraço-CE; Trairí– CE; São Gonçalo do Amarante– CE; Trairí – CE; Galinhos – RN; Macau e Guamaré –RN; Caetité– BA; e Igarorã – BA (UOL NOTÍCIAS 2012; PORTAL DO MAR 2012; CPT BAHIA 2014; MEIRELLES 2011; PACHIONI 2013 apud SANTOS, 2014).

O intuito de estabelecer os critérios mais plausíveis no que tange às necessidades para implementação de complexos eólicos, é poder validar o modelo de análise hierárquica multicritério. Não obstante, com os resultados pôde-se apontar as áreas com maior aptidão para o desenvolvimento dessa atividade, o potencial eólico e a capacidade de suporte do ambiente em vista ao desenvolvimento eólico na região.

Segundo *WEISS (2017)* existem algumas características que devem ser levadas em consideração para o sucesso de um empreendimento eólico, tais características serviram como base para o modelo empregado neste trabalho, as quais são:

- 1° A região tem que ser promissora, pois investir em uma região inadequada acarretará perda de recurso e tempo;
- 2° Tamanho da área para implementação das turbinas, levando em consideração o tamanho das máquinas, a potência do parque eólico a ser instalado no local e os espaçamentos necessários entre os aerogeradores;
- 3° Topografia/rugosidade do terreno deve ser baixa, de forma a aumentar a velocidade do vento na altura do rotor e de não restringir a área para instalação dos aerogeradores;
- 4° Obstáculos no terreno e ao seu redor, ser livre de obstáculos e sem quebra ventos para uma maior eficiência eólica. No caso de obstáculos ao redor do terreno estes devem ser considerados como rugosidade;

5° Acesso ao local, considerando dois aspectos: instalação de torres anemográficas e instalação do parque eólico;

6° Distâncias de redes elétricas e viabilidade de conexão as mesmas, podendo esse ser um importante aspecto ao custo total do empreendimento. Se muito distante podem inviabilizar o projeto;

7° Autorização formalizada do proprietário do terreno para instalação do parque eólico e movimento de maquinário durante a fase de instalação;

8° Restrições ambientais, tais como reservas naturais, APP, parques, rotas de aves e entre outras. E as restrições legais, as quais podem ser, área de interesse público para outros fins, litígio jurídico pelo terreno, plano diretor, aspectos culturais e outros a serem averiguados.

Outro tema de fundamental importância para o setor brasileiro é a certificação dos parques eólicos. Ela afeta diretamente a comercialização de energia do agente gerador, limitando a quantidade a ser vendida em contrato e a operação do sistema (FARIA *et al.*, 2009).

### **5.2.2. Tabela de cruzamentos dos critérios de aptidão**

Para determinar um valor ("peso") para as variáveis definidas, foi realizada uma tabela de cruzamento (*CrossTab* – Saaty) entre todas as variáveis, inclusive entre as mesmas. Todas variáveis ficaram na coluna "x" da tabela, e todas também na coluna "y". Baseando-se na tabela Saaty (Quadro 6) foram atribuídos pesos na comparação entre as variáveis com o auxílio da escala que consta na tabela, os quais variam de "igual importância" até "importância extrema". Os pesos atribuídos variam de 0 a 9 na avaliação numérica (critério mais importante) e de 1/2 a 1/9 no seu recíproco. A partir da tabela de cruzamento pode-se estipular um peso para cada variável. Esse valor foi ponderado variando de 0 a 1 para posteriormente ser aplicado no modelo de análise hierárquica definindo o quanto mais ou menos relevante é o critério em relação aos outros.

### **5.2.3. Tratamento dos dados de vento**

Para reduzir o erro gerado por uma inadequada quantificação da velocidade e direção do vento em um projeto eólico, devem ser selecionadas fontes confiáveis de dados de ventos, dentre as quais se destaca o projeto Reanálise do NCEP (National Centers for Environmental Prediction) e NCAR (National Center for Atmospheric Research). A proposta do projeto de reanálise NCEP/NCAR visa produzir análises globais de campos atmosféricos

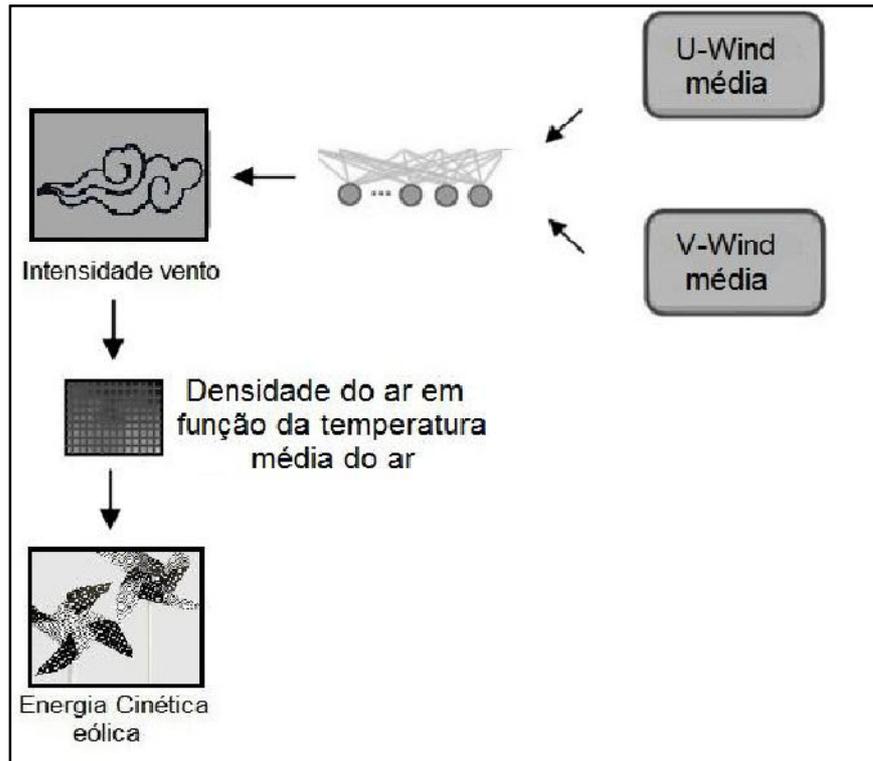
para atender às necessidades das comunidades de pesquisa e monitoramento do clima. As séries de reanálise podem ser originadas a partir da assimilação de dados meteorológicos observados em estações, aviões, navios, imagens de satélite, imagens de radar e radio-sondagem (WEISS, 2017).

O Projeto Reanálise NCEP/NCAR dispõe de dados que foram gerados através de uma assimilação via modelagem numérica, usando dados mensais de vento desde 1948 até a atualidade. A resolução espacial dos pontos modelados no projeto Reanálise é de 2.5 graus latitudinais e 2.5 graus longitudinais, divididos em dezessete níveis de pressão atmosférica (10 hPa a 1000 hPa). A resolução temporal dos dados é de 6 horas (KALNAY *et al.*, 1996).

Os dados possuem uma resolução temporal de 6 horas e resolução espacial de  $2,5^\circ$  vs  $2,5^\circ$ , reexibidos nesta pesquisa para  $7 \times 10^{-4}^\circ$  vs  $7 \times 10^{-4}^\circ$ , sendo relativos ao componente zonal *U-wind* e a componente meridional *V-wind* com altura estipulada de aproximadamente 30m, onde pode-se calcular a média da velocidade do vento. Estes dados foram coletados para a janela proposta de área de estudo desde o ano de 1948 até o ano de 2018, por meio destes dados pode-se calcular a variação do vento e a energia cinética eólica.

Além disso, a aquisição dos dados *U* e *V*, se deram a partir de um modelo de conversão para o sistema de coordenadas do projeto e conversão para o formato de arquivo de saída *raster (Tiff)*, no software Matlab®. Com os dados de *U* e *V* em formato *raster* pode-se calcular a média mensal de cada componente, posteriormente a anual e por fim a média geral dos últimos anos de dados.

Através dos dados de *U* e *V* médios é possível produzir a informação referente à intensidade do vento, posteriormente por meio desse dado foi gerado o modelo *raster* de energia cinética eólica em função da média geral do vento (Figura 27). Gerando um *raster* de potencial eólico pontual variando espacialmente conforme a intensidade (WEISS, 2017).



**Figura 27: Modelo para geração da intensidade do vento e energia cinética eólica, gerado através das componentes  $u$  e  $v$**   
 Fonte: Weiss, 2017.

#### **5.2.4. Geração e/ou compatibilização dos arquivos digitais dos critérios de aptidão e exclusão**

Foram selecionados quais os critérios seriam relevantes para a instalação de um empreendimento eólico na Lagoa dos Patos - RS. Separados em critérios de seleção (intensidade e variação do vento) e critérios impeditivos (Aves, Unidades de Conservação, APPs e navegação) (Figura28).

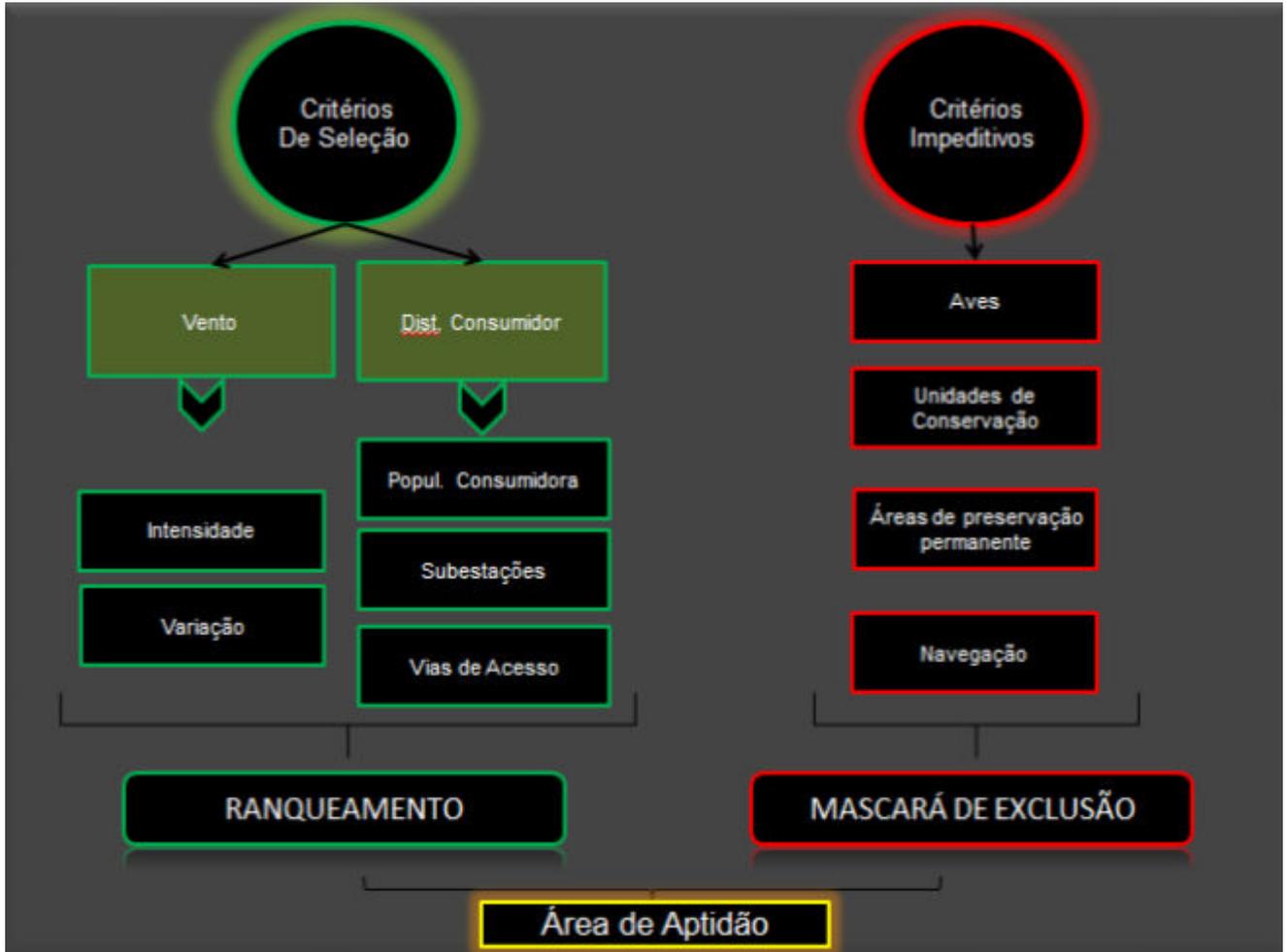


Figura 28: Modelo dos critérios de seleção e impeditivos  
Fonte: O Autor.

Para os critérios de seleção (ou critérios de aptidão), foi calculado a distância das principais vias de acesso, a distância da subestação conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) e a distância do consumidor, a qual considera os centros urbanos. Foi criado um buffer de 50km em torno da laguna e todas as cidades dentro desses 50km foram incluídas no estudo. Os dados das principais vias de acesso em torno da Lagoa dos Patos foram obtidos através do banco de dados da Fepam, no formato *shapefile*, com o sistema de coordenadas geográficas projetadas UTM, *datum* de referência SIRGAS-2000.

Quadro 8 – Cidades no entorno da área de estudo

<b>Cidades(buffer 50 km)</b>		
Alvorada	Charqueadas	Porto Alegre
Amaral Ferrador	Chuívisca	Rio Grande
Arambaré	Cidreira	Santo Antônio da Patrulha
Arroio dos Ratos	Cristal	São José do Norte
Arroio do Padre	Eldorado do Sul	São Lourenço do Sul
Balneário Pinhal	Glorinha	Sentinela do Sul
Barão do Triunfo	Gravata	Sertão Santana
Barra do Ribeiro	Guaíba	Tapes
Cachoeirinha	Mariana Pimentel	Tavares
Camaquã	Morro Redondo	Turuçu
Canguçu	Mostardas	Viamão
Canoas	Osório	
Capão do Leão	Palmares do Sul	
Capivari do Sul	Cerro Grande do Sul	
Cerro Grande do Sul	Pelotas	

Fonte: AUTOR.

O *Shapfile* das subestações existentes e próximas a Lagoa dos Patos foram adquiridas através do bando de dados do Ministério do Meio Ambiente(MMA), onde sistema de coordenadas geográficas, *South American Datum* 1969. O *shapfile* da população consumidora de cada cidade envolvida no buffer foi obtido no site do IBGE. Além disso, todos os arquivos foram convertido para coordenadas geográficas WGS-1984, sistema de coordenadas projetadas UTM, zona 22-Sul.

Todos os dados de aptidão foram normalizados e analisados através do método AHP e como resultado o ranqueamento destes. A máscara (ou critérios de exclusão) se baseou nos três dados já existentes: *Apps*, áreas úmidas e navegação. Não existe nenhuma alternativa conhecida cientificamente na literatura consultada em relação ao conflito de localização dos complexos eólicos sobre as rotas da avi-fauna na área de estudo, propõem-se na pesquisa algumas rotas principais das aves, através do *shapfile* áreas úmidas foram gerados centróides em cada polígono da classe.

Para confeccionar as rotas de aves na região de estudo, fez-se o uso da classe de áreas úmidas, onde a partir desta foram gerados centróides em cada polígono da classe. Com o pacote *XTools Pro*® do software ArcGIS® foram gerados, a partir dos centróides, conexões entre os polígonos mais próximos. Para propor um corredor de restrição para instalação de complexos eólicos em função das aves, foi considerado uma faixa de abrangência (*buffer*) de 500m de largura, na sua totalidade, nas conexões entre as áreas úmidas para o cenário eco-desenvolvimentista, gerando faixas de restrições de corredores da avi-fauna. Para o conservacionista foi considerado com área restrita para instalação de parques eólicos uma faixa de 2 Km nas adjacências das rotas de aves propostas. As

restrições estão fundamentadas em análises da paisagem, embasada em premissas de ecologia de paisagem, não sendo realizadas observações de campo.

Os dados de navegação foram de extrema importância para delimitar a hidrovia existente na Lagoa dos Patos, através dos dados batimétricos fornecidos pela Carta Náutica nº 1.820 (DHN, 2018), foi possível definir a rota da hidrovia na laguna. As *Apps* foram estabelecidas então como restrição apenas os limites gerados pela classificação de imagem e pelos arquivos disponíveis nos bancos de dados da FEPAM. Por fim, todos os critérios impeditivos foram normalizados e somados por meio da calculadora *raster* do software ARCGIS, gerando a máscara de restrição para os resultados de aptidão de locais propícios para instalação de parques eólicos.

### 5.2.5. Aplicação do método AHP

Todos critérios foram normalizados e multiplicados uma vez pelo seu peso da tabela de cruzamento (*Crosstab*); e outra pelo peso estabelecido pelo decaimento do critério (Figura 29). Para gerar os modelos computacionais utilizou-se o software ArcGis® neste os produtos das multiplicações pelos pesos da tabela de cruzamento e do decaimento foram cruzados, gerando o resultado final da pesquisa.

$$Probabil. = \frac{(critério_A \times peso_A + critério_B \times peso_B + \dots + critério_n \times peso_n)}{(peso_A + peso_B + \dots + peso_n)}$$

Figura 29– Multiplicação dos pesos com o critério (AHP)  
Fonte: WEISS, 2017.

### 5.2.6. Cálculo potencial de geração eólico do corpo da Lagoa dos Patos

No cálculo do potencial eólico instalado e da produção estimada para um ano em toda região considerada como apta, usou-se as dimensões e características dos aerogeradores instalados nos parques eólicos Ventos do Sul no município de Osório, Rio Grande do Sul (Tabela 3).

**Tabela 3– Dados técnicos do projeto Ventos do Sul Energia, parques eólicos de Osório**

<b>TURBINA EÓLICA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Altura do rotor	100 m
Velocidade do rotor	10 - 22 r.p.m.
Diâmetro do rotor	70 m
Peso total do aerogerador	915 ton.
Área de varredura	3960 m <sup>2</sup>
Número de máquinas	75
Potencial total	150 MW
Produção estimada	425 GW/ano

Fonte: WEISS, 2017.

Para realizar o cálculo da produção total estimada por ano, tem que se levar em consideração que a energia eólica é a energia cinética disponível nas massas de ar em movimento, sendo a energia transformada em eletricidade na conversão dessa em energia mecânica durante as rotações nas pás dos aerogeradores. Sendo que a energia cinética efetiva considera a massa ( $m$ ) de ar e a velocidade ( $v$ ).

$$E_{cin, efet.} = \frac{1}{2} (m \cdot v^2)$$

Portanto, para aferir a produção estimada da energia eólica nas regiões aptas da área de estudo, foram considerados a densidade do ar ( $\rho$ ), a área de varredura do rotor ( $A_{var}$ ) e a velocidade na equação, sendo essa em um tempo ( $t$ ) de 1 segundo. A potência disponível a uma velocidade ( $v$ ) constante que atravessa uma seção plana transversal ( $A_{var} m^2$ ) do rotor de uma turbina é calculada pela razão entre o trabalho ( $W$ ) e o intervalo de tempo (WEISS et al., 2017). Como o trabalho é igual a energia cinética disponível, tem-se:

$$E_{cin.efet.} = \frac{1}{2} (\rho_{ar} \cdot A_{var})v^3$$

Como o intuito foi gerar a energia produzida em um ano, foi multiplicado o resultado da energia cinética efetiva em um segundo, equação acima, pelo tempo de um ano em segundos ( $31,536 \times 10^6$ s). Para eventuais comparações, os resultados foram transformados de Watts ( $W$ ) para Giga-watts ( $GW$ ) e Tera-watts ( $TW$ ), fazendo a razão entre o resultado em  $W$  por  $10^9$  para  $GW$  e  $10^{12}$  para  $TW$ . A equação acima determina a potência disponível do vento na área de incidência sem considerar a turbina do aerogerador. Portanto, para considerar a área de varredura do aerogerador e estimar a produção eólica de toda área considerada como apta, foi multiplicada a área de varredura do aerogerador ( $3960 m^2$ ) pelo número de aerogeradores considerados na capacidade de suporte, obtendo-se assim a área de varredura total da região estudada. Posteriormente foi realizada uma equivalência, onde

o resultante da equação (4) era a energia cinética efetiva em  $1\text{m}^2$ . Desse modo, foi extrapolado esse valor para a área de varredura total calculada.

Tendo em vista a limitação da capacidade de produção de um único aerogerador, a velocidade do vento, o custo de construção e instalação de aerogeradores gigantescos, a energia disponível no vento, é utilizada com a instalação de uma grande quantidade de aerogeradores, formando os chamados parques eólicos. Sendo de extrema importância o cálculo da disposição dos aerogeradores para obter uma maior produção energética e reduzir os custos de instalação, operação e manutenção (MOSKALENKO; RUDION; ORTHS. 2010).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

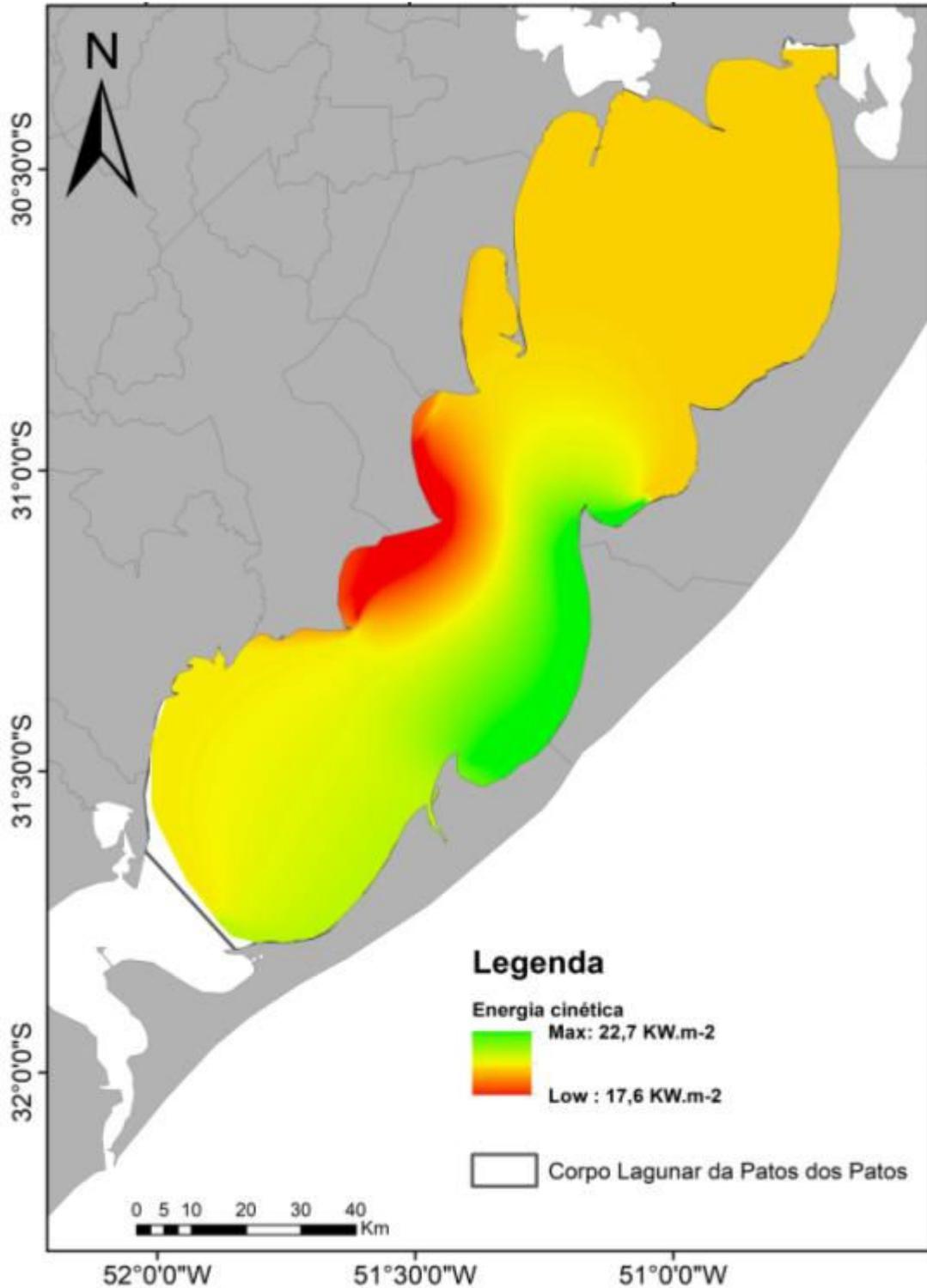
### 6.1. MAPAS TEMÁTICOS DOS CRITÉRIOS ADOTADOS

Os mapas a seguir utilizaram cores quentes para representam menor aptidão e as cores frias maior aptidão. A escala de cores foi definida dessa forma baseado no que essas cores representam para um leitor leigo e avançado no dia a dia, demonstrando melhor aptidão nas cores verdes e menor aptidão nas cores vermelhas. Sendo que a escala nos mapas está normalizada de 0 a 100% e não pode ser comparada com outras áreas, se utilizada a escala normalizada.

#### 6.1.1. Mapa para o critério vento

O critério com maior relevância para empreendimentos eólicos é com certeza o vento. Através da variável vento foi gerado o mapa referente à energia cinética (Figura 30) para região da Lagoa dos Patos no Rio Grande do Sul. Lembrando que a intensidade do vento mede a variação do fluxo de energia no tempo, basicamente quanto maior a intensidade maior o fluxo de energia pelo espaço; a energia cinética eólica, a qual representa a energia máxima disponível em determinado ponto, determinando o potencial eólico de certa localidade, portanto quanto maior energia cinética, melhor o local em função da geração de energia.

O mapa para *Energia Cinética* do vento (Figura 30) revela que a parte Leste da laguna tem maior energia cinética. Mas é possível analisar que praticamente toda a laguna tem alto potencial eólico, já que a laguna possui energia cinética relevante por toda sua extensão, apenas a região central do lado oeste da Lagoa dos Patos possui baixa energia cinética. Vale salientar que para o mapa abaixo foi considerado apenas a variável vento.



**Figura 30 – Mapa para o critério *Energia cinética do vento***  
**Fonte: O Autor, 2018.**

A Figura 31 descreve o mapa da variação espaço-temporal do vento para o corpo lagunar e demonstra que existe pouca variação do vento em praticamente toda Lagoa dos Patos. Apenas o centróide da laguna demonstra maior variação do vento e com isso menor potencial eólico, já que quanto maior a variação do vento menor o potencial eólico do local.

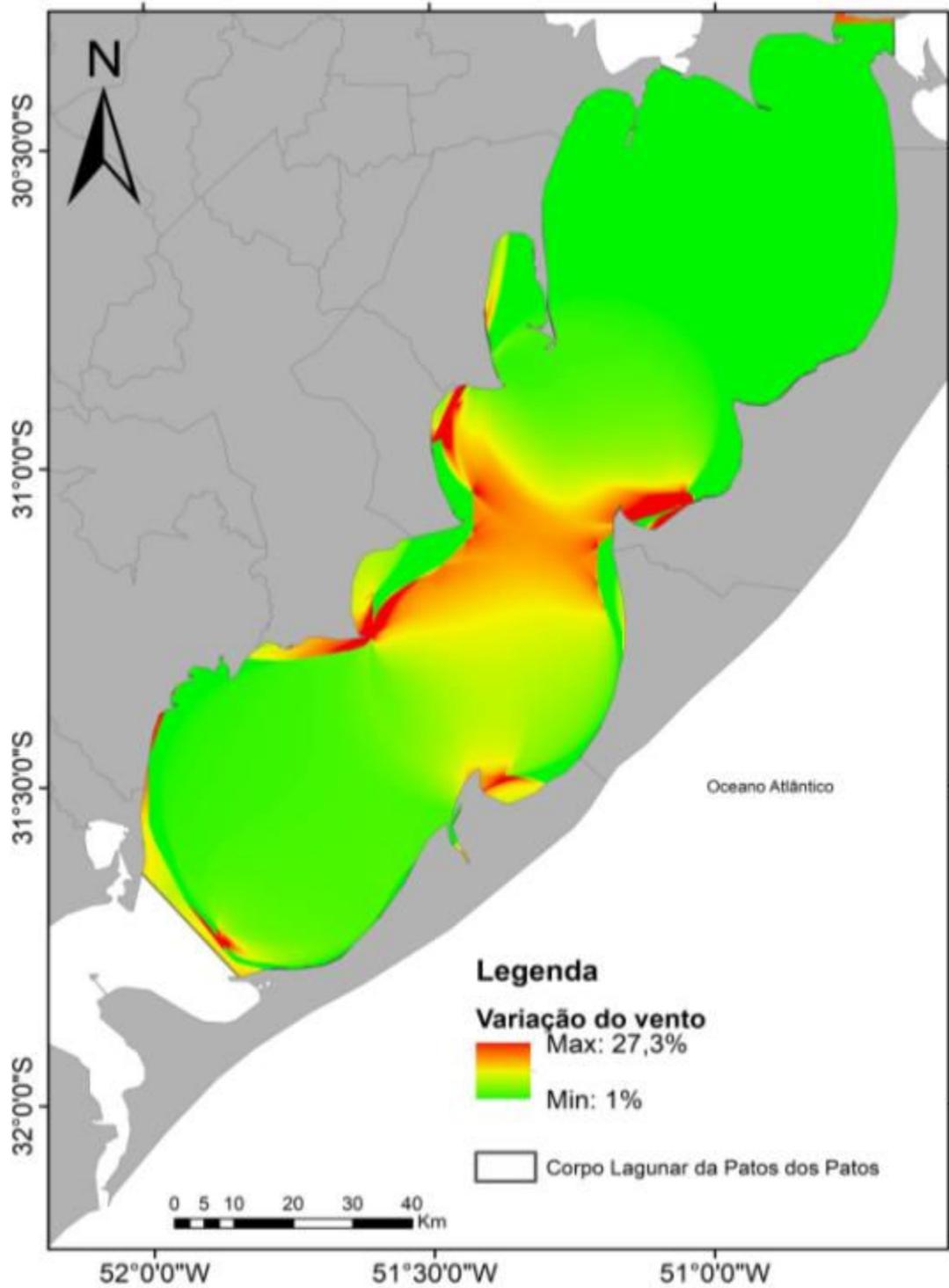


Figura 31– Mapa para o critério variação do vento  
Fonte: O Autor, 2018.

### 6.1.2. Mapa para restrição de aves

Os primeiros estudos envolvendo os animais afetados pelos aerogeradores em parques eólicos descreveram as aves e insetos voadores como os grupos mais atingidos (ROGERS et al., 1978). Porém, apenas as primeiras instalações trouxeram essa repercussão negativa para esse tipo de empreendimento, já que as primeiras usinas eólicas não exigiam estudos de rotas migratórias para serem instaladas. Atualmente são realizados estudos referentes a rota de aves que antecede a instalação do parque eólico. Além disso, alguns empreendimentos já contam com tecnologia que emana estímulos visuais e auditivos nas torres eólicas, evitando a colisão das aves (COSTA et al., 2009).

Com o intuito de preservar os habitats de reprodução e as rotas das aves, foi elaborado possíveis rotas de aves junto com as restrições que englobam as áreas onde a maioria das aves vivem e nidificam, considerando o *shapfile* das áreas úmidas disponível pela plataforma da Fepam (Figura 32).

A Figura 32 demonstra o mapa com os locais mais propícios e menos adequados para empreendimentos eólicos, avaliando apenas o critério de restrição para aves. É possível observar que praticamente toda margem da laguna é utilizada pelas aves como rota de voo. Já o corredor central da Lagoa dos Patos demonstra ser mais propício para parques eólicos, isso se explica pelo fato de apresentar maior distância das áreas úmidas e de banhado.

A metodologia empregada para gerar corredores de aves não é embasada por lei ou por qualquer pesquisa científica, portanto esse é apenas uma proposta de método para gerar corredores. Ressalta-se ainda que o intuito da pesquisa não é encontrar as áreas ideais para as rotas de aves, mas sim testar os métodos para comprovar a efetividade da metodologia proposta.

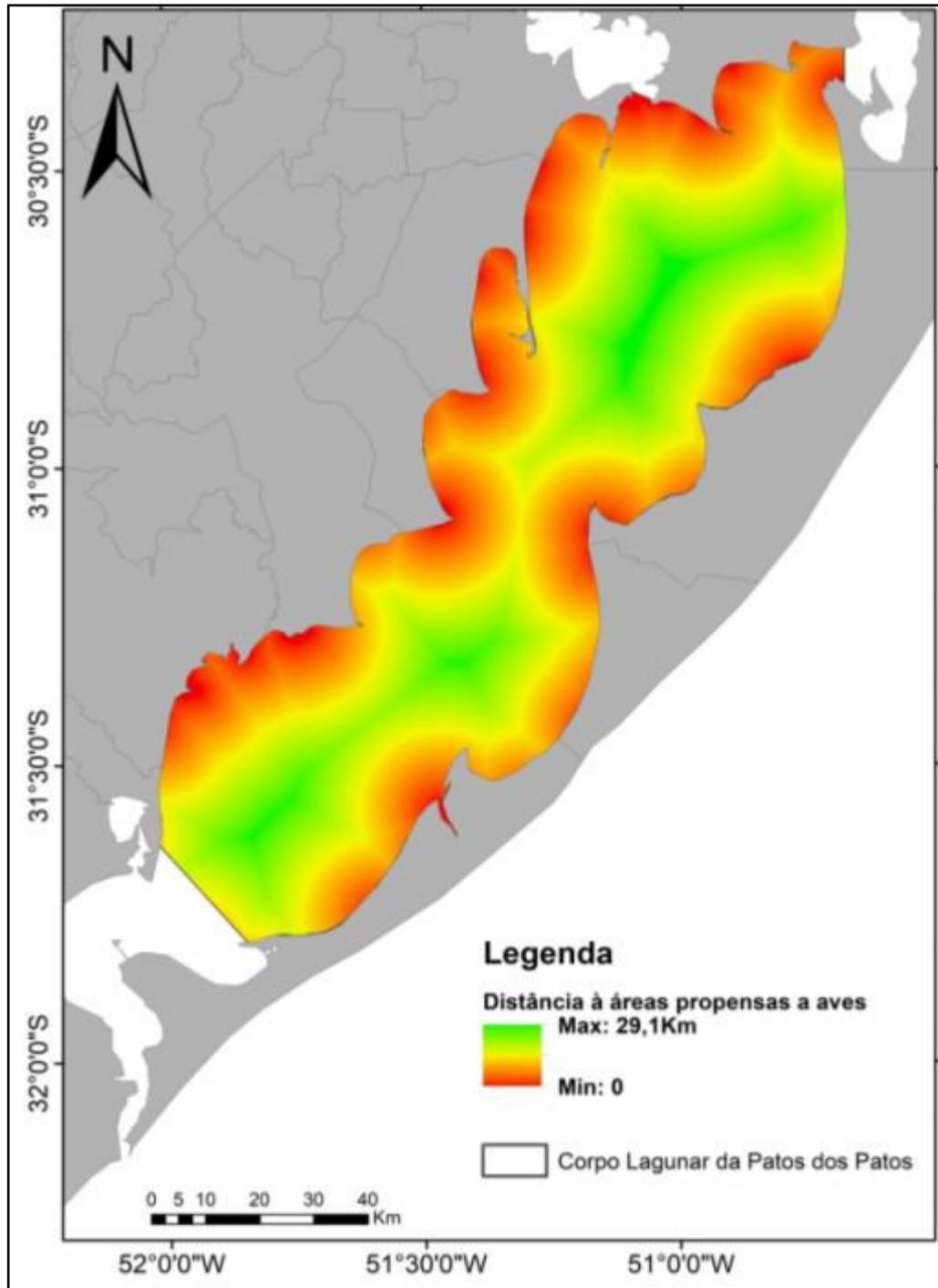


Figura 32– Mapa com restrição a aves  
Fonte: O Autor, 2018.

### 6.1.3. Mapa para o critério de *Densidade Populacional*

Para estimar a densidade populacional foi utilizado o último Censo, realizado em de 2010, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. O presente estudo elaborou um *buffer* de 50km em torno da laguna, onde apenas as cidades dentro das limitações desse *buffer* foram incluídas na pesquisa.

O mapa evidenciado na Figura 33 demonstra a existência de maior densidade populacional nos dois extremos da área de estudo. Isso porque ao norte da laguna está Porto Alegre(1.409,3 milhões de habitantes), seguida de Canoas(323,8 mil habitantes), Gravataí(255,6 mil habitantes) e Viamão (239,3 mil habitantes). E na região sul da laguna está a cidade de Pelotas (328,2 mil habitantes) e Rio Grande (197,2 mil habitantes).

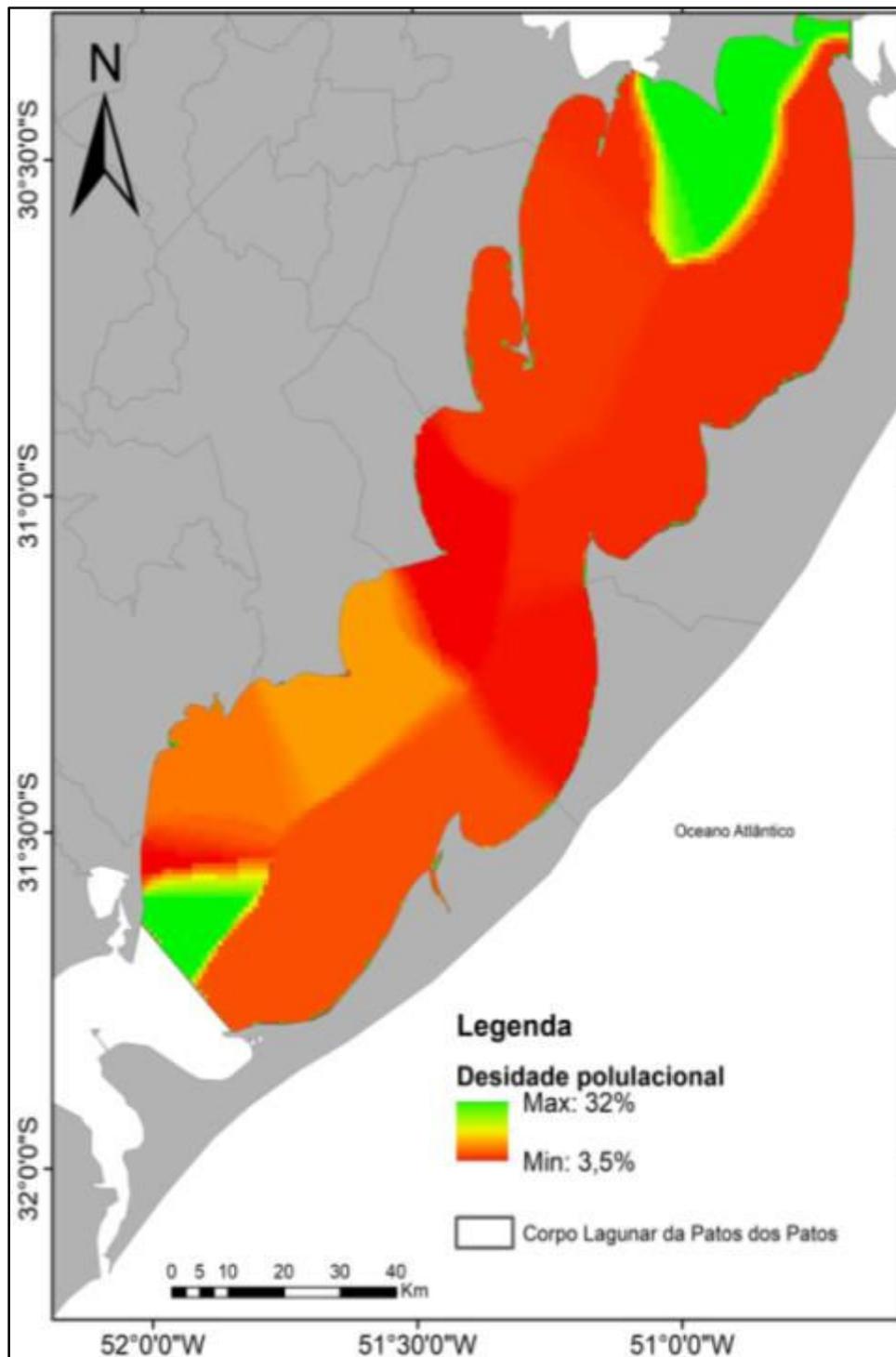


Figura 33 – Mapa de distância para o critério densidade populacional  
Fonte: Autor, 2018.

#### **6.1.4. Mapa com critério *Hidrovias***

A Lagoa dos Patos é uma importante hidrovia para o Estado do Rio Grande do Sul e a navegação é realizada em toda a sua extensão, restrita para embarcações flúvio-marítimas de até 5,10m de calado, adaptadas para navegação em águas interiores (DHN, 1993).

Através da carta náutica, disponível na plataforma da diretoria de hidrovia e navegação foi elaborado um mapa estipulando a hidrovia na área de estudo (Figura 34). A hidrovia é considerada como área de excussão em todos os cenários propostos, assim como as bóias dispostas ao longo da laguna.

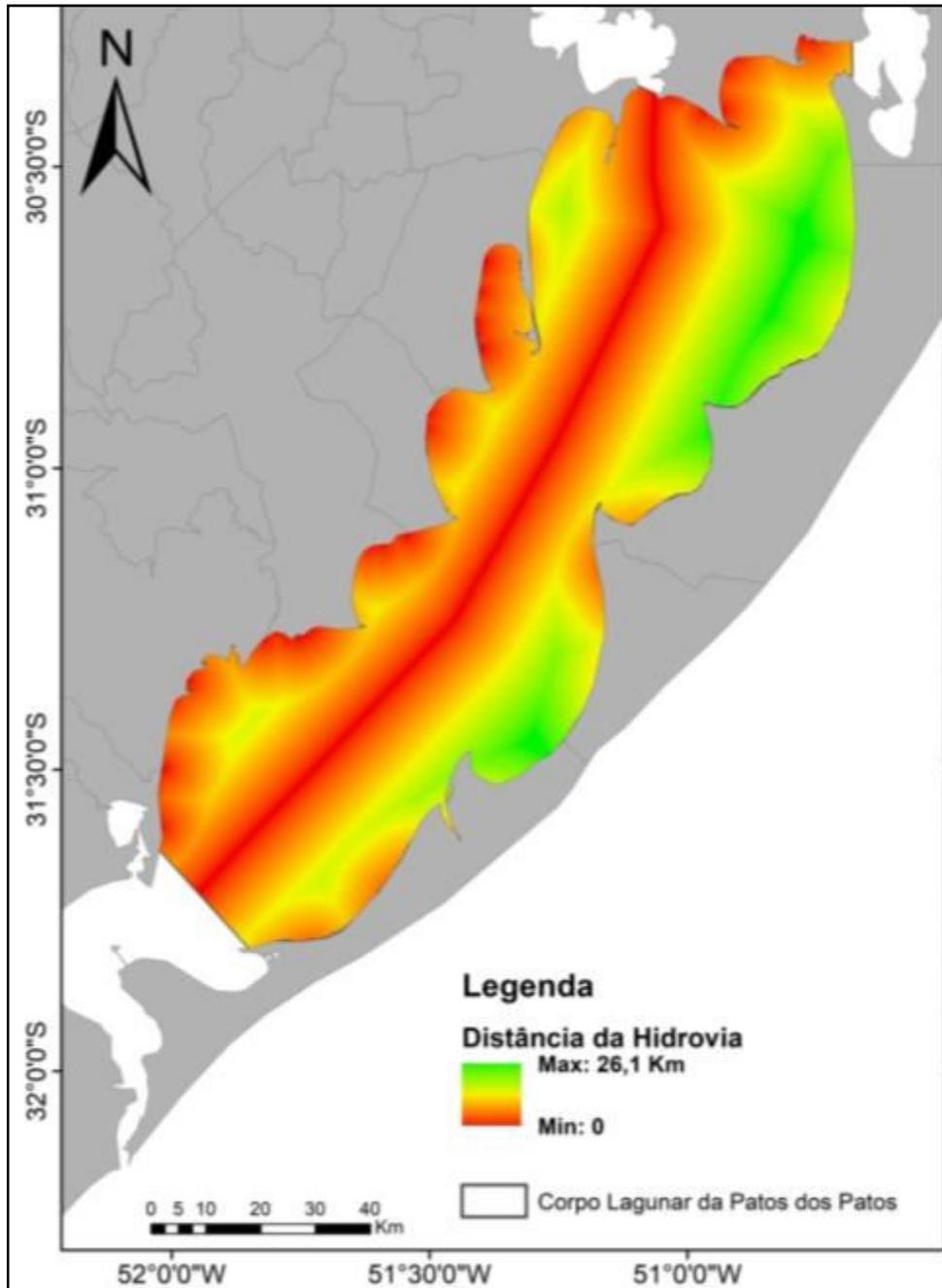
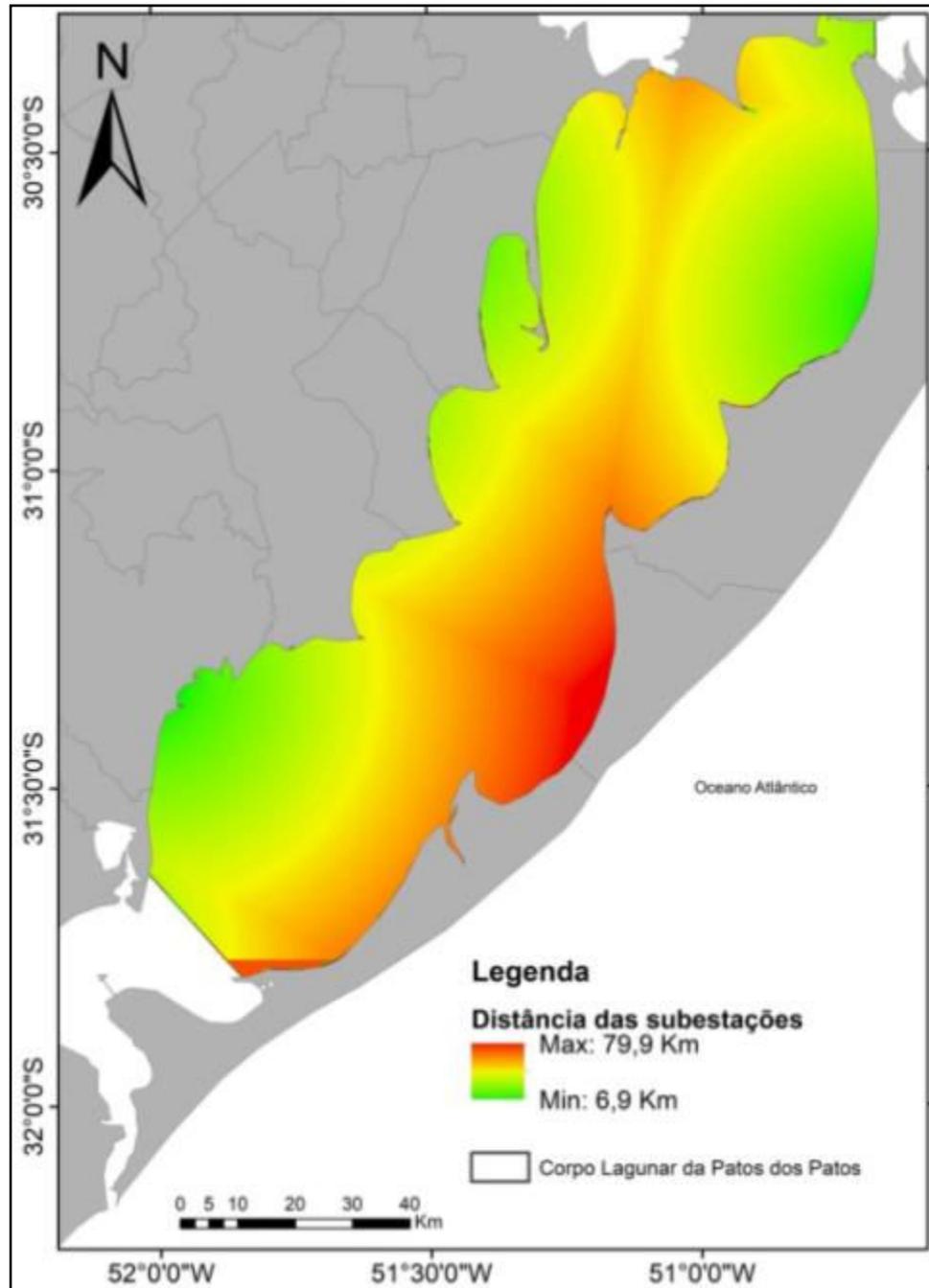


Figura 34 – Mapa de distância para o critério hidrovia na Lagoa dos Patos  
Fonte: Autor, 2018.

#### 6.1.5. Mapa de distância para o critério *Subestações*

A Figura 35, demonstra o mapeamento da distância das subestações existentes para futuros empreendimentos eólicos dentro da lagoa. Lembrando que áreas com maior distância das subestações tem menor potencial eólico. As subestações existentes e perto da lagoa estão nas cidades de: Pelotas, São Lourenço, Camaquã, Tapas, Palmares do Sul e Mostardas.



**Figura 35– Mapa distância para o critério subestações**  
**Fonte;Autor, 2018.**

#### 6.1.6. Mapa de distância para o critério *Unidades de Conservação*

Com intuito de preservar as unidades de conservação foi elaborado um *buffer* de 50km em torno na laguna. As Unidades de conservação (Lagoa do Peixe, Banhado Grande e Lagoa Verde) foram consideradas e analisadas pelo presente estudo. Na figura 36 é possível observar a distância que a Lagoa dos Patos possui das principais Unidades de Conservação citadas acima.

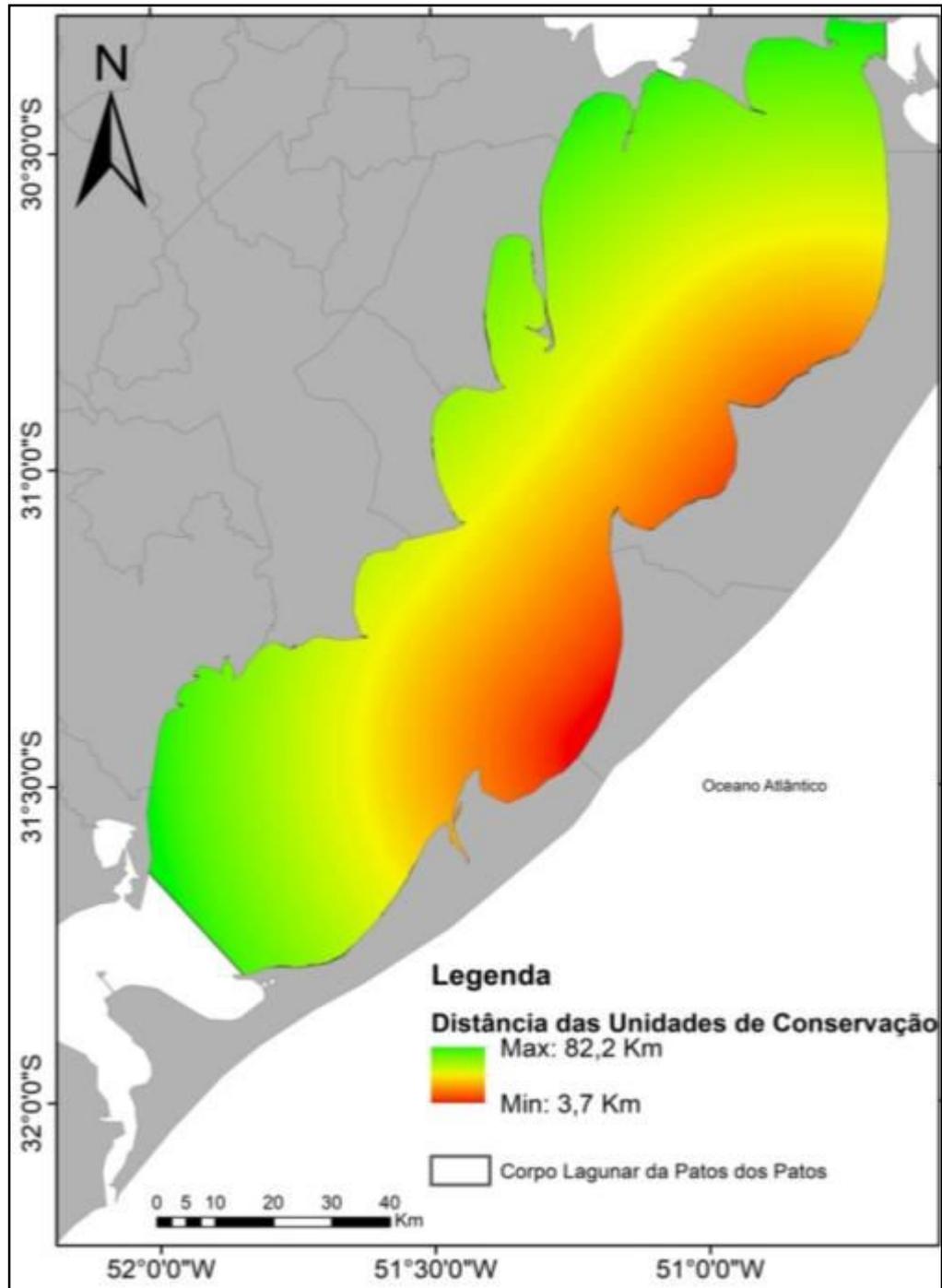


Figura 36– Mapa de distância para o critério Unidades de Conservação  
Fonte:Autor, 2018.

#### 6.1.7. Mapa de distância para o critério vias de acesso

A Figura 37 revela que toda a margem da região de estudo está próxima de uma subestação conectada ao SIN, beneficiando o modelo que considera que quanto mais próximo a estas melhor potencial para parques eólicos.

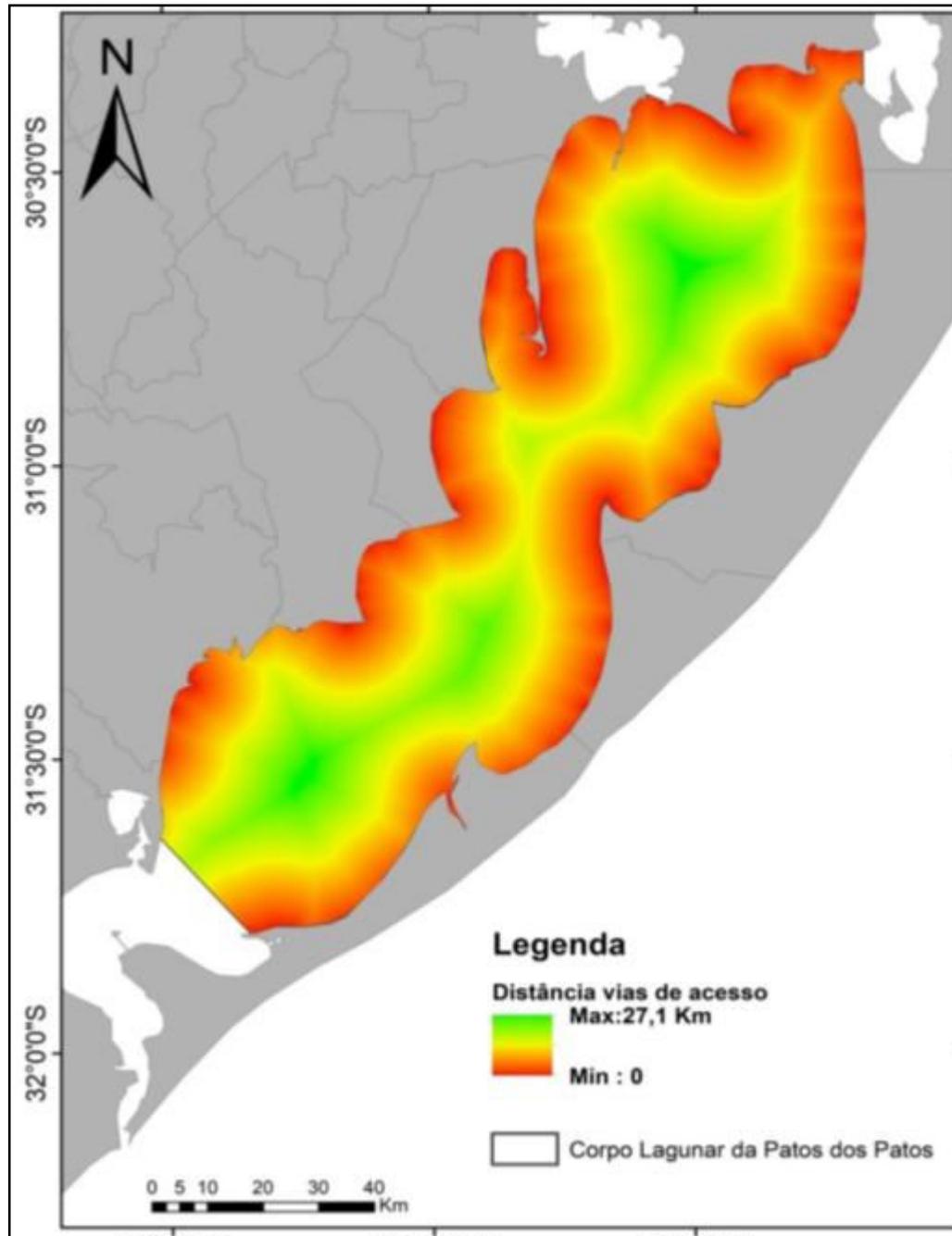
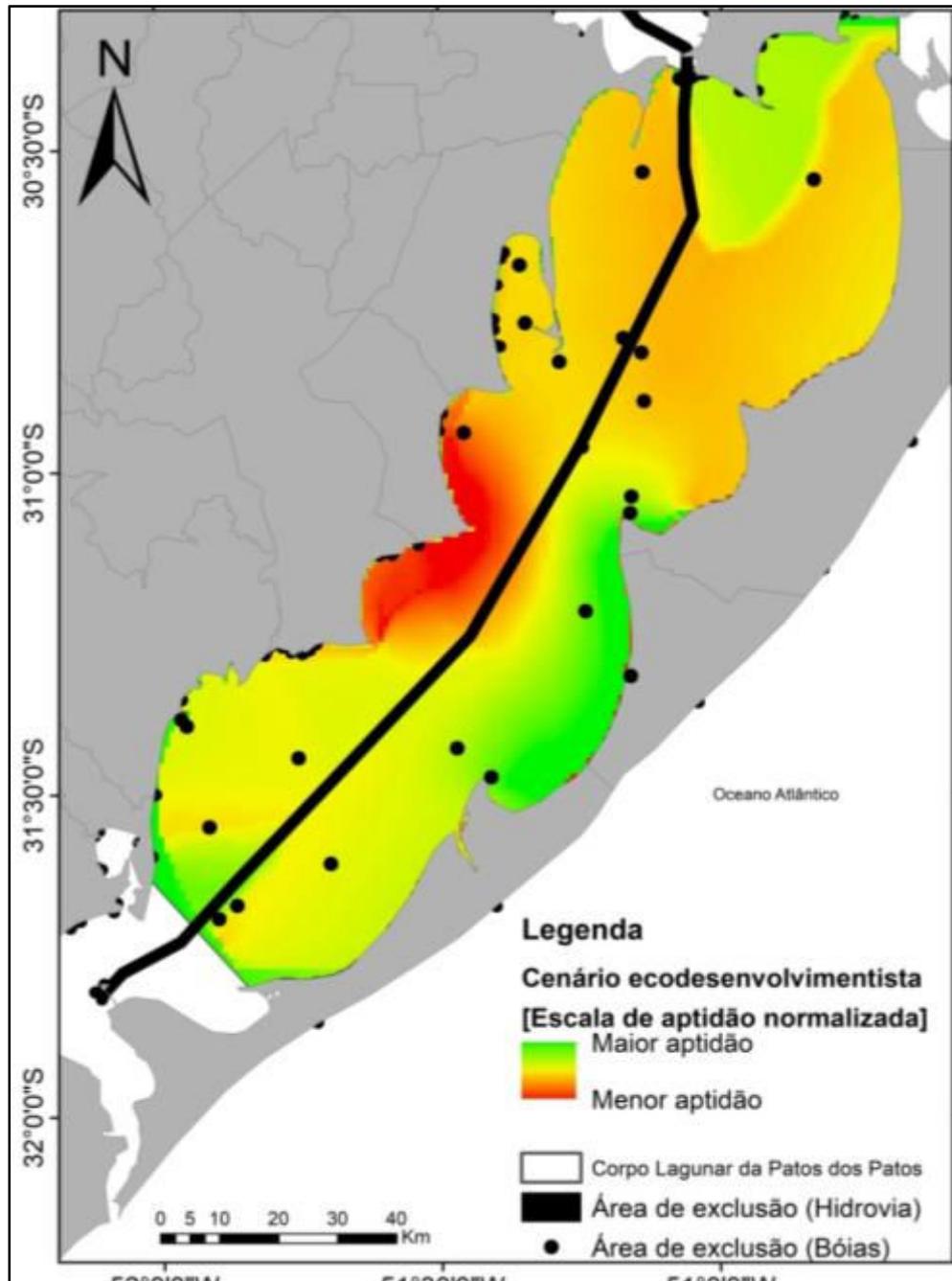


Figura 37 – Mapa de distância para vias de acesso  
 Fonte: Autor, 2018.

#### 6.1.8. Mapas temático dos cenários propostos

O cenário eco-desenvolvimentista (Figura 38) visou retratar uma preocupação na sustentabilidade da matriz energética nacional, flexibilizando os aspectos de conservação ambiental, patrimonial e cultural com os de desenvolvimento energético de uma Matriz limpa, sem deixar de considerar, no entanto, as restrições ambientais e legais. O cenário pode ser considerado como um modelo para o desenvolvimento cauteloso, levando em consideração o meio ambiente, onde se expõem as potencialidades do meio. Nesse cenário

foi atribuído maior peso as variáveis: energia cinética e variação do vento. Que posteriormente revelou que praticamente toda Lagoa dos Patos possui excelente potencial eólico.



**Figura 38– Mapa do cenário eco-desenvolvimentista**  
**Fonte: Autor, 2018.**

O cenário conservacionista (Figura 39) foi desenvolvido com o objetivo de proteger os habitats mais sensíveis, para assim reduzir impactos negativos que o empreendimento poderia causar a biota local. Nesse cenário foi atribuído maior peso as variáveis: população consumidora, via de acesso e subestações.

Gerando assim um cenário conservacionista restringindo praticamente toda laguna de empreendimentos eólicos, com exceção da parte mais ao Norte. A implantação e utilização de bóias flutuantes para ancoradouro de barcos pesqueiros são para prevenir e evitar a destruição de habitat por fundeio, por isso são consideradas áreas de exclusão (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2007). Assim como nos outros cenários as áreas de exclusão (bóias e hidrovia), são descritas no mapa abaixo.

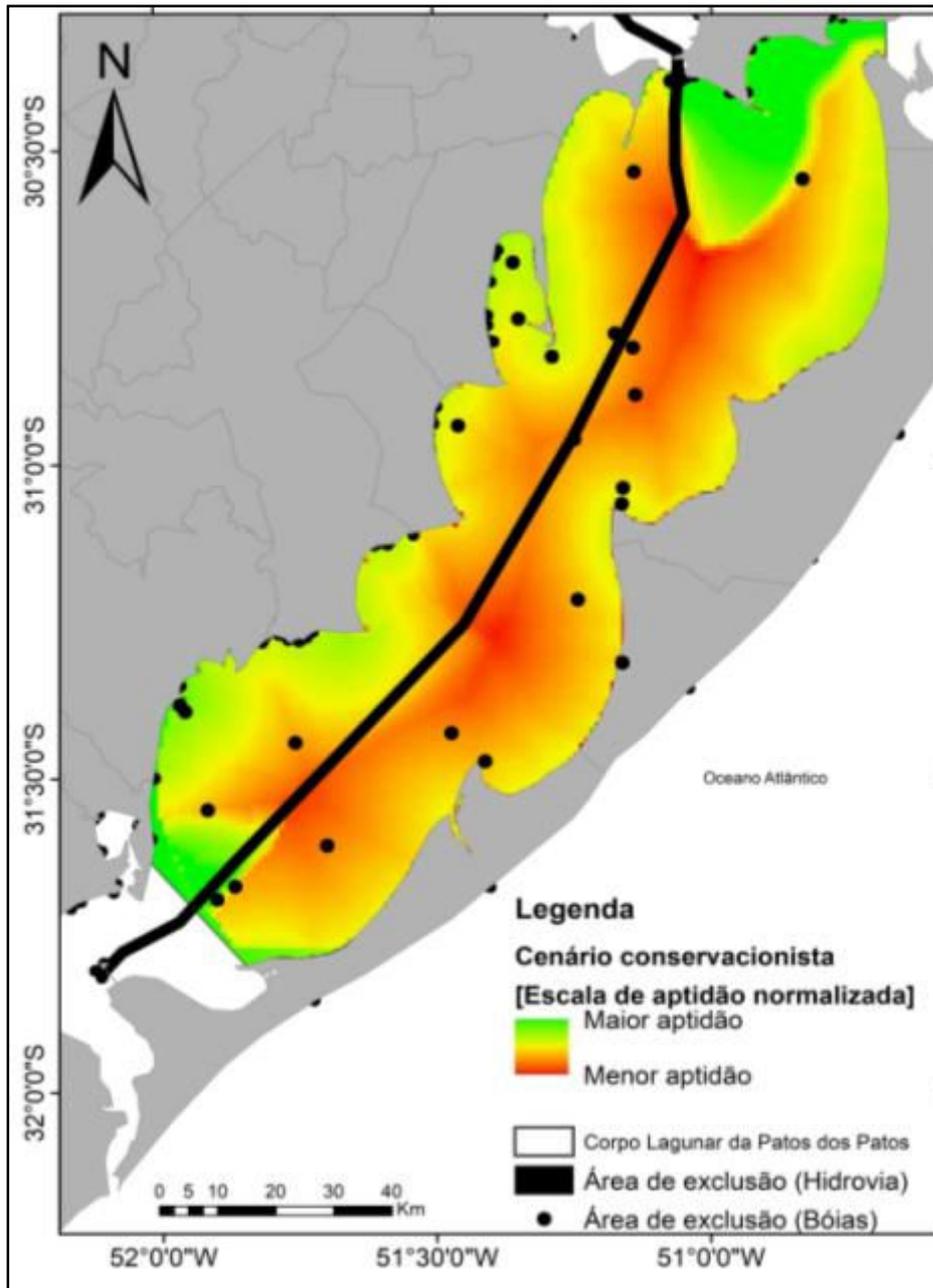


Figura 39– Mapa do cenário conservacionista  
 Fonte: Autor, 2018.

Com o intuito de comparar as mudanças nos pesos atribuídos para cada critério e testar modelos com diferentes critérios, foi gerado um "mapa neutro" que considerou todos os critérios como tendo pesos iguais (Figura 40). O cenário equilibrado traz a área central da laguna como a área menos imprópria para o empreendimento eólico, devido a hidrovia que está no mapa representada por uma linha contínua da cor preta, localizada no meio da Lagoa dos Patos. A região mais ao Norte da laguna dispõe a área com maior aptidão para parques eólicos dentro desse cenário.

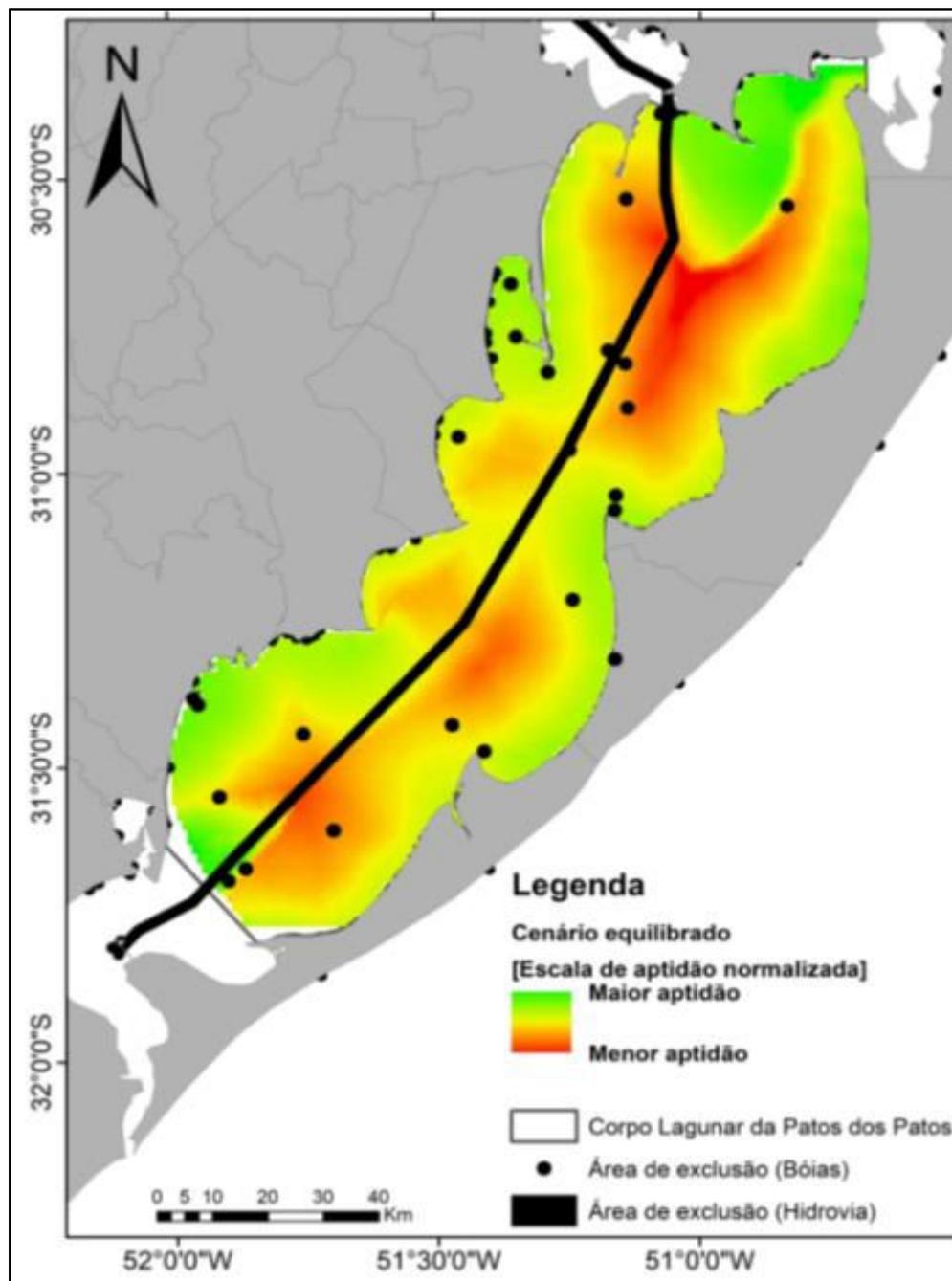


Figura 40 – Mapa do cenário equilibrado  
Fonte: Autor, 2018.

## 7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o passar dos anos, a demanda energética aumentará, principalmente na região litorânea aonde a população consumidora vem crescendo rapidamente. Assim, a energia eólica *offshore* deverá ser uma importante fonte de energia, complementando outras fontes já existentes no Brasil.

Diante desse cenário é primordial estudar e/ou aprimorar ferramentas e técnicas de planejamento que possam garantir de maneira confiável a sustentabilidade ambiental e socioeconômica das áreas sujeitas a receber esse tipo de empreendimento. Além disso, é relevante a criação de um ambiente regulatório específico para a instalação e operação de parques eólicos *offshore*.

O planejamento é a principal etapa no processo de implementação de parques eólicos. Durante esse processo, as restrições, compensações ambientais, mitigações, custos, entre outras informações são debatidas por especialistas com o máximo de cautela, evitando futuros prejuízos ambientais, sociais e de recurso financeiro.

A metodologia utilizada na pesquisa gerou três cenários de aptidão para empreendimentos eólicos na área de estudo, servindo como subsídio para futuras pesquisas que tratem do mesmo tema ou semelhante. Através da metodologia desse estudo foi possível propor um zoneamento ambiental para implantação de parques eólicos, definindo cenários passíveis de áreas para licenciamento com ou sem restrições, a partir da identificação das principais fragilidades e potenciais ambientais, estruturais, sociais e das variáveis físicas na área de estudo.

As características promissoras que fazem da Lagoa dos Patos uma área favorável para a expansão sustentável são: o seu relevo favorável, alto potencial de geração de energia a partir dos ventos, baixa rugosidade, ampla disponibilidade de espaço, baixo nível de impacto ambiental e paisagístico, facilidade aos acessos que contribui na instalação das infraestruturas de apoio, centros de consumo próximos e o baixo potencial de conflitos de uso.

Assim é possível concluir que a Lagoa dos Patos possui um grande potencial para uma expansão sustentável da energia eólica. Amplos espaços aptos estão principalmente localizados ao norte e ao sul do corpo lagunar. Os critérios de maior influência nesse resultado foram o vento, subestações, vias de acesso e as áreas restritivas.

### 7.1. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Uma das grandes limitações desse estudo foi a disponibilidade de dados considerados de alta importância para o empreendimento eólico na área de estudo, entre eles o dado de pesca. No decorrer do estudo, foram realizadas saídas de campo, visitando as colônias de pesca em torno da Lagoa dos Patos com a finalidade de catalogar as áreas de pesca na laguna. Porém a grande maioria das colônias relatou não possuir a rota exata das embarcações registrada pelas suas respectivas colônias. As únicas informações disponibilizadas pelas colônias de pesca foram referentes as possíveis áreas onde realizam as atividades de pesca, no entanto, conforme informado essas áreas podem sofrer alterações conforme a disponibilidade do pescado local.

Além disso, os dados referentes à avi-fauna, um dos mais importantes no que tange as restrições para parques eólicos, foi desenvolvido pelo atual estudo através dos *shapefile* de áreas úmidas em torno da laguna, demonstrando possíveis rotas para as aves. Atualmente, não existe nenhum estudo relacionado com as principais espécies de avi-fauna e suas rotas, na área da Lagoa dos Patos, o que dificultou a precisão dessa informação.

## 7.2. RECOMENDAÇÕES PARA O SEU SEGUIMENTO

Os investimentos para expansão de parques eólicos vêm aumentando consideravelmente no Estado, já que o Rio Grande do Sul é considerado um dos Estados com maior potencial para esse tipo de empreendimento. A energia eólica *onshore* já é uma realidade para o Brasil, porém a energia *offshore* encontra-se inexistente até os dias de hoje no país. Segundo *ORTZ (2011)* o potencial de geração energética *offshore* excede em mais de quatro vezes a geração de energia total do país atualmente. É imprescindível que novos estudos sobre o potencial eólico *offshore*, considerando o suporte ambiental seja realizado no país. Dando suporte para aos tomadores de decisão.

A *European Wind Energy Association* estabeleceu como objetivo a nível europeu a instalação de 75 GW de capacidade eólica até 2010, incluindo 10 GW em parques *offshore*. A energia eólica *offshore* irá tornar-se cada vez mais importante à medida que os locais adequados em terra se vão esgotando. Além disso, possui várias vantagens: o vento é mais forte e fiável no mar (a maioria dos sítios marinhos nas águas do Norte da Europa deverão produzir entre 20 a 40% mais energia eólica de que bons sítios no litoral) e os vizinhos que receiam ser incomodados são em número inferior. No entanto, os custos da produção de eletricidade em centrais *offshore* são atualmente superiores ao das centrais *onshore* (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2004).

Aspectos que devem ser observados com especial atenção dizem respeito à rota de navegação as áreas de pesca (incluindo as áreas rasas preferencialmente para a pesca do camarão) e impactos sobre a paisagem nas áreas próximas a os balneários turísticos localizados na margem oeste desta laguna e sobre as rotas migratórias das aves que se dirigem para a Restinga da Lagoa dos Patos, (onde se inclui o Parque Nacional da Lagoa do Peixe).

Este estudo oferece uma primeira abordagem sobre as questões espaciais (com considerações socioambientais e paisagísticas) a serem consideradas visando uma eventual exploração da energia eólica no espaço da Lagoa dos Patos, e como tal deve ser considerado. Esta pesquisa suscita novos questionamentos e novas demandas de pesquisa para o aprofundamento do conhecimento.

Entre as questões emergentes de pesquisa destacamos a necessidade de modelagem numérica da hidrodinâmica considerando a instalação de torres eólicas em diferentes cenários de concentração e de localização espacial a fim de avaliar os potenciais riscos de alteração na circulação e seus efeitos na erosão da costa. Outro aspecto relevante é a avaliação das eventuais rotas de aves migratórias no corpo lagunar.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Carla Maria Saleiro Maranhão de. **Custos financeiros e sociais da geração de electricidade em Parques Eólicos. Portugal**, 2006. 197 p. Tese de Mestrado em Tecnologia do Ambiente. Universidade do Minho.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3 ed. Brasília, 2008.

AMARANTE, O. A. C.; DA SILVA, F. J. L. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Camargo Schubert Engenharia Eólica, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica/CEPEL. Brasília, 2001.

AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J & SÁ, A. L. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Ministério de Minas e Energia - Brasília, Brasil.2001. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas\\_eolico\\_brasil/atlas.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas_eolico_brasil/atlas.htm)>. Acessado em 15 de julho de 2018.

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION. **Wind energy and wildlife**. Awea - american wind energy association, 2009.

ANEEL. Banco de Informações de Geração, Agência Nacional de Energia Elétrica - Brasília, Brasil.2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15>>. Acessado em 15 de julho de 2018.

ASMUS, M. L. **A Planície Costeira e a Lagoa dos Patos**. In: Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Rio Grande-RS.1998.

ASMUS, H. E.; PORTO, R. **Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica das placas**. Anais do XXVI Congr. Bras. Geol., 2: 67-90, Belém, PA.1972.

ASMUS, M. L. **A planície costeira e a Lagoa dos Patos**.In: Seeliger, U.; Odebrecht, C. e Castello, J.P, Ed(s). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Editora Ecocientia, p. 7-12. 1998.

ANEEL - **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª edição. 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acessado em 13 Agosto 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEÓLICA). **Boletim anual de geração eólica 2016**.

Atlas socioeconômico do rio grande do sul. Disponível em:<[www.seplag.rs.gov.br/atlas/](http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/)>.Acessado em 15 de julho de 2018.

Atlas eólico do Rio Grande do Sul. 2014.

BAITELLI, R. **Evolução Paleogeográfica do Sistema de Paleodrenagem do Rio Jacuí na Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.

BARRELLA, W. et al. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes**. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BESSA, R.; MOREIRA, C.; SILVA, B.; MATOS, M. **Handling renewable energy variability and uncertainty in power systems operation**. WIREs Energy Environ 3:156-178. doi: 10.1002/wene.76. 2014.

BOURILLON, C.- **wind energy - clean power for generations renewable energy** 16, 1-4 , janeiro,1999.

BRANDÃO, R. F. M. Estruturas de **Fixação de Aerogeradores. Instalações Offshore**. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2017.

BURGER, M. I.; RAMOS, R. A. **Áreas importantes para conservação na Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. ed. Brasília/MMA. Cap. 4. 2007.

CALLIARI, L.; CUNHA, R. P.; ANTIQUEIRA, J. A. F. **Geomorfologia e dinâmica sedimentar**. In: Seeliger, U. e Odebrecht, C., Ed(s). O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações. Rio Grande: FURG, p. 31-42. 2010.

CARVALHO, L. R. R. **Mapa de sensibilidade ambiental para derrames de óleo e derivados na porção norte da margem leste e a margem norte da laguna dos patos, rio grande do sul – brasil**. Rio grande- rs. Dezembro de 2005..

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO – CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em: 16 julho 2018.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2004. **A quota das energias renováveis na EU.COM** (2004). 366, 26 de Maio de 2004.

CORREA, Francieli Alves. **Impacto visual gerado pela central geradora eólica cassino, rio grande/rs: um estudo de percepção ambiental**. Rio Grande, 2015. 118 p. Dissertação (Pós-Graduação em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande.

COSTA, C.S.B. **A função das marismas na qualidade ambiental costeira**. Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros. 02-07/04/1998. Volume 5. Publicação ACIESP n 104. São Paulo, ACIESP, 162-172. 1998a.

COSTA, H. G. **Auxílio multicritério à decisão: método ahp**. Rio de janeiro. 2006.

COSTA, R. A.; CASOTTI, B. P.; AZEVEDO, R. L. S. **Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica**. Bndes setorial, rio de janeiro, março 2009.

CPT BAHIA. **Chefs atrasa indenizações**. 2014. Disponível em: <<http://cptba.org.br/2014/03/19/chesf-atrasaindenizacoes/>> Acessado em 16 agosto de 2018.

CJRWind. **"Parque Eólico Rymanów - b"**. Acessado:10/04/2018. 2014c.

CUNHA, E. B. A. C. **"Investigação do potencial eólico de Região Serrana no Ceará"** Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual do Ceará, 2008.

DASKIN, M. S. **Network and discrete location – models, algorithms and applications**. New york: john wiley & sons. 1995.

DIAS, J. L.; SAD. A. R. E.; FONTANA, R. L. & FEIJÓ, F. J. **Bacia de Pelotas**. Boletim de Geociências.Petrobras, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 235-245. 1994.

DIRETORIA DE HIDROVIA E NAVEGAÇÃO. **Marinha do Brasil**.Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/>>. Acessado em 2018.

DUTRA, R. M. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro**. Tese – universidade federal do rio de janeiro. 2001.

ESSLEMONT, E.; MOCCORMICK, M. **Sociological Impact of a Wind Farm Development**. The World Directory of Renewable Energy: Suppliers and Services. London: James & James, 1996.

ERA - Interim – **European Centre for Medium-Range Weather Forecasts**.Global Atmospheric Reanalysis. (S.N.). Disponível em: <<http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim>>. Acesso em: 17 julho 2018.

EUREC AGENCY. **The future for renewable energy**. Prospects and directions. London: James & James, 2002.

EWEA, Greenpeace. **Wind Force 12, a blueprint to achieve 12% of the world's electricity from wind power by 2020**. 2005. Disponível em: <[www.ewea.org](http://www.ewea.org)>. Acessado em 10 de Agosto 2018.

ERICKSON, W. P.; JOHNSON, G. D.; YOUNG JR, D. P. **A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions**. 2005.

EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION (EWEA). **The Economics of Wind Energy: A Report by the European Wind Energy Association, 2009**. Disponível em <<http://www.ewea.org/index.php?id=11>>Acessado em 15 de julho de 2018.

FADIGAS, Eliane. **Energia eólica**. (Série sustentabilidade [coordenador Arlindo Philippi Jr]). São Paulo: Manole, 2011.

FARIA, E.; BARROSO, L. A.; KELMAN, R.; GRANVILLE, S.; PEREIRA, M. V.. **Allocation of Firm-Energy Rights Among Hydro Plants: An Aumann–Shapley Approach**. IEEE Transactions on Power Systems, 2009.

FERNÁNDEZ, Z. I. **Offshore wind energy-technical aspects and feasibility study of offshore on spanish coasts**. Julho de 2010.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Crédito do BNDES para eólicas deve crescer 15%**. Disponível em: <(http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/88793-credito-do-bndes-para-eolicas-deve-crescer15.shtml).> Acessado em 16 agosto de 2018.

GARBE, Ernesto Augusto; MELLO, Renato de; TOMASELLI, Ivan. **Projeto Conceitual e Análise de Viabilidade Econômica de Unidade de Geração de Energia Elétrica Eólica na Lagoa dos Patos – RS**. Economia e Energia – e&e. Nº 83: Outubro/Dezembro de 2011.

GARBE, Ernesto Augusto; MELLO, Renato de; TOMASELLI, Ivan. **Projeto conceitual e análise de viabilidade econômica de unidade de geração de energia**

**elétrica eólica na lagoa dos patos – rs.** Revista brasileira de energia, vol. 20, no. 1, 1o sem. 2014.

GIPE, P. **Design as if people matter: aesthetic guidelines for the Wind Industry**, Washington, DC. 1995.

GLOBAL WIND STATISTICS 2017. **Global Wind Energy Council**. 14.02.2018.

GOMEDE, E.; BARROS, R. **Utilizando o Método Analytic Hierarchy Process (AHP) para Priorização de Serviços de TI: Um Estudo de Caso**. VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação. 2012. Acesso em 20 de novembro de 2017.

GOMES, L.F.A.M.; ARAYA, M.C.G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisão em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão**. Pioneira Thompson Learning, 2004.

GONZALEZ, J. S.; RODRIGUEZ, A. G.G.; MORA, J, C.; SANTOS J, R.; PAYAN, M. B.; **Optimization of wind farm turbines layout using an evolutive algorithm**. Sevilla, Spain. Em: Renewable Energy 35. 2010.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Atlas eólico do rio grande do sul**. Secretaria do desenvolvimento e promoção do investimento. 2014.

GRUBB, M. J; MEYER, N. I. **Wind energy: resources, systems and regional strategies**. In: JO-HANSSON, T. B. et. al. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

HERZ, R. **Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos**. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas. Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente**. São Paulo. 2003.

IZAGUIRRE, Z. F. **Offshore Wind Energy - Technical aspects and feasibility study of offshore on Spanish coasts**. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya, 2010. 156 p. Dissertação.

JORDÃO, Bruno Miguel da Cruz; PEREIRA, Susete Rodrigues. **A Análise Multicritério na Tomada de Decisão - O Método Analítico Hierárquico de T. L. Saaty** - Desenvolvimento do método com recurso à análise de um caso prático explicado ponto a ponto. Portugal, 2006. 14 p. Artigo (Gestão de Empreendimentos, 5º Ano), Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

KALNAY, E. **The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis project**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 77, p. 437-471, 1996.

KATSAPRAKAKIS, D. A. A review of the environmental and human impacts from wind parks. A case study for the Prefecture of Lasithi, Crete. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16(5), 2850-2863, 2012.

KLEY, A. S. **Reconstituição paleogeográfica epaleoambiental no Taim: Estudo dos furos de sondagem TA6 e TA7, na porção sul da planície costeira do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. 2012.

KROHN, S. **Wind Energy Reference Manual**. 2003. Disponível em: <[www.windpower.org/en/stat/units](http://www.windpower.org/en/stat/units)>. Acessado em 15 de julho de 2018.

**LIGHTING THE WAY TOWARD A SUSTAINABLE ENERGY FUTURE**. InterAcademy Council, October 2012.

LOTHIAN, A. Scenic perceptions of the visual effects of wind farms on South Australian landscapes. **Geographical Research**, 46(2), 196-207, 2008.

LUCINDA, F. S. **Descentralização da oferta de energia diante a crise energética brasileira**. Trabalho de conclusão de curso - universidade de Brasília. Faculdade de tecnologia. Departamento de engenharia elétrica. 2015.

LUCINDA, F. S. **Descentralização da oferta de Energia diante a crise energética Brasileira**. Brasília, Dezembro de 2015.

MALCZEWSKI, J. **GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview**. Progress in Planning, v.62, p. 3-65, 2004.

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind energy explained: Theory, Design and Application**. 2ª Edição. Ed. Massachusetts: John Wiley & Sons, 2009.

MARQUES, M. J. R. B. **Steady state analysis of the interconnection of offshore energy parks**. Lisboa: ist - instituto técnico superior, 2010. Dissertação (mestrado em engenharia electrotécnica e de computadores).

MEIRELES, A. J. A. **Impactos ambientais promovidos pela implantação e operação de usinas eólicas em áreas de preservação permanente (APP's) - Os campos de dunas fixas e móveis da planície costeira do Cumbe, município de Aracati, 2008**.

MEIRELLES, A. J. A. **Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais**. In: Confins, N. 11. 2011.

MERRA DA NASA – **Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications**. 2016. Disponível em: <<http://gmao.gsfc.nasa.gov/merra>>. Acesso em: 17 julho 2018.

MICELI, FRANCESCO. **"MV cable standard trench"**. Acessado: 10-04-2018. 2012.

MILLAIS, C.; TESKE, S. **Wind Force 12: A blueprint to achieve 12% of the world's electricity from power by 2020**. Disponível em: < [www.gwec.net](http://www.gwec.net) >. Acesso em: 11/02/18. 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha energética brasileira**. Exercício de 2016, edição: julho de 2017. 2016.

MIYASHIRO, Carolina S. **Dimensionamento de sistemas eólicos no entorno geográfico do município de Marechal Cândido Rondon**. Paraná, 2013.

MITTAL, A. **Optimization of the Layout of Large Wind Farms Usinga Genetic Algorithm**. 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade Brasileira**. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Zona Marinha. Março de 2007.

MITSCH, W. J.; GOSELINK, J. B. *Wetlands*. New York, Van Nostrand W. J. Reinhold. 357p. 1986.

MOILOA, B. H. E. **Geographical Information Systems for Strategic Wind Energy Site Selection**. 2009. Dissertação (Master of Science in Geographical Information Systems) – Faculty of Earth and Life Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam.

MÖLLER JR, O. O. **Hydrodynamique de la Lagune dos Patos (30°S, Brésil)**. Mesures et Modélisation. Tese de Doutorado. L'Université Bordeaux I. França. 1996.

MÖLLER, O. O.; CASTAING, P.; SALOMON, J. C.; LAZURE, P. **The Influence of Local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon**. *Estuaries*, 24(2):297–311. 2001.

MÖLLER, O. O.; FERNANDES, E. **O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações**. In: Seeliger, U. e Odebrecht, C., Ed(s). Rio Grande: FURG. 2010.

MÖLLER, O.; FERNANDES, E. **Hidrologia e hidrodinâmica**. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C. Ed(s). *O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*. Rio Grande: FURG, p. 17-30. 2010.

MORELLI, F. S. **Panorama geral da energia eólica no Brasil**. Escola de engenharia de são carlos da universidade de são paulo, 2012.

MOLNAROVA, K., SKLENICKA, P., STIBOREK, J., SVOBODOVA, K., SALEK, M., BRABEC, E. Visual preferences for wind turbines: Location, numbers and respondent characteristics. **Applied Energy**, 92, 269-278, 2012.

MUSIAL, W. **Offshore Wind Energy Update – State Summit 2006**. Disponível em: <[www.eere.energy.gov/windandhydro/windpoweringamerica/pdfs/workshops/2006\\_summit/musial.pdf](http://www.eere.energy.gov/windandhydro/windpoweringamerica/pdfs/workshops/2006_summit/musial.pdf)>. Acessado em 15 de julho de 2018.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Environmental impacts of wind-energy projects**. National Academic Press, 2007.

NIENCHESKI, L. F.; WINDOM, H. L. **Nutrient flux and budget in Patos Lagoon estuary**. *Science of the total environment*. 1994.

NIENCHESKI, L. F.; WINDOM, H. L.; SMITH, R. **Distribution of Particulate Trace Metal in Patos Lagoon Estuary (Brazil)**. *Marine Pollution Bulletin*. v.28, n.2, 1994b.

NOGUEIRA, R. X. S.; COSTA, C. S. B.; LÉLIS, R. J. F.; HARTMANN, C. **Mapeamento digital da paisagem das marismas do Ecomuseu da Ilha da Pólvora (Rio Grande, RS)**. UCPEL. 2001.

OLIVEIRA, S. S. **Análise do potencial eólico do estado da Paraíba utilizando modelos de mesoescala**. 129 p. Tese (Doutorado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, 2013.

OLIVEIRA, C. M. **Energia eólica no Brasil: o mercado, seus desafios e potencialidade**. Universidade federal de juiz de fora. Faculdade de engenharia, 2016.

ORTIZ, G. P.; KAMPEL, M. **Potencial de energia eólica offshore na margem do Brasil**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2011.

PEREIRA, R. S.; NIENCHESKI, L. F. H.; BAUMGARTEN, M. G. Z. **Condição ambiental da lagoa dos pato**. In: 1º SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL I SIMPÓSIO DE ÁGUAS DA AUGM. 2005. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/2394/CONDI%C3%87%C3%83O%20AMBIENTAL%20DA%20LAGOA%20DOS%20PATOS.pdf?sequence=1>>. Acessado em 10 de Agosto 2018.

PES, Marcelo P. **Estudo do impacto das mudanças climáticas no potencial eólico do estado do Rio Grande do Sul**. Para os períodos de 2010 a 2040 e 2070 a 2100. São José dos Campos: INPE, 2009. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/teses/DISSERTACAO\\_MARCELO-PES.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/teses/DISSERTACAO_MARCELO-PES.pdf)>. Acesso em: 16 julho 2018.

PIMENTA, F.; KEMPTON, W.; GARVINE, R. W. **Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil**. Renewable Energy. 2008.

PINHO, A. J. A. M. **"Gestão de projectos de parques eólicos contributos para a melhoria do processo"**, Dissertação de Mestrado, FEUP. 2008.

PORTAL DO MAR. **Ministério Público Consegue Liminar Que Paralisa Obras De Parque Eólico Em Flecheiras**. 2012. Disponível em: <<http://www.portaldomar.org.br/blog/portaldomar-blog/categoria/destaque-2/ministeriopublico-consegue-liminar-que-paralisa-obras-de-parque-eolico-em-flecheiras>>. Acessado em 16 agosto de 2018.

PORTELLA, J. R. Viabilidade da captação da energia eólica nos Oceanos (Captação Offshore). Minas Gerais- Brasil. 2007.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0510492/CA. Tipo de medição de vento. <[http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0510492\\_09\\_cap\\_01.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0510492_09_cap_01.pdf)>. 2009. Acessado em 15 de julho de 2018.

Renewable Energy Policy Network for the 21st century. 2016.

REISDORFER, A. F. **Gestão dos Recursos Hídricos: responsabilidade de todos**. Conselho em Revista. v.3, p. 12-14, 2004.

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process**. Pittsburgh, 2008.

SAATY, T. L. **Relative measurement and its generalization in decision making: why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors - the analytic hierarchy/network process**. Madrid: Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics(2008).

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill International 1980.

SAATY, T. L. **Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks.** Pittsburgh: RWS Publications 2005.

SAAVEDRA, Raphael; GARCIA, Joaquim; STREET, Alexandre; VEIGA, Alvaro; BRIGATTO, Arthur; FANZERES, Bruno; MARIN, Carlos; LIMA, Delberis; FREIRE Lucas; SOUTO Mario. **Construção de Séries de Produção Eólica de Longo Prazo a partir de um Curto Histórico Observado.** In: XXIII SNTPEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Foz do Iguaçu – PR, AB/XXX/YY 18 a 21 de Outubro de 2015.

SALINO, P. J. **Energia Eólica no Brasil: Uma Comparação do Proinfa e dos novos leilões.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.

SCHWARZBOLD, A.; SCHÄFER, A. **Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul.** Amazoniana, 9(1): 87-104 p. 1984.

SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. **Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil.** p. 9-12. Editora Ecocientia. Rio Grande-RS. 1997.

SEMA. Portal do Meio Ambiente- Pampa Gaúcho. Acessado: 10/01/2018.

SILVA, D. M. R. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais,** 1ed, Rio de Janeiro: PUC-RIO, 2007.

SILVA, T. S. **Planejamento na Costa da Lagoa dos Patos, Planície Costeira do Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado. Rio Grande: FURG. 2008.

SOUZA, L. L.; CUNHA, R. B.; SILVA, A.V.; SANTOS, M. H. P. **Análise do impacto ambiental causado pela geração de energia eólica.** Brasilengenharia. 2015.

TAGLIANI, P. R. A. **Estratégias de Planificação Ambiental para o Sistema Ecológico da Restinga da Lagoa dos Patos-Planície Costeira do Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos. 1995.

TOLDO JR., E. E. **Morfodinâmica da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul.** Porto Alegre-RS.1991.

TOLDO JR., E. E. **Sedimentação, Predição do Padrão de Ondas e Dinâmica Sedimentar da Antepraia e Zona de Surfe do Sistema Lagunar da Lagoa dos Patos, RS.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre-RS. 1994.

TRAPP, B. C. **Análise de viabilidade de uma fazenda eólica offshore no rio grande do sul.** Porto Alegre. 2009.

TRIANANTAPHYLLOU, E., MANN S. H. **Using The Analytic Hierarchy Process For Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges.** International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice, Vol. 2, N. 1, p. 35-44, 1995.

UOL NOTÍCIAS. **Moradores debatem sobre instalação de parques eólicos em dunas do Rio Grande do Norte.** 2012. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2012/09/08/moradoresdebatem-sobre-instalacao-de-aerogeradores-em-dunas-no-rio-grande-do-norte.htm>> Acessado em 16 agosto de 2018.

VASCONCELLOS, V. E. B. **Mapeamento e caracterização das acumulações de gás raso na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil – RS.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de geociências. 2009.

VILLWOCK, Jorge Alberto; TOMAZELLI, Luiz José. **Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual.** Seção I. Planície Costeira. 2008 Disponível em: < [http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/\\_arquivos/cap\\_2\\_lagoa\\_casamento.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/cap_2_lagoa_casamento.pdf)>. Acessado em 13 Agosto 2018.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J.; LOSS, E. L.; DEHNHARDT, E. A.; HORN FILHO, N.O. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: RABASA, J., (ed.), **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula.** Rotterdam: A.A.Balkema Publishers, 4, 11p. 1986.

VILLWOCK, J.A. E TOMAZELLI, L.J. **Geologia Costeira do Rio Grande do Sul.** In: Notas Técnicas, número 8, volume 1. Porto Alegre-RS. 1995.

VITERBO, J. C. **Geração de energia elétrica a partir da fonte eólica offshore.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

WACHSMANN, U.; TOLMASQUIM, M. T. **Wind power in Brazil - transition using German experience.** Renewable Energy. 2003.

WEC. **Survey of Energy Resources,** World Energy Council - London, UK. 2010.

WWF. **Relatório Planeta vivo 2014.** 2014

WEISS, C. V. C. **Implementação de um modelo de análise multicriterial para propor cenários para instalação de parques eólicos no sul da planície costeira do rio grande do sul, brasil.**Instituto federal de educação, ciência e tecnologia. Curso técnico em geoprocessamento, rio grande, 2013.

WEISS, C. V. C.; TAGLIANI, P. R. A.; ESPINOZA, J. M. A.; LIMA, L. T.; GANDRA, T. B. R. **Spatial planning for wind farms: perspectives of a coastal area in southern Brazil.** 2017.

WESCHENFELDER, F.; SCHAEFFER, L. **Situação atual e perspectivas da produção de energia elétrica a partir da geração eólica no brasil.** Porto Alegre - RS – Brasil, 2013.

WESS, C. V. C. **Análise locacional e estimativa da capacidade de suporte para a expansão sustentável da energia eólica na zona costeira do extremo sul do brasil.** Dissertação de mestrado. Universidade federal do rio grande, 2014.

WIND ENERGY, 2012. **Wind Energy The Facts.** WIND WORLD ENERGY AGENCY, 2009: World Wind Energy Report, Alemanha.

WORLD ENERGY COUNCIL. **World energy resources wind.** 2016. Wwf-norway. Report. **Environmental impacts of offshore wind power production in the north sea.** A literature overview. 2016.

ZENKOVITCH, V. P. **On the Genesis of Cuspate Spits along Lagoon Shores.** 1958.

<https://www.4coffshore.com/news/monopiles-support-structures-aid4.html>. 2017.  
<http://media.cjrwind.com//MULTIMEDIA/FOTOS/38/0003D0BC6B6A07.jpg>  
<http://portaldomeioambiente-pampasgaucho.blogspot.com.br/2010/06/destacam-se-como-rios-importantes-deste.html>