UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

LEANDRO YUDI SEKI

**Proposta de metodologia para elaboração de projetos de centrais de geração
de energia eólica**

São Paulo
2015

LEANDRO YUDI SEKI

**Proposta de metodologia para elaboração de projetos de centrais de
geração de energia eólica**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de mestre em
ciências.

Área de Concentração:
Sistema de Potência

Orientadora:
Prof.^a Dra. Eliane A.F.A. Fadigas

São Paulo
2015

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.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 19 de Dezembro de 2014

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

Catlogação-na-publicação

Seki, Leandro Yudi

**Proposta de metodologia para elaboração de projetos de centrais de geração de energia eólica / L.Y. Seki. – versão corr. -- São Paulo, 2015.
164 p.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Energia eólica 2.Metodologia 3.Parâmetros 4.Pesos 5.Riscos 6.Detalhamento I.Universidade São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

Nome: SEKI, Leandro Yudi

Título: Proposta de metodologia para elaboração de projetos de centrais de geração de energia eólica

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de mestre em ciências.

Aprovado em: 07/11/2014

Banca Examinadora

Prof. Dra. Eliane A.F.A. Fadigas Instituição: EP - USP

Julgamento: Aprovado Assinatura: _____

Prof. Dr. Dorel Soares Ramos Instituição: EP - USP

Julgamento: Aprovado Assinatura: _____

Banca Externa Rosana Rodrigues dos Santos Instituição: Alstom EXTERNO

Julgamento: Aprovado Assinatura: _____

Dedico este trabalho aos meus pais Dalton e Silvia

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Dalton e Silvia, pela formação de meus valores com base na observação de seus exemplos e dedicação.

A minha companheira Lilian, pelo tempo cedido à realização de meus esforços e a paciência de me apoiar em meus momentos de nervosismo e intolerância.

A minha orientadora Professora Eliane, por sua paciência, por acreditar em meus esforços e a oportunidade de realização deste trabalho.

RESUMO

As condições do setor eólico internacional em crise e a subsequente instalação de fornecedores no Brasil tem auxiliado no aumento de instalações de Centrais de Geração Eólica (CGE) no Brasil. A quantidade de projetos de detalhamento e implantação de centros geradores de energia eólica cresceram na mesma proporção. Os projetos dos parques eólicos no Brasil são concebidos, projetados, detalhados e implantados por um conjunto de profissionais de diferentes disciplinas e especialidades que, a partir de informações de referência e delimitações do escopo de trabalho, realizam suas atribuições em momentos distintos dentro do ciclo de implantação de um CGE. Durante a concepção, são considerados parâmetros, tais como interferências físicas, especificação de equipamento, estudos básicos, análise da distribuição, transmissão de energia e capacidades de geração de energia elétrica. Durante toda a fase de desenvolvimento do projeto, um dos principais pontos de atenção são as análises de risco do projeto que avalia o andamento do projeto e visa reduzir os riscos de fracasso da empreitada. Caso estes índices sinalizem problemas ou barreiras intransponíveis, as atividades de detalhamento do projeto eólico devem ser interrompidas. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia que auxilie na análise de riscos de projetos de detalhamento eólico. Esta metodologia auxiliará profissionais menos experientes ou que não atuem no mercado eólico e precisam de subsídios técnicos para elaborar relatórios aos responsáveis pelo planejamento estratégico de futuros empreendimentos eólico.

Palavras Chaves:

Energia Eólica, Metodologia, Parâmetros, Pesos, Riscos, Detalhamento.

ABSTRACT

The crisis of the international wind industry and the subsequent installation of suppliers in Brazil has helped in the increase of the central premises of wind generation (CGE) in Brazil. The amount of detailing projects and deployment of wind energy generating centers grew in proportion. The wind farms projects in Brazil are designed, engineered, detailed and implemented by a group of professionals from different disciplines and specialties, that perform their duties at different times within the cycle development of a CGE using different reference information's and delimitations of scope of work. During design, are considered parameters such as physical interference, equipment specification, basic studies, analysis of the distribution, power transmission and generation capacity of electricity. Throughout the development phase of a project, one of the main points of attention is the project risk analysis that evaluates the progress of the project and aims to reduce the risk of failure of the venture. If these indices to signal problems or insurmountable barriers, detailing the activities of the wind project should be stopped. This work aims to develop a methodology that assists in the analysis of wind power detailed project risks. This methodology will assist less experienced professionals or professionals that are not used to work in the wind energy power market and need more information for reporting technical issues to those responsible for strategic planning of future wind projects.

Key Words:

Wind Energy, Methodology, Parameters, Grades, Risks, Detailing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Gráfico da Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte (2012).....	21
Figura 2 - Gráfico da Evolução da geração de energia eólica no Brasil	22
Figura 3 - Ciclo da radiação solar na Terra	29
Figura 4- Ciclo de condução e convecção do ar	29
Figura 5 - Convergência e Divergência	29
Figura 6 - Modelo de 3 Células	Erro! Indicador não definido.
Figura 7 - Cilindro de área transversal da energia do vento.....	30
Figura 8 - Gráfico Exemplo de densidade de probabilidade de vento	31
Figura 9 - Sequência de eventos do desenvolvimento de um complexo eólico	Erro! Indicador não definido.
Figura 10 - <i>Atlas Eólico Brasileiro</i>	35
Figura 11 - Atlas Eólico Regional do Estado de São Paulo.....	36
Figura 12 - Mapa de Possibilidades de Alocação.....	38
Figura 13 - Exemplos de Gráfico de Frequência de Ventos e Rosa dos Ventos..	41
Figura 14 - Esquemático de uma torre Anemométrica	42
Figura 15 - Torre anemométrica de 120 metros de altura	43
Figura 16 - Rotação de ciclones e anticiclones na Terra.....	46
Figura 17 - Sistema de Controle (<i>Yaw</i> , <i>Pitch</i> e <i>Stall</i>)	50
Figura 18 - Principais componentes de dois tipos de aerogeradores.....	52
Figura 19 - Curva de Potência Padrão	55
Figura 20 - Curvas de Potência de Aerogeradores – Fornecedores	57
Figura 21 - Curvas de Potência de Aerogeradores – Fornecedores	57
Figura 22 - Curvas de Potência de Aerogeradores – Fornecedor.....	57
Figura 23 - Chumbadores não instalados	59
Figura 24 - Chumbadores instalados	60
Figura 25 - Subestações unitária ao lado da torre do aerogerador	61
Figura 26 - Equipamentos Internos e subestação elevadora de tensão.....	61

Figura 27 - Transporte de Pás de 50 metros.....	65
Figura 28 - Cortes e aterros para atender inclinações máximas	66
Figura 29 - Acidente em transporte de parte de torre de aerogerador	67
Figura 30 - Acidente em transporte de pá de aerogerador.....	67
Figura 31 - Processo de obtenção de um licenciamento ambiental	70
Figura 32 - Distribuição de aerogeradores em região montanhosa.....	73
Figura 33 - Usina Morro dos Ventos III (DESA).....	74
Figura 34 - Efeito esteira gerado por uma turbina eólica.....	75
Figura 35 - Gráfico com métricas de custo de um parque eólico	80
Figura 36 - Gráfico com métricas de custo de um aerogerador	81
Figura 37 - Principais grupos de custos em estimativas de investimento	82
Figura 38 - Gráfico de Influência x Recurso no desenvolvimento de um projeto..	88
Figura 39 - Mapeamento de parâmetros (anexo C)	111
Figura 40 - Correlação dos parâmetros (anexo D).....	112
Figura 41 - Matriz de Probabilidade x Impacto	113
Figura 42- Graduação de risco baseado em nota ponderada	119
Figura 43 - Avaliação da Graduação do Risco	120
Figura 44 - Localização da área do empreendimento	124
Figura 45 - Licença Simplificada	125
Figura 46 - Licença de Instalação	125
Figura 47 - Licença de Operação	125
Figura 48 - Atestado de Vistoria do Corpo de Bombeiros (AVCB)	125
Figura 49 - Relatório Ambiental Simplificado.....	127
Figura 50 - Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais.....	128
Figura 51 - Relatório anual de gestão e monitoramento ambiental	129
Figura 52 - Foto aérea e posicionamento de torres anemométricas	129
Figura 53 - Relatório resumo de uma das torres anemométricas.....	130
Figura 54 - Estatísticas mensais	130
Figura 55 - Cálculos de esforços na base	131
Figura 56 - Relatórios de sondagem	131

Figura 57 - Especificações da GE (elétricas)	132
Figura 58 - Especificações da GE (civil).....	132
Figura 59 - Rede de distribuição MT	133
Figura 60 - Certificado de conclusão mecânica.....	134
Figura 61 - Especificações da GE (Civil)	134
Figura 62 - Diagrama unifilar do Parque Eólico Morro dos Ventos I.....	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator n para diferentes tipos de superfície	44
Tabela 2 - Classe de turbinas eólicas	53
Tabela 3- Custos associados a projetos eólicos	79
Tabela 4 - Estimativas de custos nos Estados Unidos.....	83
Tabela 5 - Emissão de CO ₂ em usinas termelétricas	90
Tabela 6 - Comparação de economia de CO ₂ por energia (MW/h)	90
Tabela 7 - Consumo de água por fonte de geração de energia	92
Tabela 8 - Consumo de litros de H ₂ O anual em uma usina de 100 MW e relações	92
Tabela 9 - Economia na geração de 1 GW/ano	93
Tabela 10 - Parâmetros categorizados em grupos e subgrupos.....	105
Tabela 11 - Tabela de pesos e notas ponderadas	114
Tabela 12 - Pesos e notas ponderadas final - parte 1	117
Tabela 13 - Tabela de Pesos e Notas Ponderadas Final – Parte 2.....	117
Tabela 15 - Tabela de pesos e notas ponderadas final – parte 4.....	118
Tabela 14 - Pesos e notas ponderadas final – parte 3	118
Tabela 16- Pesos – Morro dos Ventos I – Parte 1.....	136
Tabela 17 - Pesos – Morro dos Ventos I – Parte 2.....	137
Tabela 18 - Pesos – Morro dos Ventos I – Parte 3.....	138
Tabela 19 - Pesos – Morro dos Ventos I – Parte 4.....	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACE	Association for the Advancement of Cost Engineering
ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASV	Autorização de Supressão Vegetal
AVCB	Atestado de Vistoria do Corpo de Bombeiros
AWEA	American Wind Energy Association
BEN	Balanço Energético Nacional
BOP	<i>Balance of Plant</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CBEE	Centro Brasileiro de Energia Eólica
CCC	Conta de Consumo de Combustível
CELPA	Companhia Elétrica do Pará
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGE	Central de Geradores Eólicos (conjunto de parques eólicos)
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CI	Custos de Investimento
CME	Comissão Mundial de Energia
COELCE	Companhia Energética do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós Graduação de Engenharia
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CTA	Centro Técnico Aeroespacial
DEWI	Deutsches Windenergie Institut
DOE	Department of Energy

EAP	Estrutura Analítica de Projeto
EIA	Estudos Prévio de Impacto Ambiental
EPC	<i>Engineering, Procurement & Constructability</i>
EERE	Energy Efficiency & Renewable Energy (U.S. Department of Energy)
EWEA	European Wind Energy Association
EUR	Euro (Moeda corrente da União Europeia)
FC	Fator de Capacidade
FEL	<i>Front End Loading</i>
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GTEE	Grupo de Trabalho de Energia Eólica
GWEC	Global Wind Energy Council
HH	Hora/Homem
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
ICG	Instalação Compartilhada de Geração
IEM	Interferência Eletromagnética
II	Imposto de Importação
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia (Ministério da Agricultura)
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
IPI	Imposto sobre Produto Industrializado
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MEASNET	The International Measuring Network of Wind Energy Institutes
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
ONS	Operador Nacional do Sistema

O&M	Operação e Manutenção
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
PBA	Plano Básico Ambiental
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
PRAM	Project Risk Analysis and Management
RAMP	Risk, Analysis and Management for Projects
RAS	Restauração Ambiental Sistêmica
RDPA	Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RISKMAN	Risk Management
PAC	Programa Global para Construção
SEI	Sistema Elétrico Interligado
SHAMPU	Shape, Harness and Manage Project Uncertainty
SPDA	Sistema de proteção contra descargas atmosféricas
SPE	Sociedade de Propósito Específico
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

W	Watt (unidade de potência)
h	Hora (unidade de tempo)
s	Segundo (unidade de tempo)
kg	Quilograma (unidade de peso)
ton	Tonelada (unidade de peso $\text{kg} \times 10^3$)
L	Litro
TWh	Terawatt hora (unidade de energia)
kW	Quilowatt (unidade de potência $\text{W} \times 10^3$)
MW	Megawatt (unidade de potência $\text{W} \times 10^6$)
GW	Gigawatt (unidade de potência $\text{W} \times 10^9$)
TW	Terawatt (unidade de potência $\text{W} \times 10^{12}$)
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
NO	Óxido de nitrogênio
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
SO ₂	Dióxido de Enxofre
H ₂ O	Água
HH	Homem Hora
E _{cin}	Energia Cinética
P _v	Potência do Vento
A	Área transversal coberta pelas pás da turbina eólica
t	Tempo (em segundos)
ρ_{ar}	Densidade do ar
v	Velocidade do vento
m	Metros
V(z _r)	Velocidade na altura de referência z _r
V(z)	Velocidade na altura desejada z
z	Altura desejada

z_r	Altura de referência
z_0	Comprimento da rugosidade
k	Constante de Von Kármán (normalmente 0,4)
n	Parâmetro diretamente associado à rugosidade da superfície
ρ_{ar}	Massa específica do ar (kg/m^3)
A	Área varrida pelo rotor eólico (m^2), que depende do diâmetro do rotor
C_p	Coeficiente de potência que representa a eficiência aerodinâmica de conversão da energia contida no vento em energia mecânica rotacional
η	Eficiência do sistema de transmissão, gerador elétrico
V	Volt
$P(v)$	Potência gerada (kW) para uma velocidade do vento v (m/s) deduzida a partir da curva de potência do aerogerador.
$f(v)$	Frequência de ocorrência (%) da velocidade do vento v (m/s) calculada pela função probabilidade da distribuição de Weibull.
R\$	Moeda brasileira – real
US\$	Moeda norte americana - dólar
MVA	Mega Volt Ampere (unidade de potência $\text{VA} \times 10^6$)
A3	Leilão de Energia com fornecimento para 3 anos futuros
A5	Leilão de Energia com fornecimento para 5 anos futuros
db	Decibéis

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	20
1.1. CONTEXTO	20
1.2. MOTIVAÇÃO	24
1.3. OBJETIVOS	25
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
2.1. ENERGIA EÓLICA	28
2.2. DETALHAMENTO DO PROJETO DE PARQUE EÓLICO.....	31
2.2.1. <i>Conceito de Planta Eólica</i>	32
2.2.2. <i>Seleção do Local</i>	35
2.2.3. <i>Acervo Documental</i>	38
2.2.4. <i>Informações Técnicas</i>	40
2.2.5. <i>Definição do Arranjo da Planta</i>	73
2.3. PLANEJAMENTO FÍSICO E FINANCEIRO	77
2.3.1. <i>Cronograma.....</i>	77
2.3.2. <i>Custos</i>	78
2.3.3. <i>Análise de Riscos.....</i>	84
2.4. ALTERNATIVAS COMPETITIVAS.....	88
2.4.1. <i>Venda de Créditos de Carbono</i>	89
2.4.2. <i>Redução de Gastos com Recursos Hídricos</i>	91
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	94
3.1. INTRODUÇÃO	94
3.2. FASES DE UM PROJETO EÓLICO	95
3.3. ORGANIZAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	98

	19
3.3.1. Lista de Variáveis e Parâmetros	99
3.4. ASSOCIAÇÃO DOS PARÂMETROS	111
3.5. GRADUAÇÃO DE PESOS	112
3.6. GRADUAÇÃO DOS RISCOS.....	119
CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NOS ESTUDOS DE CASO	122
4.1. INTRODUÇÃO	122
4.2. EMPREENDIMENTO – USINA EÓLICA MODELO	123
4.3. CONCLUSÃO	140
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
5.1. CONCLUSÕES	142
5.2. SUGESTÃO PARA MELHORIAS DO TRABALHO	143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
ANEXOS	156
ANEXO A – MAPA DOS VENTOS MÉDIOS GLOBAIS A 80 METROS DO SOLO	157
ANEXO B – MAPA DOS VENTOS MÉDIOS DE SÃO PAULO A 100 METROS DO SOLO	158
ANEXO C – MAPEAMENTO DE PARÂMETROS	159
ANEXO D – ASSOCIAÇÃO DE PARÂMETROS	160
ANEXO E – TABELA DE PESOS	161
ANEXO F – MAPA BRASIL - EARTH.NULLSCHOOL.NET	164

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

Atualmente, segundo previsto pelas principais economias mundiais, o crescimento no consumo de energético mundial indica a permanência do crescimento na demanda de energia elétrica. Diversos fatores são responsáveis por este comportamento crescente. O aumento demográfico, o aumento de dispositivos eletrônicos impulsionados pelo consumismo e o crescimento das economias são exemplos importantes que começam a questionar a sustentabilidade energética mundial. No Brasil, segundo estudos da EPE (Empresa de Pesquisas Energéticas), o atual consumo de energia elétrica do brasileiro irá triplicar até o ano de 2050 atingindo o patamar de 7.000 kWh.ano, energia suficiente para, atualmente, sustentar uma residência de classe média com 4 pessoas.

Embora existam formas de geração de energia elétrica tradicionais como as usinas termelétricas e nucleares, o crescimento da necessidade de energia elétrica associado aos problemas crônicos ambientais devido à utilização dessas fontes preocupa as principais organizações mundiais assim como os governos de diversos países. A alusão a este problema fez com que outras opções de geração de energia elétrica renováveis comesçassem a ganhar maior destaque.

Atualmente, no Brasil, no contexto de geração de energia elétrica, existe uma grande participação da geração de origem hídrica comparada ao uso de fontes renováveis na matriz elétrica. Segundo informações da ABEEólica (Associação Brasileira de Energia Eólica) e da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), as fontes renováveis representaram, no ano de 2014, 79% da composição da matriz elétrica brasileira.

A energia eólica brasileira, neste momento, representa ainda uma contribuição pequena de 3% da matriz elétrica brasileira frente às demandas de energia elétrica nacional (figura 1).

Fonte: (ABEEólica / ANEEL)

Figura 1 - Gráfico da Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte

Segundo informações da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), já constam no Brasil 226 usinas eólicas, cuja capacidade instalada chega a 5,66 GW de potência. Diversos fatores políticos e estruturais da realidade brasileira, como atrasos contratuais, falta de linhas de transmissão ou problemas para inserção da energia gerada pelos parques eólicos têm feito com que a energia efetivamente vendida nos últimos leilões pelas geradoras eólicas não seja efetivamente produzida.

As políticas governamentais têm incentivado fortemente as fontes renováveis de energia elétrica; no entanto, embora os últimos leilões de energia tenham sido favoráveis para as fontes de geração eólica e a evolução desta fonte de geração

tenha aumentado mais de 122% de 2011 para 2014 (figura 2), a participação da energia eólica na matriz elétrica brasileira ainda é pequena.

2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Δ% 2014/2011
61	61	93	237	663	1183	1238	2177	2705	5050	5250	5660	122,71%

Fonte: Elaboração do autor (Adaptado do BEN 2013)

Figura 2 - Gráfico da Evolução da geração de energia eólica no Brasil

A matriz elétrica brasileira ainda se sustenta predominantemente das fontes de geração hidráulica (grandes usinas hidrelétricas) e de termelétricas (a base de combustíveis fósseis, como carvão mineral e gás natural). Atualmente, no contexto brasileiro, as usinas termelétricas a carvão e gás natural possuem entraves a sua utilização ou expansão.

As principais desvantagens referentes às fontes de geração hidráulica se relacionam aos impactos ambientais causados pelas áreas inundadas (impacto na fauna, na flora e na emissão de gases de efeito estufa gerado pela decomposição da vegetação submersa no processo de criação das áreas alagadas); às limitações geográficas devido às grandes distâncias dos centros consumidores de energia (requerem linhas de transmissão de altos volumes de investimento); à dependência da hidrologia regional e nacional; aos impactos socioeconômicos decorrentes das

modificações dos regimes de trabalho do aumento da população local, da desmobilização de trabalhadores; além dos investimentos necessários serem muito superiores na construção das hidrelétricas.

As principais desvantagens com relação à geração termoelétrica são combustíveis fósseis em si. Em quase sua totalidade, a cadeia de geração de energia elétrica decorrente de combustíveis fósseis causa impactos ambientais considerados graves. A produção e o transporte dos combustíveis já implicam riscos ambientais graves somados à queima com geração de gases do efeito estufa e gases geradores de chuvas ácidas (CO, CO₂, NO, NO₂, SO₂, dentre outros) mostrando-se um processo oneroso às gerações futuras. Além do fator ambiental, embora algumas novas reservas destes combustíveis ainda sejam encontradas, existem sinalizações de esgotamento. Com a demanda energética mundial aumentando ao longo dos tempos e a redução das reservas, os custos dos combustíveis aumentam e conseqüentemente os custos de operação e despacho desta geração elétrica.

Com a economia e o setor de energia elétrica brasileiro crescendo mais de 4% a.a., movimentos para aperfeiçoar as cadeias de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica se intensificam. Com sinalizações da mídia de que as demandas de utilização de energia elétrica superam as expectativas de aumento de capacidade de geração, transmissão e distribuição de eletricidade, surgem oportunidades de outros setores não tradicionais de geração de energia elétrica no Brasil de se destacarem.

O grande estímulo ao aumento dos investimentos em energia eólica decorreu da grande dificuldade na aprovação de licenças ambientais de novas usinas hidrelétricas, a escassez de gás que viabilizasse a construção de novas usinas termelétricas e a necessidade de ampliação da matriz energética brasileira em curto prazo devido ao crescimento da demanda nacional. Além disso, a fonte de geração

de energia eólica proporciona diversos benefícios com relação aos impactos ambientais provenientes de sua geração.

Existem diversos parâmetros que podem determinar a inviabilidade de implantação de centrais eólicas ou utilização de turbinas eólicas. Altos investimentos requeridos por motivos logísticos, regimes turbulentos dos ventos, imprecisões e incertezas de projetos além da falta de estudos e análises dos parâmetros técnicos, são alguns exemplos que podem inviabilizar a implantação de um complexo de geração eólica.

A geração de energia elétrica proveniente do vento passou a ser explorada nas últimas décadas pelos países em desenvolvimento e foram implantadas em países de alto grau de desenvolvimento socioeconômico devido à falta de alternativas de geração de energia elétrica, tendências políticas de sustentabilidade ou cultura histórica de utilização dos ventos para a realização de atividades mecânicas.

1.2. Motivação

A elaboração dos estudos de viabilidade técnica econômica usualmente requer volumes consideráveis de homem hora (HH) de engenharia de profissionais altamente qualificados e experientes, uma vez que suas definições servem de base para definições estratégicas. Dessa forma, esses estudos e análises são utilizados de modo a fazer com que sejam reduzidos os riscos técnicos, financeiros e de prazo aos quais os projetos eólicos estão expostos.

Atualmente, para a aceitação de desenvolvimento de projetos de engenharia, são necessárias diversas etapas de análise e negociação. Normalmente as propostas são divididas em duas partes, uma proposta técnica e uma proposta comercial, que após consolidadas compõem a proposta orçamentária.

Para a maioria dos empreendimentos industriais, a utilização de recursos financeiros na elaboração de propostas orçamentárias ou estudos de viabilidade se

justificam devido ao grande volume de capital investido. Além da utilização de recursos humanos e financeiros, os tempos de implantação e produção são longos e os modelos de negócio e tempos de retorno do capital consideram o longo prazo. No setor de energia eólica, embora diversos investidores já possuam prováveis locais de implantação dos complexos eólicos, a abertura de leilões de energia para o setor costuma ser anunciada em curto prazo. Por isso, a falta de tempo e recursos necessários à análise qualitativa e quantitativa da relação custo benefício de parques eólicos aumentam os riscos de desenvolvimento e implantação do projeto, pois podem considerar premissas falsas ou equivocadas.

1.3. Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia que permita aperfeiçoar os processos de elaboração de propostas e servir como guia de orientação para subsidiar as tomadas de decisão durante a aceitação na execução do detalhamento de um projeto eólico. Durante a avaliação de uma carta convite ou proposta, são considerados, pelos especialistas da empresa, os parâmetros políticos, técnicos, ambientais e econômicos apresentados por seus potenciais clientes. São considerados, na análise, itens como as características construtivas, condições locais, além da previsão e antecipação de ações relacionadas à conexão no Sistema Elétrico Interligado (SEI). O objetivo deste trabalho não é identificar todos os parâmetros de um projeto eólico, e sim identificar e analisar os principais parâmetros necessários à metodologia proposta de análise de risco. Almeja-se, com esta metodologia, economizar recursos humanos e financeiros, além da redução de riscos associados à aceitação de propostas considerando as informações disponíveis no momento da carta convite para desenvolvimento de um projeto eólico.

Atualmente, a decisão sobre a aceitação de cartas convites para execução de projetos de detalhamento executivo é realizada por um perfil de profissional

experiente, escasso e caro. Este indivíduo demanda tempo para analisar os dados disponíveis na carta convite e, após análise técnica crítica, orienta os órgãos de decisão da empresa pela aceitação ou declínio da carta convite.

As atividades de estruturação da base de dados, análise contextual e determinação do nível de risco de um futuro empreendimento eólico são atividades que demandam tempo considerável, no entanto, são atividades que não precisariam ser executadas por este profissional específico. Com a orientação correta, profissionais menos experientes podem executar as atividades mais operacionais e aprimorar o processo de seleção de cartas-convites de projetos eólicos, com o fornecimento de relatórios com as principais informações técnicas e uma primeira análise de risco. Desta forma, o relatório, embasado nas informações providas, reduzirá os recursos envolvidos na atividade, sem comprometer a qualidade da decisão.

A metodologia começa com o mapeamento dos principais parâmetros relacionados a projetos eólicos, reúne e centraliza informações dispersas na literatura, consolida as informações na qualificação e associação dos parâmetros e encerra com a elaboração da metodologia proposta que proporciona uma avaliação crítica do nível de risco do empreendimento.

Por se tratar de um tema muito amplo, este trabalho precisou delimitar o escopo valendo-se da determinação de ressalvas e limitações. A metodologia não tem a pretensão de ser uma ferramenta comercial ou refinada de mercado para ser utilizada por empresas ou instituições de ensino na análise de risco de projetos eólicos, mas pretende servir como guia de orientação para a análise de empreendimentos eólicos. O trabalho não contempla todos os parâmetros, regiões ou empreendimentos existentes e, portanto, não atinge maiores níveis de detalhamento.

Mesmo que citados, não existe pretensão de favorecer ou desenvolver nenhum fornecedor, agente da cadeia produtiva ou instituição governamental, pois os mesmos são utilizados no texto somente como referência informativa ou técnica. Por não haver bibliografia ou metodologia similar relacionada ao setor eólico, este trabalho contempla diversos pontos de vista do autor, a partir de debates técnicos com profissionais do setor eólico e durante a participação em eventos técnicos específicos, como o I Wind Farm Infrastructure Forum, que ocorreu em 2012, e o XV Congresso Brasileiro de Energia, que foi realizado em 2013.

1.4. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos, organizados da seguinte forma: o capítulo 1 contém uma introdução simplificada do contexto da energia elétrica no mundo e no Brasil, além de apresentar os principais indicadores motivadores da escolha do tema pertinente a este trabalho. O Capítulo 2 apresenta de modo detalhado diversas informações e fundamentos teóricos, relacionadas ao setor de energia eólica, partindo desde informações de formação dos ventos até detalhes específicos relacionados ao desenvolvimento de um CGE. Estas informações foram pesquisadas, filtradas e concentradas neste trabalho. O Capítulo 3 apresenta a principal contribuição deste trabalho, pois contém a metodologia que será utilizada no auxílio da tomada de decisões, baseado na classificação de uma proposta eólica dentro de uma escala de risco elaborada neste trabalho. O capítulo 4 apresenta a aplicação da metodologia proposta no capítulo 3 em estudo de caso considerando um parque eólico para que o método proposto seja validado. Por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais do autor sobre a metodologia proposta e sugestões para o aprimoramento da metodologia proposta em trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo levantar e apresentar todos os fundamentos teóricos necessários à criação da metodologia proposta. São descritos e relacionados conceitos como a formação e quantidade de energia dos ventos, armazenamento e tratativa dos bancos de dados de ventos, além das condições e especificações necessárias ao detalhamento de um projeto eólico, desde sua concepção até a sua implantação.

2.1. Energia Eólica

A energia eólica é uma fonte de energia já transformada, oriunda da incidência da energia solar. Segundo a organização meteorológica mundial, as incidências solares atingem a superfície da atmosfera da Terra com aproximadamente 1,96 cal/cm² por minuto ou 1,367 kW/m² (constante solar), totalizando em aproximados 1,58 bilhões TWh/ano ou uma média de 350 W/m² na superfície da Terra. O aquecimento desuniforme das diferentes regiões e materiais do planeta utiliza uma pequena parcela (3% a 5%) desta energia incidente para gerar energia cinética, cujos movimentos proporcionam diversos sistemas de convecção espalhados por todo o globo.

Devido ao movimento de rotação da terra, as correntes atmosféricas de ar não se movem diretamente na direção norte-sul e acabam por circular nestes hemisférios em espiral, no sentido horário (ar quente) e no sentido anti-horário (ar frio). As rugosidades, ou diferentes superfícies terrestres, também interferem nas correntes de ar originando diferenças de pressões atmosféricas, criando os ventos que podem ser definidos como o movimento do ar entre os sistemas de pressão à medida que os sistemas tentam se equilibrar.

Figura 3 - Ciclo da radiação solar na Terra
Fonte: PINTO, 2013

Figura 4- Ciclo de condução e convecção do ar
Fonte: PINTO, 2013

Estas áreas de compressão (convergência) ou descompressão (divergência) de ventos associados aos mais diferenciados relevos de superfície faz com que os comportamentos dos ventos, nas diversas localizações geográficas, possuam características peculiares e específicas, porém pode-se verificar um padrão de comportamento nas massas de ar (anexo A).

Algumas bibliografias indicam que toda a energia eólica aproveitável proveniente dos ventos seria suficiente para suprir toda demanda mundial atual, no entanto, existem diversos problemas na sua utilização, sejam de natureza física, técnica, econômica ou política.

Figura 5 - Convergência e Divergência
Fonte: PINTO, 2013

Figura 6 - Modelo de 3 Células
Fonte: PINTO, 2013

Uma vez classificada no grupo das energias cinéticas, a energia eólica começa a ser mensurada e calculada a partir do princípio das movimentações de massas de ar (equação 2.1) que passam por uma área transversal (figura 7). Devido às movimentações destas massas, calcula-se a quantidade de energia cinética associada (equação 2.2) além da potência estimada proveniente do regime de vento estudado (equação 2.3).

$$\frac{m}{t} = A \cdot \rho \cdot v \quad (2.1)$$

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (2.2)$$

$$P_v = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} A \cdot \rho \cdot v^3 \quad (2.3)$$

$$\rho = \frac{P_{ar}}{R \cdot T} \quad (2.4)$$

Figura 5 - Cilindro de área transversal da energia do vento
Fonte: Elaboração do Autor

$$\rho = \left[353,4 \cdot \left(1 - \frac{z}{45271} \right) \cdot 5,2624 \right] / (273,15 + T) \quad (2.5)$$

E_{cin}	Energia Cinética (J/s)
P_v	Potência do Vento (W)
A	Área transversal coberta pelas pás da turbina eólica (m ²)
t	Tempo (s)
ρ	Massa específica do ar (kg/m ³) = 1,225 kg/m ³ (Para 15°C e 1013 hPa)
v	Velocidade do vento (m/s)
P_{ar}	Pressão atmosférica (Pa)
R	Constante do ar (287 J/kg.K)
T	Temperatura (°C)
z	Altitude local (m)

Os regimes de vento não seguem processos determinísticos e, por possuírem comportamentos estocásticos, dificultam sua previsibilidade, análise e controle. Um modo de analisar a velocidade e periodicidade dos ventos consiste em visualizar

seu comportamento de modo discreto, ou seja, analisar seu comportamento em partes menores que, se visualizados em conjunto, representem um padrão de comportamento contínuo. Com a criação de um banco de dados de ventos histórico, pode-se fazer o levantamento do comportamento médio do vento, normalmente representado por uma curva de densidade de distribuição de vento (figura 8).

Figura 6 - Gráfico Exemplo de densidade de probabilidade de vento
Fonte: Elaboração do autor

2.2. Detalhamento do Projeto de Parque Eólico

No detalhamento de um projeto eólico, é necessário o estabelecimento de diversas etapas. Cada uma delas gera um fluxo de informações e atividades relacionadas que, ao final do processo completo, implicam em um projeto com baixas ou altas taxas de sucesso do empreendimento. Isso não significa que seguir as etapas ou verificações a rigor servirá de garantia de um projeto bem sucedido. Indica apenas que houve cuidado de organizar, verificar e analisar durante os trabalhos as principais atividades, características e parâmetros.

Está incluso, dentro do desenvolvimento, a elaboração e especificação do projeto pela engenharia, a aquisição e logística dos equipamentos e materiais necessários

à implantação do projeto e à construção, incorporação e atendimento do projeto detalhado em obra por uma construtora. Quando todas estas condições encontram-se dentro de um contrato único, este projeto refere-se a um projeto de modelo completo de Engenharia, Aquisição e Construção (EPC).

2.2.1. Conceito de Planta Eólica

A primeira etapa no desenvolvimento de um projeto eólico é o estabelecimento de seu conceito. Existem, na concepção de um projeto, três figuras ou atores importantes, o Desenvolvedor, o Investidor e o Operador. Cada um terá sua atuação principal no ciclo de implantação de um complexo eólico de modo diferente e, na maioria dos casos, também em tempos distintos.

Na visão dos Desenvolvedores, os principais objetivos durante a concepção do parque eólico são:

- mapear o máximo de parâmetros e variáveis técnicas que podem interferir no desenvolvimento do projeto do complexo eólico;
- definir as principais especificações técnicas do complexo eólico;
- definir o *Capital Expenditure* (Capex), montante de investimentos a ser realizado em equipamentos e instalações, de forma a manter a produção de um produto ou serviço ou manter em funcionamento um negócio ou um determinado sistema, do projeto;
- definir como o complexo eólico será conectado ao sistema elétrico interligado;
- definir se as condições ambientais locais serão suficientes para atendimento das metas de geração de energia elétrica especificadas;
- levantar quais serão as principais documentações necessárias à elaboração e desenvolvimento do projeto do complexo eólico, segundo as melhores práticas;
- levantar as perspectivas financeiras de todos os associados.

Na visão dos investidores, os principais objetivos durante a concepção do parque eólico são:

- encontrar o melhor posicionamento estratégico do parque;
- definir quais as capacidades instaladas viáveis;
- definir se a melhor estrutura de associação e parceria será por meio de Sociedade de Propósito Específico (SPE) ou consórcio ou outro tipo de parceria;
- definir como serão adquiridos os equipamentos e materiais do projeto, se por utilização de capital privado ou financiamentos junto a entidades governamentais, como o Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES);
- levantar as perspectivas financeiras de todos os associados;
- definir se o principal objetivo do investimento será vender o empreendimento ou a energia elétrica gerada.

Na visão dos Operadores, os principais objetivos durante a concepção do parque eólico são:

- mapear as variáveis técnicas inerentes à operação e manutenção do complexo eólico;
- definir o *Operational Expenditure* (Opex), custo associado à manutenção dos equipamentos e aos gastos de consumíveis e outras despesas operacionais, necessários à produção e à manutenção para funcionamento do negócio ou sistema do projeto;
- alinhar junto aos desenvolvedores as expectativas sobre o complexo e suas respectivas instalações e sistemas de modo que a operação esteja integrada e aderente com o orçamento de custeio.

Embora as três figuras mencionadas acima sejam igualmente importantes, para atender às necessidades de visualização e análise de propostas eólicas, neste trabalho, serão enfatizados, principalmente, os aspectos pertinentes à atuação do Desenvolvedor.

Na concepção do projeto de um complexo eólico, é importante a compreensão de duas estruturas. A primeira estrutura consiste em um roteiro linear e cronológico de construção de um projeto eólico que parte de um *greenfield* (campo verde ou local sem nenhuma preparação para a construção do empreendimento) até a entrega do empreendimento completo e funcionando a operação (figura 9).

Figura 9 - Sequência de eventos do desenvolvimento de um complexo eólico

Fonte: Elaboração do Auto

A segunda estrutura contempla as possíveis inter-relações e impactos entre os parâmetros e variáveis no desenvolvimento do projeto de uma Central de Geração Eólico (CGE). Esta segunda visão dos parâmetros ajuda na detecção de peças chave de um projeto como informações importantes ou, então, a definição de premissas erradas durante o desenvolvimento do projeto. Isso pode impactar na assimilação de riscos ou custos não previstos e, por este motivo, será o foco do desenvolvimento ao longo desta dissertação.

Figura 8 -Atlas Eólico Regional do Estado de São Paulo
Fonte: *Atlas Eólico do Estado de São Paulo* (2012).

É importante ressaltar que, anteriormente, para conseguir uma habilitação fornecida pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para inclusão de projeto eólico em leilões de energia, eram requeridas bases de dados de medição de vento de, no mínimo, um ano. No entanto, em alguns casos posteriores a 2012, foram aceitos dois anos e, recentemente, este requisito está ainda mais rigoroso, pois exige um período mínimo de três anos, de acordo com a Resolução n. 391/2009 (Aneel, 2009).

Disponibilidade de Área

Embora diversas áreas sejam indicadas conforme os métodos de identificação de bons ventos e pareçam propícias para instalação do complexo eólico, por vezes, estas áreas possuem complicações geográficas que inviabilizam algum aspecto da implantação.

Infraestrutura disponível

Uma localização geográfica favorável com bom potencial de vento pode, nem sempre, ser o melhor local para a instalação de um parque eólico, devido à falta de diversos itens de infraestrutura, tais como proximidade às linhas de transmissão ou subestações para o escoamento da energia, falta de recursos básicos como água, falta de vias de acesso demandantes pela logística etc.

Barreiras Legais

Caso os requisitos de vento, geográficos e de infraestrutura não sejam determinantes da inviabilidade do parque eólico, inicia-se um processo de identificar a possibilidade de barreiras legais. Verificações referentes às áreas de proteção ecológica ou presença de parques arqueológicos não são casos raros e podem paralisar ou até mesmo impossibilitar a conclusão de obras de complexos eólicos.

Propriedade de terra

Normalmente, os parques eólicos são instalados em terrenos com grandes dimensões físicas devido aos espaçamentos e o melhor aproveitamento dos ventos. Embora alguns investidores possuam a propriedade de grandes volumes de terras, normalmente os equipamentos de um parque eólico são instalados em terrenos de terceiros que permitem, por meio de contratos de arrendamento, o uso de uma pequena faixa de servidão de sua propriedade. Atualmente, no Brasil, diversos terrenos espalhados por toda a nação encontram problemas legais de posse. Além disso, existem diversos proprietários que não permitem ou não desejam linhas de energia, nem a instalação de equipamentos (aerogeradores subestações unitárias) em seus terrenos. Posição política homogênea de oposição à instalação do complexo eólico pode se tornar fator impeditivo à instalação do parque.

Após análise das premissas citadas, é feita uma análise da área de modo geral, para se determinar se existe alguma área permissiva à continuidade do projeto no local. Desta forma, encontra-se um mapa de possibilidades para aperfeiçoar a decisão do local (figura 12).

Figura 9 - Mapa de Possibilidades de Alocação
Fonte: BRASELCO

2.2.3. Acervo Documental

Após a seleção do local, é necessário que providenciar diversos documentos que permitam a continuidade do procedimento de elaboração do parque eólico. Esta documentação será responsável por garantir a regularização junto às entidades reguladoras, além de diminuir as chances de o empreendimento ser paralisado ou alavancar atrasos.

Licenças e Concessões

Nesta fase, no mínimo, os seguintes documentos precisarão ser providenciados: direito do uso do solo; autorizações junto a Aneel; registro na EPE (em caso de

leilões de energia); licenças ambientais para todas as fases do empreendimento (projeto, construção e operação); permissões de conexão elétrica ou pareceres de acesso; todos os contratos de venda da energia; alvará de construção e licenças de funcionamento liberados pela prefeitura local; e, caso necessário, licenças de desmatamento e o licenciamento da subestação e da linha de transmissão.

Estes documentos serão responsáveis por garantir que não haja problemas oficiais, governamentais ou regulatórios, evitando embargos e paralisações desnecessárias e que requerem muito tempo e burocracia para serem liberados.

Contratos de Produtos e Serviços

Esta seção de documentos priva pela obtenção de melhores garantias técnicas de viabilidade do projeto de modo a se evitar obstáculos relacionados à formação de grupos com visões distorcidas sobre a instalação do empreendimento ou utilização de terreno alheio. A realização de contratos de produtos e serviços não é imprescindível, no entanto, bem recomendados. Alguns dos contratos normalmente contratados serão listados a seguir:

- levantamentos planialtimétrico;
- campanhas de medição de vento;
- criação de fotografias aéreas ou imagens de satélite;
- estudos elétricos locais básicos e complementares;
- estudo de zoneamento ambiental;
- elaboração do Relatório Ambiental e Simplificado (RAS) ou EIA/RIMA;
- elaboração dos estudos de riscos;
- elaboração dos estudos arqueológicos;
- certificação de produção de energia;
- levantamentos geotécnicos;
- medição da resistividade do solo;
- estudo de impacto sonoro e visual.

Além dos estudos básicos, podem ser contratados alguns outros estudos específicos, como estudos de impactos eletromagnéticos, para evitar algumas surpresas após a implantação do CGE.

2.2.4. Informações Técnicas

No desenvolvimento de um complexo eólico, existe um grande número de especificações técnicas a serem feitas, com níveis de maturidade distintos. Ter conhecimento de todas as informações técnicas necessárias é essencial à elaboração de um projeto eólico sem surpresas.

Dados de Vento

Durante a seleção do local, são realizadas diversas estimativas e aproximações sobre os regimes de ventos regionais e locais. A partir do posicionamento do empreendimento escolhido, são necessários e executados refinamentos sobre a determinação da intensidade, orientação e frequência dos ventos para se encontrar gráficos consolidados de frequência dos ventos médios e as principais direções dos ventos na rosa dos ventos (figura 13).

O refinamento da base de dados de ventos origina-se principalmente das medições regulares e com longa base histórica considerando curtos intervalos de tempo. Para tanto, são estudadas e posicionadas torres anemométricas (figura 14), estruturas capazes de medir a intensidade e direção do vento além de guardar ou enviar estas informações a um banco de dados centralizado.

Figura 10 - Exemplos de Gráfico de Frequência de Ventos e Rosa dos Ventos
 Fonte: ASP01 Atlas Eólico de São Paulo

Historicamente, um banco de dados de ventos adquiridos a cada 10 minutos, por um período médio de um ano, era considerado confiável suficiente para representar o regime e periodicidade de ventos de um determinado local. Nos leilões de energia, realizados entre 2010 e 2012, exigiu-se base de dados com, no mínimo, dois anos de duração, segundo Resolução Normativa n. 391 (Aneel, 2009).

No entanto, embora este período seja suficiente para entender variações gerais do vento local, ele não conseguirá refletir de modo confiável variações temporais mais longas, como, por exemplo, as sazonalidades ou efeitos como ventos de monções. Por isso, a partir do início de 2013, os leilões de energia brasileiros exigem bancos de dados de ventos mínimos de três anos de consistência (dados medidos ou extrapolados por modelos computacionais) para terem os pedidos de inclusão de novos projetos de usinas eólicas aprovados na Aneel.

Figura 11 - Esquemático de uma torre Anemométrica
Fonte: Google Images

As torres anemométricas são estruturas que possuem diversos dispositivos e acessórios utilizados na aquisição e armazenamento de informações referentes às condições locais. Os três principais componentes destas estruturas são a torre, os instrumentos de medição (anemômetros, termômetros, barômetros, sensores de direção do vento, sensores de umidade) e os *data logger* (dispositivos de coleta e armazenamento ou transmissão de dados).

Após a definição dos locais de instalação dos parques eólicos, é instalada pelo menos uma torre anemométrica eficiente

(figura 15) para o início das medições de vento do local.

É importante ressaltar que os dados de vento possuem diferentes qualidades e impactam diretamente, tanto na concepção da base histórica de dados como no desenvolvimento e operação do parque eólico. Erros de até 10% nas medições dos ventos podem ocasionar desvios de até 33% na capacidade de geração de energia elétrica de um parque eólico (PINTO, 2013). Para que um empreendimento esteja autorizado a participar de um leilão de energia no Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao MME, que analisa a viabilidade técnica dos projetos propostos aos leilões, exige requisitos mínimos. Com relação às medições, que devem ser cumpridas de modo a garantir a qualidade dos bancos de dados de

vento e, assim, garantir o potencial de produção de energia apresentado. Existem instruções da EPE relacionando diversos requisitos para a aceitação do banco de dados de ventos, como a quantidade e qualidade mínimas dos sensores nas estações de medição (*dataloggers*, anemômetros, medidores de direção, medidores de umidade, barômetros, termômetros); a quantidade mínima de manutenção das estações (uma corretiva e uma preventiva ao ano); e as métricas de sinalização luminosa e para tráfego aéreo.

Além disso, são exigidos os cumprimentos de outras especificações, como alturas mínimas de instalação dos sensores, frequência de aquisição de informações e tempo máximo de interrupção nos dados. De acordo com a Resolução n. 391, este tempo é de no máximo 15 dias (Aneel, 2009).

Figura 12 - Torre anemométrica de 120 metros de altura

Fonte: US Department of Commerce

Conforme o item 4.1 da Resolução n. 391, os requisitos relacionados aos dados de ventos dizem respeito ao período mínimo de aquisição dos dados de ventos - mínimo de três anos (Aneel, 2009). Não existe, nesta Resolução, a obrigatoriedade de medição dos ventos na altura final do cubo do aerogerador e, desta forma, caso as medidas não sejam feitas exatamente na altura de instalação, são necessárias correções matemáticas para determinar a real capacidade de geração de energia do parque eólico a ser construído.

A altura final será determinada após diversas análises e comparações entre modelos de turbinas e estudos de viabilidade econômica uma vez que cada modelo de aerogerador costuma ter uma altura padrão determinada. Existem dois cálculos para correção da velocidade com relação à modificação da altura de medição, um método simplificado e mais impreciso que utiliza a lei da potência ou fórmula de altitude de Hellman (fórmula 2.6) e outro método de maior precisão que utiliza a lei logarítmica (fórmula 2.7).

$$\text{Lei da Potência} \\ V(z) = V(z_r) \cdot \left(\frac{z}{z_r}\right)^n \quad (2.6)$$

As duas fórmulas consideram as alturas de medição, as alturas corrigidas (de instalação) e fatores ou constantes de rugosidade ou obstáculos junto ao solo.

Tabela 1 - Fator n para diferentes tipos de superfície

Características do terreno	Coeficiente de atrito (n)
Calma superfície aquática ou solo suave	0,10
Gramma alta ao nível do solo	0,15
Arbustos e cercas	0,20
Áreas rurais com muitas árvores	0,25
Pequenas cidades com árvores e arbustos	0,30
Grandes cidades com prédios elevados	0,40

Fonte: Rohatgi, 1994 (adaptado).

$$\text{Lei Logarítmica} \\ V(z) = \frac{V(z_r)}{k} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (2.7)$$

$V(z_r)$ Velocidade na altura de referência z_r

$V(z)$ Velocidade na altura desejada z

z	Altura desejada
z_r	Altura de referência
z_0	Comprimento da rugosidade
k	Constante de Von Kármán (normalmente 0,4)
n	Parâmetro diretamente associado à rugosidade da superfície

A partir de levantamentos realizados junto a especialistas do setor, como fornecedores de equipamentos e literatura (informação verbal), encontrou-se um custo de instalação por torre anemométrica de, aproximadamente, 0,1% do custo total de um empreendimento eólico (aproximadamente R\$ 300.000,00), se considerados parques eólicos pequenos (capacidade instalada de até 30 MW) e um valor de custo unitário aproximado de R\$ 200.000,00 por torre anemométrica em parques eólicos de média e grande capacidade instalada (potências superiores a 30MW).

Condições de Relevô

O *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro* indica a distribuição dos ventos no Brasil regida por três principais fatores. O sistema de alta pressão (anticiclone) subtropical do Atlântico Sul, o sistema de alta pressão (anticiclone) do Atlântico Norte e a faixa de baixa pressão (ciclone) da depressão equatorial (figura 16) (Cepel, 2001). O atlas também fornece uma análise das cinco regiões do Brasil da qual se pode extrair as principais localidades de instalação de parques eólicos no Brasil. Todas as regiões possuem aspectos positivos para a energia eólica, no entanto, os maiores potenciais eólicos concentram-se nas regiões nordeste e sul (Cepel, 2001).

Na região norte, as velocidades de vento interessantes encontram-se na fronteira de Roraima com a Venezuela (maior altitude, porém com terreno montanhoso). Na região centro-oeste, devido ao isolamento do planalto central pelos Andes, o bloqueio da serra no litoral oriental e elevada altitude do planalto central, poucas massas de ar efetivamente adentram esta região, passando as correntes de ar norte-sul para a região sudeste.

Na região sudeste, as localidades mais interessantes são a litorânea, na qual os ventos bloqueados pelas montanhas escoam na costa (terreno montanhoso ou arenoso), e as serras elevadas que são beneficiadas pelo gradiente de baixa pressão a leste dos Andes e alta pressão do anticiclone subtropical atlântico.

Figura 13 - Rotação de ciclones e anticiclones na Terra

A – Ciclones (convergência em torno da baixa pressão)

B – Anticiclones (divergência em torno de alta pressão)

Fonte: PINTO, 2013 (adaptado)

Ambas as regiões, nordeste e sul, são beneficiadas, em relação aos regimes de ventos no Brasil, pelos seguintes aspectos, respectivamente: no nordeste os ventos alísios advindos de leste com brisas terrestres, marinhas (litoral e planalto central do nordeste) e no sul os gradientes de pressão entre os Andes e o Atlântico além de áreas elevadas e de baixa rugosidade dos elevados planaltos.

A especificação do terreno tem por objetivo levantar as interferências que o tipo de terreno ocasionará no projeto eólico, além de determinar como a condição do terreno, relevo ou cobertura interferirá nas especificações, custos, prazos do projeto.

Terreno rochoso (encostas)

Devido à dificuldade de acessibilidade dos pontos de instalação dos aerogeradores, são necessários custos adicionais para construção de vias de acesso. Devido a dificuldades com escavações e preparação das bases de sustentação das turbinas, é necessária a utilização de cargas explosivas para cortes a fogo do terreno. Além disso, costumam ser necessárias especificações técnicas de distribuição da energia elétrica (sistema aéreo), aterramento (solo rochoso) e de proteção contra descargas atmosféricas (maior volume de incidência de raios) diferenciadas.

Planícies e planalto

Terreno equilibrado, propício para a instalação de parques eólicos. Normalmente, não possuem restrições de relevo por possuírem área sem grandes declives reduzindo impactos significativos na rugosidade do terreno.

Terreno arenoso (praia ou duna)

Necessita de custos adicionais para bases e fundações maiores devido à instabilidade do local passível a movimentações estruturais e superficiais. Normalmente, a parte mais crítica destes projetos encontra-se na especificação e construção das bases de sustentação dos aerogeradores e dos estudos de impacto ambiental de movimentação superficial.

Pântano ou Manguezal

Por possuírem um terreno basicamente argiloso e úmido, estes terão custos de execução civil e custos de logística de chegada, instalação e manutenção muito elevados.

Terreno corrosivo

Diversas localizações possuem terrenos ácidos ou básicos que os tornam altamente corrosivos, seja por motivo de contaminação humana, seja devido à natureza do terreno. Nestes casos, são necessários alguns acessórios de proteção

para os chumbadores (*anchorbolts*), peças-chave para a fixação e fundação da torre do aerogerador, onerando o projeto civil.

Levantaram-se características de relevo que podem ser utilizadas para determinar as interferências no comportamento do vento, no entanto, as mesmas também geram impactos nas instalações do BOP (*balance of plant* – demais itens de infraestruturas e equipamentos de um complexo eólico com exceção do aerogerador) e itens adicionais ou especiais dos parques eólicos.

Condições de Clima

Assim como as condições de relevo influenciam na elaboração do projeto do CGE e nos regimes de vento, as condições climáticas também interferem significativamente nestes dois aspectos. Diferentes condições climáticas podem ocasionar variações nas especificações de fabricação dos aerogeradores a serem utilizados.

Clima Frio

Requer uso de materiais e acessórios diferenciados para evitar alguns problemas como fraturas de materiais estruturais pouco resistentes a congelamentos, congelamentos dos rolamentos, atrito excessivo das caixas de engrenagem, congelamento dos sistemas hidráulicos e eletrônicos e congelamento das lâminas e sensores. Para contornar este problema normalmente são utilizados materiais estruturais mais resistentes (mais caros) além de aquecedores controlados por termostatos (impedir congelamentos).

Ventos turbulentos

Requer sistemas de controle de *Yaw* (controle de rotação do rotor), *Pitch* (controle de passo das pás), de *Stall* (controle por estol das pás) ou sistema híbrido (passo e estol), além de detecção e atuação devido à velocidade do vento de entrada e velocidade do vento de corte de operação da turbina mais rápida.

O sistema de controle *Yaw* (figura 17) permite que toda a instalação superior ao aerogerador execute movimento de rotação de modo a encontrar a posição transversal ao vento mais favorável. Existe um limite para execução desta rotação, no entanto, é um dos sistemas mais influenciados pela rosa dos ventos levantada na elaboração dos bancos de dados dos ventos.

O controle por *Pitch* (figura 17) é realizado com a movimentação das pás considerando a rotação das pás em seus eixos longitudinais. Desta forma, este sistema de controle de passo consegue aumentar a produção de energia além de controlar a potência ativa sob diversas condições de vento e permitir uma partida simples do rotor.

O controle por *Stall* (figura 17) é feito com pás fixas nas quais o projeto das pás já prevê a diminuição de sua eficiência com o aumento da velocidade do vento.

O sistema que contempla ambos os métodos (híbrido) possui a movimentação das pás para realizar o controle das eficiências na medida em que a velocidade do vento aumenta, no entanto, a partir de velocidades superiores a velocidade nominal da turbina, ao invés de se diminuir os ângulos de ataque, aumenta-os para provocar o controle por estol. Este sistema híbrido permite um controle mais simples da potência por leves ajustes no ângulo de passo e permite que as turbinas sejam mais simples do que as turbinas somente com o controle *Pitch*.

produtos e acessórios durante a O&M que não congelem em baixas temperaturas, nem escurram em altas temperaturas.

Grande volume de sedimentos no vento

Requer material com maior resistência a abrasividade e maior nível de estanqueidade. Não é possível utilizar alguns tipos de vedação a graxa por causa de aglomerados que se formarão.

Equipamentos

Do ponto de vista dos equipamentos, os parques eólicos podem ser divididos em dois grupos, aerogeradores e o BOP (demais itens de infraestruturas e equipamentos de um complexo eólico com exceção do aerogerador).

Aerogeradores

Os aerogeradores possuem diversas particularidades, tais quais, formas construtivas, modos de operação, sistemas de controle e curvas de potência. Em princípio, estes equipamentos podem ser divididos em três principais partes, as estruturas das pás, nas estruturas da torre e nas estruturas e componentes da nacele.

Principais componentes de um aerogerador.

O aerogerador é normalmente subdividido em três grandes conjuntos de equipamentos importantes: sua parte de sustentação (torre), sua parte de captura dos ventos (pás) e sua parte de controle, conversão e transmissão da energia elétrica gerada (nacele).

A Torre (item 5 da figura 18) é estrutura de aço/concreto que suporta a nacele e as pás. Utilizada para passagem dos cabos de energia/sinal e para conceder acesso as equipes de manutenção aos componentes no topo da torre (nacele).

As Pás (item 1 da figura 18) são estruturas especificadas e construídas para captar a energia dos ventos em sua forma de energia cinética. Possui materiais, formatos e sistemas de controle precisos e específicos para aperfeiçoar a captação dos ventos e garantir sua integridade física em condições climáticas adversas.

Por fim, nacele corresponde à estrutura de metal, fibra e plástico que abriga os componentes e sistemas no topo da torre que possui diversas funções, além de sustentar o rotor pelo cubo. Composto por diversas partes como o gerador, o sistema de transmissões mecânicas, o sistema eletrônico, o sistema de controle e os sensores meteorológicos.

Detalhando de uma forma mais didática, o aerogerador deve ser dividido de forma diferente separando-se conforme segue na figura 18.

Figura 15 - Principais componentes de dois tipos de aerogeradores
Fonte: *Atlas Eólico do Estado de São Paulo – 2012* (ADAPTADO).

- rotor: conjunto de pás com perfil aerodinâmico para captura do vento;
- cubo: elemento de conexão do rotor com o eixo de rotação. Abriga o sistema de *Pitch* (passo) e/ou *Stall* (Estol) (responsável pelo controle das pás do aerogerador com relação à velocidade do vento incidente) (figura 17).

- sistema de transmissão: sistema mecânico composto de eixos e mancais, com ou sem caixa multiplicadora de velocidades (transmissão do torque mecânico até o gerador elétrico)
- sistema de Posicionamento Yaw (figura 17): acionamento com moto-redutores que giram toda a nacela com o objetivo de manter o eixo de rotação sempre alinhado com a direção do vento
- gerador: máquina elétrica de indução ou síncrona que converte o torque mecânico em energia elétrica
- sensores Meteorológicos: medem a velocidade e a direção do vento para fins de controle de operação.

Além das partes citadas, existe outra especificação dos aerogeradores, normalmente esquecida na fase de consolidação do projeto, mas de igual importância de definição. Trata-se da determinação da classe de vento da turbina (tabela 2). Existem, conforme as normas internacionais, IEC 61400-1 (2005), quatro classes de turbinas, cada uma delas associadas a um regime e velocidade de ventos distintos. Para sua determinação, são considerados os seguintes critérios (IEC 61400-1, 2005):

- média anual do vento (medida na altura de instalação da turbina definitiva);
- velocidade máxima (de rajada) do vento que pode ocorrer em no maior período (~50 anos);
- percentual de turbulência local.

Tabela 2 - Classe de turbinas eólicas

Classe da turbina eólica	I	II	III	IV	S
V_{ref} (m/s)	50	42,5	37,5	30	Valores Especificados pelos projetistas
V_m (m/s)	10	8,5	7,5	6,0	
$V_{raj50} = 1,4 V_{ref}$	70	59,5	52,5	42	
$V_{raj1} = 1,05 V_{ref}$	52,5	44,6	39,4	31,5	
$A I_{15}$ (%)	18	18	18	18	
a	2	2	2	2	

B I_{15} (%)	16	16	16	16
a	3	3	3	3

Fonte: IEC61400, 2005

V_m	Velocidade média anual do vento
V_{ref}	Velocidade média máxima em um período de 10 minutos (Velocidade de referência)
V_{raj50}	Velocidade extrema (rajada) em 50 anos (V_{raj1} é a velocidade extrema (rajada) em 1 ano)
I_{15}	Intensidade de turbulência para ventos a 15 m/s. Categoria A – valores maiores ($I_{15} = 18\%$; $a = 2$) Categoria B – valores menores ($I_{15} = 16\%$; $a = 3$)
a	Desvio padrão da velocidade longitudinal do vento (turbulência)
S	Classe especial para condições específicas

Estes dispositivos adquiriram extrema importância, devido à necessidade de proteção do SEI aos níveis de curto circuito, adicionados pelo incremento dos aerogeradores como fonte de geração na rede.

Em legislação já vigente na Europa, e em breve no Brasil, começa a ser estudada a necessidade de utilização de bancos de capacitores de maior capacidade junto ao *link* DC das máquinas, de modo a atender os requisitos de proteção, em casos de falta de excitação dos equipamentos. Esta obrigatoriedade faz com que o novo aerogeradora ser utilizado comercialmente se torne mais complexo e, em alguns casos, significativamente mais caro.

Existe, ainda, outra parte do aerogerador não detalhada que começa a ter uma maior importância no momento da especificação final do equipamento. Devido a alterações nos padrões internacionais IEC 61400, norma técnica internacional de turbinas eólicas Institutos de Medição Internacional de Redes de Energia Eólica (Measnet) e futuras modificações nas Normas Nacionais (NBR), os bancos de capacitores localizados junto ao link de corrente contínua dos inversores passa a receber destaque na especificação e utilização. Isso porque, eles são responsáveis

por proporcionar maior confiabilidade ao sistema elétrico nas interligações dos parques eólicos.

Operação da turbina eólica e cálculo da potência associada

Cada turbina eólica é projetada e especificada para uma condição de operação particular, a partir de uma velocidade do vento específica (normalmente superior a 12 m/s). A turbina fornece uma potência nominal fixa máxima (fórmula 2.8).

Durante os períodos de tempo nos quais a velocidade do vento é inferior, o potencial de geração segue a curva de potência do equipamento.

Figura 16 - Curva de Potência Padrão

Fonte: Elaboração do Autor

Em velocidades de vento muito elevadas (normalmente acima de 25 m/s) ou sem direção constante, os sistemas de controle visualizam uma condição de ventos turbulentos e diminui os rendimentos ou desabilita os mecanismos de geração de modo a proteger a integridade do equipamento. São utilizados métodos de controle das pás e recolhimento das pás, por exemplo, como meios de preservar esta integridade.

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho_{ar} \cdot A \cdot \eta \cdot v^3 \quad (2.8)$$

P	Potência de geração de energia eólica (W)
ρ_{ar}	Massa específica do ar (kg/m ³)
A	Área varrida pelo rotor eólico (m ²), que depende do diâmetro do rotor
C_p	Coeficiente de potência que representa a eficiência aerodinâmica de conversão da energia contida no vento em energia mecânica rotacional
η	Eficiência do sistema de transmissão, gerador elétrico.
v	Velocidade do vento (m/s)

Curvas de Potência

Como mencionado anteriormente, as curvas de potência (figura 19) são especificações técnicas desenvolvidas pelos fornecedores dos equipamentos (figuras 20, 21 e 22) que descrevem seus comportamentos de geração de energia elétrica, a partir das velocidades dos ventos. De modo geral, o comportamento das curvas de potência dos aerogeradores é semelhante mesmo entre fornecedores diferentes.

A partir de uma velocidade mínima (~3m/s), as turbinas começam a gerar energia elétrica e seguem aumentando sua produtividade até alcançarem a potência nominal associada à velocidade de vento nominal (~12m/s). A partir deste ponto, mesmo com o aumento da velocidade do vento, a potência de geração do aerogerador mantém-se constante (valor desta potência de acordo com a potência nominal do equipamento) até que a velocidade do vento seja considerada turbulenta (>25 m/s) e os mecanismos de controle e proteção do equipamento sejam acionados interrompendo o funcionamento de modo a preservar a integridade do equipamento.

A seguir, estão apresentadas algumas curvas de potências de alguns dos fornecedores que já possuem instalações de fabricação no Brasil.

Figura 17 - Curvas de Potência de Aerogeradores – Fornecedores

À esquerda, Potência / Modelo - 2,1MW /S88, à direita, Potência / Modelo - 1,7 MW / IWP70

Fonte: Suzlon e Impsa

Figura 18 - Curvas de Potência de Aerogeradores – Fornecedores

À esquerda, Potência / Modelo - 2,0 MW / G80; à direita, Potência / Modelo- 1,6MW / 82,5

Fonte: Gamesa e GE

Figura 19 - Curvas de Potência de Aerogeradores – Fornecedor

À esquerda, Potência / Modelo- 1,65MW / TWT1, 65; à direita, Potência / Modelo- 2 MW / E82

Fonte: Weg e Wobben

Em 2008 e 2009, devido às políticas de incentivos econômicos adotados no Brasil, diversos fornecedores começaram a implantar fábricas de montagem de aerogeradores em solo brasileiro, como, por exemplo, é o caso das empresas Enercon, Impsa e Suzlon.

Essa realidade proporcionou as condições necessárias para o início dos investimentos pesados de aquisição de equipamentos e serviços relacionados a eólicas. Segundo informações da ABEEólica, atualmente, o Brasil conta com mais de oitenta e cinco empresas relacionadas ao setor de fornecimento de peças, equipamentos, serviços e parcerias. Entre os fornecedores que mais forneceram aerogeradores para parques eólicos brasileiros, podem-se destacar ordenados em ordem alfabética, Gamesa, Suzlon, Vestas e Wobben.

Além dos fornecedores de equipamentos nacionais (tecnologias norte americanas e europeias), existe outra categoria de fornecedor que, a cada dia que passa, ganha mais mercado. São os fabricantes chineses que, embora não possuam linhas industriais de fabricação nacional, possuem preços agressivos para ganhar parcerias e concorrências, como, por exemplo, o fornecedor chinês Sinovel que, em parceria com empresas de desenvolvimento de projetos nacionais, já possui implantados equipamentos (Usina eólica de Barra dos Coqueiros).

O mercado nacional e internacional ainda vê os fornecimentos chineses com certa insegurança, pois, embora exista qualidade comprovada em diversos fornecimentos, algumas empresas têm acionado judicialmente fabricantes chineses com alegações de apropriação indevida de propriedade intelectual e nem todos os fornecimentos de materiais ou equipamentos possuem qualidade uniforme o que comprometeria a vida útil do sistema fornecido.

Balance of Plant (BOP) é a composição de todas as outras infraestruturas, equipamentos e instalações necessárias ao funcionamento da usina, com exceção

da turbina eólica propriamente dita. Este grande sistema pode ser dividido em duas especialidades de implantação, quais sejam sistema civil e sistema elétrico.

Para o Sistema Civil, todo empreendimento possui um produto principal de sua cadeia. Em usinas de processamento de cana de açúcar, os principais produtos finais costumam ser o açúcar e álcool. Em refinarias petroquímicas, os produtos finais costumam ser derivados do petróleo, como gasolina ou diesel. No caso de plantas de geração de energia eólica, o insumo vendido é a energia elétrica. Todos estes exemplos de empreendimentos precisam, no entanto, de instalações e serviços relacionados à civil. Embora não esteja explícito, nos empreendimentos eólicos, existem diversos parâmetros de engenharia civil que podem limitar e até inviabilizar o projeto.

Estão contempladas, dentro do sistema civil de um complexo eólico, as fundações de todos os equipamentos e instalações elétricas, bem como todas as edificações até as obras civis relacionadas às rotas logísticas de recebimento de equipamentos.

As fundações dos aerogeradores são as estruturas que mantêm os aerogeradores fixados ao solo mesmo com a grande incidência de ventos, esforços desbalanceados e situações ambientes adversas.

A correta execução das fundações garante o alinhamento e balanceamento necessários à redução de momentos desnecessários e deve atender as especificações de projeto que garante a maior produção de energia devido à orientação do vento.

Figura 20 - Chumbadores não instalados
Fonte: Williams Form Engineering

Os cálculos estruturais das bases e das fundações dependem diretamente das plataformas disponíveis para calcular os esforços especificados pelos fornecedores para os equipamentos escolhidos.

Figura 21 - Chumbadores instalados
Fonte: Usina Eólica Morro dos Ventos (DESA)

Um ponto crítico de atenção na base encontra-se na correta especificação, instalação e ajuste dos chumbadores ou *anchorbolts*, estruturas metálicas que interligam e trava a base de concreto no solo ao corpo da estrutura metálica, ou de concreto, da torre.

O chumbador é parte essencial que, se especificado e fabricado errado ou dessincronizado com o fornecedor do equipamento (torre), no momento de instalação da torre, torna-se um impeditivo à continuação das atividades, pois não impede a realização do acoplamento da torre à base. Para realizar nova fabricação, envio e instalação de novos chumbadores com as furações corretas, o processo arcaria com uma extensão de prazo de vários meses e aumento elevado de custos. Todos os materiais e equipamentos podem ser adquiridos separadamente, no entanto, após experiência de algumas empresas construtoras no Brasil, para evitar este tipo de problema, os empreendimentos eólicos têm cobrado dos próprios fornecedores dos equipamentos (torres) o fornecimento dos chumbadores, a fim de evitar riscos na fase de construção e montagem.

Figura 22 - Subestações unitária ao lado da torre do aerogerador
Fonte: Usina Eólica Morro dos Ventos (DESA)

Existem, ainda, dentro deste escopo, as fundações de sustentação dos equipamentos elétricos do sistema de distribuição e transmissão da energia elétrica como as subestações unitárias, encaminhamentos enterrados dos cabos de escoamento da energia elétrica gerada, transformadores de subestações concentradoras dos aerogeradores, das bases dos equipamentos externos das subestações elevatórias e das bases dos equipamentos da subestação de transmissão de energia ao SEI.

As edificações relacionadas aos complexos eólicos, abrangidas pelo escopo da disciplina de construção civil, resumem-se às subestações unitárias de cada turbina (existem casos nos quais os equipamentos de elevação de tensão já se encontram diretamente na estrutura do aerogerador e, por este motivo, não existe subestações unitárias) localizadas na base do aerogerador. Embora numerosas (uma por aerogerador), representam pouco desafio técnico por suas similaridades.

Figura 23 - Equipamentos Internos e subestação elevadora de tensão
Fonte: Usina Eólica Morro dos Ventos (DESA)

As edificações mais significativas encontram-se nas subestações coletoras (recebem e centralizam a geração da energia proveniente de um conjunto de aerogeradores) e a subestações de transmissão (eleva e conecta o empreendimento a rede básica ou a uma concessionária local). Estas edificações contam com bases para equipamentos externos maiores, como transformadores elevadores, além das obras de infraestrutura dos prédios que abrigam painéis e sistemas de controle com outros equipamentos menores abrigados (Figura 26).

Em relação à infraestrutura e rotas logísticas, as obras civis normalmente são lembradas por grandes edificações ou estruturas independentes de suas funcionalidades. Outro setor muito importante do sistema civil engloba infraestruturas de vias e rotas de transporte. Embora utilizado sem maiores preocupações, as vias de rodagem são especificadas e calculadas para determinados tipos de veículos que irão circular sobre elas. Os equipamentos e outras partes dos aerogeradores associados a projetos eólicos possuem sempre grande magnitude e por isso precisam de condições especiais de transporte, tanto por parte do veículo, como por parte da via de acesso. A construção de uma pequena estrada, uma rodovia, um viaduto ou ponte passa por uma fase de especificação de projeto que determina condições máximas e cargas máximas admissíveis de passagem no local.

Por sua vez, no projeto elétrico, os complexos eólicos contam com seis instalações elétricas principais. A primeira delas é o aerogerador, responsável pela geração da energia propriamente dita. Duas das instalações elétricas são responsáveis por transformações de tensão (elevação da tensão visando à redução das perdas de energia e redução da infraestrutura de transporte de energia), duas das estruturas são responsáveis pelo transporte da energia e a última instalação é responsável pela conexão do complexo ao sistema elétrico interligado.

Sobre subestação unitária, o gerador é responsável pela conversão da energia mecânica do rotor eólico em energia elétrica. Após esta conversão, com a energia elétrica gerada em baixa tensão, existem duas alternativas para a elevação da tensão local para que seja feita a distribuição da energia pelo parque eólico, considerando perdas *joule* menores. A primeira solução considera equipamentos de conversão já instalados no aerogerador (desta forma a subestação unitária fica interna ao aerogerador), a segunda forma considera que a energia elétrica sai do aerogerador, chega a uma subestação unitária que eleva a tensão para diminuir perdas de energia por efeito joule. Ambas as soluções preveem reduzir os custos com perdas sem comprometer a *performance* do processo de coleta da energia e escoamento até uma subestação coletora. Este processo converte a energia que é gerada em baixa tensão no aerogerador (~400V) para média tensão (normalmente, 4160V ou 6900V).

Em relação à rede de distribuição em média tensão, a terceira instalação elétrica do sistema refere-se às redes de distribuição internas em tensões de até 69kV. Com o propósito de passar a energia das subestações unitárias até a subestação concentradora, situada mais próxima ao centro do parque eólico, os empreendimentos costumam utilizar cabamentos enterrados ou aéreos, normalmente a solução mais econômica ao empreendimento, por meio de uma rede de distribuição interna do parque. Em algumas filosofias, um ramal de coleta já é utilizado para conectar diversos aerogeradores conectando-os em série.

Sobre a subestação de concentração e elevatória, o papel da subestação concentradora é elevar ainda mais a tensão da energia (agora com potência total) do nível de tensão abaixo de 69kV para tensões iguais ou superiores a 138kV (alta tensão), forma na qual ela será transmitida até uma ICG (Instalação Compartilhada de Geração), uma concessionária local que está conectada à rede elétrica interligada. Dependendo do edital e do escopo realizado durante o leilão de energia, o ponto de conexão pode ser uma concessionária local, uma conexão diretamente a rede básica de energia ou então um centro integrado de carga.

O sistema de transmissão em alta tensão é composto por linhas de transmissão aéreas e escoam toda a energia do complexo eólico concentrada em uma subestação central até o ponto de conexão à rede básica (ONS), seja uma ICG, concessionária ou simples ponto de conexão direta na rede. Normalmente os maiores empecilhos à implantação da mesma estão relacionados às permissões de utilização do terreno no qual a linha irá passar. Além da necessidade da instalação de torres de transmissão, são necessários ainda os isolamentos das faixas de servidão.

Por fim, o Ponto de Conexão ao Sistema Elétrico Integrado, o último ponto ou instalação de responsabilidade do empreendimento eólico. Refere-se ao local de interface entre a geração da energia e o sistema elétrico interligado brasileiro. Em leilões anteriores a 2012, as usinas eólicas passavam por licitação na qual se conectariam à rede básica através de ICGs de responsabilidade da União. No entanto, atualmente, a responsabilidade pela infraestrutura de conexão e a eventual necessidade de reforços de linhas são de responsabilidade dos novos empreendimentos.

Assim, caso haja a necessidade de reforços de linha ou novas infraestruturas para conexão ao longo das linhas de distribuição ou transmissão, estes custos estão inclusos no escopo dos novos empreendimentos.

Figura 24 - Transporte de Pás de 50 metros

Fonte: Parque Eólico Calango

ACGE, embora possua maior flexibilidade de local de implantação do que uma usina hidrelétrica possui sua localização e instalação definida por dois importantes critérios, bons regimes de vento e grande espaço demográfico. Esta realidade faz com que a instalação dos parques eólicos encontre-se geograficamente em locais distantes e de difícil acesso. Por este motivo, não existem diversas facilidades ou itens de infraestrutura para a realização de grande parte das atividades.

Existem diversos tipos de acesso no desenvolvimento de um projeto eólico; no entanto, serão apontados somente os dois principais referentes a complicações de acesso dos maiores equipamentos e de guindastes.

Com grandes dimensões (figura 27) e grande peso, as partes de um aerogerador transportadas geram complicações em seu deslocamento, desde o local de fabricação até a chegada ao local de instalação, principalmente em momento de passagem em pequenas estradas ou cidades no interior dos estados. Os maiores equipamentos são as frações do aerogerador (torre, nacele e pás).

- **Rodoviários:** os maiores equipamentos (torre e pás) fazem com que diversas empresas transportadoras especifiquem limitações técnicas com relação ao transporte exigindo alguns requisitos das vias nas quais a rota está pretendida. Os dois requisitos mais rigorosos são as inclinações ou declives máximos permissíveis (variação máxima de 6%) e as larguras de pista mínimas (de 6 a 15 metros). Ambos ocasionam obras adicionais civis de corte e aterro nas rodovias ou passagens criadas. Em alguns casos, é necessária a realização de cortes e aterros do terreno para que as limitações citadas sejam transpostas (figura 28). Quando alguma das especificações ou limitadores das empresas transportadoras não pode ser atendida e o terreno não pode ser trabalhado para se alcançar as condições de transporte, é necessária a utilização de veículos auxiliares para rebocar ou frear os caminhões e carretas de transporte das cargas.

Figura 25 - Cortes e aterros para atender inclinações máximas
Fonte: Complexo Eólico Alto Sertão

Outros problemas comuns encontrados possuem soluções mais simples. Caso de retirada ou modificações de rotatórias e trevos, bem como execução de reforços e escoramento em vias de passagens comprometidas. Além das comuns modificações das vias, muitas vezes o problema de acesso se deve ao fato da via

a ser utilizada passar dentro de cidades e vilarejos. Como o número de transportadores e tempos de transição é muito grande, a logística de passagem dos equipamentos fica comprometida com o calendário de disponibilidade da via da comunidade local.

De modo geral, cada aerogerador demanda aproximadamente 40 (quarenta) carretas para realizar todo o transporte de todas as partes e componentes até o local de instalação definitiva. Mesmo com batedores de escolta, todos os cuidados com relação às limitações das vias e dos transportadores, muitos acidentes relacionados ao transporte de partes de turbinas eólicas já aconteceram no Brasil.

Figura 26 - Acidente em transporte de parte de torre de aerogerador
Fonte: ocâmera

Figura 27 - Acidente em transporte de pá de aerogerador
Fonte: ocâmera

- **Portos:** diversas complicações logísticas associadas aos portos podem surgir, considerando-se o primeiro momento de aproximação do navio transportador a algum porto brasileiro. Os portos mais próximos aos complexos normalmente não possuem infraestrutura necessária sequer para a aproximação da embarcação, obrigando as transportadoras a utilizar os maiores portos regionais para a tarefa da descarga. As restrições dos portos, em sua maioria referem-se ao calado portuário para aproximação, guindastes de manobra para descarga dos equipamentos e dimensões

físicas para manobra de caminhões transportadores rodoviários. Existem casos ainda nos quais, sem alternativas de desembarque ou vias de acesso próprio, o empreendimento precisa construir ou reformar uma zona portuária necessária mínima para o início dos recebimentos de cargas, onerando financeiramente ainda mais o complexo.

Logística

A logística passa a se tornar uma parte importante a partir do momento que começam a surgir ociosidades de equipamentos caros alugados, quando os prazos começam a apresentar atrasos devido a empecilhos técnicos ou, então, quando se tem condições operacionais, como à montagem programada, para ocorrer por tempo limitado.

- **Logística de construção e montagem:** os empreendimentos eólicos são construídos, por conceito, em locais com boas velocidades e frequência de vento. Difícil imaginar que os ventos poderiam se tornar empecilhos ao bom progresso de construção e montagem. Realizar todos os passos da suspensão e conexões das partes de um aerogerador com regimes de ventos intensos é impossível e improvável, por este motivo deve ser programada, no local da montagem eletromecânica, uma boa programação logística que permita os acoplamentos e conexões adequados em momentos nos quais os ventos sejam os mais reduzidos possíveis.
- **Logística de comissionamento:** assim como são necessários intervalos de ventos para a construção e montagem, de modo oposto, são necessárias boas frequências de ventos para se iniciar e terminar as atividades de comissionamento dos aerogeradores. São necessários equipamentos para a realização das atividades de comissionamento (bancos de cargas, baterias e outros), no entanto, não faz sentido comprar um conjunto de auxiliares por aerogerador e não faz sentido deixá-los parados. Assim, devem ser

programados os deslocamentos logísticos dos auxiliares de comissionamento simultaneamente a montagem de outros novos aerogeradores.

- **Logística de operação e manutenção:** a operação e manutenção possuem três pontos prioritários de atuação, as linhas de transmissão e bays de conexão, as subestações e os circuitos dos aerogeradores. Todos eles possuem frequências e tempos de manutenção e custos diferentes. As paradas para manutenções consideram principalmente as trocas de peças e as lubrificações necessárias ao bom funcionamento dos equipamentos e dos sistemas e por representarem passivos aos complexos, impactam diretamente na redução de faturamentos, pelo que, todas as intervenções e operações das equipes de manutenção são altamente programadas e treinadas.

Impactos Ambientais, Sociais e Econômicos

Todo empreendimento de geração de energia elétrica no Brasil (usina elétrica) requer uma avaliação de impacto ambiental (AIA) para obter um licenciamento ambiental. O Conama (Conselho Nacional de Meio Ambiente) exige, como pré-requisito à aprovação e concessão, que toda usina elétrica tenha um relatório de impacto ambiental aprovado. Para tanto, uma futura planta de geração eólica necessita elaborar e entregar aos órgãos federais responsáveis pela fiscalização ambiental, Ibama (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente) e ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade), diversos estudos e relatórios como o estudo prévio de impactos ambientais (EIA) e um relatório de impactos ambientais (RIMA). O EIA tem como objetivo auxiliar o planejamento e controle ambiental e o RIMA a conclusão dos efeitos diretos do EIA.

A legislação ambiental brasileira divide a AIA em três estágios. A licença prévia (LP), que contempla informações pertinentes à localização, instalação e operação

concedida na fase preliminar de planejamento e elaboração do projeto do complexo eólico, a licença de instalação (LI), que autoriza o início da implantação do projeto e a licença de operação (LO), que autoriza o início da operação do projeto depois de implantado já considerando os controles de poluição pertinentes.

Figura 28 - Processo de obtenção de um licenciamento ambiental
Fonte: PINTO, 2013

O processo (figura 31) de obtenção de todas as licenças é moroso e complicado, pois diversos argumentos são subjetivos e muitos outros não são mensuráveis. Desta forma, faz-se necessário a elaboração e oficialização, frente aos órgãos fiscalizadores, de um PBA (Plano Básico Ambiental) que contemple as RAS (restaurações ambientais sistêmicas) e as ASV (autorizações de supressão de vegetação).

A seguir encontram-se os principais impactos ambientais decorrentes da implantação de usinas elétricas eólicas:

- **Impacto Visual:** diversas comunidades (europeias) consideram uma paisagem desagradável, no entanto, existem comunidades que consideram agradável o vislumbre de um horizonte limpo de construções urbanas e

repleto de aerogeradores. Por ser um ponto subjetivo esta variável não entrará nas listas de parâmetros, desconsiderando esta variável.

- **Ruídos:** os ruídos sonoros de um aerogerador são provenientes basicamente dos ruídos gerados pelos movimentos das pás e da rotação do gerador. A intensidade dos ruídos gerados por uma turbina eólica a uma distância de 300 metros é, segundo a AEWA (Associação Americana de Energia Eólica), de aproximadamente 40 db (decibéis). Com a regulamentação da metodologia de medição de ruídos, os valores de níveis de ruídos confortáveis conforme as normas (NBR10152 – Nível de ruído para conforto acústico) e o aumento da altura das torres dos equipamentos atuais afastando a fonte do ruído ainda mais do solo, o impacto do ruído sonoro pode ser desprezado.
- **Interferência eletromagnética:** as interferências eletromagnéticas levantadas em tempos passados eram consideradas impactos significativos, pois as pás de aerogeradores antigos possuem muitas estruturas metálicas. A tecnologia atual utiliza a fibra de vidro como principal matéria-prima das pás o que resultou em redução para níveis desprezíveis as interferências eletromagnéticas (dados de referência da EWEA).
- **Impactos na fauna e flora local:** grande parte dos estudos de impacto ambiental apresenta ou sinalizam possíveis impactos nos ciclos da fauna local. Sejam elas rotas migratórias de aves ou modificação do ecossistema para morcegos, estes impactos podem vir a se tornar empecilhos à implantação do CGE. Para evitar estes problemas, é necessário realizar um estudo prévio das condições locais e criar um plano de assistência e mitigação.

- **Modificação do relevo:** de modo geral, a instalação de aerogeradores não causa impactos ambientais significativos de modificação do relevo quando instalado em relevos rochosos, planaltos ou vales. No entanto, constatou-se por casos existentes que a instalação dos equipamentos pode impactar significativamente no relevo em posições e formações de dunas. Devido à modificação do efeito esteira encontrado nos aerogeradores, dunas podem passar a ser criadas em alguns pontos que não existiam e algumas dunas poderão desaparecer. Deve ser feito um estudo de modo a causar o mínimo de alterações possíveis nas condições original do local.
- **Impacto social e econômico:** ao contrário do que se imagina os impactos sociais econômicos devido aos projetos eólicos não são todos negativos. Embora haja constatações de que ocorra a desagregação cultural por perda de referências básicas, possível desvalorização de terras próximas aos parques, impactos no modelo econômico local e eventual pauperização da comunidade local devido a mudanças repentinas nos valores sociais, são encontrados outros diversos fatores positivos, tais como estímulo da economia local, geração de empregos, capacitação e especialização da população e atração de investimentos de infraestrutura.

Mesmo com a AIA bem elaborada e os procedimentos de correção e controle bem executados, os impactos ambientais apresentam um custo adicional aos empreendimentos eólicos. Conforme a Resolução n. 371/2006 (Conama, 2006), existe uma compensação financeira obrigatória a ser paga pelo empreendimento de pelo menos 5% de seu custo total previsto com a finalidade de compensar os efeitos não mitigáveis que ocorrerão na implantação do projeto.

2.2.5. Definição do Arranjo da Planta

Embora o terreno de implantação do parque eólico seja facilmente determinado, o *layout* ou arranjo da planta eólica possui um nível de detalhamento mais criterioso. É necessário definir o posicionamento de diversas partes como os aerogeradores, as subestações unitárias, a subestação coletora de modo que seja definida a localização da usina e de seu polígono fechado (figura 32 e 33) e consequentemente se atendam as especificações técnicas mínimas previstas na Resolução Normativa n. 391 (Aneel).

Pode-se dividir a definição do arranjo da planta em duas partes, o estudo *demicsiting* que resultará na determinação do posicionamento de todos os aerogeradores e o estudo de locação das edificações e vias de acesso.

Figura 29 - Distribuição de aerogeradores em região montanhosa.
Fonte: Usina de Alto Sertão

Figura 30 - Usina Morro dos Ventos III (DESA)
 Fonte: Usina Morro dos Ventos III (DESA)

Estudo de Micrositing:

O estudo de *micrositing* é iniciado junto com o início da concepção do projeto eólico, pois possui interface com quase todo o processo de desenvolvimento do parque. São considerados neste estudo praticamente todas as condições ambientais, desde a composição dos elementos do terreno, como vegetação e formações rochosas, até as curvas de frequência dos ventos. Além disso, são consideradas informações provenientes das especificações do projeto detalhado como as alturas de instalação dos equipamentos, os modelos dos aerogeradores, e todas as condições de impactos ambientais e sonoros.

Figura 31 - Efeito esteira gerado por uma turbina eólica
 Fonte: *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro* (2001)

O estudo de *micrositing* busca em sua essência garantir a máxima produção de energia, utilizando os recursos e especificações de equipamentos baseado na base de dados de vento e o melhor posicionamento das turbinas especificadas, além de maximizar a vida útil dos equipamentos. A passagem do vento por um aerogerador ocasiona uma modificação do perfil deste vento chamado de “efeito esteira” ou “efeito sombra”. Este regime de vento modificado ocasiona dois problemas aos aerogeradores que estão posicionados na esteira dos outros: diminuição da produtividade e perda de vida útil. Desta forma, o estudo de *micrositing* busca posicionar as turbinas de modo a minimizar os efeitos de esteira.

A fim de minimizar o efeito esteira, o setor costuma utilizar valores padronizados de distância para a realização de cálculos aproximados (figura 34). Estas distâncias costumam ser suficientes para minimizar os efeitos esteiras, porém não aperfeiçoam a utilização do terreno e dos regimes de vento do local. Desta forma, para atender condições mais rigorosas, foram desenvolvidas algumas ferramentas computacionais (*softwares*) que são utilizadas nos estudos de *micrositing*. A seguir, encontram-se os softwares mais utilizados pelo setor de energia eólica associada aos seus principais diferenciais:

- ❖ WAsP (*Wind Atlas Analysis and Application Program*):
 - Mapear e analisar potenciais eólicos de terrenos simples
 - Estimar e aprimorar a eficiência de um parque eólico
- ❖ WindSlim:
 - Mapear e analisar potenciais eólicos de terrenos complexos
 - Estimar e aprimorar a eficiência de um parque eólico
- ❖ WindPRO:
 - Digitalizar dados nos mapas
 - Calcular a geração de ruídos e efeitos esteira
 - Fazer fotomontagens do terreno com as turbinas eólicas
 - Separar a produção unitária por turbina
 - Calcular as perdas devido ao efeito esteira

Considerando as rugosidades do terreno, condições de distâncias mínimas entre equipamentos, os dados estatísticos dos ventos e as facilidades ou dificuldades de construção e montagem, são necessários diversos estudos de *micrositing* para determinação do melhor layout do site eólico.

Estudo de locação das edificações e vias de acesso:

Após a determinação dos melhores locais dos aerogeradores, é necessária a identificação e determinação dos pontos nos quais serão locadas as outras estruturas do parque eólico como as edificações. Quando necessárias, as subestações unitárias permanecerão próximas aos aerogeradores, no entanto, a subestação coletora provavelmente ficará situada no centro de carga do empreendimento.

2.3. Planejamento Físico e Financeiro

Para o bom desenvolvimento de qualquer etapa de um projeto de implantação, é necessária a elaboração de um planejamento físico e financeiro eficientes, reais e factíveis. De modo geral, o planejamento físico tratará de acompanhar e controlar o desenvolvimento real das atividades de desenvolvimento da documentação, especificação, e compra e recebimento de materiais e equipamentos, ou seja, todas as fases de implantação, além de integrar da melhor forma possível as diferentes especialidades que existem dentro de um projeto.

Já o planejamento financeiro, realizará o acompanhamento e o controle das mesmas atividades, considerando o ponto de vista financeiro, isto é, fluxos de pagamentos e recebimentos, faturamentos, tributações e outros aspectos financeiros associados às atividades acompanhadas pelo planejamento físico.

2.3.1. Cronograma

Para a realização das atividades descritas, durante o desenvolvimento do planejamento, é necessária a elaboração de um cronograma que determine as metas e principais marcos de controle, de modo a garantir que o empreendimento será realizado dentro dos prazos e custos determinados.

Os cronogramas contemplam as atividades desde o começo da fase conceitual até a conclusão da implantação e entrega da planta operando. Este cronograma indicará o desencadeamento de ideias e sinalizará os possíveis atrasos ou antecipações que ocorrerão ao longo do desenvolvimento das atividades. Existem ferramentas eletrônicas que auxiliam na elaboração e controle do planejamento, criando cronogramas a partir das métricas colocadas pela coordenação de cada disciplina envolvida. Mesmo que não sejam elaborados cronogramas para todas as atividades, para que a coordenação do projeto consiga controlar a produtividade, é

interessante que seja formalizado a elaboração de uma folha-tarefa¹ com as atividades menos relevantes para se averiguar a continuidade das atividades.

2.3.2. Custos

Como citado anteriormente, devido ao aumento da demanda interna brasileira por equipamentos eólicos e políticas de nacionalização impostas pelo BNDES para o financiamento de projetos, houve um aumento significativo de instalações de unidades montadoras de aerogeradores no Brasil. Os empreendimentos eólicos, assim como qualquer outro projeto de usina elétrica, costumam fazer um financiamento para a compra dos equipamentos e, após a entrada em operação, estes projetos começam a pagar essa dívida. Conjuntura econômica mundial, a principal instituição que realiza financiamentos ao setor de energia no Brasil, o BNDES, criou uma determinação visando estimular a economia nacional que prevê critérios mínimos de nacionalização dos equipamentos elétricos, para a obtenção do financiamento do CGE.

O índice de nacionalização é um indicador utilizado como requisito aos empreendimentos para obterem as melhores taxas de juros da linha do BNDES Finame. O cálculo desse indicador foi modificado ao longo do tempo e contempla simultaneamente desde porcentagens do peso do equipamento até porcentagens de custo de cada parte do equipamento. Para saber exatamente qual o cálculo do índice de nacionalização vigente, é possível acessar o site do BNDES, que descreve todas as condições atuais. Até os leilões de energia de 2011, o índice de nacionalização mínimo exigido para a fonte era de 60%. Atualmente, o projeto precisa comprovar que pelo menos três das quatro partes mais importantes do aerogerador (torre, pás, cubo ou nacele) são produzidas no Brasil e, além disso, a

¹ Documento prescrito pela equipe de planejamento, que descreve os serviços a serem executados pela equipe de construção e montagem.

fabricação de uma parte complexa com alto custo de fabricação (por exemplo, o gerador) seja equipamento local.

Métricas

Atualmente, o mercado nacional indica métricas de custos diferentes das apresentadas em empreendimentos eólicos europeus (tabela 3). Devido à situação de crise econômica internacional e à redução de investimentos no setor de energias renováveis, o mercado mais adaptado do mundo à energia eólica (Europa) não manteve a tendência histórica esperada de redução dos preços dos equipamentos como mostra a tabela 3.

Tabela 3- Custos associados a projetos eólicos

Fonte: Elaboração do Autor (Referência Milborrow).

Tecnologia	Custo de instalação (EUR/kW)	Custo de instalação (R\$/kW)	Custo de O&M (EUR / kW)
Onshore	1.300,00 a 1.500,00	3.250,00 a 3.750,00	33 a 55
Offshore	3.000	7500	70

Preço médio do Euro em 2012: R\$2,50

Considerando o quadro nacional de fornecedores de aerogeradores instalados no Brasil, o aumento da demanda de energia elétrica nacional crescente e os problemas com o fornecimento de gás natural, a redução dos preços e o aumento da competitividade da energia eólica impulsionou a participação da fonte nos leilões de energia brasileiros nos últimos cinco anos. Pode-se observar o aumento na competitividade comparando-se os custos de implantação no Brasil, que se encontram 10% abaixo do mercado europeu (aproximadamente R\$ 2.800,00 por kW instalado) e 30% abaixo dos valores esperados para o mercado nacional uma vez que o valor estimado informado na Resolução n. 391/2009, da Aneel (art. 12-B) estima custos de R\$ 4.000,00 por kW instalado.

Os custos de implantação contemplam basicamente os custos associados à aquisição de equipamentos, à obtenção da documentação necessária, ao desenvolvimento do projeto e à construção do parque eólico. A aquisição e a instalação do aerogerador, a aquisição e a implantação do BOP (restante das instalações do parque eólico), e os gastos jurídicos e financeiros são exemplos dos principais custos. A proporção dos custos dentro de um projeto eólico (figura 34) e as porcentagens de custos dentro de um aerogerador (figura 35) são interessantes e servem também como alerta para os pontos mais críticos da perspectiva econômica. Essas informações também são utilizadas de modos diferentes pelas equipes de implantação e de operação e manutenção.

Uma métrica muito importante são as relações de preços e proporções encontrados e comparados entre empreendimentos eólicos no Brasil. Os dados nacionais mostram custos de projeto e implantação do BOP com valores 22% acima dos praticados no resto do mundo. Além disso, os custos com as fundações das plataformas e bases nacionais possuem uma média 100% superior aos valores internacionais.

Figura 32 - Gráfico com métricas de custo de um parque eólico
Fonte: SALLES, 2004 (adaptado).

As porcentagens associadas à composição do parque eólico dependem das características e parâmetros do parque. Alguns complexos eólicos ainda encontram relação de custo tradicionalmente europeus (75% aerogerador e 25% restante) devido às necessidades especiais requeridas pelo equipamento, fazendo com que os preços dos aerogeradores se tornem predominantes.

O processo de análises da viabilidade econômica de um parque eólico costuma fornecer informações consolidadas e indicadores aos responsáveis para que uma decisão mais consistente seja feita. Duas análises são essenciais à tomada de decisão neste ponto, uma métrica de risco (objetivo deste trabalho) e uma métrica de custo, o Capex.

Estimativas

Na fase de estimativas, é feita a quantificação e custeio inicial do escopo do projeto com base nos inputs de engenharia, suprimentos, construção e montagem que ocorre ao longo do desenvolvimento do projeto. Bases de dados históricos, as melhores práticas do setor e comparações mercadológicas são úteis nessa etapa. De forma simplificada, o valor da estimativa de investimento é constituído pelo conjunto de atividades (figura 36).

Figura 33 - Gráfico com métricas de custo de um aerogerador
Fonte: *Atlas Eólico de São Paulo*.

Figura 34 - Principais grupos de custos em estimativas de investimento

Fonte: Elaboração do Autor

As atividades relacionadas anteriormente devem ocorrer em paralelo tendo seus termos coincidentes. O ideal é que todas as outras etapas estejam concluídas antes dos levantamentos de contingência, no entanto, o limite do término de todas as atividades pode coincidir, ressaltando ainda mais a importância de um planejamento das atividades de orçamentação devido à falta de folga no cronograma da elaboração da estimativa de investimento.

Feitos levantamentos junto a empreendimentos já implantados, obtém-se algumas estimativas de custos relacionados aos diversos aspectos de projetos eólicos. Os valores são estimativas, médias e aproximações de modo a proteger o sigilo da informação sensível dos empreendimentos.

Os preços médios encontrados para complexos geradores eólicos com capacidade de produção superiores a 150 MW (conjunto de parques eólicos com potências inferiores a 30 MW_{instalados}) no Brasil são os seguintes:

- BOP_{brasileiro} ~ R\$ 600,00/kW_{instalado}.
- Projeto Eólico_{brasileiro} ~ R\$ 4.500,00/kW_{instalado}.

A referência nacional de custos de operação e manutenção encontrado (para um CGE de capacidade próxima de 75 MW_{instalados}) considera os procedimentos de operação de usinas eólicas vencedoras dos leilões com preços médios de R\$ 100,00 por MWh gerado. Esta posição considera que durante o tempo de

manutenção dos equipamentos, existe um custo envolvido de ociosidade do sistema e os prazos de manutenção variam de acordo com o foco da parada (preventiva ou corretiva) e que parte do sistema será liberado para manutenção (linhas de distribuição, linhas de transmissão, *bays* de conexão, subestações unitárias ou aerogerador).

Custo para o CGE de uma turbina parada por hora:

- Custos_{Manutenção} ~ R\$ 7.500,00/hora.

Custo para o CGE de uma turbina parada durante um dia (16 horas de funcionamento):

- Custos_{Manutenção} ~ R\$ 120.000,00/dia

Assim como anteriormente realizado para as métricas europeias, encontrou-se referência de custos nos Estados Unidos (dados do estado da Carolina do Norte) considerando os custos de instalação e os custos de operação e manutenção (tabela 4). Frente ao incrível crescimento da fonte de geração eólica nos Estados Unidos, nota-se que os custos apresentados para os anos de 2012 no Brasil ainda são mais favoráveis a implantação de novas usinas eólicas que nos Estados Unidos.

Tabela 4 - Estimativas de custos nos Estados Unidos

Fonte: Estados Unidos/Estado da Carolina do Norte (www.eia.gov/state).

Custo de instalação em dólar	Custo de instalação em reais	Custo de O&M
US\$ 1.650,00/kW	R\$ 2.970,00/kW	US\$ 44,46/kW

Preço médio do dólar em 2012: R\$ 1,80.

Além dos custos relacionados à instalação dos aerogeradores e de O&M dos parques eólicos, foram encontradas informações financeiras relacionadas ao aluguel ou ao arrendamento de terrenos adicionais para a instalação de

aerogeradores fora do terreno principal do parque eólico. No estado da Carolina do Norte, estes valores variaram entre US\$ 2.667,00 e US\$10.700,00 por MW/ano.

2.3.3. Análise de Riscos

Para assegurar maior chance de sucesso na concepção, desenvolvimento e implantação de um projeto de engenharia, o gerenciamento do projeto, de forma geral, deve ser executado de maneira que não haja ambiguidades, confusões ou mal-entendidos permitindo assim que a área técnica possa, por meio de uma equipe bem qualificada, cumprir sua função de modo preciso e satisfatório.

Atualmente, existem diversas metodologias de gestão de riscos, como o PMBOK (Project Management Body of Knowledge) do PMI (Project Management Institute), o RISMAN (Risk Management), o SHAMPU (Shape, Harness and Manage Project Uncertainty), o RAMP (Risk Analysis and Management for Projects) e o PRAM (Project Risk Analysis and Management). Todas essas metodologias são utilizadas e reconhecidas por identificar, analisar e abordar os riscos associados aos projetos.

Além das metodologias de gerenciamento de riscos, existem normas internacionais e brasileiras que auxiliam no controle dos riscos associados aos projetos, caso da NBR ISO 31000, que trata dos princípios básicos e diretrizes de gestão de riscos. Essa norma aborda assuntos como a estrutura e implementação de um modelo de gestão, monitoramento, análise, recepção, processos de avaliação e gestão de riscos.

Internacionalmente conhecido, o PMI reúne e atualiza, quando necessário, as melhores práticas consideradas de gerenciamento de projetos no mundo. Esse instituto concentra estas práticas no guia PMBOK, que é composto pelo conjunto de práticas de gestão de projetos publicados pelo PMI e são consideradas as melhores práticas do mercado. Infelizmente, as práticas apresentadas no guia não

são garantias de sucesso do projeto. Na realidade, é preciso que sua utilização seja feita com parcimônia e flexibilidade uma vez que nenhum projeto pode ser considerado idêntico ao outro e as melhores práticas não particularizam setores, áreas de atuação, condições e outras especificidades. Além de apresentar essas práticas, o guia nos traz uma linguagem padronizada que permite que todos os profissionais relacionados aos tópicos propostos possam se comunicar de modo eficiente e objetivo.

De modo a atender algumas das recomendações e melhores práticas do guia, grandes empresas formulam procedimentos de análise, gestão e elaboração de proposta e estudos de viabilidade econômica para os mais diversos modelos de projeto.

A metodologia FEL (Front End Loading), também conhecida como planejamento de pré-projeto, é atualmente utilizada para o planejamento do desenvolvimento de projetos industriais como petroquímicas, refinarias, mineradoras e farmacêuticas. Baseada no trabalho *Research and metrics measuring capital project*, a metodologia FEL possui fases em seu ciclo de vida que evoluem à medida que os requisitos e informações passam a ser conhecidas, de forma a garantir o planejamento de custos e prazos.

O objetivo ao adotar a metodologia FEL é aprimorar a competitividade por meio da melhoria e otimização na gestão de processos de investimento, pela comparação e avaliação de maturidade dos projetos comparados com projetos similares, contidos em sua base de dados. Normalmente utilizado em grandes empreendimentos, que possuem grande complexidade e custo, os chamados “projetos de capital”, a metodologia prevê minimizar riscos de inviabilidades de investimento, ou evitar o surgimento de riscos, que não fazem parte do planejamento estratégico em questão.

A FEL é dividida/composta por três fases principais de elaboração. Entre essas fases, constam momentos de análise e aprovação chamados “portões de decisão”. O objetivo desses portões é exigir uma avaliação do corpo executivo para definir se o projeto continua, será interrompido ou se ainda há necessidade de desenvolvimento e obtenção de mais informações para a tomada de decisão.

Fazem parte da metodologia as seguintes etapas:

- **FEL1 – Identificação da oportunidade e avaliação do negócio:** fase cujo objetivo é proposto e inicia-se a análise e avaliação da atratividade e da oportunidade de investimento, com a realização de cálculos como o retorno financeiro e o potencial de ganho. Nessa fase, os objetivos do projeto são alinhados aos objetivos estratégicos da organização e é utilizado pouco recurso financeiro.
- **FEL2 – Planejamento conceitual:** estudo de viabilidade técnica e econômica de modo que se possa interromper o projeto antes que os recursos financeiros comecem a ser amplamente gastos. Essa fase é responsável por selecionar as alternativas (opções para desenvolver as iniciativas) e estratégia de contratação, além da seleção tecnológica.
- **FEL3 – Planejamento básico do projeto:** fase de engenharia básica, ou seja, a primeira fase da implantação de um projeto, em que são revistos os trabalhos de engenharia preliminares, isto é os estudos de viabilidade. Essa etapa visa ao desenvolvimento do projeto básico e ao planejamento da sua execução. O escopo é fechado com o término do detalhamento básico do produto e o projeto entra no estágio final de detalhamento para aprovação e apresentação ao corpo executivo.

Após a aprovação do FEL3, seguem outros passos da metodologia a fim de atingir as metas propostas e assumidas até o momento:

- **Engenharia detalhada (projeto executivo):** detalhamento executivo e final do projeto pela engenharia a fim de torná-lo factível à equipe de construção e montagem.
- **Construção e montagem:** implantação do projeto detalhado concebido pela engenharia, já com os materiais e equipamentos especificados, contados e comprados.
- **Início da operação:** início das operações de modo que o processo produtivo do empreendimento em questão passe a ser considerado.
- **Operação, monitoramento e manutenção:** operação constante e manutenção do empreendimento que foi construído e passa a ser gerenciado pelo contratante.

Um dos principais objetivos da metodologia FEL é prevenir a utilização de recursos desnecessários caso um projeto seja avaliado, em qualquer um dos portões de decisão, como um projeto com restrições proibitivas. Esse entendimento torna-se mais claro após análise da figura 37 que representa a relação de utilização de recursos com relação à influência das decisões ao longo do desenvolvimento de um projeto. Dessa forma, o corpo executivo da empresa, ou grupo de investidores, passa a controlar e ver com maior precisão os investimentos realizados no detalhamento do projeto.

Figura 35 - Gráfico de Influência x Recurso no desenvolvimento de um projeto
Fonte: Elaboração do autor.

2.4. Alternativas Competitivas

Atualmente, estudos de viabilidade econômica de projetos eólicos não utilizam em seu processo de elaboração algumas conhecidas alternativas competitivas, no entanto, embora algumas tenham caído em desuso, é interessante que sejam estudadas, pelo menos, as alternativas competitivas principais. Com modificações constantes no posicionamento e relação entre empreendimentos e impactos ambiental, uma condição favorável atual pode vir a ser um grande diferencial futuro no fechamento de negócios ou análises de investimento. Dessa forma, destacam-se as métricas de redução de CO₂ e economia de H₂O no processo produtivo de energia elétrica.

As alternativas competitivas não são necessariamente consideradas durante a fase de aceitação de um projeto eólico, no entanto, elas existem e foram citadas no texto, pois podem voltar a ser parâmetros determinantes de investimento no futuro (crédito de CO₂ e consumo de H₂O).

2.4.1. Venda de Créditos de Carbono

Após realização de pesquisa e atualização bibliográfica, foram reunidas diversas informações relacionadas à geração de energia elétrica comparando as fontes de geração de energia elétrica e suas respectivas emissões de dióxido de carbono CO₂ (principal gás responsável pelo efeito estufa).

Tendo em vista o modelo tradicional de expansão do setor de geração de energia brasileiro, priorizou-se a aquisição e representação de informações relacionadas às fontes de geração termelétricas, uma vez que essas são as fontes despachadas para aumentar a confiabilidade de fornecimento de energia elétrica quando os regimes hidrológicos não são favoráveis. Além disso, as usinas termelétricas são a fonte mais poluidora (no quesito de emissão de CO₂) e que ainda apresentam os maiores custos de operação de despacho de energia. Assim, essas usinas poderiam, claramente, ser a fonte que, ao despachar, comprariam os créditos de carbono dos complexos eólicos, aprimorando também o impacto ambiental no setor de energia.

Pela tabela 5, pode-se notar grande diferença na emissão de gás carbônico por unidade de energia gerada, proveniente das usinas termelétricas que se utilizam de diferentes ciclos de operação.

Tabela 5 - Emissão de CO₂ em usinas termelétricas

Fonte: MFE adaptado (2003).

Tipo	[kg de CO ₂ /MWh]		
	Gás	Óleo	Carvão
Ciclo aberto	570	710	-
Ciclo de vapor	530	820	930
Ciclo combinado	370	-	-
Com cogeração	250	-	440

Estima-se que, no balanço energético da tecnologia eólica, as emissões de CO₂ relacionadas à fabricação, à instalação e aos serviços durante todo o ciclo de vida de um aerogerador são “recuperados” em seis meses de fabricação (PINTO, 2013). Assim, a partir dos seis meses de operação, o empreendimento estaria apto a vender seus créditos de carbono no mercado.

Algumas referências encontradas quantificam as relações entre volume não emitido de CO₂ pela potência ou energia gerada por complexos eólicos. Todas fazem referências aproximadas (perto de 600 ton. CO₂/MWh) quanto à economia de energia por energia gerada em usina eólica (tabela 6). No entanto, não existe ainda um estudo aprofundado no assunto que considere as emissões de CO₂ no processo construtivo dos equipamentos e do próprio parque eólico.

Tabela 6 - Comparação de economia de CO₂ por energia (MW/h)

Fonte: Elaboração do autor.

Referência	Economia de CO ₂ por MW/h de energia gerada em usina eólica
REF1	600 toneladas de CO ₂
REF2	330 a 590 toneladas de CO ₂
REF3	400 a 800 toneladas de CO ₂

REF1 → GWEC (Global Wind Energy Council).

REF2 → Estudo do operador da rede da Irlanda.

REF3 → Pinto, 2013.

A unidade de 1 (um) “crédito de carbono” equivale a uma tonelada de CO₂ que deixou de ser emitido na atmosfera e, empresas ou empreendimentos que conseguem diminuir ou compensar esses créditos, podem negociá-los no mercado financeiro.

O preço do crédito de CO₂ não possui um valor fixo e varia de acordo com o país e com contextos regionais e mundiais. No começo de 2013, o crédito de carbono na Austrália chegou a US\$ 15,00 e a US\$ 7,50 no Reino Unido. Internacionalmente, no final de outubro de 2014 os créditos de carbono estão sendo negociados, segundo o site de investimentos br.investing.com, a valores no patamar de € 6.

Adotando-se as referências da GWEC e as cotações em euros do crédito de carbono, um empreendimento com geração de energia de 5.000 MW/h poderia, por meio da venda de seus créditos a outras empresas, obter uma renda aproximadamente € 3 milhões ao ano.

2.4.2. Redução de Gastos com Recursos Hídricos

Sendo um País rico em recursos hídricos, o Brasil criou sua matriz elétrica principalmente voltada para a geração por hidrelétricas. Além da utilização direta da água como elemento de geração, os recursos hídricos também são utilizados em todos os outros modelos de usinas elétricas considerando sua utilização de forma indireta no processo de geração. A água é utilizada nessas usinas para processar, limpar e resfriar em certos procedimentos e por isso é essencial em seus ciclos de geração de eletricidade. A quantidade de água utilizada nesses processos varia do tipo de fonte de geração de energia (tabela 7); no entanto, seu volume cresce proporcional a capacidade de geração da planta (tabela 8).

Tabela 7 - Consumo de água por fonte de geração de energia

Fonte: Comissão de Energia da Califórnia (adaptado).

Tecnologia	Litros de H₂O/kWh
Térmica nuclear	2,347
Térmica a carvão	1,817
Térmica a óleo	1,627
Usina solar	0,113
Usina eólica	0,004

Segundo métricas disponíveis em publicações do Departamento de Energias Renováveis dos Estados Unidos (Energy Efficiency & Renewable Energy – EERE), as métricas de economia com a substituição de unidades termelétricas a gás por complexos eólicos reduziram a geração de CO₂ e de consumo de H₂O intensamente (tabela 9).

Tabela 8 - Consumo de litros de H₂O anual em uma usina de 100 MW e relações

Fonte: Elaboração do autor.

Potência da usina: 100 MW				
Tecnologia	L/hora (1 hora)	L/dia (24 horas)	L/ano (365 dias)	Tecnologia/usina eólica
Térmica nuclear	234.700	5.632.800	2.055.972.000	587
Térmica a carvão	181.700	4.360.800	1.591.692.000	454
Térmica a óleo	162.700	3.904.800	1.425.252.000	407
Usina solar	11.300	271.200	98.988.000	28
Usina eólica	400	9.600	3.504.000	1

Com a redução de quase três milhões de toneladas de CO₂ e seis milhões de litros de H₂O para cada GW/ano substituído de termelétrica a gás por usinas eólicas, os benefícios ambientais começam a destacar e viabilizar a implantação de geração de energia em locais com restrições hídricas e ambientais.

Tabela 9 - Economia na geração de 1 GW/ano

Fonte: EERE.

Economia na geração de 1GW/ano	
2,9 milhões	Toneladas CO ₂
5.897 milhões	Litros de H ₂ O

Desta forma, como análise de oportunidade, a fonte de geração eólica possui dois benefícios específicos do ponto de vista ambiental: a. não possui uma fonte de geração de CO₂ diretamente (recurso que atualmente movimenta mercado); e, b. a redução de consumo de água proporcionalmente à quantidade de energia elétrica gerada. Vale dizer que atualmente, a redução no consumo de água ainda não possui um mercado específico, mas em breve, devido à redução dos recursos hídricos mundiais, eles, provavelmente, passarão a ser tarifados, assim com a emissão de CO₂.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1. Introdução

Este capítulo trata da dinâmica de desenvolvimento utilizada para a elaboração da metodologia proposta. Mesmo considerando todas as restrições e limitações deste trabalho, devido à grande amplitude do tema e ao grande volume de informações, visando alcançar ao seu objetivo e mérito, foi necessário estabelecer uma estratégia de metodologia que pensasse na graduação de risco de um projeto eólico.

Após análise de todas as metodologias de gestão de risco citadas anteriormente, de maneira geral, todas prevêm etapas e processos similares com abordagens que seguem um planejamento de gerência de riscos conforme descrito a seguir:

- **Fase 1:** identificação dos riscos.
- **Fase 2:** análise qualitativa dos riscos.
- **Fase 3:** análise quantitativa de riscos.
- **Fase 4:** planejamento de resposta do risco.
- **Fase 5:** monitoramento e controle do risco.

Durante essas fases, a gerência de riscos tem como objetivo decidir como abordar, planejar e executar as atividades de um projeto associado a seus riscos. Proveniente dessas ações, são elaborados produtos que auxiliam as tomadas de

decisão como estimativas de orçamentos, cronogramas, matrizes de probabilidade e impacto, e relatórios conclusivos.

Estão apresentadas neste capítulo, as principais fases de um projeto eólico, listas e representações dos parâmetros levantados, o estabelecimento de uma escala de graduação de importância dos parâmetros e a escala de graduação que associa as notas obtidas no método proposto ao risco da proposta ou empreendimento.

Na aplicação de qualquer uma das metodologias de gestão de riscos, são utilizadas premissas e informações básicas para o desenvolvimento dos processos. Seguindo a analogia da metodologia FEL, processos de avaliação e decisão podem ser aplicados em diferentes momentos do projeto, desde sua concepção até o término de construção e montagem, e início da operação. No entanto, conforme verificado na análise de recurso e influência (figura 37), existem momentos importantes nos quais são tomadas decisões que definirão a quantidade de recursos que serão utilizados na análise crítica do projeto. A metodologia proposta neste trabalho, nesta linha de raciocínio, tem como objetivo fornecer subsídio à tomada de decisão, embasada na gestão de riscos, analisando somente os principais parâmetros presentes na documentação disponível no momento da análise.

3.2. Fases de um Projeto Eólico

Os empreendimentos eólicos possuem basicamente três etapas principais: o desenvolvimento, a construção e a operação do projeto. O projeto eólico possui uma taxa de sucesso maior caso seja planejado desde seu início, considerando todos os processos, riscos e especificações do projeto técnico, além da supervisão de investimentos e parcerias corretas. Assim, qualquer fator que altere algum destes três principais pilares do sucesso de um empreendimento eólico acarretará em riscos na implantação ou desvios de prazo ou volume de investimento.

Cada setor do mercado possui uma sequência característica de fases de desenvolvimento e construção de seus projetos. Em alguns casos, as metodologias adotadas podem ocasionar transferência de boas experiências e práticas entre setores. Realizando uma analogia dos processos de evolução de projetos industriais nos setores químico, petroquímico, sucroalcooleiro e de mineração e entendendo os tempos e requisitos necessários à concepção e implantação de empreendimentos eólicos, pode-se subdividir, de maneira geral, um projeto eólico na seguinte sequência de fases:

- **1ª Fase – Concepção:** fase longa e crítica na qual serão definidos os modelos societários, a região de implantação e serão concebidos os conceitos do projeto. Primeira etapa do desenvolvimento de um projeto na qual serão desenvolvidos projetos conceituais com estimativas e premissas de suporte aos estudos básicos. Como apresentado anteriormente, essa primeira fase é complexa e repleta de informações técnicas e, se tratadas de modo inadequado, podem comprometer todo o restante do empreendimento.
- **2ª Fase – Detalhamento:** fase na qual serão definidos os locais, especificações técnicas principais dos equipamentos e materiais, e aquisição e elaboração da documentação necessária. Serão desenvolvidos, também, os projetos técnicos básicos e os estudos de viabilidade técnico-econômicos.
- **3ª Fase – Negociação:** término de detalhamento do projeto técnico, contato e negociação junto a entidades financiadoras, fechamento de parcerias junto a fornecedores, detalhamento técnico e comercial da interface da planta geradora de energia eólica com o ponto de conexão à rede básica de energia elétrica brasileira. Última etapa do detalhamento do projeto na qual é

finalizado o projeto executivo junto ao estabelecimento dos seguros, garantias e financiamentos.

- **4ª Fase – Implantação:** construção e montagem do empreendimento propriamente dito, comissionamento e testes de aceitação de performance e partida da operação da planta. Na segunda etapa do projeto eólico (sua construção) são realizadas todas as interfaces com fornecedores locais de material e serviços, e, por conseguinte, o empreendimento começa efetivamente a impactar nas condições ambientais, sociais e econômicas do local.
- **5ª Fase – Operação:** início da operação efetiva da CGE. Após a realização dos testes isolados de cada um dos equipamentos e a realização de todos os testes integrados no comissionamento da 4ª fase, o complexo eólico está pronto para ser operado e mantido. Nesta última etapa do projeto eólico, a principal preocupação consiste em garantir o bom funcionamento do parque eólico.

Essas cinco fases mencionadas dispostas nas três etapas de um projeto eólico possuem diversos objetivos. Os principais são: a. a confirmação da capacidade e das projeções da produção de energia elétrica, conforme informado à EPE; o término e a consolidação das negociações dos contratos do empreendimento junto a entidades financiadoras (BNDES, por exemplo) e fornecedores (de equipamentos e de serviços); e c. a comprovação de que o risco proposto aceito para continuidade das atividades foi suficiente para garantir o sucesso do empreendimento conforme os riscos mensurados em seu início.

Existem diversas decisões que podem ser tomadas ao longo do desenvolvimento do parque eólico. No entanto, ainda é difícil determinar com precisão quais

premissas impactam os prazos e custos diretamente e qual a intensidade de suas interferências.

É compreensível entender que diversos empreendimentos anseiem pela consolidação das fases de projeto prematuramente e que os investidores, empresas de engenharia e construção, montagem e fornecimento, desejem assumir condições estatísticas de redução dos riscos, de modo que seus investimentos adquiram melhores taxas de retorno.

Associando as metodologias de gerenciamento de riscos às etapas que são cumpridas no desenvolvimento dos projetos eólicos, de modo a identificar os principais focos de riscos, surge a necessidade da identificação das características e parâmetros principais associados às CGE.

3.3. Organização dos Parâmetros

Será utilizado especificamente na consolidação da metodologia proposta o conceito da matriz de probabilidade e impacto. Essa ferramenta, tem como propósito principal, associar a relevância do impacto de uma variável a sua probabilidade de ocorrer fornecendo um peso a tal relação.

As primeiras atividades deste trabalho foram levantamento, filtro e centralização do maior número de parâmetros relacionados aos projetos eólicos. Devido à dispersão das informações técnicas sobre projetos eólicos e poucos especialistas nas áreas disponíveis para contato, o levantamento dos atributos foi uma das atividades mais demoradas. Mesmo assim, fazer o levantamento do máximo de parâmetros relevantes relacionados ao desenvolvimento de um projeto de uma CGE não é suficiente. Conhecer e relacioná-las é fator determinístico para se obter uma visão crítica do sistema como um todo, e assim quantificar a probabilidade de sucesso ou fracasso de um empreendimento. Para que seja possível a realização

da análise qualitativa das informações referentes a um projeto, precisa-se de uma *checklist* dos requisitos necessários.

Os parâmetros foram listados considerando-se quase todas as fases do empreendimento. Foi desconsiderada, neste levantamento, a etapa de operação, pois os riscos associados a essa etapa impactam principalmente no volume de capital de geração e não no risco de implantação e conclusão dos trabalhos.

3.3.1. Lista de Variáveis e Parâmetros

Na elaboração da lista de verificação de parâmetros ou variáveis, foram levantados e considerados os principais parâmetros necessários à implantação de um parque eólico. Conforme detalhado no capítulo 2, a concepção de um projeto eólico depende de diversas informações e premissas para seu desenvolvimento, pelo que esquecer um dos itens mencionados pode ser fator de aumento do risco de fracasso do empreendimento. Dessa forma, a fim de se otimizar a utilização de recursos e se reduzir os riscos, propõe-se fornecer uma lista de verificação de parâmetros importantes que devem ser levantados, especificados ou calculados para assegurar a implantação do parque eólico com reduzida possibilidade de fracasso.

Após determinada a lista de parâmetros, eles foram classificados dentro de grupos principais, subgrupos principais, subgrupos secundários e subgrupos finais. Com relação aos detalhes das quatro hierarquias, essa sequência de grupos segue a ordem dos itens mais abrangentes aos mais específicos, ou seja, um parâmetro específico terá um grupo principal, um subgrupo primário, um subgrupo secundário e dará nome a um grupo específico. No entanto, um parâmetro mais abrangente pode estar contido somente em um grupo principal e em um subgrupo secundário.

1ª Hierarquia – grupos principais

1. Acervo documental
2. Alinhamento de perspectivas financeiras
3. Definição do modelo de negócio
4. Especificações técnicas
5. Estruturas de associações e parcerias
6. Linhas de financiamento disponíveis
7. Seleção da localização

2ª Hierarquia – subgrupos primários:

1. SPE
2. Investidores com capital aberto
3. Consórcios
4. Utilização de capital próprio
5. Utilização de financiamentos (BNDES, bancos privados)
6. Venda do complexo do parque eólico
7. Venda da energia elétrica gerada
8. Contratos de produtos e serviços
9. Banco de dados de ventos
10. Disponibilidade do terreno
11. Condições locais
12. Infraestrutura
13. Ficha técnica do empreendimento
14. Arranjo geral da planta
15. BOP
16. Aerogeradores
17. Estudos específicos
18. Barreiras legais
19. Outorga de autorização da Aneel
20. Registros na EPE
21. Registros na ONS (Operador Nacional do Sistema)
22. Impactos ambientais
23. Impactos sociais e econômicos
24. Acessos a rede básica de energia elétrica
25. Licenças e concessões
26. Documentação local (prefeitura)
27. Financiamento de capital próprio
28. Financiamento do BNDES
29. Fornecedores estrangeiros

3ª Hierarquia – subgrupos secundários:

1. Imagens de satélite
2. Fotografias aéreas
3. Estudos arqueológicos
4. Estudos básicos elétricos e civis
5. Estudos específicos elétricos e civis
6. Estudos de zoneamento ambiental
7. Indicadores geomórficos
8. Atlas mundiais, nacionais, regionais
9. Campanha de medição
10. Quantidade de dados de vento
11. Resultados das medições
12. Terreno próprio
13. Terreno alugado
14. Terreno com cessão de direitos
15. Sem terreno
16. Tipo de terreno
17. Tipo de clima
18. Acessos logísticos
19. Jazidas naturais
20. Mão de obra local qualificada
21. Rede de transmissão de energia existente
22. Atendimentos a Resolução n. 391/2009
23. Localização da usina
24. Mapa planialtimétrico
25. Subestação unitária
26. Rede de distribuição em média tensão
27. Subestação coletora e elevatória
28. Rede de transmissão
29. Conexão à rede básica
30. Fundações
31. Edificações
32. Acessos externos
33. Acessos internos
34. Modelo
35. Sistema de controle
36. Classe da turbina (I, II, III ou IV)
37. Construção da torre
38. Filosofia de funcionamento do gerador
39. Modalidade de operação da usina eólica
40. *Micrositing*
41. Injeção de harmônicos na rede básica
42. Correção das potências reativas
43. Nível de curto-circuito
44. Fluxo de potência
45. Reservas indígenas
46. Parques arqueológicos

47. Áreas de conservação ambiental
48. Contratos de aluguel ou arrendamento
49. Documentação de posse do terreno
50. Organograma do grupo econômico
51. Ato constitutivo, estatuto ou contrato social
52. Contrato de constituição de consórcio
53. Declaração de propriedade ou posse direta
54. Exigências do Conama
55. Licenças de desmatamento
56. AIA
57. Parecer de acesso direto
58. Contrato de conexão a concessionária local
59. Direito de uso da terra
60. Alvará de construção
61. Alvará de funcionamento
62. Licenciamento do sistema elétrico
63. Total
64. Parcial
65. Índice de nacionalização suficiente
66. Índice de nacionalização insuficiente
67. Aquisição total
68. Aquisição parcial

4ª Hierarquia – subgrupos específicos:

1. Levantamento da resistividade do solo
2. Levantamento planialtimétrico
3. Interferências eletromagnéticas
4. Torres anemométricas – implantação
5. Torres anemométricas – custos
6. Torres anemométricas – instrumentos
7. Torres anemométricas – estudo de posicionamento
8. Banco de dados de ventos –um ano
9. Banco de dados de ventos –dois anos
10. Banco de dados de ventos –três anos
11. Extrapolações por modelos computacionais
12. Curvas de frequência velocidade do vento (intensidade)
13. Mapa de rosas dos ventos (direção)
14. Terreno rochoso
15. Terreno arenoso
16. Terreno planícies ou planaltos
17. Terreno pantanoso ou manguezal
18. Terreno composição corrosiva
19. Terreno altitude elevada
20. Clima de monções
21. Clima de tufões ou furacões
22. Clima de ventos alísios

23. Clima com zonas de calmaria
24. Temperaturas extremas
25. Temperaturas diária elevada
26. Sazonalidade no regime de ventos
27. Altos índices ceurânicos
28. Sedimentos no vento
29. Ventos turbulentos
30. Rodoviários internos
31. Rodoviários externos
32. Portuários
33. Água
34. Brita e pedregulhos
35. Terra
36. Coordenadas das torres anemométricas
37. Coordenadas dos aerogeradores
38. Polígono de abrangência do parque
39. Curvas de nível das estruturas
40. Curvas de nível da cobertura vegetal
41. Delimitações do terreno
42. Sistema de transmissão de interesse restrito
43. Acoplada ao aerogerador
44. Externa ao aerogerador
45. Aérea
46. Enterrada
47. Nova
48. Existente
49. ICG
50. Concessionária local
51. Contratadas junto à torre
52. Contratadas separadas da torre
53. Subestação unitária
54. Subestação coletora
55. Conexão à rede
56. Sem necessidade de modificações
57. Necessidade de modificações
58. Necessários existentes
59. Necessários não existentes
60. Desnecessários
61. Definido
62. Não definido
63. Ativo (passo ou *pitch*)
64. Passivo (estol ou *stall*)
65. Híbrido (passo & estol)
66. Adequado
67. Inadequado
68. Concreto
69. Metálica (aço)

70. Indução gaiola de esquilo
71. Síncrono a ímã permanente
72. Síncrono com rotor bobinado
73. Síncrono duplamente alimentado
74. Síncrono duplamente alimentado sem escovas
75. Relutância duplamente alimentado sem escovas
76. Tipo I –Programação e despacho centralizado
77. Tipo II –Programação centralizada e despacho não centralizado
78. Tipo III –Programação e despacho não centralizado
79. Utilização de software de otimização
80. Sem estudos
81. Velocidade de desconexão do gerador devido a falhas
82. Compensação de potências reativas
83. Desconexão da rede por variação de velocidade
84. Participações diretas e indiretas
85. Abertura de participações (minoritárias superiores a 5%)
86. Área de implantação da usina
87. EIA
88. RIMA
89. RAS
90. ASV
91. LP (cinco anos)
92. LI (seis anos)
93. LO – Licenças de Operação (quatro a dez anos)
94. Linhas de distribuição
95. Linhas de transmissão

As listas de hierarquias anteriores foram organizadas de modo a otimizar o nível de detalhamento que cada parâmetro aplicaria ao método de análise de risco. Desta forma, foi construída uma tabela com os parâmetros associados em grupos e subgrupos (tabela 10).

Essa organização dos parâmetros, conforme exemplo da tabela 10, deve ser compreendida no nível de detalhamento do parâmetro. Por exemplo, o parâmetro Investidores com Capital Aberto, número 2, possui grupo principal (Estruturas de Associações e Parcerias) e subgrupo primário (Investidores com capital aberto) que termina no detalhamento do parâmetro. Já o parâmetro Instrumentos da torre anemométrica, número 19, possui grupo principal (Seleção de Localização), subgrupo primário (Bancos de Dados de Ventos), subgrupo secundário (Campanha de Medição) e subgrupo específico (Torre Anemométrica – Instrumentos).

Tabela 10 - Parâmetros categorizados em grupos e subgrupos

Fonte: Elaboração do autor.

REF	Grupo Principal	Subgrupo Primário	Subgrupo Secundário	Subgrupo Específico
1	Estruturas de Associações e Parcerias	SPE (Sociedade de propósito específico)		
2	Estruturas de Associações e Parcerias	Investidores com capital aberto		
3	Estruturas de Associações e Parcerias	Consórcios		
4	Alinhamento de Perspectivas Financeiras	Utilização de capital próprio		
5	Alinhamento de Perspectivas Financeiras	Utilização de financiamentos (BNDES, Bancos Privados)		
6	Definição do Modelo de Negócio	Venda do complexo do parque eólico		
7	Definição do Modelo de Negócio	Venda da energia elétrica gerada		
8	Seleção da Localização	Contratos de Produtos e Serviços	Imagens de Satélite	
9	Seleção da Localização	Contratos de Produtos e Serviços	Fotografias Aéreas	
10	Seleção da Localização	Contratos de Produtos e Serviços	Estudos Arqueológicos	
11	Seleção da Localização	Contratos de Produtos e Serviços	Estudos Básicos Elétricos e Cíveis	Levantamento da Resistividade do Solo
12	Seleção da Localização	Contratos de Produtos e Serviços	Estudos Básicos Elétricos e Cíveis	Levantamento Planialtimétrico
13	Seleção da Localização	Contratos de Produtos e Serviços	Estudos Específicos Elétricos e Cíveis	Interferências Eletromagnéticas
14	Seleção da Localização	Contratos de Produtos e Serviços	Estudos de Zoneamento Ambiental	
15	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Indicadores Geomórficos	
16	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Atlas Mundiais, Nacionais, Regionais	
17	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Campanha de Medição	Torres Anemométricas - Implantação
18	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Campanha de Medição	Torres Anemométricas - Custos
19	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Campanha de Medição	Torres Anemométricas - Instrumentos
20	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Campanha de Medição	Torres Anemométricas - Estudo de Posicionamento
21	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Quantidade de dados de vento	Banco de Dados de Ventos - 1 Anc
22	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Quantidade de dados de vento	Banco de Dados de Ventos - 2 Anc
23	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Quantidade de dados de vento	Banco de Dados de Ventos - 3 Anc
24	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Quantidade de dados de vento	Extrapolações por Modelos Computacionais
25	Seleção da Localização	Banco de Dados de Ventos	Resultados das medições	Curvas de Frequência Velocidade do vento (Intensidade)

Embora seja interessante a visualização dos parâmetros em formas de tabelas, para sua utilização ao longo da metodologia, eles serão identificados por seus índices numéricos e descritos como listas que concatenam, respectivamente, suas informações de grupos principais, subgrupos primários, subgrupos secundários e subgrupos específicos, conforme a listagem abaixo – completa:

1. Estruturas de Associações e Parcerias – SPE
2. Estruturas de Associações e Parcerias – Investidores com capital aberto
3. Estruturas de Associações e Parcerias – Consórcios
4. Alinhamento de Perspectivas Financeiras – Utilização de capital próprio
5. Alinhamento de Perspectivas Financeiras – Utilização de financiamentos (BNDES, Bancos Privados)
6. Definição do Modelo de Negócio – Venda do complexo do parque eólico
7. Definição do Modelo de Negócio – Venda da energia elétrica gerada
8. Seleção da Localização – Contratos de Produtos e Serviços – Imagens de Satélite
9. Seleção da Localização – Contratos de Produtos e Serviços – Fotografias Aéreas
10. Seleção da Localização – Contratos de Produtos e Serviços – Estudos Arqueológicos
11. Seleção da Localização – Contratos de Produtos e Serviços – Estudos Básicos Elétricos e Cíveis – Levantamento da Resistividade do Solo
12. Seleção da Localização – Contratos de Produtos e Serviços – Estudos Básicos Elétricos e Cíveis – Levantamento Planialtimétrico
13. Seleção da Localização – Contratos de Produtos e Serviços – Estudos Específicos Elétricos e Cíveis – Interferências Eletromagnéticas
14. Seleção da Localização – Contratos de Produtos e Serviços – Estudos de Zoneamento Ambiental
15. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Indicadores Geomórficos

16. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Atlas Mundiais, Nacionais, Regionais
17. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Campanha de Medição – Torres Anemométricas – Implantação
18. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Campanha de Medição – Torres Anemométricas – Custos
19. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Campanha de Medição – Torres Anemométricas – Instrumentos
20. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Campanha de Medição – Torres Anemométricas – Estudo de Posicionamento
21. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Quantidade de dados de vento – Banco de Dados de Ventos – 1 Ano
22. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Quantidade de dados de vento – Banco de Dados de Ventos – 2 Anos
23. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Quantidade de dados de vento – Banco de Dados de Ventos – 3 Anos
24. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Quantidade de dados de vento – Extrapolações por Modelos Computacionais
25. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Resultados das medições – Curvas de Frequência de Velocidade do vento (intensidade)
26. Seleção da Localização – Banco de Dados de Ventos – Resultados das medições – Mapa de Rosas dos Ventos (direção)
27. Seleção da Localização – Disponibilidade do Terreno – Terreno próprio
28. Seleção da Localização – Disponibilidade do Terreno – Terreno alugado
29. Seleção da Localização – Disponibilidade do Terreno – Terreno com cessão de direitos
30. Seleção da Localização – Disponibilidade do Terreno – Sem terreno
31. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de terreno – Terreno rochoso
32. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de terreno – Terreno arenoso
33. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de terreno – Terreno planícies ou planaltos
34. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de terreno – Terreno pantanoso ou manguezal
35. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de terreno – Terreno com composição corrosiva
36. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de terreno – Terreno altitude elevada
37. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de clima – Clima de monções
38. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de clima – Clima de tufões ou furacões
39. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de clima – Clima com ventos alísios
40. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de clima – Clima com zonas de calmaria
41. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de clima – Clima com temperaturas extremas
42. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de clima – Clima com temperaturas diária elevadas
43. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de clima – Clima com sazonalidade no regime de ventos
44. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de clima – Clima com altos índices ceurânicos
45. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de clima – Clima com sedimentos no vento
46. Seleção da Localização – Condições Locais – Tipo de clima – Clima com ventos turbulentos

47. Seleção da Localização – Infraestrutura – Acessos Logísticos – Rodoviários internos
48. Seleção da Localização – Infraestrutura – Acessos Logísticos – Rodoviários externos
49. Seleção da Localização – Infraestrutura – Acessos Logísticos – Portuários
50. Seleção da Localização – Infraestrutura – Jazidas Naturais – Recurso Disponível – Água
51. Seleção da Localização – Infraestrutura – Jazidas Naturais – Recurso Disponível – Brita e pedregulhos
52. Seleção da Localização – Infraestrutura – Jazidas Naturais – Recurso Disponível – Terra e areia
53. Seleção da Localização – Infraestrutura – Mão de obra local qualificada
54. Seleção da Localização – Infraestrutura – Rede de Transmissão de Energia Existente
55. Especificações Técnicas – Ficha Técnica do Empreendimento – Resolução n. 391/2009
56. Especificações Técnicas – Arranjo Geral da Planta – Localização da Usina
57. Especificações Técnicas – Arranjo Geral da Planta – Mapa Planialtimétrico – Coordenadas das torres anemométricas
58. Especificações Técnicas – Arranjo Geral da Planta – Mapa Planialtimétrico – Coordenadas dos Aerogeradores
59. Especificações Técnicas – Arranjo Geral da Planta – Mapa Planialtimétrico – Polígono de Abrangência do Parque
60. Especificações Técnicas – Arranjo Geral da Planta – Mapa Planialtimétrico – Curvas de Nível das Estruturas
61. Especificações Técnicas – Arranjo Geral da Planta – Mapa Planialtimétrico – Curvas de Nível da Cobertura Vegetal
62. Especificações Técnicas – Arranjo Geral da Planta – Mapa Planialtimétrico – Delimitações do terreno
63. Especificações Técnicas – Arranjo Geral da Planta – Mapa Planialtimétrico – Sistema de transmissão de interesse restrito
64. Especificações Técnicas – BOP – Subestação Unitária – Aerogerador acoplado a subestação unitária
65. Especificações Técnicas – BOP – Subestação Unitária – Subestação unitária externa independente
66. Especificações Técnicas – BOP – Rede de Distribuição em Média Tensão – Interligações do parque – Aéreas
67. Especificações Técnicas – BOP – Rede de Distribuição em Média Tensão – Interligações do parque – Enterradas
68. Especificações Técnicas – BOP – Subestação Coletora e Elevatória – Infraestrutura de Subestações Coletoras e Elevatórias – Nova
69. Especificações Técnicas – BOP – Subestação Coletora e Elevatória – Infraestrutura de Subestações Coletoras e Elevatórias – Existente
70. Especificações Técnicas – BOP – Rede de Transmissão – Interligações para transmissão – Nova
71. Especificações Técnicas – BOP – Rede de Transmissão – Interligações para transmissão – Existente
72. Especificações Técnicas – BOP – Conexão à Rede Básica – Conexão via ICG
73. Especificações Técnicas – BOP – Conexão à Rede Básica – Conexão via concessionária local
74. Especificações Técnicas – BOP – Fundações – Fundações contratadas junto à torre
75. Especificações Técnicas – BOP – Fundações – Fundações contratadas separadas da torre

76. Especificações Técnicas – BOP – Edificações – Construção civil da subestação unitária
77. Especificações Técnicas – BOP – Edificações – Construção civil da subestação coletora
78. Especificações Técnicas – BOP – Edificações – Construção civil da conexão à rede
79. Especificações Técnicas – BOP – Acessos Externos – Sem necessidade de modificações
80. Especificações Técnicas – BOP – Acessos Externos – Necessidade de modificações
81. Especificações Técnicas – BOP – Acessos Internos – Necessários existentes
82. Especificações Técnicas – BOP – Acessos Internos – Necessários não existentes
83. Especificações Técnicas – BOP – Acessos Internos – Desnecessários
84. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Modelo – Definido
85. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Modelo – Não definido
86. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Sistema de Controle – Ativo (passo ou *pitch*)
87. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Sistema de Controle – Passivo (estol ou *stall*)
88. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Sistema de Controle – Híbrido (passo & estol)
89. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Classe da Turbina (I, II, III ou IV) – Classe adequada
90. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Classe da Turbina (I, II, III ou IV) – Classe inadequada
91. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Construção da Torre – Torre de concreto
92. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Construção da Torre – Torre metálica (aço)
93. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Filosofia de Funcionamento do Gerador – Indução gaiola de esquilo
94. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Filosofia de Funcionamento do Gerador – Síncrono a ímã permanente
95. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Filosofia de Funcionamento do Gerador – Síncrono com rotor bobinado
96. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Filosofia de Funcionamento do Gerador – Síncrono duplamente alimentado
97. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Filosofia de Funcionamento do Gerador – Síncrono duplamente alimentado sem escovas
98. Especificações Técnicas – Aerogeradores – Filosofia de Funcionamento do Gerador – Relutância duplamente alimentado sem escovas
99. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – Modalidade de Operação da Usina Eólica – Tipo I: Programação e despacho centralizado
100. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – Modalidade de Operação da Usina Eólica – Tipo II: Programação centralizada e despacho não centralizado
101. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – Modalidade de Operação da Usina Eólica – Tipo III: Programação e despacho não centralizado
102. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – *Micrositing*– Utilização de software de otimização
103. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – *Micrositing*– Sem estudos
104. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – Injeção de harmônicos na rede básica
105. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – Correção das potências reativas
106. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – Nível de curto-circuito
107. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – Fluxo de potência
108. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – Conexão à Rede Básica – Velocidade de desconexão do gerador devido a falhas

109. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – Conexão à Rede Básica – Compensação de potências reativas
110. Especificações Técnicas – Estudos Específicos – Conexão à Rede Básica – Desconexão da rede por variação de velocidade
111. Acervo Documental – Barreiras Legais – Reservas indígenas
112. Acervo Documental – Barreiras Legais – Parques arqueológicos
113. Acervo Documental – Barreiras Legais – Áreas de conservação ambiental
114. Acervo Documental – Barreiras Legais – Contratos de aluguel ou arrendamento
115. Acervo Documental – Barreiras Legais – Documentação de posse do terreno
116. Acervo Documental – Outorga de Autorização da Aneel – Organograma do Grupo Econômico – Participações diretas e indiretas
117. Acervo Documental – Outorga de Autorização da Aneel – Organograma do Grupo Econômico – Abertura de participações (minoritárias superiores a 5%)
118. Acervo Documental – Outorga de Autorização da Aneel – Ato Constitutivo, estatuto ou contrato social
119. Acervo Documental – Outorga de Autorização da Aneel – Contrato de constituição de consórcio
120. Acervo Documental – Outorga de Autorização da Aneel – Declaração de propriedade ou posse direta – Área de implantação da usina
121. Acervo Documental – Registros na EPE
122. Acervo Documental – Registros na ONS
123. Acervo Documental – Impactos Ambientais – Exigências do CONAMA – EIA (Estudo prévio de impacto ambiental)
124. Acervo Documental – Impactos Ambientais – Exigências do CONAMA – RIMA (Relatório de impactos ambientais)
125. Acervo Documental – Impactos Ambientais – Exigências do CONAMA – RAS
126. Acervo Documental – Impactos Ambientais – Licenças de Desmatamento – ASV
127. Acervo Documental – Impactos Ambientais – AIA – LP (cinco anos)
128. Acervo Documental – Impactos Ambientais – AIA – LI (seis anos)
129. Acervo Documental – Impactos Ambientais – AIA – LO (quatro a dez anos)
130. Acervo Documental – Impactos sociais e econômicos
131. Acervo Documental – Acessos à rede básica de energia elétrica – Parecer de acesso direto
132. Acervo Documental – Acessos à rede básica de energia elétrica – Contrato de conexão a concessionária local
133. Acervo Documental – Licenças e Concessões – Direito de uso da terra
134. Acervo Documental – Licenças e Concessões – Declaração de propriedade ou posse direta
135. Acervo Documental – Documentação Local (prefeitura) – Alvará de construção
136. Acervo Documental – Documentação Local (prefeitura) – Alvará de funcionamento
137. Acervo Documental – Documentação Local (prefeitura) – Licenciamento do Sistema Elétrico – Subestação unitária
138. Acervo Documental – Documentação Local (prefeitura) – Licenciamento do Sistema Elétrico – Linhas de distribuição
139. Acervo Documental – Documentação Local (prefeitura) – Licenciamento do Sistema Elétrico – Subestação coletora
140. Acervo Documental – Documentação Local (prefeitura) – Licenciamento do Sistema Elétrico – Linhas de transmissão
141. Linhas de Financiamento Disponíveis – Financiamento Capital Próprio – Total

- 142. Linhas de Financiamento Disponíveis – Financiamento Capital Próprio – Parcial
- 143. Linhas de Financiamento Disponíveis – Financiamento BNDES – Total
- 144. Linhas de Financiamento Disponíveis – Financiamento BNDES – Parcial
- 145. Linhas de Financiamento Disponíveis – Financiamento BNDES – Índice de nacionalização suficiente
- 146. Linhas de Financiamento Disponíveis – Financiamento BNDES – Índice de nacionalização insuficiente
- 147. Linhas de Financiamento Disponíveis – Fornecedores Estrangeiros – Aquisição total
- 148. Linhas de Financiamento Disponíveis – Fornecedores Estrangeiros – Aquisição parcial

Listados desta forma, com a determinação de grupos e subgrupos durante a classificação dos parâmetros de um projeto eólico, encontra-se uma linha única que contém todas as informações de grupo, subgrupo e especificidade de um parâmetro que permitirá determinar a importância daquele parâmetro na metodologia. A partir deste momento é necessário que seja feita uma análise quantitativa e qualitativa das características para que seja então possível determinar os graus de importância de cada um dos parâmetros.

Para auxiliar na visualização dos parâmetros listados anteriormente, foi elaborada uma forma gráfica de representar os parâmetros mencionados (figura 38 – para melhor visualização, consultar anexo C), que foram inseridos em um programa que dispõe de interface gráfica mais amigável (Mindomo) ao volume de características apresentado e desta forma a assimilação das informações contidas na lista é facilitada.

Como o descritivo de cada parâmetro é muito extenso, cada descritivo completo de característica foi indexado por seu número de item conforme o item 3.3.1, ou seja, o parâmetro Alvará de Funcionamento cujo subgrupo primário é Documentação Local (prefeitura) e grupo principal é Acervo documental será representado pelo parâmetro número 136.

Figura 36 - Mapeamento de parâmetros (anexo C)
 Fonte: elaboração pelo autor

3.4. Associação dos Parâmetros

A partir da lista de parâmetros indexados criada no item 3.3, foi realizada a análise de correlação entre os parâmetros considerando a base de informações referentes ao processo cronológico de concepção e desenvolvimento de um projeto eólico. Como identificado no item 3.3.1 e na figura 38, a visualização dos parâmetros é melhor assimilada a partir de uma representação gráfica em vez de sua forma em tabela ou textual, pois existe eles são em grande número, fazendo com que haja também um grande número de conexões. Após algumas tentativas de elaboração de gráficos ou esboços, percebeu-se que seria necessária uma ferramenta gráfica para a execução de tal atividade. Fazendo associação a sinapses neurais, procurou-se uma ferramenta para realizar o mapeamento e interconexões.

Figura 37 - Correlação dos parâmetros (anexo D)
 Fonte: Elaboração do Autor

O programa gratuito e disponível na internet “Mindomo” (www.mindomo.com) foi o escolhido. Após a inserção da lista de parâmetros respeitando as subdivisões em termos do item 3.3, a elaboração das correlações entre parâmetros ganhou a forma apresentada (figura 39 – para melhor visualização consulte o anexo D). A forma gráfica é essencial como ferramenta de controle e ajuste do processo de elaboração da matriz de pesos e importâncias dos parâmetros.

3.5. Graduação de Pesos

Cada parâmetro e característica mapeada preliminarmente impactam no resultado final ou parcial da estimativa de investimento de forma diferente, pois influencia fatores diferentes ao longo da especificação e desenvolvimento do projeto eólico.

Uma matriz de probabilidade e impacto (figura 40) foi elaborada com o propósito de estabelecer pesos que consideram o grau de importância de um determinado

tópico. Os parâmetros podem ser considerados e relacionados à matriz de diversas formas, pois ela não considera nem a variável tempo nem questionamentos diferentes acerca da mesma variável. O objetivo da criação de uma graduação de pesos é balizar e orientar a definição dos pesos que cada parâmetro determinado anteriormente terá no processo de avaliação e gestão do risco.

Matriz de Probabilidade x Impacto (Pesos)

Probabilidade	Alta	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
		5	5	5	5	6	6	7	8	9	10
		4	4	5	5	5	6	7	8	8	9
		4	4	4	5	5	5	7	7	7	9
		3	2	4	4	5	5	5	6	6	8
	Média	3	3	3	4	4	5	5	5	6	8
		3	3	3	4	4	4	4	5	5	7
		2	3	3	3	4	4	4	5	5	7
		2	2	3	3	3	4	4	4	5	6
	Baixa	1	2	2	3	3	3	4	4	5	6
		Muito Baixo		Baixo		Intermediário		Alto		Muito Alto	
		Impacto									

Figura 38 - Matriz de Probabilidade x Impacto
Fonte: Elaboração do autor

Uma vez aferidas as correlações entre parâmetros, é necessária a associação de pesos a cada um deles, assim uma tabela de pesos é formada. A determinação desses pesos foi dada a partir das correlações entre parâmetros, graus de importância e nível de detalhamento dos grupos e subgrupos. Dessa forma, são estabelecidos quais parâmetros representam mais ou menos riscos ao projeto eólico.

Como analisar a tabela da graduação de riscos (tabela 11):

- Caso a informação ou ação do item esteja disponível ou foi executada até o momento, considerar um resultado **POSITIVO = SIM**.
- Caso a informação ou ação do item esteja indisponível ou não foi executada até o momento, considerar um resultado **NEGATIVO = NÃO**.

Tabela 11 - Tabela de pesos e notas ponderadas

1		1	0	2		
2		-1	0	3		
3		1	0	2		
4		-1	0	3		
5		1	0	2		
6		-1	0	3		
7		-1	0	6		
8		1	0	2		
9		1	0	2		
10		1	0	5		
11		1	-1	4		
12		1	-1	8		
13		1	-1	2		
				5		
140		1	-1			
141		-1	0	5		
142		1	0	2		
143		1	0	2		
144		1	0	2		
145		1	-1	3		
146		-1	0	5		
147		-1	0	10		
148		-1	0	6		
Nota Total						

A tabela deverá ser preenchida nos campos vazios em branco (RESPOSTA) conforme a verificação das informações contidas na documentação que compõe a proposta de viabilidade do projeto eólico. Todos os campos não preenchidos em cinza são automáticos e os campos já preenchidos foram completados conforme a metodologia explicada anteriormente.

O objetivo nesta etapa é determinar quando a influência do parâmetro no risco é positiva ou negativa e determinar qual a intensidade dessa influência. Estes valores foram determinados adotando analogia à metodologia FEL, ou seja, os parâmetros foram considerados em três diferentes marcos de aprovação: o final da análise do negócio (FEL1); o final do desenvolvimento do escopo (FEL2); e o final do planejamento da instalação (FEL3).

No caso particular de alguns parâmetros, o simples fato de eles serem atendidos, não garante sua relação direta de aumento ou baixa do risco do desenvolvimento

do projeto. Em alguns casos, o não cumprimento de um dos parâmetros pode significar uma decisão de cancelamento do desenvolvimento do projeto, por exemplo. Dessa forma, para obter uma relação de impacto de cada parâmetro de forma mais precisa no método, foram implementados condicionantes associados a marcos de decisão e a multiplicadores de peso para alguns desses parâmetros.

Foram determinados que dentre os 148 parâmetros principais listados, seis deles deveriam ter níveis de detalhamento mais refinado, uma vez que sua determinação, em alguns casos, pode se tornar um marco decisivo na continuidade do desenvolvimento do projeto da CGE.

A seguir, podem-se verificar quais são esses parâmetros e seus condicionantes:

10. Seleção da Localização – Contratos de Produtos e Serviços – Estudos Arqueológicos

- 10A. Sem parques arqueológicos encontrados
- 10B. Parque encontrado no local – Impossibilidade de utilização do local

11. Seleção da Localização – Contratos de Produtos e Serviços – Estudos Básicos Elétricos e Cíveis – Levantamento da Resistividade do Solo

- 11A. Solo aceitável
- 11B. Solo não aceitável com correções possíveis
- 11C. Solo não aceitável sem correções possíveis

50. Seleção da Localização – Infraestrutura – Jazidas Naturais – Água

- 50A. Reservatórios ou açudes de água local
- 50B. Sem água no local – transporte viável
- 50C. Sem água no local – transporte inviável

70. Especificações Técnicas – BOP – Rede de transmissão – Interligações para transmissão – novas

- 70A. Custos viáveis
- 70B. Custos inviáveis

71. Especificações Técnicas – BOP – Rede de Transmissão – Interligações para transmissão – existente

71A. Condições de interligação viáveis

71B. Condições de interligação inviáveis

123. Acervo Documental – Impactos Ambientais – Exigências do Conama – Estudo de Impacto Ambiental (EIA)

123A. Medidas mitigatórias viáveis

123B. Medidas mitigatórias proibitivas

O ponto comum a estes parâmetros encontra-se na condição de uma resposta desfavorável. Nesses casos, mesmo considerados parâmetros independentes, pontuações negativas se tornam marcos decisivos de paralisação do desenvolvimento do projeto eólico. Durante a essa paralisação, caso as condições dos parâmetros não possa ser revertida, encontra-se um marco decisório de recomendação de cancelamento do projeto.

Dentro dos parâmetros com condicionantes citados, o cancelamento será realizado nos seguintes casos:

10B. Parque arqueológico encontrado no local – impossibilidade de utilização do local

11C. Resistividade do solo não aceitável sem correções possíveis

50C. Condições de instalação sem água no local e com transporte inviável na fase de construção

70B. Condições de interligação em sistema elétrico com custos inviáveis

71B. Condições de interligação no sistema elétrico existente com custos inviáveis

123B. Estudo de impactos ambientais com medidas mitigatórias proibitivas tecnicamente ou economicamente

Após o refinamento e a determinação de todos os pesos relacionados aos parâmetros utilizados nessa metodologia, uma nova tabela numerada com os parâmetros e condicionantes foi elaborada (tabelas 12, 13, 14 e 15):

Tabela 12 - Pesos e notas ponderadas final - parte 1

Fonte: Elaboração do autor.

ÍNDICE	Resposta	SIM	NÃO	Nota	Multiplicador	Peso (0-10)
1		1	0	0	1	2
2		-1	0	0	1	3
3		1	0	0	1	2
4		-1	0	0	1	3
5		1	0	0	1	2
6		-1	0	0	1	3
7		-1	0	0	1	6
8		1	0	0	1	2
9		1	0	0	1	2
10		0	0	0	0	0
10A		1	0	0	1	5
10B		-1	0	0	100	5
11		0	0	0	0	0
11A		1	0	0	1	4
11B		-1	0	0	1	4
11C		-1	0	0	100	5
12		1	-1	-1	1	8
13		1	-1	-1	1	2
14		1	-1	-1	1	5
15		1	0	0	1	2
16		1	0	0	1	4
17		1	-1	-1	1	10
18		-1	0	0	1	10
19		1	0	0	1	5
20		1	0	0	1	5
21		-1	0	0	1	10
22		-1	0	0	1	10
23		1	-1	-1	1	10
24		-1	0	0	1	5
25		1	-1	-1	1	10
26		1	-1	-1	1	10
27		1	0	0	1	3
28		-1	0	0	1	3
29		-1	0	0	1	3
30		-1	0	0	1	9
31		-1	0	0	1	7
32		-1	0	0	1	7
33		1	-1	-1	1	5
34		-1	0	0	1	7
35		-1	0	0	1	5

Tabela 13 - Tabela de Pesos e Notas Ponderadas Final – Parte 2

Fonte: Elaboração do autor.

ÍNDICE	Resposta	SIM	NÃO	Nota	Multiplicador	Peso (0-10)
38		-1	0	0	1	6
39		1	-1	-1	1	5
40		-1	0	0	1	3
41		-1	0	0	1	3
42		-1	0	0	1	3
43		-1	0	0	1	3
44		-1	0	0	1	3
45		-1	0	0	1	3
46		-1	0	0	1	4
47		1	0	0	1	7
48		1	-1	-1	1	10
49		1	-1	-1	1	10
50		0	0	0	0	0
50A		1	0	0	1	5
50B		-1	0	0	1	5
50B		-1	0	0	100	5
51		1	-1	-1	1	5
52		1	-1	-1	1	5
53		1	-1	-1	1	4
54		1	0	0	1	6
55		1	0	0	1	6
56		1	-1	-1	1	2
57		1	-1	-1	1	8
58		1	-1	-1	1	7
59		1	-1	-1	1	5
60		1	-1	-1	1	5
61		1	-1	-1	1	5
62		1	-1	-1	1	5
63		1	-1	-1	1	5
64		1	-1	-1	1	4
65		-1	0	0	1	4
66		-1	0	0	1	4
67		1	0	0	1	3
68		-1	0	0	1	6
69		1	0	0	1	3
70		0	0	0	0	0
70A		1	0	0	1	6
70B		-1	0	0	100	5
71		0	0	0	0	0
71A		1	0	0	1	3

Tabela 15 - Pesos e notas ponderadas final – parte 3

Fonte: Elaboração do autor.

ÍNDICE	Resposta	SIM	NÃO	Nota	Multiplicador	Peso (0-10)
73		1	0	0	1	3
74		1	0	0	1	6
75		-1	0	0	1	4
76		1	0	0	1	2
77		1	0	0	1	2
78		1	0	0	1	2
79		1	0	0	1	6
80		-1	0	0	1	6
81		1	0	0	1	3
82		-1	0	0	1	5
83		1	0	0	1	3
84		1	0	0	1	3
85		-1	0	0	1	5
86		-1	0	0	1	5
87		-1	0	0	1	5
88		1	0	0	1	6
89		1	0	0	1	3
90		-1	0	0	1	10
91		1	0	0	1	6
92		-1	0	0	1	5
93		1	0	0	1	2
94		1	0	0	1	2
95		1	0	0	1	2
96		1	0	0	1	2
97		1	0	0	1	2
98		1	0	0	1	2
99		1	0	0	1	2
100		-1	0	0	1	3
101		-1	0	0	1	3
102		1	0	0	1	7
103		-1	0	0	1	10
104		1	-1	-1	1	5
105		1	-1	-1	1	5
106		1	-1	-1	1	5
107		1	-1	-1	1	5
108		1	-1	-1	1	5
109		1	-1	-1	1	5
110		1	-1	-1	1	5
111		-1	0	0	1	10
112		-1	0	0	1	10

Tabela 14 - Tabela de pesos e notas ponderadas final – parte 4

Fonte: Elaboração do autor.

ÍNDICE	Resposta	SIM	NÃO	Nota	Multiplicador	Peso (0-10)
115		1	-1	-1	1	5
116		1	-1	-1	1	4
117		1	-1	-1	1	4
118		1	-1	-1	1	4
119		1	-1	-1	1	4
120		1	-1	-1	1	4
121		1	-1	-1	1	5
122		1	-1	-1	1	5
123		0	0	0	1	10
123A		1	0	0	1	10
123B		-1	0	0	100	5
124		1	-1	-1	1	10
125		1	-1	-1	1	10
126		1	-1	-1	1	10
127		1	-1	-1	1	10
128		1	-1	-1	1	10
129		1	-1	-1	1	10
130		1	-1	-1	1	8
131		1	-1	-1	1	7
132		1	-1	-1	1	7
133		1	-1	-1	1	5
134		1	-1	-1	1	5
135		1	-1	-1	1	8
136		1	-1	-1	1	8
137		1	-1	-1	1	4
138		1	-1	-1	1	4
139		1	-1	-1	1	4
140		1	-1	-1	1	4
141		-1	0	0	1	5
142		1	0	0	1	2
143		1	0	0	1	2
144		1	0	0	1	2
145		1	-1	-1	1	3
146		-1	0	0	1	5
147		-1	0	0	1	10
148		-1	0	0	1	6

Neste momento existem duas condições de determinação de pesos que impactarão na quantificação dos riscos. A primeira refere-se a condições restritivas de continuação do desenvolvimento do projeto, ou seja, caso algumas das condicionantes não seja atendida, a informação consolidada por este método informa que devem ser interrompidas todas as atividades relacionadas ao desenvolvimento do projeto. A segunda condição será detalhada a seguir de acordo com a graduação e quantificação de outros riscos do projeto.

3.6. Graduação dos Riscos

Baseado na lista de parâmetros encontrada, nas suas associações e relações e na matriz de probabilidade por impacto, obteve-se uma tabela de verificação associada a pesos que, depois de utilizada, fornecerá uma nota (somatória de notas parciais ponderadas), que sinalizará um grau de risco.

Após o término do preenchimento, realiza-se uma soma das notas associadas aos parâmetros para se encontrar uma nota final. Essa nota é analisada frente a uma escala de risco (figura 41) e como resultado final do método, determina-se se o grau de risco de um empreendimento eólico é alto, médio ou baixo (figura 42) e qual a recomendação deste método frente às informações disponíveis.

Figura 39- Graduação de risco baseado em nota ponderada
 Fonte: Elaboração pelo autor.

Um empreendimento com todas as informações disponíveis e considerando as condições de serviços, instalação e documentação assim como todos os outros parâmetros de modo favorável encontrará neste método uma graduação 500. Por outro lado, um empreendimento que não possua nenhum parâmetro, documentação ou serviço favorável terá a graduação -500.

Embora o resultado do método seja uma nota numérica (exata), não significa que exista precisão numérica no método, uma vez que sua elaboração considerou uma matriz de probabilidade por impacto e a atribuição dos pesos por parâmetro. Além disso, a graduação numérica da nota não garante uma escala de comportamento linear, embora se compreenda que valores mais elevados são melhores e valores menos elevados são piores.

As variáveis correlacionadas consideram dois aspectos: o número de interfaces com outros parâmetros em suas respectivas localizações temporais e percepções do autor após interação com profissionais imersos no setor eólico, captadas em eventos da área (como o “Wind Farm. Infrastructure Forum” [2012] e o “XV Congresso Brasileiro de Energia” [2013]), e após leitura de algumas referências.

Figura 40 - Avaliação da Graduação do Risco

Fonte: Elaboração pelo autor.

As informações ou premissas de um projeto eólico têm de ser definidas em momentos. Determiná-las fora do tempo (antes ou depois) pode acarretar impactos distintos no desenvolvimento do projeto, o aumento do risco é um deles.

Após a análise dos parâmetros condicionais que restringem a continuação da análise de risco do desenvolvimento do projeto, é realizada a análise do risco efetivo do projeto baseado na graduação determinada por esse método. Embora um projeto tenha parâmetros que passem pelos requisitos condicionantes, obter uma graduação muito baixa sinaliza a paralisação ou interrupção na utilização de recursos para o desenvolvimento da CGE.

A criação de condicionantes principais a serem atendidos, os famosos pré-requisitos, como a elaboração de uma lista dos parâmetros, sua associação e a criação de pesos ou graus de importância para os mesmos, visa ajudar a guiar os profissionais responsáveis pelo planejamento estratégico relacionado a projetos eólicos. Principalmente as perspectivas técnicas, de custos e de riscos associados ao desenvolvimento de projeto são incorporadas à análise. Saber mensurar como e quanto cada parâmetro pode impactar no resultado final do projeto torna-se mais importante a cada momento de análise e decisão devido ao volume de recursos utilizados (conforme figura 37).

CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NOS ESTUDOS DE CASO

4.1. Introdução

Este capítulo apresenta um estudo de caso no qual é aplicada a metodologia proposta no capítulo 3 em uma usina eólica modelo. Estão mapeados, listados e descritos todos os parâmetros e documentos relacionados a um parque eólico completo de capacidade de geração instalada de 27 MW. Por motivos de sigilo das informações, nomes e alguns dados técnicos foram modificados ou omitidos.

Para efeito de comparação, foi levantada a documentação requerida pela EPE para a participação nos leilões de energia de 2014. Segue abaixo os itens listados na documentação disponibilizada pela EPE:

- Requerimento de cadastro
- Ficha de dados
- Registro na Aneel
- Memorial descritivo
 - Características gerais do empreendimento
 - Sistema de conexão
 - Desenhos de projeto
- Anotação de responsabilidade técnica (ART)
- Licença ambiental
- Estudos e relatórios de impacto ambiental
- Parecer de acesso
- Instalações de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração para Conexão Compartilhada – ICG (para portarias específicas)
- Certificação de medições anemométricas e certificação de produção anual de energia
 - Certificação de medições anemométricas
 - Certificação de Produção Anual de Energia
 - Qualificação da Certificadora
- Termo de Ciência ou Termo de Concordância

- Declaração para fins de cadastramento e habilitação técnica de empreendimentos eólicos
- Direito de Usar ou Dispor do Local da EOL
- Arquivos Eletrônicos (DVD)
- Atos Complementares

4.2. Empreendimento – Usina Eólica Modelo

Serão utilizadas informações da base de dados de um projeto já detalhado e implantado para se verificar e validar suas notas. Assim como proposto na aplicação da metodologia criada, será realizada a verificação das informações contidas na documentação proveniente do cliente ou parceiro comercial e com elas a tabela de pesos será preenchida. Caso um documento ou informação não seja encontrado, o campo correspondente será deixado em branco.

- **Situação do parque eólico:** documentação necessária completa.
- **Potência instalada:** 18 turbinas de 1,5 MW cada (potência total instalada de 27 MW).
- **Condição de recebimento de capital:** usina recebe pagamentos continuamente e injeta energia no sistema interligado nacional (SIN) por meio de uma concessionária local.
- **Documentos disponíveis para análise:**
 - ✓ Localização:
Estado do Rio Grande do Norte

UEE MORRO DOS VENTOS I – JOÃO CÂMARA/ RN

Figura 41 - Localização da área do empreendimento

✓ RIA

- Gerenciamento de resíduos.
- Programa de proteção e manejo da fauna silvestre.
- Programa de manejo e monitoramento da flora.
- Programa de recuperação de áreas degradadas.
- Programa de educação ambiental e comunicação social.
- Programa de monitoramento e controle de erosão.
- Programa de monitoramento arqueológico.
- Certificado de regularidade expedido pelo Ibama e pelo MMA (Ministério do Meio Ambiente).

✓ Possui LS (Licença Simplificada)

✓ Possui LI (Licença de Instalação)

- ✓ Estruturas de associações e parcerias: SPE (acionistas).
- ✓ Plano básico de impactos ambientais.

- ✓ Relatório de monitoramento de programas ambientais da LT de 34,5kV.
- ✓ RAS ():
 - Localização da área do empreendimento.
 - Localização de instalação da usina.
 - Localização de Instalação dos aerogeradores.
 - Alternativas locacionais.
 - Diagnóstico ambiental.
 - Clima: ZCIT (Zona de Convergência Intertropical): ventos alísios.
 - Meio biótico.
 - Meio antrópico.
 - Zoneamento geoambiental.
 - Identificação e avaliação de impactos ambientais.
 - Medidas mitigadoras.
 - Planos de controle e monitoramento técnico e ambiental.
 - Prognóstico ambiental.

GEOCONSULT

RELATÓRIO AMBIENTAL SIMPLIFICADO – RAS
UEE MORRO DOS VENTOS I
JOÃO CÂMARA / RN

INTERESSADO: **WF WIND HOLDING I S/A**

PROCESSO: **Idema Nº. 2009-029009/TEC/LP-0050**

ELABORAÇÃO: **GEOCONSULT**
CONSULTORIA, GEOLOGIA & MEIO AMBIENTE LTDA.
CNPJ: N.º 00.112.208/0001-00
 CREA-CE N.º 25.006/95
 CADASTRO TÉCNICO FEDERAL (IBAMA) – Válido até 15/07/2009
 CADASTRO TÉCNICO ESTADUAL (SEMA-CE) – Válido até 24/09/2009

RESPONSABILIDADE TÉCNICA -
Tadeu Dote Sá
GEOLOGO, CREA-CE N.º 6.387-D
 CADASTRO TÉCNICO FEDERAL (IBAMA) – Válido até 15/07/2009

Natal – RIO GRANDE DO NORTE
 Junho – 2009

Figura 46 - Relatório Ambiental Simplificado

- ✓ RDPA (Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais)
 - Plano de proteção ao trabalhador e segurança no ambiente de trabalho.
 - Programa Ambiental para Construção – PAC.
 - Plano de monitoramento da Avifauna.
 - Plano de educação ambiental.
 - Plano de comunicação social.
 - Plano de controle de desmatamento.
 - Plano de gestão de resíduos sólidos, efluentes e emissões atmosféricas.
 - Programa ambiental para instalação, operação e desmobilização para canteiro de obras.
 - Plano de recuperação de área degradada.
 - Plano de controle de erosão dos acessos e demais obras do empreendimento.
 - Plano de controle de drenagem superficial nas vias e platôs.
 - Plano de adequação a estrutura urbana existente.

- Programa de sinalização do empreendimento.
- Plano de proteção e manejo de fauna terrestre.
- Plano de desativação do empreendimento.
- Plano de controle do nível de ruídos.

Figura 47 - Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais

- ✓ Carta de intenção de certificação de redução de emissões.
- ✓ Regularização junto a Aneel.
- ✓ Regularização junto ao MME.
- ✓ Seguros realizados pelo empreendimento para transportes e outros.
- ✓ Estudos básicos:
 - Imagens de satélite.
 - Fotos aéreas do local.
 - Campanha de medição dos ventos.
 - Utilização de seis torres anemométricas.
 - Localização das torres bem definido.
 - Gráficos de frequência dos ventos.
 - Elaboração de rosa dos ventos.
 - Medição dos ventos: dois anos
 - Certificados de produção anual de energia.

Figura 50 - Relatório resumo de uma das torres anemométricas

C&S-VALENÇA - AM 05_VAB01

CAMARGO SEIBERTZ

CONSTRUTORA S.A.

4. Estatísticas Mensais:

Velocidades Médias e Parâmetros de Weibull
nas Alturas de Medição

VAB401 - Luis Pereira

SUMÁRIOS MENSAIS

Mês	2008												2009												2010					Média Anual jun/08 a mai/09												
	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Out	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Out	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai													
Alturas de Medição																																										
81 m																																										
$V_{méd}$ [m/s]	8.32	8.90	8.81	9.02	9.23	8.49	7.90	7.29	6.79	6.19	4.61	5.50	7.48	7.70	8.27	8.46	8.23	8.53	7.55	7.36	7.73	7.06	7.47	7.53	7.69						7.69											
k - Weibull	4.73	5.44	5.41	5.15	5.54	6.97	6.46	4.42	4.44	4.21	2.38	3.31	4.40	5.48	5.75	5.98	6.76	6.86	5.96	5.74	5.96	4.76	5.14	4.97	3.84						5.84											
C [m/s]	6.09	6.64	6.55	6.17	6.98	9.38	8.49	7.99	7.46	6.87	5.35	6.25	8.37	8.34	8.58	8.96	8.81	9.15	8.14	7.96	8.33	7.71	8.12	8.20	8.50						8.50											
42.5 m																															7.11											
$V_{méd}$ [m/s]	6.79	7.36	7.32	7.54	7.76	7.11	6.58	6.13	5.58	4.96	3.93	4.49	5.95	6.19	6.60	6.80	6.58	6.95	6.22	6.07	6.54	5.97	6.38	6.36																		
k - Weibull	4.16	4.63	4.78	5.87	4.34	4.79	4.58	3.53	3.46	3.02	2.46	3.34	3.96	4.04	4.71	4.80	5.36	4.50	4.15	4.14	4.37	3.86	4.08	4.21																		
C [m/s]	7.48	8.05	8.00	8.14	8.53	7.77	7.21	6.80	6.35	5.90	4.44	5.32	6.57	6.76	7.21	7.40	7.15	7.81	6.86	6.98	7.18	6.58	7.00	7.00																		
Rugosidade z_0 [m]	2.42	1.93	1.78	1.57	1.38	1.54	1.70	1.41	2.17	3.17	0.96	3.07	3.40	3.08	3.36	2.98	3.22	2.92	2.98	2.07	1.20	1.36	0.96	1.36						1.82												
Exponente do Caminho Limbo [n]	0.315	0.296	0.287	0.277	0.267	0.275	0.280	0.269	0.304	0.344	0.240	0.340	0.264	0.341	0.349	0.327	0.340	0.279	0.301	0.300	0.259	0.261	0.263	0.261						0.289												
Altura de Extrapolação																																										
98 m																															8.92											
$V_{méd}$ [m/s]	8.77	9.35	9.25	9.46	9.66	8.90	8.29	7.63	7.15	6.56	4.81	5.92	7.93	8.15	8.76	8.94	8.71	9.00	7.94	7.74	8.08	7.38	7.79	7.87																		
k - Weibull	4.63	5.55	5.52	5.32	5.76	7.11	6.53	4.51	4.50	4.30	2.43	3.17	4.50	5.00	5.96	7.13	6.90	6.90	6.07	5.86	6.06	4.86	5.25	5.06																		
C [m/s]	9.57	10.12	10.02	10.20	10.40	9.51	8.89	8.36	7.80	7.21	5.42	6.81	8.88	9.02	9.40	9.55	9.32	9.94	8.96	8.76	9.10	8.46	8.96	8.92																		
XXX: Série temporal corrigida/completada por correlação com dados do outro anemômetro XXX: Série temporal completada por correlação com dados das torres VAB02 e VAB03 XXX: Média mensal estimada por correlação com dados de reanálises (CEP-NCAR Reanalysis Project)																																										

16 de 17

Figura 51 - Estatísticas mensais

✓ Análise do memorial de cálculo das bases civis dos aerogeradores.

- ✓ Estudos específicos (detalhamento do projeto).
 - Projeto civil:
 - ❖ Memorial de cálculo das bases civis dos aerogeradores.
 - ❖ Perfil de sondagem.
 - ❖ Especificações técnicas da base (fornecedor).
 - ❖ Especificações técnicas de cabeamento elétrico (fornecedor).
 - ❖ Especificações técnicas do local de construção (*Manual do fornecedor*).
 - ❖ Parecer técnico geológico/geofísico.
 - ❖ Relatório de tensões atuantes (condições extremas).
 - ❖ Verificação ao levantamento, tombamento e escorregamento.
 - ❖ Verificação de ruptura do solo e estabilidade a sismos.
 - ❖ Projeto técnico das bases (estruturas metálicas e de concreto).
 - ❖ Informações técnicas – *Anchor Bolts* (chumbadores).
 - ❖ Cargas específicas na base do aerogerador.

Figura 52 - Cálculos de esforços na base

Figura 53 - Relatórios de sondagem

- ✓ Especificações das turbinas (fornecedor).
 - Definição do equipamento (fornecedor e modelo) a ser utilizado.
 - Altura de instalação (fornecedor).

Figura 54 - Especificações da GE (elétricas)

Figura 55 - Especificações da GE (civil)

- Sistemas de controle (fornecedor).
 - Manual de transporte das turbinas:
 - Requisitos de estradas e guindastes.
 - Requisitos legais brasileiros.
 - Manual de preservação das turbinas.
 - Procedimentos de instalação (fornecedor).
 - Considerações para o assentamento da turbina.
 - Certificados de complementação da turbina.
 - Manual de treinamento para operação.
- ✓ Investigações do solo.
- ✓ Especificações elétricas:
- Diagramas unifilares e trifilares.
 - Diagramas de automação do sistema.
 - Arranjos do posicionamento dos equipamentos nas edificações.
 - Configuração do parque eólico.

Figura 56 - Rede de distribuição MT

- Especificações técnicas dos equipamentos.
- Projeto do sistema de proteção, controle e supervisão:
 - Linhas de distribuição.
 - Linhas de transmissão.
 - Sistema supervisório.
 - Sistema de medição da energia produzida.
- Estudo de perdas elétricas pré e pós-leilão.
- ✓ Informações de O&M:
 - Controle tecnológico:
 - Logística de acesso ao parque.
 - Logística de guindastes.
 - Criação e manutenção de estradas.
 - Ensaio e estudos do solo.
 - Comissionamento e testes de aceitação e desempenho.
 - Aerogeradores.
 - Demais equipamentos elétricos.
 - Linhas de distribuição e transmissão.
 - Subestações unitárias.
 - Subestações coletoras.

- Sistemas supervisórios.
- Sistemas de comunicação.

TURBINE MECHANICAL COMPLETION CERTIFICATE

TEST COMPLETION DATE: March 13th of 2012

Contractor: Makro Engenharia LTDA

Company: GE Energy do Brasil LTDA

Agreement: FOR THE SUPPLY OF ERECTION AND INSTALLATION SERVICES BETWEEN GE ENERGY DO BRASIL LTDA AND MAKRO ENGENHARIA LTDA, dated December 22, 2010

Project: MORRO DOS VENTOS I

Capitalized terms used herein shall have the meaning set forth in the Agreement.

This Turbine Mechanical Completion Certificate applies to the following Turbine under the Agreement:

Turbine No.: 1-01

Contractor hereby certifies as follows:

- The Turbine has been physically completed in accordance with the Technical Specifications and all components of such Turbine necessary for such Turbine's regular production of electricity have been installed (except for the Turbine Mechanical Completion Punch List attached hereto).
- The Installation Inspection Procedure, Installation Checklist and Cable Installation Checklist documents have been completed and submitted to the Company and the Turbine has been inspected.
- The Turbine is ready for initial operation in a safe and proper manner.

Submitted by Contractor:

By: Jeffrey Antonio da Oliveira
(Authorized Signature)
Date: 16 - Março - 2012

Company concurs with the above statement

By: Rebeca FA
(Authorized Signature)
Date: MAR-17, 2012

Page 1 of 2

GPO Wind Global Field Operations
Nacelle Receiving Inspection and Repair

Turbine Location: Par 1-01 WGT OF NAC-005
GE ID Tag: 1-6-HEAD-14185-P Rev: 3.1

Project: MORRO DOS VENTOS I S.O.L.P.: 1/4 Turbine Location: Par 1-01

Date Arrived: 15/03/2011 Date Arrived Time: 18:30 AM GE ID Tag nr: 1-6-HEAD-14185-P

Date Offloaded: 15/03/2011 Date Offloaded Time: 03:30 PM Serial Number: 14185

Hardware M/H Initial & on RV Cover of Top Box: V Gearbox M/H: Wemac 483306 Gear M/H: GE WTD-1011-018

Machine Head M/H: PEREACOLA

Photovoltaic Shipping Damages	No	Check Interior and Exterior Clearance (Nomenclature)	N
Proble According to WTS Sign Board	Yes	Shy Light and Hopping and Hatching Undersquad	Yes
Head Shaft and Flange Align with Shaft Bolt Holes	Yes	Spindle Checked for Loose Gearbox Flange Lock	Yes
Spindle Top Hat & LR Flange Locking Eyes Mounted Correctly	Yes	Spindle Clearance (Nomenclature) Area and USA and Holes	Yes
Spindle Fastening Method	Yes	Spindle checked for Overweight and Bolt Load	Yes
If Applicable, Check Head Bolt Load Run (Flange)	N/A	Spindle Gasket Property (Nomenclature) Colored Keys Removed	Yes

GE PROPERTY AND
CONFIDENTIAL

UNCONTROLLED WHEN PRINTED OR
TRANSMITTED ELECTRONICALLY

1 of 2

Figura 57 - Certificado de conclusão mecânica

Figura 58 - Especificações da GE (Civil)

- Relatórios de desempenho do parque eólico após *start up* (EPE).
- Controle de peças sobressalentes e de reserva.

Figura 59 - Diagrama unifilar do Parque Eólico Morro dos Ventos I

Após análise de todas as informações e parâmetros encontrados na documentação proveniente de Morro dos Ventos I, a tabela de Pesos e Notas Ponderadas foi preenchida (tabelas 16, 17, 18 e 19).

Tabela 16- Pesos – Morro dos Ventos I – Parte 1

Fonte: Elaboração pelo autor.

ÍNDICE	RESPOSTA (SIM/NÃO)	POSITIVO (SIM)	NEGATIVO (NÃO)	PESO (0-10)	NOTA PONDERADA
1	SIM	1	0	2	2
2	NÃO	-1	0	3	0
3	NÃO	1	0	2	0
4	NÃO	-1	0	3	0
5	SIM	1	0	2	2
6	SIM	-1	0	3	-3
7	SIM	-1	0	6	-6
8	SIM	1	0	2	2
9	SIM	1	0	2	2
10	SIM	0	0	0	0
10A	SIM	1	0	5	5
10B	NÃO	-1	0	500	0
11	SIM	0	0	0	0
11A	SIM	1	0	4	4
11B	NÃO	-1	0	4	0
11C	NÃO	-1	0	500	0
12	SIM	1	-1	8	8
13	NÃO	1	-1	2	-2
14	SIM	1	-1	5	5
15	SIM	1	0	2	2
16	SIM	1	0	4	4
17	SIM	1	-1	10	10
18	SIM	-1	0	10	-10
19	SIM	1	0	5	5
20	SIM	1	0	5	5
21	NÃO	-1	0	10	0
22	SIM	-1	0	10	-10
23	NÃO	1	-1	10	-10
24	NÃO	-1	0	5	0
25	SIM	1	-1	10	10
26	SIM	1	-1	10	10
27	SIM	1	0	3	3
28	NÃO	-1	0	3	0
29	NÃO	-1	0	3	0
30	NÃO	-1	0	9	0
31	SIM	-1	0	7	-7
32	NÃO	-1	0	7	0
33	SIM	1	-1	5	5
34	NÃO	-1	0	7	0
35	NÃO	-1	0	5	0
36	SIM	-1	0	3	-3
37	NÃO	-1	0	3	0
38	NÃO	-1	0	6	0
39	SIM	1	-1	5	5
40	NÃO	-1	0	3	0
41	NÃO	-1	0	3	0
42	SIM	-1	0	3	-3

Tabela 17 - Pesos – Morro dos Ventos I – Parte 2

Fonte: Elaboração pelo autor.

ÍNDICE	RESPOSTA (SIM/NÃO)	POSITIVO (SIM)	NEGATIVO (NÃO)	PESO (8-10)	NOTA PONDERADA
43	NÃO	-1	0	3	0
44	NÃO	-1	0	3	0
45	NÃO	-1	0	3	0
46	NÃO	-1	0	4	0
47	SIM	1	0	7	7
48	NÃO	1	-1	10	-10
49	SIM	1	-1	10	10
50	SIM	0	0	0	0
50A	SIM	1	0	5	5
50B	NÃO	-1	0	5	0
50C	NÃO	-1	0	500	0
51	SIM	1	-1	5	5
52	SIM	1	-1	5	5
53	SIM	1	-1	4	4
54	SIM	1	0	6	6
55	SIM	1	0	6	6
56	SIM	1	-1	2	2
57	SIM	1	-1	8	8
58	SIM	1	-1	7	7
59	SIM	1	-1	5	5
60	SIM	1	-1	5	5
61	SIM	1	-1	5	5
62	SIM	1	-1	5	5
63	SIM	1	-1	5	5
64	NÃO	1	-1	4	-4
65	SIM	-1	0	4	-4
66	SIM	-1	0	4	-4
67	SIM	1	0	3	3
68	NÃO	-1	0	6	0
69	SIM	1	0	3	3
70	NÃO	0	0	0	0
70A	SIM	-1	0	6	-6
70B	NÃO	-1	0	500	0
71	SIM	1	0	3	3
71A	NÃO	-1	0	6	0
71B	NÃO	-1	0	500	0
72	NÃO	-1	0	6	0
73	SIM	1	0	3	3
74	SIM	1	0	6	6
75	SIM	-1	0	4	-4
76	SIM	1	0	2	2
77	SIM	1	0	2	2
78	SIM	1	0	2	2
79	NÃO	1	0	6	0
80	NÃO	-1	0	6	0
81	NÃO	1	0	3	0
82	SIM	-1	0	5	-5

Tabela 18 - Pesos – Morro dos Ventos I – Parte 3

Fonte: Elaboração pelo autor.

ÍNDICE	RESPOSTA (SIM/NÃO)	POSITIVO (SIM)	NEGATIVO (NÃO)	PESO (0-10)	NOTA PONDERADA
83	NÃO	1	0	3	0
84	SIM	1	0	3	3
85	NÃO	-1	0	5	0
86	SIM	-1	0	5	-5
87	NÃO	-1	0	5	0
88	SIM	1	0	6	6
89	SIM	1	0	3	3
90	NÃO	-1	0	10	0
91	NÃO	1	0	6	0
92	SIM	-1	0	5	-5
93	NÃO	1	0	2	0
94	NÃO	1	0	2	0
95	NÃO	1	0	2	0
96	SIM	1	0	2	2
97	NÃO	1	0	2	0
98	SIM	1	0	2	2
99	SIM	1	0	2	2
100	NÃO	-1	0	3	0
101	NÃO	-1	0	3	0
102	NÃO	1	0	7	0
103	SIM	-1	0	10	-10
104	NÃO	1	-1	5	-5
105	NÃO	1	-1	5	-5
106	SIM	1	-1	5	5
107	SIM	1	-1	5	5
108	NÃO	1	-1	5	-5
109	NÃO	1	-1	5	-5
110	NÃO	1	-1	5	-5
111	SIM	-1	0	10	-10
112	SIM	-1	0	10	-10
113	SIM	-1	0	10	-10
114	SIM	1	-1	5	5
115	SIM	1	-1	5	5
116	SIM	1	-1	4	4
117	SIM	1	-1	4	4
118	SIM	1	-1	4	4
119	SIM	1	-1	4	4
120	SIM	1	-1	4	4
121	SIM	1	-1	5	5
122	SIM	1	-1	5	5
123	SIM	1	0	10	10
123A	SIM	-1	0	2	-2
123B	NÃO	-1	0	500	0
124	SIM	1	-1	10	10
125	SIM	1	-1	10	10
126	SIM	1	-1	10	10
127	SIM	1	-1	10	10

Tabela 19 - Pesos – Morro dos Ventos I – Parte 4

Fonte: Elaboração pelo autor.

ÍNDICE	RESPOSTA (SIM/NÃO)	POSITIVO (SIM)	NEGATIVO (NÃO)	PESO (0-10)	NOTA PONDERADA
128	SIM	1	-1	10	10
129	SIM	1	-1	10	10
130	SIM	1	-1	8	8
131	SIM	1	-1	7	7
132	SIM	1	-1	7	7
133	NÃO	1	-1	5	-5
134	SIM	1	-1	5	5
135	SIM	1	-1	5	5
136	SIM	1	-1	5	5
137	SIM	1	-1	4	4
138	SIM	1	-1	4	4
139	SIM	1	-1	4	4
140	SIM	1	-1	4	4
141	NÃO	-1	0	5	0
142	NÃO	1	0	2	0
143	NÃO	1	0	2	0
144	SIM	1	0	2	2
145	SIM	1	-1	3	3
146	NÃO	-1	0	5	0
147	NÃO	-1	0	10	0
148	NÃO	-1	0	5	0
				Nota Total	232

Após o completo preenchimento da tabela, sobre todos os parâmetros, analisando a primeira condição com relação aos parâmetros restritivos, temos:

- 10B. Parque Arqueológico encontrado no local – Impossibilidade de Utilização do Local: **NÃO**.
- 11C. Resistividade do solo não aceitável sem correções possíveis de correção: **NÃO**.
- 50C. Condições de instalação sem água no local e com transporte inviável na fase de construção: **NÃO**.
- 70B. Condições de interligação em sistema elétrico com custos inviáveis: **NÃO**.
- 71B. Condições de interligação no sistema elétrico existente com custos inviáveis: **NÃO**.

- 123B. Estudo com medidas mitigatórias dos impactos ambientais proibitivas tecnicamente ou economicamente: **NÃO**.

Com nenhum entrave dos parâmetros condicionais à segunda análise do método, precisa ser feita a graduação de risco do desenvolvimento do projeto, que resultou em uma graduação de risco igual a 232, que favorecia a continuação das atividades na CGE.

4.3. Conclusão

A utilização de um projeto existente ajuda a consolidar a metodologia, pois com isso é possível ser vista a quantidade e qualidade das informações disponíveis em empreendimentos que já se encontram operando. Os níveis de riscos associados ao empreendimento eram aceitáveis, pois especialistas foram consultados na fase de aceitação da carta-convite da proposta dessa CGE.

Conforme esperado, após a utilização da metodologia proposta, sua nota final na escala de risco é baixa e que as chances do empreendimento gerar lucros são boas. Com essa informação disponível, o corpo executivo responsável pela decisão estratégica de aceitação do projeto teria bons índices de sucesso.

As informações para este projeto foram analisadas considerando somente o parque eólico de Morro dos Ventos I, no entanto, diversos documentos encontrados consideram estudos que contemplam todos os parques eólicos em um complexo de geração eólico (Morro dos Ventos I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX).

Cada um dos parques eólicos possui potências instaladas de até 30 MW² e que a princípio entraram igualmente nos leilões de energia no mesmo período. Ficou a

² Limite de potência que proporcionava condições favoráveis técnica e economicamente nos leilões de 2008 a 2011.

critério do investidor, decidir quais os preços limites que cada parque eólico poderia ofertar no leilão e desta forma, somente alguns deles foram contratados. Sabe-se que desses empreendimentos, os ganhados em leilões de energia foram: Morro dos Ventos I, III, IV, VI e IX.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusões

O objetivo principal deste trabalho foi o de desenvolver uma metodologia aplicável em processos de estudo de viabilidade de propostas para projetos eólicos. A metodologia tem a função de servir como guia de orientação para a aceitação de propostas de projetos eólicos levando em conta os principais parâmetros técnicos, ambientais e econômicos disponíveis no momento da carta-convite. Essa metodologia auxilia na medição do grau de risco da proposta baseado em uma escala estipulada. Embora a metodologia necessite de aprimoramentos de forma, conteúdo e processo, ela pode ser tida como o início de um processo de decisão para a obtenção de projetos mais consolidados, seguros e embasados.

Com o objetivo principal de estabelecer uma nova metodologia de avaliação de estudos de viabilidade de projetos eólicos alcançado, este trabalho procura também ser mais uma fonte de informação e comparação de informações que se encontram dispersas na literatura técnica, em notícias de mercado e com profissionais do setor de energia eólica.

Como mencionado, ao longo deste trabalho, foram consideradas diversas limitações e restrições no desenvolvimento desta metodologia. Embora o mérito do resultado seja funcionar como um guia de orientação à tomada de decisão, a complexidade do desenvolvimento de um projeto eólico, assim como a quantidade de parâmetros relacionados a esse tipo de projeto são fatores relevantes no detalhamento alcançado neste trabalho.

Com crescentes demandas de conhecimentos em redes inteligentes, a tendência das fontes de geração de energia descentralizadas é aumentar sua participação na

matriz elétrica brasileira. Além da energia solar, a energia eólica é uma das principais fontes de geração distribuída que não utiliza turbinas de combustão e por isso é de fácil implantação por agentes não regulados. A metodologia proposta neste trabalho visa contribuir com o processo de qualificação mínima que futuros projetos eólicos deverão ter de modo a se habilitarem para participar de leilões de geração de energia.

5.2. Sugestão para melhorias do trabalho

Este trabalho propôs o escopo de seu desenvolvimento considerando diversas limitações e restrições. Para a execução de melhorias em trabalhos futuros são propostas as seguintes orientações:

- Contemplar mais regiões com condições climáticas distintas, ampliando o número de parâmetros e variáveis associadas aos desafios técnicos implícitos às condições físicas de instalação.
- Inserção da lista de documentos necessários à aceitação de um projeto eólico na EPE para a participação em leilões de energia.
- Contemplar e detalhar a cadeia produtiva eólica no Brasil de modo a desvendar e reunir informações referentes às infraestruturas existentes, setores deficientes ou que necessitam investimentos com maior urgência.
- Atualizar a literatura com as novas tecnologias existentes referentes aos aerogeradores.

Além de melhorias no conteúdo apresentado, são possíveis desenvolvimentos relacionados a forma de utilização da metodologia. Um sistema com interface

gráfica mais amigável ao usuário final e alguns automatismos relacionados às notas de risco tornaria esta metodologia uma ferramenta aplicável a mercado ou instituições de ensino. No caso de tabulação do método, ele poderia ser utilizado como instrumento de análise e restrição na aceitação de projetos com alto índice de fracasso aos leilões de energia eólica por parte da EPE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Disponível em: <www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2013.

ANEEL. **Condições gerais de fornecimento de energia elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=736>>. Acesso em: 20 mai 2014.

ANEEL. **EXPANSÃO DA GERAÇÃO. EMPREENDIMENTOS EÓLICOS. Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leil%C3%B5es%202014/EPE-DEE-017_2009_R11_EOL.pdf>. Acesso em 19 dez 2014.

ALVARENGA, C. A., COSTA, H. F. F., GREGO, I. P. R. “Usina eólio-elétrica experimental do morro do camelinho”. Período 94/96. *In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE*, n. 14, fl-GPT-08. 1997. Belém: Anais..., 1997.

AMARANTE, O. A. C. do, SCHULTZ, D. J. “Wind energy resource map of the state of paraná”, **Dewi Magazin**, n. 15, pp. 70-75, Germany/Brazil, ago. 1999.

ARKERMANN, T. **Wind power in power systems**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 611p., 2008.

ARAÚJO, M. R. O. P. **Estudo comparativo de sistemas eólicos utilizando modelos probabilísticos de velocidade do vento**. Dissertação (Mestrado). Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 1989.

BNDES. **Instruções para credenciamento de fabricantes**. Disponível em: <www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Ferramentas_e_Normas/Credenciamento_de_Equipamentos/instrucoes_credenciamento_fabricante.html>. Acesso em: 17 fev. 2013.

BEURSKENS, J. "Going to sea – Wind goes offshore". **Renewable Energy World**, v. 3, n. 1, p.19-29, 2000.

BITTENCOURT, R. M., AMARANTE, O. C., SCHULTZ, D. J. *et al.* "Estabilização sazonal da oferta de energia através da complementariedade entre os regimes hidrológico e eólico". *In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica– SNPTEE*, n. 15, GPL-17. Foz do Iguaçu: Anais... 1999.

BR.INVESTING. Disponível em: <<http://br.investing.com/commodities/carbon/>>. Acesso em: 21 out. 2014.

BRACIANI, U. **Estrutura de custos para implantação das usinas de geração de energia elétrica no Brasil**. Dissertação (Bacharelado). UFSC, Florianópolis, 2011.

BUNDESVERBAND WINDENERGIE E.V. BWE, **Windenergie 2000**. Osnabrück: März, 2000.

BUNNEFILLE, R. **French contribution to wind power development**. EDF, 1958-1966.

BURTON, T. *et al.* **Wind energy handbook**. Londres: John Wiley & Sons, p. 609, 2008.

CEPEL, **Atlas de Potencial Eólico Brasileiro**. 2001. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas.htm>. Acesso em: 20 maio 2014.

CRESESB. “Especialistas discutem energias alternativas”. **Cresesb Informe**, v. 2, n. 2, Rio de Janeiro, dez. 1996.

_____. **Tutorial eólica**. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 28 jun. 2012.

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION. **Wind Energy Reference Manual**. Disponível em: <<http://guidedtour.windpower.org/>>. Acesso em: 20 maio 2014.

DUPONT CONSULTING. **Imagens de satélite dos regimes de ventos**. Disponível em: <<http://dupontconsulting.files.wordpress.com>>. Acesso em: 16 fev. 2013.

DUTRA, R.M. **Propostas de políticas específicas para energia eólica no Brasil após a primeira fase do Proinfa**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007, 415p. Tese (Doutorado).

_____. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro**. 259p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

EARTH NULL SCHOOL. **Mapa de ventos na superfície terrestre**. Disponível em: <<http://earth.nullschool.net/>>. Acesso em: 6 maio 2014.

ELETROBRAS. **Plano anual de combustíveis Norte/Nordeste**. Rio de Janeiro: Comissão de Estudos de Combustíveis—CEC, abr. 1997.

_____. **Plano anual de combustíveis Sul/Sudeste/Centro/Oeste**. Rio de Janeiro: Comissão de Estudos de Combustíveis,—CEC/GCOI, mar. 1997.

ELETROBRAS, Cepel. **Atlas Eólico do Brasil** – versão preliminar, Relatório Interno. 2001. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/publicacoes/index.php?task=livro&cid=1>. Acesso em: 17 dez. 2015.

ELETROBRAS, FUNDAÇÃO PADRE LEONEL FRANCA. **Atlas do Potencial Eólico Nacional**. Rio de Janeiro, v. 2 1988.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2012**. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 20 maio 2014.

_____. **Balanço Energético Nacional 2013**. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 20 maio 2014.

FADIGAS, E.A.F.A. **Notas de aula de PEA 5002**. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

GIPE, Paul. Wind Power –**Renewable energy for home, farm, and business**. Edição revisada, Vermont: Chelsea Green Publishing, 2003.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. Disponível em: <<http://www.gwec.net>>. Acesso em: 28 jun. 2012.

GOLDENBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**, 2ª ed., Edusp, 2003.

GREENPEACE INTERNATIONAL, EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION/ EWEA. Acesso em: 20 maio 2014.

GRUBB, M., MEYER, I. N. **Wind energy**: Resources, systems, and regional strategies, renewable energy sources for fuels and eletricity. Washington: Island Press, 1994. GREENPEACE, 1999 Op. cit.

HINSCH, C. "Wind energy continues to boom". **New Energy**, n. 2, maio p. 14-15, 1999.

_____. The politicians have to move as fast as they can. **New Energy**, n. 4, p. 14-17, maio 1999b.

HIRATA, M.H., **Energia eólica** – uma introdução. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 1985.

IDAHO NATIONAL LABORATORY. Disponível em: <www.inl.gov/wind/software/>. Acesso em: 17 fev. 2013.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook**. Paris: IEA/OECD, 1998.

JACOBS, M. L. **Experience with hacobs wind-driven electric generating plant, proceedings**. Washington: National Science Foundation, pp 155-158. apud SHEPHERD, 1994 Op. cit.

JANNUZZI, G.M., SWISHER, J.N.P. **Planejamento integrado de recursos energéticos**. Campinas: Autores Associados, 1997.

KOEPL, G.W. **Putnam's power from the wind**. 2. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982.

MANWELL, J.F.; McGowan, J.G.; Rogers, A.L. **Wind energy explained**. 2º ed., New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

MASTERS, G.M. **Renewable and eficiente electric power systems**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

MATHEW, S. **Wind energy: Fundamentals, resource analysis and economics**. India: Springer, 2006.

MILBORROW, D. "Annual power cost comparison: What a difference a year can make". **Windpower Monthly Magazine**, jan. 2010.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 24 fev. 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2012 – Ano base 2011**. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2012.aspx>>. Acesso em: 26 jun. 2012.

MINISTRY FOR THE ENVIROMENT MANATU MO TE TAIAO. Disponível em: <www.mfe.govt.nz/>. Acesso em: 24 fev. 2013.

NAVARRETE, F. Pablo. **Planning, estimating, and control of chemical construction projects**. 2º ed., London: CRC Press, 2001.

NORTHWET CONSTRUCTION CONSUMER COUNCIL. **Research and metrics measuring capital project best practices**. Disponível em: <www.nwccc.org/>. Acesso em 12 mar. 2014.

NRE. **Wind energy information guide**. Golden, CO, 113p, 1996.

OCÂMERA. **Imagens de acidentes de transporte rodoviário de equipamentos eólicos**. Disponível em: <www.ocamera.com.br>. Acesso em: 10 abr. 2014.

OLIVEIRA, A. de. “Programa de térmicas: solução ou problema?”, *Folha de S. Paulo*.

PINTO, M. **Fundamentos de energia eólica**, São Paulo: LTC, 2013,

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **PMBOK Guide** – A guide to the project management body of knowledge. 4º ed. 2008. Disponível em: <<http://www.pmi.org/PMBOK-Guide-and-Standards.aspx>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

PROJECT MANAGEMENT KNOLEDGE BASE - Ciclo de vida do projeto

_____. Definindo o ciclo de vida dos projetos utilizando e diferenciando fases e etapas

PROMON - Procedimento de elaboração do produto FEL estimativa de investimento

PUTHOFF, R. L., SIROCKY, P. J. **Preliminary Design of a 100-kW Wind Turbine**

REIS, L. B. **Geração de energia elétrica**: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade. São Paulo: Manole, 2003.

_____.; Silveira, S. **Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável**. 2ª edição, São Paulo: Edusp, 2001.

ROBERITON, Ribeiro. **The Standard for Portfolio Management® is a registered mark of PMI**. 11 abr. 2010. Disponível em: <www.2rprojetos.com>. Acesso em: 20 jun. 2012.

ROMERO, Fernando. FEL e LDPS para concepção de projetos de empreendimentos

ROSA, L.P., TOLMASQUIM, M.T., PIRES, J.C.L. A Reforma do Setor Elétrico no Brasil e

ROSA, L.P., **Uma Proposta para a Crise Elétrica**. Disponível em: <www.planeta.coppe.ufrj.br/artigo.php?artigo=112>. Acesso em: 18 dez. 2014.

SALINO, P.J. “Energia eólica no Brasil: uma comparação do Proinfa e dos novos leilões”. **Projeto de Graduação do Curso de Engenharia Ambiental**, Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica. 2011.

SALLES, A. C. N. **Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica**. Dissertação (Mestrado), UFRJ, Rio de Janeiro, 2004. .

SCIENTIFIC AMERICA, Dec. 20, 1890, Mr. Brush's Windmill Dynamo Vol. LXIII, n. 25

SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO ESTADO DE ALAGOAS. Disponível em: <www.seplande.al.gov.br>. Acesso em: 20 mar. 2013.

SHEFHERD, D.G. Historical Development of the Windmill. In: SPERA, S.A. Wind Turbine

SHELTENS, R.K, BIRCHENOUGH, A.G., Operational Results for the Experimental

SILVA, P.C. **Sistema para tratamento, armazenamento e disseminação de dados de ventos**, Dissertação (Mestrado), UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.

SOUZA, H. M. de *et al.* **A estratégia de divulgação de energias alternativas e eficiência**

SPERA, S.A., **Introduction to Modern Wind Turbine**. In: Wind Turbine Technology -

TAPIA, C. **Benchmarking de melhores práticas para projetos de capital**. Disponível em: <www.ipaglobal.com>. Acesso em: 12 set. 2010.

TAUTZ, C. **Paraná inaugura em Palmas primeira usina eólica**. Brasil Energia. n. 219, fev.

TONG, W. **Wind power generation and wind turbine design**. Southampton: Wit Press, 2010.

T. ACKERMANN, L. SoÈder / Renewable and Sustainable Energy Reviews 4 (2000)

VALE. **PR-E-200-Implantação de Empreendimentos pela Metodologia Front-end-Loading**. Rev. 3. Belo Horizonte, 2007.

VIAL, P.A. “Centros brasileiros atraem fabricante de geradores”. *Cresesb Informe*, Rio de Janeiro, 2008.

VOADEN, G.H. **The Smith-Putnam wind turbine** – A step forward in aero-electric, 1943.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Efficiency & Renewable Energy**. Disponível em: <www.windpoweringamerica.gov>. Acesso em: 24 mar. 2013.

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. “National Oceanic & Atmospheric Administration”. **NOAA Research**. Disponível em: <www.esrl.noaa.gov>. Acesso em: 02 mai. 2014.

WADE, J. E., HEWSON, E. W., Trees as a Local Climatic Indicator, 1979 apud CHESF-BRASCEP, 1987 Op. cit.

WAGNER, A. 2000, **Set for the 21st century: Germany New Renewable Energy Law**

WIKIPÉDIA - Disponível em <<http://pt.wikipedia.org/>>. Acesso em: 20 maio 2014.

WILLIAMS FORM ENGINEERING CORP. **Anchorbolts**. Disponível em: <www.williamsform.com>. Acesso em: 15 fev. 2013.

WIND ENERGY FOR THE WORLD. **Windblatt**, n. 4, 1999.

WINDUSTRY. Disponível em <<http://www.windustry.org/>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

WIZELIUS, Tore. **Developing wind power projects**. Londres: Earthscan, 2007.

WORLD ENERGY COUNCIL. **New renewable energy resources**. Disponível em: <www.worldenergy.org/>. Acesso em: 20 maio 2014.

ANEXOS

Anexo A – Mapa dos Ventos Médios Globais a 80 metros do solo

Anexo B – Mapa dos Ventos Médios de São Paulo a 100 metros do solo

Anexo C – Mapeamento de Parâmetros

Anexo D – Associação de Parâmetros

Anexo E – Tabela de Pesos

Anexo F – Mapa Brasil - Earth.NullSchool.Net

Anexo A – Mapa dos ventos médios globais a 80 metros do solo

Fonte: 3Tier.

Anexo B – Mapa dos ventos médios de São Paulo a 100 metros do solo

Anexo C – Mapeamento de parâmetros

Fonte: Elaboração pelo autor (Mindomo).

Anexo D – Associação de parâmetros

Fonte: Elaboração pelo autor (Mindomo).

Anexo E – Tabela de Pesos

ÍNDICE	DESCRIPTIVO DOS PARÂMETRO	RESPOSTA (SIM/NÃO)	POSITIVO (SIM)	NEGATIVO (NÃO)	Peso (0-10)	NOTA ESCOLHIDA	NOTA PONDERADA
1	Estruturas de Associações e Parcerias - SPE (Sociedade de propósito específico)		1	0	2		
2	Estruturas de Associações e Parcerias - Investidores com capital aberto		-1	0	3		
3	Estruturas de Associações e Parcerias - Consórcios		1	0	2		
4	Alinhamento de Perspectivas Financeiras - Utilização de capital próprio		-1	0	3		
5	Alinhamento de Perspectivas Financeiras - Utilização financiamentos (BNDES, Bancos Privados)		1	0	2		
6	Definição do Modelo de Negócio - Venda do complexo do parque eólico		-1	0	3		
7	Definição do Modelo de Negócio - Venda da energia elétrica gerada		-1	0	6		
8	Seleção da Localização - Contratos de Produtos e Serviços - Imagens de Satélite		1	0	2		
9	Seleção da Localização - Contratos de Produtos e Serviços - Fotografias Aéreas		1	0	2		
10	Seleção da Localização - Contratos de Produtos e Serviços - Estudos Arqueológicos		1	0	5		
11	Seleção da Localização - Contratos de Produtos e Serviços - Estudos Básicos Elétricos e Cíveis - Levantamento da Resistividade do Solo		1	-1	4		
12	Seleção da Localização - Contratos de Produtos e Serviços - Estudos Básicos Elétricos e Cíveis - Levantamento Planialtimétrico		1	-1	8		
13	Seleção da Localização - Contratos de Produtos e Serviços - Estudos Específicos Elétricos e Cíveis - Interferências Eletromagnéticas		1	-1	2		
14	Seleção da Localização - Contratos de Produtos e Serviços - Estudos de Zoneamento Ambiental		1	-1	5		
15	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Indicadores Geomórficos		1	0	2		
16	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Atlas Mundiais, Nacionais, Regionais		1	0	4		
17	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Campanha de Medição - Torres Anemométricas - Implantação		1	-1	10		
18	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Campanha de Medição - Torres Anemométricas - Custos		-1	0	10		
19	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Campanha de Medição - Torres Anemométricas - Instrumentos		1	0	5		
20	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Campanha de Medição - Torres Anemométricas - Estudo de Posicionamento		1	0	5		
21	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Quantidade de dados de vento - Dados Reais - 1 Ano		-1	0	10		
22	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Quantidade de dados de vento - Dados Reais - 2 Ano		-1	0	10		
23	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Quantidade de dados de vento - Dados Reais - 3 Ano		1	-1	10		
24	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Quantidade de dados de vento - Extrapolações por Modelos Computacionais		-1	0	5		
25	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Resultados das medições - Curvas de Frequência Velocidade do vento (intensidade)		1	-1	10		
26	Seleção da Localização - Banco de Dados de Ventos - Resultados das medições - Mapa de Rosas dos Ventos (direção)		1	-1	10		
27	Seleção da Localização - Disponibilidade do Terreno - Terreno próprio		1	0	3		
28	Seleção da Localização - Disponibilidade do Terreno - Terreno alugado		-1	0	3		
29	Seleção da Localização - Disponibilidade do Terreno - Terreno com cessão de direitos		-1	0	3		
30	Seleção da Localização - Disponibilidade do Terreno - Sem terreno		-1	0	9		
31	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de terreno - rochoso		-1	0	7		
32	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de terreno - arenoso		-1	0	7		
33	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de terreno - Planícies ou planaltos		1	-1	5		
34	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de terreno - pantanosos ou manguezal		-1	0	7		
35	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de terreno - composição corrosiva		-1	0	5		
36	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de terreno - altitude elevada		-1	0	3		
37	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de clima - monções		-1	0	3		
38	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de clima - furões ou furacões		-1	0	6		
39	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de clima - ventos alísios		1	-1	5		
40	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de clima - zonas de calma		-1	0	3		
41	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de clima - temperaturas extremas		-1	0	3		
42	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de clima - temperaturas diurna elevada		-1	0	3		
43	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de clima - sazonalidade no regime de ventos		-1	0	3		
44	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de clima - altos índices orográficos		-1	0	3		
45	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de clima - sedimentos no vento		-1	0	3		
46	Seleção da Localização - Condições Locais - Tipo de clima - ventos turbulentos		-1	0	4		
47	Seleção da Localização - Infraestrutura - Acessos Logísticos - Rodovias Internas		1	0	7		
48	Seleção da Localização - Infraestrutura - Acessos Logísticos - Rodovias Externas		1	-1	10		
49	Seleção da Localização - Infraestrutura - Acessos Logísticos - Portuários		1	-1	10		
50	Seleção da Localização - Infraestrutura - Jazidas Naturais - Água		1	-1	5		
51	Seleção da Localização - Infraestrutura - Jazidas Naturais - Brita e pedregulhos		1	-1	5		
52	Seleção da Localização - Infraestrutura - Jazidas Naturais - Terra		1	-1	5		
53	Seleção da Localização - Infraestrutura - Mão de obra local qualificada		1	-1	4		
54	Seleção da Localização - Infraestrutura - Rede de Transmissão de Energia Existente		1	0	6		
55	Especificações Técnicas - Ficha Técnica do Empreendimento - Resolução 391/2009		1	0	6		
56	Especificações Técnicas - Arranjo Geral da Planta - Localização da Usina		1	-1	2		
57	Especificações Técnicas - Arranjo Geral da Planta - Mapa Planialtimétrico - Coordenadas das torres anemométricas		1	-1	8		
58	Especificações Técnicas - Arranjo Geral da Planta - Mapa Planialtimétrico - Coordenadas dos Aerogeradores		1	-1	7		
59	Especificações Técnicas - Arranjo Geral da Planta - Mapa Planialtimétrico - Polígono de Abrangência do Parque		1	-1	5		
60	Especificações Técnicas - Arranjo Geral da Planta - Mapa Planialtimétrico - Curvas de Nível das Estruturas		1	-1	5		
61	Especificações Técnicas - Arranjo Geral da Planta - Mapa Planialtimétrico - Curvas de Nível da Cobertura Vegetal		1	-1	5		
62	Especificações Técnicas - Arranjo Geral da Planta - Mapa Planialtimétrico - Delimitações do terreno		1	-1	5		
63	Especificações Técnicas - Arranjo Geral da Planta - Mapa Planialtimétrico - Sistema de transmissão de interesse restrito		1	-1	5		
64	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Subestação Unitária - Acoplada ao Aerogerador		1	-1	4		
65	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Subestação Unitária - Externa ao Aerogerador		-1	0	4		
66	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Rede de Distribuição em Média Tensão - Aérea		-1	0	4		
67	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Rede de Distribuição em Média Tensão - Enterrada		1	0	3		

Fonte: Elaboração pelo autor.

Anexo E – Tabela de Pesos (Continuação)

ÍNDICE	DESCRIPTIVO DOS PARÂMETRO	RESPOSTA (SIM/NÃO)	POSITIVO (SIM)	NEGATIVO (NÃO)	Peso (0-10)	NOTA ESCOLHIDA	NOTA PONDERADA
68	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Subestação Coletora e Elevatória - Nova		-1	0	6		
69	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Subestação Coletora e Elevatória - Existente		1	0	3		
70	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Rede de Transmissão - Nova		-1	0	5		
71	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Rede de Transmissão - Existente		1	0	3		
72	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Conexão a Rede Básica - IOG		-1	0	6		
73	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Conexão a Rede Básica - Concessionária Local		1	0	3		
74	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Fundações - Contratadas junto a torre		1	0	6		
75	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Fundações - Contratadas separadas da torre		-1	0	4		
76	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Edificações - subestação unitária		1	0	2		
77	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Edificações - subestação coletora		1	0	2		
78	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Edificações - conexão a rede		1	0	2		
79	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Acessos Externos - Sem necessidade de modificações		1	0	6		
80	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Acessos Externos - Necessidade de modificações		-1	0	6		
81	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Acessos Internos - Necessários existentes		1	0	3		
82	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Acessos Internos - Necessários não existentes		-1	0	5		
83	Especificações Técnicas - BOP (Balance of Plant) - Acessos Internos - Desnecessários		1	0	3		
84	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Modelo - Definido		1	0	3		
85	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Modelo - Não Definido		-1	0	5		
86	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Sistema de Controle - Ativo (Passo ou Pitch)		-1	0	5		
87	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Sistema de Controle - Passivo (Estol ou Stall)		-1	0	5		
88	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Sistema de Controle - Híbrido (Passo & Estol)		1	0	6		
89	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Classe da Turbina (I, II, III ou IV) - Adequado		1	0	3		
90	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Classe da Turbina (I, II, III ou IV) - Inadequado		-1	0	10		
91	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Construção da Torre - Concreto		1	0	6		
92	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Construção da Torre - Metálica (Aço)		-1	0	5		
93	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Filosofia de Funcionamento do Gerador - Indução Gaiola de Esquilo		1	0	2		
94	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Filosofia de Funcionamento do Gerador - Síncrono a Imã Permanente		1	0	2		
95	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Filosofia de Funcionamento do Gerador - Síncrono com Rotor Bobinado		1	0	2		
96	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Filosofia de Funcionamento do Gerador - Síncrono duplamente alimentado		1	0	2		
97	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Filosofia de Funcionamento do Gerador - Síncrono duplamente alimentado sem escovas		1	0	2		
98	Especificações Técnicas - Aerogeradores - Filosofia de Funcionamento do Gerador - Relutância duplamente alimentado sem escovas		1	0	2		
99	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Modalidade de Operação da Usina Eólica - Tipo I - Programação e Despacho Centralizado		1	0	2		
100	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Modalidade de Operação da Usina Eólica - Tipo II - Programação Centralizada e Despacho não Centralizado		-1	0	3		
101	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Modalidade de Operação da Usina Eólica - Tipo III - Programação e Despacho Não Centralizado		-1	0	3		
102	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Micrositing - Utilização de software de otimização		1	0	7		
103	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Micrositing - Sem estudos		-1	0	10		
104	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Injeção de harmônicos na rede básica		1	-1	5		
105	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Correção das potências reativas		1	-1	5		
106	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Nível de curto circuito		1	-1	5		
107	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Fluxo de potência		1	-1	5		
108	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Conexão a Rede Básica - Velocidade de desconexão do gerador devido a falhas		1	-1	5		
109	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Conexão a Rede Básica - Compensação de potências reativas		1	-1	5		
110	Especificações Técnicas - Estudos Específicos - Conexão a Rede Básica - Desconexão da rede por variação de velocidade		1	-1	5		
111	Acervo Documental - Barreiras Legais - Reservas Indígenas		-1	0	10		
112	Acervo Documental - Barreiras Legais - Parques Arqueológicos		-1	0	10		
113	Acervo Documental - Barreiras Legais - Áreas de Conservação Ambiental		-1	0	10		
114	Acervo Documental - Barreiras Legais - Contratos de Aluguel ou Arrendamento		1	-1	5		
115	Acervo Documental - Barreiras Legais - Documentação de posse do terreno		1	-1	5		
116	Acervo Documental - Outorga de Autorização da Aneel - Organograma do Grupo Econômico - Participações Diretas e Indiretas		1	-1	4		
117	Acervo Documental - Outorga de Autorização da Aneel - Organograma do Grupo Econômico - Abertura de participações (minoritárias superiores a 5%)		1	-1	4		
118	Acervo Documental - Outorga de Autorização da Aneel - Ato Constitutivo, estatuto ou contrato social		1	-1	4		
119	Acervo Documental - Outorga de Autorização da Aneel - Contrato de constituição de consórcio		1	-1	4		
120	Acervo Documental - Outorga de Autorização da Aneel - Declaração de propriedade ou posse direta - Área de implantação da Usina		1	-1	4		
121	Acervo Documental - Registros na EPE (Empresa de Pesquisas Energéticas)		1	-1	5		
122	Acervo Documental - Registros na ONS (Operador Nacional do Sistema)		1	-1	5		
123	Acervo Documental - Impactos Ambientais - Exigências do CONAMA - EIA (Estudo prévio de impacto ambiental)		1	-1	10		
124	Acervo Documental - Impactos Ambientais - Exigências do CONAMA - RIMA (Relatório de impactos ambientais)		1	-1	10		
125	Acervo Documental - Impactos Ambientais - Exigências do CONAMA - RAS (Restauração Ambiental Sistemática)		1	-1	10		
126	Acervo Documental - Impactos Ambientais - Licenças de Desmatamento - ASV (Autorização de supressão vegetal)		1	-1	10		
127	Acervo Documental - Impactos Ambientais - AIA (Avaliação de Impactos Ambientais) - LP - Licenças de Projeto (5 anos)		1	-1	10		
128	Acervo Documental - Impactos Ambientais - AIA (Avaliação de Impactos Ambientais) - LI - Licenças de Instalação (6 anos)		1	-1	10		
129	Acervo Documental - Impactos Ambientais - AIA (Avaliação de Impactos Ambientais) - LO - Licenças de Operação (4 a 10 anos)		1	-1	10		
130	Acervo Documental - Impactos Sociais e Econômicos		1	-1	8		
131	Acervo Documental - Acessos a rede básica de energia elétrica - Parecer de acesso direto		1	-1	7		

Fonte: Elaboração pelo autor.

Anexo E – Tabela de Pesos (Continuação)

ÍNDICE	DESCRIPTIVO DOS PARÂMETRO	RESPOSTA (SIM/NÃO)	POSITIVO (SIM)	NEGATIVO (NÃO)	Peso (0-10)	NOTA ESCOLHIDA	NOTA PONDERADA
132	Acervo Documental - Acessos a rede básica de energia elétrica - Contrato de conexão a concessionária local		1	-1	7		
133	Acervo Documental - Licenças e Concessões - Direito de uso da terra		1	-1	5		
134	Acervo Documental - Licenças e Concessões - Declaração de propriedade ou posse direta		1	-1	5		
135	Acervo Documental - Documentação Local (prefeitura) - Alvará de Construção		1	-1	8		
136	Acervo Documental - Documentação Local (prefeitura) - Alvará de Funcionamento		1	-1	8		
137	Acervo Documental - Documentação Local (prefeitura) - Licenciamento do Sistema Elétrico - Subestação Unitária		1	-1	4		
138	Acervo Documental - Documentação Local (prefeitura) - Licenciamento do Sistema Elétrico - Linhas de Distribuição		1	-1	4		
139	Acervo Documental - Documentação Local (prefeitura) - Licenciamento do Sistema Elétrico - Subestação Coletora		1	-1	4		
140	Acervo Documental - Documentação Local (prefeitura) - Licenciamento do Sistema Elétrico - Linhas de Transmissão		1	-1	4		
141	Linhas de Financiamento Disponíveis - Financiamento Capital Próprio - Total		-1	0	5		
142	Linhas de Financiamento Disponíveis - Financiamento Capital Próprio - Parcial		1	0	2		
143	Linhas de Financiamento Disponíveis - Financiamento BNDES - Total		1	0	2		
144	Linhas de Financiamento Disponíveis - Financiamento BNDES - Parcial		1	0	2		
145	Linhas de Financiamento Disponíveis - Financiamento BNDES - Índice de Nacionalização suficiente		1	-1	3		
146	Linhas de Financiamento Disponíveis - Financiamento BNDES - Índice de Nacionalização insuficiente		-1	0	5		
147	Linhas de Financiamento Disponíveis - Fomecedores Estrangeiros - Aquisição Total		-1	0	10		
148	Linhas de Financiamento Disponíveis - Fomecedores Estrangeiros - Aquisição Parcial		-1	0	5		
					Nota Total		

Fonte: Elaboração pelo autor

Anexo F – Mapa Brasil - Earth.NullSchool.Net

Mapa interativo das linhas de vento

Fonte: www.Earth.NullSchool.Net

Mapa interativo das linhas de densidade de potência do vento

Fonte: www.Earth.NullSchool.Net.