

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ALINE DE CASTRO MENDES TADANO

Descomissionamento e logística reversa de aerogeradores

Estudo de caso - Parque Eólico em Trairi - Ceará

São Paulo

2016

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ALINE DE CASTRO MENDES TADANO

Descomissionamento e logística reversa de aerogeradores

Estudo de caso - Parque Eólico em Trairi - Ceará

Monografia apresentada como forma de
avaliação final do Curso de Especialização
em Energias Renováveis, Geração Distribuída
e Eficiência Energética.

Área de concentração: Energia Eólica
Orientador: Professor Demétrio Cornílios Zachariadis

São Paulo

2016

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALINE DE CASTRO MENDES TADANO

Descomissionamento e logística reversa de aerogeradores.

Estudo de caso - Parque Eólico em Trairi - Ceará

Monografia submetida ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da USP, como requisito para a conclusão do curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

(Nome, sua titulação e Instituição a que pertence).

(Nome, titulação e instituição a que pertence).

(Nome, titulação e instituição a que pertence).

Catálogo-na-publicação

Tadano, Aline de Castro Mendes

Descomissionamento e logística reversa de aerogeradores. Estudo de caso – Parque Eólico em Trairi – Ceará / A. C. M. Tadano - São Paulo, 2016.
149 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Descomissionamento de aerogerador 2.Logística Reversa 3.Fim de vida útil de aerogeradores 4.Descarte correto de resíduos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

Dedico este trabalho aos meus pais, que se dedicaram, se desdobraram para poderem me proporcionar uma educação e estudos de qualidade. Dedico também ao meu marido, que me apoia e me ajuda com seus conhecimentos e experiências em Energias.

AGRADECIMENTO

Agradeço meu professor orientador pelo conhecimento dividido durante as aulas e o apoio durante a elaboração desta monografia.

Agradeço meus colegas de turma que me ajudaram nos momentos complicados e principalmente dividiram seus conhecimentos e experiências em discussões ricas durante as aulas e trabalhos.

Ao Lucas T. C. Oyamada pelas informações dos parques em Trairi e pela paciência em me explicar cada detalhe!

À Kristen Skelton e ao Jonas Pagh Jensen pela atenção, material e conhecimentos trocados.

Ao Marcio Miracca, ao Rafael Ângelo e Alexandre Araripe pela ajuda e atenção. Muito obrigada por me proporcionarem uma experiência inesquecível e rica em conhecimento prático. Ao Alexandre Lopes e ao Chris agradeço por cuidarem da minha segurança durante a subida, descida e permanência no aerogerador.

As amigas Carine Custódio Clemente, Paula Lobato Dutra e Camila Louredo, por me ajudarem com seus conhecimentos práticos.

Ao Welton de Souza e Vinicius Aires pela ajuda na parte ambiental desta monografia.

E por último, porém não menos importante, agradeço o apoio dos familiares e amigos que compreenderam minha ausência durante o período deste curso.

RESUMO

A energia eólica é uma das energias mais limpas do mundo, com baixo impacto ambiental e zero emissão de CO₂ durante sua geração. Esta alternativa de geração de energia elétrica não é nova e vem aumentando cada dia no mundo. A tendência é chegar a 10 GW instalado no Brasil, o equivalente a 12% da matriz elétrica. Com as novas metas ratificadas durante a COP-21 (Conferência das Partes) em Paris no ano passado, o governo deverá investir ainda mais em energias renováveis com o objetivo de diminuir as emissões atmosféricas e manter o aquecimento global menor que 2°C. Com o intuito desta energia continuar sendo vista como energia verde e em cumprimento da legislação da Política Nacional do Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), este trabalho resume todas as alternativas ambientalmente corretas para a destinação dos equipamentos no fim de sua vida útil. A revisão bibliográfica uniu todas as alternativas disponíveis ou em estudo no mundo de descomissionamento e destinação. Foi realizado um estudo de caso nos quatro Parques Eólicos na cidade de Trairi no Ceará, sugerindo alternativas disponíveis no Brasil (uma ainda em estudo) até o momento.

Palavras-chave: logística reversa, fim de vida útil, aerogeradores, descomissionamento, destinação final ambientalmente correta.

ABSTRACT

Wind energy is one of the cleanest energy in the world, with low environmental impact and zero CO₂ emissions during its generation. This power generation alternative is not new and has been increasing every day in the world. The trend is to reach 10 GW installed in Brazil, that means almost 12% of the Brazilian energy matrix. Due to new goals that were ratified during the COP-21 (Conference of Parties) in Paris last year, the government should invest more in renewable energy in order to reduce air emissions and keep global warming lower than 2°C. To keep the wind energy as green energy and in compliance with the Brazilian legislation of the National Solid Waste Policy (Law 12.305 / 2010), this paper summarizes all environmentally friendly alternatives for disposal of the equipment at the it's end of life. The literature review has united all the available alternatives or study in the world for decommissioning and disposal. A case study was conducted in the four wind farms in the city of Trairi in Ceará, suggesting alternatives available in Brazil (even in study) to date.

Keywords: reverse logistics, end of life, wind turbine, decommissioning, environmentally friendly disposal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Moinho de vento holandês. Fonte: Fotografia tirada pela autora na Holanda (2014)	29
Figura 2: Aerogerador e seu principais componentes. Fonte: Brochura SWT 2.3 101 - siemens.com/wind (2012)	31
Figura 3: O aerogerador SWT 2.3-101. Fonte: fotografia tirada durante a visita técnica ao site na cidade de Trairi – Ceará (2015).....	33
Figura 4: A evolução dos tamanhos das torres. Fonte: Costa, Casotti, Azevedo (2009)	34
Figura 5: <i>Hub</i> . Fonte: website da Sandvik (2016).....	35
Figura 6: Potencia gerada de acordo com o diâmetro do rotor do aerogerador Fonte: Costa, Casotti, Azevedo (2009).....	35
Figura 7: Aplicativo Siemens Wind Diagnostics. Fonte: Apple Store.....	35
Figura 8: Revenda de turbina. Fonte: AECOM (2012).....	52
Figura 9: Implosão de uma turbina eólica. Fonte: http://www.implosionworld.com/recent.htm (acessado em 19/05/2016).....	61
Figura 10: Montagem de uma torre de aço. Fonte: http://www.bsm.com.br/projetos-especiais/eolica (último acesso em 08/05/2016).....	61
Figura 11: Seção da torre de aço. Fonte: http://www.siemens.co.uk/en/news_press/index/news_archive/siemens-boosts-local-business-with-new-towers-contract.htm (acessado em 19/05/2016).....	62
Figura 12: Peças da torre pré-moldada de concreto. Fonte: Website Portal dos Equipamentos – Eplas.....	62

Figura 13: Utilização de um maçarico para torres de aço. Fonte: Welstead et al. (2013).....	63
Figura 14: Rompedor hidráulico acoplado à uma escavadeira. Fontes: Emolidora Solum (esquerda) e Caterpillar (direita).....	64
Figura 15: Serra de diamante – WS 482 HF – Wall sawing Fonte: Husqvarna.....	64
Figura 16: Serra de diamante – DS TS20-E – Wall saw Fonte: Hilti.....	65
Figura 17: Fio de diamante – CS 2512 – Wire saw Fonte: Husqvarna.....	65
Figura 18: Rocha quebrada utilizando a argamassa expansiva. Fonte: http://www.lord.eng.br/areadeatucao/desmonte-de-rocha/ (18/05/2016).....	66
Figura 19: Equipamento de pressurização de água. Fonte: http://www.waterblast.com/uploadedFiles/Site/Service_and_Support/Resources/HydroDemolition_Brochure_Web.pdf (acessado em 18/05/2016).....	67
Figura 20: Sugestão de remoção ou não da fundação do aerogerador. Fonte: Welstead et al. (2013).....	68
Figura 21: Transporte de pás grande / pequena. Fonte: Beauson, Bech, Brøndsted (2014).....	76
Figura 22: Reutilização das pás eólicas. A, b, c = teatro ao ar livre com uma cobertura sustentada pelas pás ao invés de vigas; d = tripé; e = suporte; f = colunas; g,h,i = torres receptoras; j, k = restaurante utilizando as pás como coberturas e como poste para iluminação. Nossa tradução. Fonte: Rahnama (2011).....	77
Figura 23: Moveis feitos de pás de aerogeradores no fim de vida util. Fonte: Sacchi (2014).....	78
Figura 24: Reutilização das pás na construção de móveis. Fonte: Beauson, Bech, Brøndsted (2014).....	79

- Figura 25: Cadeira fabricada com madeira de demolição. Fonte:
<http://www.trapichecarioca.com.br/marcenaria/>79
- Figura 26: Moveis fabricados com garrafas PET. Fonte:
<https://paoeecologia.wordpress.com/2009/11/23/amma-produz-moveis-com-garrafas-pet/>79
- Figura 27: Moveis fabricados com placas de trânsito. Designer Tim Deiner . Fonte:
<http://www.hypeness.com.br/2011/02/moveis-feitos-com-placas-de-transito/> (visualizado em 03/05/2016)80
- Figura 28: Moveis fabricados com pallets. Fonte:
<https://economize.catracalivre.com.br/faca-voce-mesmo/50-ideias-criativas-para-transformar-paletes-em-moveis-e-objetos-de-decoracao/>80
- Figura 29: Reutilização das pás em playground em Wikado, Rotterdam, Holanda. Fonte:
<http://superuse-studios.com/index.php/2008/10/wikado-2/>.....81
- Figura 30: Peça de uma pá de aerogerador após o processo de pirolise. Fonte: Sacchi (2014).....84
- Figura 31: Moagem da fibra de vidro. Fonte: Sacchi (2014).....86
- Figura 32: Ilustração de uma Unidade Recuperadora de Energia. Fonte: Sacchi (2014).....87
- Figura 33: Componentes periféricos dos aerogeradores. Fonte:
<https://evolucaoalp.wordpress.com/2012/06/19/componentes-de-um-sistema-eolico/>91
- Figura 34: Recife artificial de concreto. Fonte:
<http://ultimosegundo.ig.com.br/ciencia/meioambiente/2013-02-03/recifes-artificiais-recuperam-fauna-na-costa-do-parana.html>.....96
- Figura 35: Quedra-mar.
 Fonte: <http://www.formenteratravel.com/blog/tag/ibiza/>96

Figura 36: Quedra-mar – proteção e abrigo de zona portuária. Fonte: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgZ0UAH/obras-costeiras-estuarinas?part=2	97
Figura 37: Britador de mandíbula. Fonte: Catálogo Nordberg Britadores de mandíbulas série C – Metso Minerals.....	98
Figura 38: Britador de Impacto. Fonte: Catálogo Britadores de Impacto Nordberg Série NP – Metso Minerals.....	99
Figura 39: Localização dos Parques Eólicos. Fonte: RIMA da Central Eólica Trairi Ltda, 2011	103
Figura 40: Configuração do Parque Eólico Trairi. Fonte: RIMA da Central Eólica Trairi Ltda, 2011.....	105
Figura 41: Quadro de avaliação dos impactos ambientais. Fonte: RIMA da Central Eólica Trairi Ltda, 2011.....	107
Figura 47: Área alagada durante o inverso. Fonte: RIMA da Central Eólica Trairi Ltda, 2011	107
Figura 43: Aerogerador mais ao sul do Parque, o mais próximo das instalações construídas (almoxarifado e <i>facilities</i>). Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.....	108
Figura 44: Central Eólica Trairi entre as dunas. Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.....	108
Figura 45: Configuração do Parque Eólico Mundaú. Fonte: RIMA da Central Eólica Mundaú Ltda, 2011.....	110
Figura 46: Quadro de avaliação dos impactos ambientais. Fonte: RIMA da Central Eólica Mundaú Ltda, 2011.....	111
Figura 47: Afloramento do lençol freático localizado na Planície de Deflação, ao norte do empreendimento. Fonte: RIMA da Central Eólica Mundaú Ltda, 2011.....	112

Figura 48: Parque Eólico Mundaú. Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.....	112
Figura 49: Configuração do Parque Eólico Flexeiras I. Fonte: RIMA da Central Eólica Flexeiras I Ltda, 2011	114
Figura 50: Quadro de avaliação dos impactos ambientais. Fonte: RIMA da Central Eólica Flexeiras I Ltda, 2011.....	115
Figura 51: Parque Eólico Flexeiras I. Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.....	116
Figura 52: Parque Eólico Flexeiras I e Mundaú ao fundo. Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.....	116
Figura 53: Configuração do Parque Eólico Guariju. Fonte: RIMA da Central Eólica Guariju Ltda, 2011	118
Figura 54: Quadro de avaliação dos impactos ambientais. Fonte: RIMA da Central Eólica Guajiru Ltda, 2011	119
Figura 55: Parque Eólico Guajiru. Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.....	120
Figura 56: Cerca de proteção e subestação unitária de uma torre em um dos parques em Trairi. Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.....	125
Figura 57: Carrinho para transporte de cilindro, evacuação de ar e reenchimento com gás SF6. Fonte: Engemet Elétrica	129
Figura 58: Praça Nossa Senhora dos Navegantes em Guajinu, Ceará. Fonte: Google Street View (visto em 03/05/2016).....	131
Figura 59: Praça na frente do Fórum em Tairi, Ceará. Fonte: Google Street View (visto em 03/05/2016)	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Elaborada pela autora com base nas informações da brochura da SWT 2.3 101 (Siemens Wind Turbine) (2012)	32
Tabela 2: Vantagens de desvantagens da repotenciação. Fonte: Elaborada pela autora.....	50
Tabela 3: Vantagens de desvantagens do <i>retrofit</i> . Fonte: Elaborada pela autora.....	53
Tabela 4: Custo do descomissionamento por aerogerador, por MW e por kWh. Nossa tradução. Fonte: Ortegon, Nies, Sutherland (2012).....	55
Tabela 5: Análise SWOT de descomissionamento total ou parcial de turbinas offshore. Nossa tradução. Fonte: Smyth (2015).....	57
Tabela 6: Impactos ambientais do descomissionamento. Fonte: Elaborada pela autora com base nos estudos de Welstead et al. (2013).....	71
Tabela 7: Possíveis impactos ambientais na remoção da fundação, cabos e estradas ou pavimentações construídas durante a etapa de comissionamento, operação, manutenção e descomissionamento. Nossa tradução e nossa adaptação. Fonte: Welstead et al. (2013).....	72
Tabela 8: Quantidade aproximada de materiais de uma turbina. Fonte: Elaborada pela autora baseada nos estudos de D'Souza, Gbegbaje, Shonfield (2011).....	74
Tabela 9: Vantagens de desvantagens da reutilização das pás eólicas para mesmo fim. Fonte: Elaborada pela autora.....	76
Tabela 10: Vantagens de desvantagens da reutilização na arquitetura. Fonte: Elaborada pela autora.....	79
Tabela 11: Vantagens de desvantagens da reutilização das pás eólicas como recifes artificiais. Fonte: Elaborada pela autora.....	78

Tabela 12: Vantagens de desvantagens da reutilização das pás eólicas para fabricação de móveis. Fonte: Elaborada pela autora.....	81
Tabela 13: Vantagens de desvantagens da reutilização das pás eólicas para construção de playground. Fonte: Elaborada pela autora.....	81
Tabela 14: Vantagens de desvantagens da reciclagem por pirólise e gaseificação. Fonte: Elaborada pela autora.....	83
Tabela 15: Vantagens de desvantagens da reciclagem por hidrólise neutra. Fonte: Elaborada pela autora.....	85
Tabela 16: Vantagens de desvantagens da reciclagem para fabricação de concreto reciclado. Fonte: Elaborada pela autora.....	85
Tabela 17: Vantagens de desvantagens da moagem. Fonte: Elaborada pela autora.....	86
Tabela 18: Vantagens de desvantagens da queima de Usina de Recuperação Energética. Fonte: Elaborada pela autora.....	89
Tabela 19: Vantagens de desvantagens da disposição dos rejeitos da pá eólica. Fonte: Elaborada pela autora.....	90
Tabela 20: Porcentagem de economia de CO2 equivalente na reciclagem de materiais. Fonte: elaborada pela autora com base nos dados retirados do Report on the Environmental Benefits of Recycling (Grimes, Donaldson, Gomez,2008).....	92
Tabela 21: Vantagens de desvantagens da reciclagem de sucata. Fonte: Elaborada pela autora.....	94
Tabela 22: Tamanhos máximos de alimentação e de saída da britagem. Fonte: Website Metalica.....	98
Tabela 23: Vantagens de desvantagens da reciclagem do concreto. Fonte: Elaborada pela autora.....	101

Tabela 24: Dados do Parque Eólico Trairi. Fonte: Elaborada pela autora.....	105
Tabela 25: Dados do Parque Eólico Mundaú. Fonte: elaborada pela autora.....	109
Tabela 26: Dados do Parque Eólico Flexeiras I. Fonte: elaborada pela autora.....	113
Tabela 27: Dados do Parque Eólico Guajiu. Fonte: elaborada pela autora.....	117
Tabela 28: Vantagens de desvantagens do <i>retrofit</i> . Fonte: Elaborada pela autora.....	121
Tabela 29: Vantagens de desvantagens da troca de equipamentos. Fonte: Elaborada pela autora.....	121
Tabela 30: Proporções de diâmetro e espaçamento dos furos. Fonte: http://chimicaedile.com.br/arquivos/demolicao/cat_demox.pdf (acessado em 18/05/2016).....	127
Tabela 31: Vantagens de desvantagens da utilização da argamassa expansiva na base. Fonte: Elaborada pela autora.....	127
Tabela 32: Vantagens de desvantagens da utilização da argamassa expansiva na junção. Fonte: Elaborada pela autora.....	128
Tabela 33: Resumo das possíveis destinação ambientalmente correta das pás. Fonte: Elaborada pela autora.....	133
Tabela 34: Quantidade aproximada de materiais dos quatro parques eólicos. Fonte: Elaborada pela autora baseada nos estudos de D'Souza, Gbegbaje, Shonfield (2011).....	133
Tabela 35: Resumo das possíveis destinação ambientalmente correta dos equipamentos. Fonte: Elaborada pela autora.....	134
Tabela 36: Resumo das possíveis destinação ambientalmente correta do concreto. Fonte: Elaborada pela autora.....	134
Tabela 37: Resumo das possíveis destinação ambientalmente correta da infraestrutura. Fonte: Elaborada pela autora.....	136

Tabela 38: Resumo dos principais equipamentos e técnica de descomissionamento.

Fonte: Elaborada pela autora.....137

Tabela 39: Resumo dos componentes, materiais e destinação ambientalmente correta.

Fonte: Elaborada pela autora.....138

LISTA DE SICLAS E ABREVIATURAS

ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Área de Proteção Permanente
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEPEL	Centro de Investigação Elétrica
DVES	Dansk Vind Elektrisitest Selskab - Associação Dinamarquesa dos Engenheiros de Energia Eólica
EE	Eletroeletrônico
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
Eletrobrás	Companhia Elétrica Brasileira
EWEA	European Wind Energy Association - Associação Europeia de Energia Eólica
NASA	National Aeronautics and Space Administration - Agência Espacial Americana
PROEÓLICA	Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RIMA	Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (baseado no EIA)
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment (Resíduo eletroeletrônico)

DEFINIÇÕES

Aterro sanitário: “É uma espécie de depósito no qual são descartados resíduos sólidos provenientes de residências, indústrias, hospitais e construções. Grande parte deste lixo é formada por materiais não recicláveis”. (Website – Governo do Brasil)

Britagem: “Conjunto de operações que tem como objetivo a fragmentação de grandes materiais, levando-os a granulometria compatíveis para utilização direta ou para posterior processamento.” (Website - Metalica)

Combustão: processo de utilização do valor calorífero de um material em uma queima controlada. (Skrainka,2012, nossa tradução)

Coprocessamento é uma tecnologia que consiste na utilização de resíduos industriais e pneus inservíveis como substitutos de combustível de fornos. (Website - Votorantin Cimentos)

Descomissionamento: processo que visa desativar as operações de produção, com o principal objetivo de devolver a propriedade, impactando menos possível o meio ambiente e restaurando as condições originais do terreno e ecossistema. (Wiegand,2011, nossa tradução)

Destinação final ambientalmente adequada: “destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações [...] de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública

e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. ” (Política Nacional dos Resíduos Sólidos, capítulo II - definições)

Disposição final ambientalmente adequada: “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. ” (Política Nacional dos Resíduos Sólidos, capítulo II – definições)

Gaseificação: processo que transforma combustível sólido ou líquido em combustível gasoso. (Sacchi, 2014, nossa tradução)

Geração Distribuída: é a geração de energia elétrica junto ou próxima do(s) consumidor(es), independente da potência, tecnologia e fonte de energia. (Website INEE)

Logística reversa: “instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. ” (Política Nacional dos Resíduos Sólidos, capítulo II – definições)

Pirólise: Processo onde um material orgânico é aquecido em um ambiente inerte (sem a utilização de oxigênio), com o intuito de separá-los conforme era originalmente e depois disposto seus dejetos quimicamente. (Akeson et al.,2013 e Owens et al.,2013, nossa tradução)

Reciclagem: “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. ” (Política Nacional dos Resíduos Sólidos, capítulo II - definições)

Rejeitos: “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. ” (Política Nacional dos Resíduos Sólidos, capítulo II - definições)

Remanufatura: Processo de renovação de um equipamento. Alguns componentes podem ser renovados com um processo mecânico e outros podem ser substituídos. (Skrainka,2012, nossa tradução)

Repotenciação: é a atividade de realizar a troca de uma turbina antiga por uma mais moderna, e na maioria das vezes, de maior potência. (Welstead et al., 2013, nossa tradução)

Reutilização: “processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes. ” (Política Nacional dos Resíduos Sólidos, capítulo II - definições)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	25
1.1 OBJETIVO.....	26
1.2 METEOROLOGIA.....	27
2. HISTÓRIA DA ENERGIA EÓLICA.....	28
2.1 MOINHO DE VENTO.....	28
2.2 GERADORES EÓLICOS.....	29
2.3 O AEROGERADOR.....	31
2.3.1 PRINCIPAIS COMPONENTES.....	33
3. EÓLICA NO BRASIL.....	37
4. LOGÍSTICA REVERSA.....	39
4.1 LEI DA LOGÍSTICA REVERSA NA EUROPA, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA E CHINA.....	40
4.1.1 UNIÃO EUROPEIA - "WEEE DIRECTIVE".....	40
4.1.2 ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA - "E-WASTE LAW".....	41
4.1.3 CHINA – LEI NÚMERO 551.....	42
4.2 LEI DA LOGÍSTICA REVERSA NO BRASIL.....	42
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - SOLUÇÕES PARA OS AEROGERADORES NO FIM DE VIDA UTIL.....	46
5.1 REPOTENCIAÇÃO.....	47
5.2 REMANUFATURA (<i>RETROFIT</i>) E REVENDA DE AEROGERADOR.....	50
5.2.1 AS PÁS E O EIXO PRINCIPAL.....	50
5.2.2 <i>NACELLE</i> E BASE DO EQUIPAMENTO (<i>BEDFRAME</i>).....	50
5.2.3 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DA <i>NACELLE</i>	51
5.2.4 TORRE.....	51
5.2.5 REVENDA DE AEROGERADOR REMANUFATURADO.....	52
5.2.6 ESTUDO DE CASO – <i>ISLE OF GIGHA</i> (Welstead et al., 2013, nossa tradução).....	53
5.3 DESCOMISSIONAMENTO DOS AEROGERADORES.....	54

5.3.1	PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DA ATIVIDADE DE DESCOMISSIONAMENTO.....	58
5.3.1.1	DESCOMISSIONAMENTO DOS AEROGERADORES.....	60
5.3.1.2	DESCOMISSIONAMENTO DA INFRAESTRUTURA DO PARQUE.....	69
5.3.1.3	RESTAURAÇÃO DA ÁREA DEGRADA PELO PROCESSO DE DESCOMISSIONAMENTO.....	69
5.3.1.3.1	IMPACTOS AMBIENTAIS.....	71
5.4	LOGÍSTICA REVERSA.....	73
5.4.1	PÁS EÓLICAS.....	75
5.4.1.1	REUTILIZAÇÃO DAS PÁS EÓLICAS.....	75
5.4.1.2	RECICLAGEM DAS PÁS EÓLICAS.....	82
5.4.1.2.1	PIRÓLISE E GASEIFICAÇÃO.....	82
5.4.1.2.2	PIRÓLISE DE LEITO FLUIDIZADO.....	84
5.4.1.2.3	HIDROLISE NEUTRA.....	84
5.4.1.2.4	AGREGADO NO CONCRETO.....	85
5.4.1.3	TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DAS PÁS EÓLICAS PARA FINS DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA.....	86
5.4.1.3.1	COPROCESSAMENTO.....	87
5.4.1.3.2	QUEIMA EM USINAS DE RECUPEÇÃO ENERGÉTICA.....	87
5.4.1.4	DISPOSIÇÃO DO REJEITO DAS PÁS EÓLICAS.....	90
5.4.2	EQUIPAMENTO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS (AÇO, FERRO, COBRE, ETC.).....	91
5.4.2.1	REUTILIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	92
5.4.2.2	RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DOS EQUIPAMENTOS.....	92
5.4.2.3	TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DOS EQUIPAMENTOS PARA FINS DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA.....	95
5.4.2.4	DISPOSIÇÃO DO REJEITO DOS EQUIPAMENTOS.....	95
5.4.3	TORRE.....	95
5.4.3.1	REUTILIZAÇÃO DAS TORRES.....	96
5.4.3.2	RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DAS TORRES.....	98
5.4.3.3	TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DAS TORRES.....	102

5.4.3.4	DISPOSIÇÃO DO REJEITO DAS TORRES.....	102
5.4.4	FUNDAÇÃO DE CIMENTO ARMADO.....	102
6	ESTUDO DE CASO – PARQUES EÓLICOS EM TRAIRI	103
6.1	PARQUES EÓLICOS DO ESTUDO DE CASO.....	104
6.1.1	CENTRAL EÓLICA TRAIRI LTDA.....	104
6.1.2	CENTRAL EÓLICA MUNDAÚ LTDA.....	109
6.1.3	CENTRAL EÓLICA FLEXEIRAS I LTDA.....	113
6.1.4	CENTRAL EÓLICA GUAJIU LTDA.....	117
6.2	ALTERNATIVAS AMBIENTALMENTE CORRETAS.....	120
6.2.1	DESCOMISSIONAMENTO.....	122
6.2.1.1	PLANEJAMENTO DO DESCOMISSIONAMENTO.....	122
6.2.1.2	ATIVIDADE DE DESCOMISSIONAMENTO DO AEROGERADOR.....	124
6.2.1.3	ATIVIDADE DE DESCOMISSIONAMENTO DA INFRAESTRUTURA DOS PARQUES.....	129
6.2.2	DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE CORRETA.....	131
6.2.2.1	PÁS.....	131
6.2.2.2	EQUIPAMENTOS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS (AÇO, FERRO, COBRE, ETC.).....	133
6.2.2.3	TORRE E FUNDAÇÃO.....	134
6.2.2.4	INFRAESTRUTURA DOS PARQUES.....	135
7	CONCLUSÃO.....	137
8	BIBLIOGRAFIA.....	139

1. INTRODUÇÃO

Como vemos em diversos meios de comunicação, a energia eólica vem crescendo pelo mundo. De acordo com dados da ANEEL, em 1997 a Alemanha possuía aproximadamente 2GW de potência instalada, os Estados Unidos 1,5GW e a China nem aparecia na lista das maiores produtoras de energia eólica. Em 2005 este cenário mudou, os Estados Unidos passaram para o primeiro lugar, enquanto que a China começava a subir no ranking. Seis anos mais tarde, a China chega ao topo do ranking com aproximadamente 62 GW de capacidade instalada. Em 2010 a energia eólica mundial chegou ao patamar de 430 TWh de capacidade instalada.

No Brasil, ela também teve um crescimento considerável. Em 2003 tínhamos 22MW de capacidade instalada, 602MW seis anos depois e em 2011 chegamos ao nosso primeiro GW instalado. Este ano, 2016, este número poderá chegar a gerar 12% da energia consumida (aproximadamente 10GW) no país. Além dos programas de incentivo do governo brasileiro, a crise hídrica vem estimulando cada vez mais a geração de energia eólica nacional.

Com o valor da energia mais cara e a crise nos países desenvolvidos, fizeram com que mais projetos pudessem ser economicamente viáveis nos leilões de energia, aumentando significativamente a quantidade de parques eólicos instalados no Brasil.

Assim como toda ação do homem, a energia eólica também causa impactos ambientais. Porém em escala bem menor quando comparada com a energia hidráulica e muito menor quando comparada com fontes não renováveis, como combustíveis fósseis e energia nuclear. Por não emitir CO₂ (dióxido de carbono - gás de efeito estufa) durante a geração de energia, esta fonte, assim como a solar, é considerada a geração de energia mais limpa conhecidas até o momento.

Porém não podemos pensar somente no presente, temos que planejar o futuro. De acordo com os fabricantes dos aerogeradores, estes equipamentos têm a vida útil de

aproximadamente 20 anos. O que deverá ser feito com todos os equipamentos quando estes não funcionarem mais?

Se considerarmos uma média 2 MW de potência para cada turbina, em 2016 teremos no total de 5.000 turbinas instaladas no Brasil. Daqui 20 anos, serão 5.000 turbinas consideradas produtos no fim de sua vida útil.

De acordo com a lei federal nº12.305 de 2010 de 02 de agosto de 2010, a qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, todos os fabricantes, importadores, distribuidores e/ou comerciantes deverão dar um destino ambientalmente adequado para os produtos no fim de sua vida útil. É considerado destino ambientalmente adequado o seguinte processo:

- 1- Deve-se verificar a possibilidade de reutilização do material / equipamento
- 2- Deve-se verificar a possível reciclagem do material ou queima para aproveitamento do seu potencial energético (geração de energia),
- 3- Somente por último, deve-se enviar o resíduo para aterro sanitário industrial ou incineração com controle de emissões atmosféricas.

Assim diminuindo o impacto ambiental dos equipamentos velhos, evitando que estes sejam descartados em local inapropriado, abandonados ou que sejam enviados diretos para aterros ou lixões.

1.1. OBJETIVO

Tendo em vista o cenário descrito na introdução deste trabalho, o objetivo principal é diminuir o máximo possível o impacto ambiental dos produtos no fim de sua vida útil e atender a legislação brasileira.

Será realizado um estudo de possíveis alternativas de destinação ambientalmente corretas para os principais componentes dos aerogeradores do site na cidade de Trairi

no Ceará. São 50 turbinas Siemens distribuídas em quadro sites de até 30MW de potência instalada.

Assim como o comissionamento, o descomissionamento será um desafio, pois os parques encontram-se em um local afastado de difícil acesso e no meio de dunas, que são uma Área de Proteção Permanente (APP - área protegida para a conservação de fauna e flora, podendo ser utilizada para atividades humanas, somente com autorização do governo e órgão ambiental).

1.2. METODOLOGIA

Este estudo foi baseado em artigos publicados, livros, revistas e sites relacionados com o tema.

A maioria da bibliografia utilizada foi estrangeira, pois o Brasil possui poucos estudos referentes a logística reversa de aerogeradores, uma vez que a geração eólica brasileira é recente.

Para a realização deste trabalho, primeiramente foi mapeado os principais componentes dos aerogeradores do parque escolhido, assim como estudo do local do empreendimento. Com base nos conhecimentos adequados na revisão bibliográfica, foram propostas algumas alternativas para o descomissionamento (desmontagem) dos aerogeradores e destinação ambientalmente correta para seus principais componentes.

Para a escolha da melhor alternativa do descomissionamento e destinação ambientalmente correta, levou-se em consideração o “*triple bottom line*” (tripé) da Sustentabilidade, ou seja, a alternativa que fosse ambientalmente responsável, financeiramente viável e socialmente justo.

2. HISTÓRIA DA ENERGIA EÓLICA

2.1. MOINHO DE VENTO

Não há registros oficiais que comprovam a utilização dos moinhos de ventos antes de Cristo. Porém alguns historiadores acreditam terem encontrado alguns restos de um moinho de vento com aproximadamente 3.000 anos. O primeiro registro é da utilização da força do vento para tocar um órgão há 2.000 anos na antiga Alexandria, inventado por Heron (uma variação de herói). As pás giravam e levantam um pistão que bombeava ar para dentro do órgão musical.

Somente no século VII na Pérsia foi registrado oficialmente o primeiro moinho de vento, este era utilizado para irrigação e moagem de grãos. Depois disso, há registros na França em 1105, Inglaterra em 1180 e em 1219 na China. Vários são os registros de aprimoramento desta tecnologia desde a época medieval até o século XVII, como por exemplo, o rascunho feito por Leonardo da Vinci datado de 1502.

A Holanda foi o país que mais utilizou desta tecnologia. Foram construídos diversos moinhos para a drenagem da água (pois o país está abaixo do nível do mar) e moagem de grãos. Foi neste local que a tecnologia começou a ser mais uma vez aprimorada com a introdução de torres (deixando-os mais altos).

Com a revolução e a invenção da máquina a vapor a quantidade de moinhos de vento diminuiu, mas a Europa nunca deixou de lado esta tecnologia. Acredita-se que no fim do século XIX ainda existiam cerca de 30 mil moinhos sendo utilizados para bombear água, moer grãos e usos industriais como no cultivo de pimenta, cacau, corante e tabaco.

Os moinhos de ventos chegaram até os Estados Unidos da América através da imigração dos holandeses nos séculos XVII e XVIII. Em 1854 surgiu nos Estados Unidos o primeiro modelo comercial desenvolvido e patenteado pelo mecânico Daniel *Halladay*, conhecido por muitos de Cata-vento.

Figura 1: Moinho de vento holandês.



Fonte: Fotografia tirada pela autora na Holanda (2014).

2.2. GERADORES EÓLICOS

Até o século XIX aos moinhos só geravam energia mecânica, mas com a descoberta de energia elétrica, engenheiros começaram a estudar a possibilidade da utilização dos moinhos para este tipo de geração, assim podendo utilizá-la para iluminação e aquecimento das casas.

Apesar da grande popularidade dos moinhos na Holanda, foi na Escócia que o primeiro moinho de vento criado para gerar energia elétrica surgiu em 1887. James Blyth instalou seu projeto em sua casa de campo, tornando assim a primeira casa no mundo a utilizar energia eólica. No ano seguinte o engenheiro americano Charles Francis Brush também iluminou sua casa com uma turbina eólica no estado de Ohio.

Na Dinamarca o professor Poul la Cour foi destaque em desenvolvimento da tecnologia. Com o intuito de divulgar as tecnologias e formar novos "eletricistas do vento", la Cour criou a Associação Dinamarquesa dos Engenheiros de Energia Eólica ("*Dansk Vind Elektrisitest Selskab*" - DVES) em 1903. Depois de 6 anos, já existiam cerca de 72 turbinas para geração de energia elétrica para áreas rurais dinamarquesas. Com o aumento do valor do combustível fóssil, por causa da primeira guerra mundial, o

investimento em eólica aumentou e em 1918 já eram 120 turbinas eólicas em funcionamento.

As primeiras turbinas possuíam uma capacidade de geração de 30kW (turbinas de la Cour), em 1957 foram desenvolvidas as primeiras turbinas de 200kW pelo Johannes Juul na Dinamarca.

Em 1922 os irmãos americanos Marcellus e Joseph Jacobs desenvolveram a primeira turbina com 3 pás que acionavam um gerador de baixa velocidade para geração de energia elétrica utilizada para carregar baterias. Cerca de 7 anos mais tarde esta turbina tornou-se comercializada.

A Alemanha também usava esta tecnologia nos anos 1900 e sabe-se que em 1930 eram 3.600 turbinas gerando energia para bombear água no país, porém somente algumas geravam eletricidade. O cientista alemão Albert Betz estudou a dinâmica das pás utilizada na época e constatou que havia um problema no rotor eólico e sugeriu uma nova solução aerodinâmica, a qual é utilizada até hoje. Dois anos depois o Hermman Honnef, utilizando os conhecimentos de Betz, propôs a instalação das primeiras turbinas *offshore* do país.

Após a Segunda Grande Guerra o preço do petróleo diminuiu e a geração de energia elétrica se tornou economicamente inviável. Apesar das tentativas do austríaco Ulrich W. Hüntter em tentar aprimorar as pás existentes para a construção de geradores com maior capacidade, o investimento mássico nesta área não aconteceu.

Somente cerca de 20 anos após a guerra que a energia eólica reapareceu no cenário elétrico. Com a crise do petróleo e as questões ambientais sendo estudadas que o investimento em energias renováveis começou a ser mais abundantes. Nos anos 80 os governos começaram a subsidiar projetos pilotos de turbinas de grande capacidade de geração (megawatts de potência). As grandes empresas começaram a desenvolver projetos em busca da melhor tecnologia, até a NASA (agência espacial americana) estudou novas possibilidades para as turbinas eólicas, com protótipos de 1 e 2 pás.

O primeiro projeto *offshore* do mundo entrou em funcionamento em 1991 a cerca de 1 km da costa da Dinamarca e em 2003 o país já possuía cerca de 20% da sua matriz energética de energia eólica.

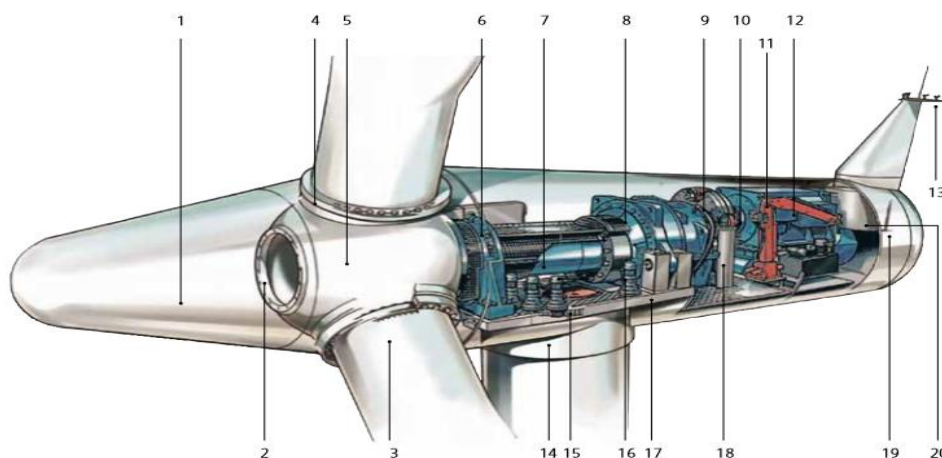
Com os estudos ambientais das mudanças climáticas, com a intenção de ser mais independente do combustível fóssil e diminuir o risco de imprevistos, como o acidente de Chernobyl, a União Europeia decidiu colocar metas para investimentos em energias renováveis até 2020.

No começo dos anos 2000 a Alemanha tornou-se líder na geração de energia eólica, cerca de 13.000MW instalado em 2003, na mesma época a Espanha possuía 4.800MW e a Dinamarca 2.300MW. Em 2011 o Brasil atinge a marca de 1GW de geração de energia eólica.

De acordo com a EWEA (European Wind Energy Association - Associação Europeia de Energia Eólica) até 2020 serão gerados cerca de 446.000 empregos na área e serão 230 GW instalado na Europa.

2.3. O AEROGERADOR

Figura 2: Aerogerador e seus principais componentes.



Fonte: Brochura SWT 2.3 101 - siemens.com/wind (2012)

Tabela 1: Elaborada pela autora com base nas informações da brochura da SWT 2.3 101 (Siemens Wind Turbine) (2012)

1	Carenagem / cubo / nariz	11	Gerador
2	Suporte da carenagem	12	Grua de serviço
3	Pá	13	Sensores meteorológico
4	Rolamento do <i>Pitch</i> (passo)	14	Torre
5	<i>Hub</i>	15	Controle de guinada (posicionamento)
6	Rolamento principal	16	Engrenagem de guinada (yaw)
7	Eixo principal	17	Base de apoio (bedframe)
8	Caixa de engrenagem	18	Filtro de óleo
9	Disco de freio (sistema de freio)	19	Cobertura da <i>nacelle</i>
10	Acoplamento	20	Sistema de refrigeração

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 3: O aerogerador SWT 2.3-101.



Fonte: fotografia tirada durante a visita técnica ao site na cidade de Trairi – Ceará (2015).

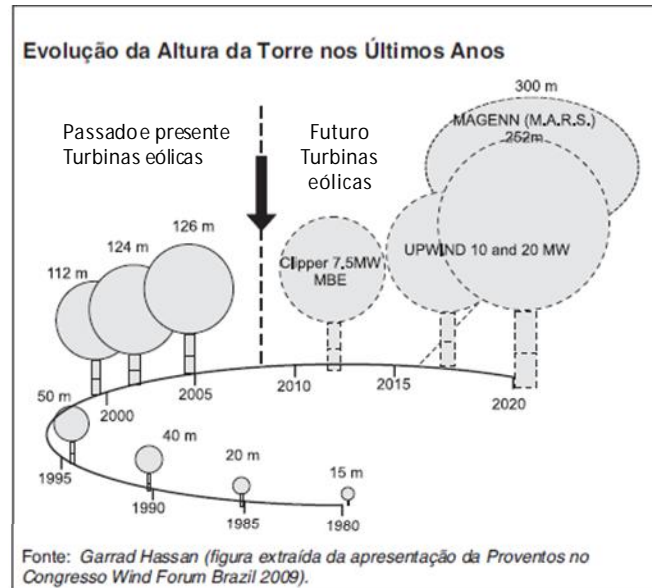
2.3.1. PRINCIPAIS COMPONENTES

Abaixo estão listados os principais componentes para o posterior estudo de Logística Reversa:

- Torre: Existem dois tipos de torres, as mais comuns são as cônicas (de concreto ou aço) e as outras são as treliçadas de aço (lembra uma torre de transmissão). Seu tamanho depende da potência que a turbina irá gerar. A principal vantagem da torre de concreto é a possibilidade de utilização de partes pré-moldadas, facilitando assim o transporte até o local. Uma torre de 80 metros pode ser construída com 4 seguimentos de 20 metros cada um, por exemplo. No seu interior estão os cabos elétricos de transmissão de energia e uma escada tipo marinheiro ou um elevador

para que o operador possa subir até a *nacelle* para realizar inspeção ou manutenção do equipamento.

Figura 4: A evolução dos tamanhos das torres. Nossa tradução



Fonte: Costa, Casotti, Azevedo (2009)

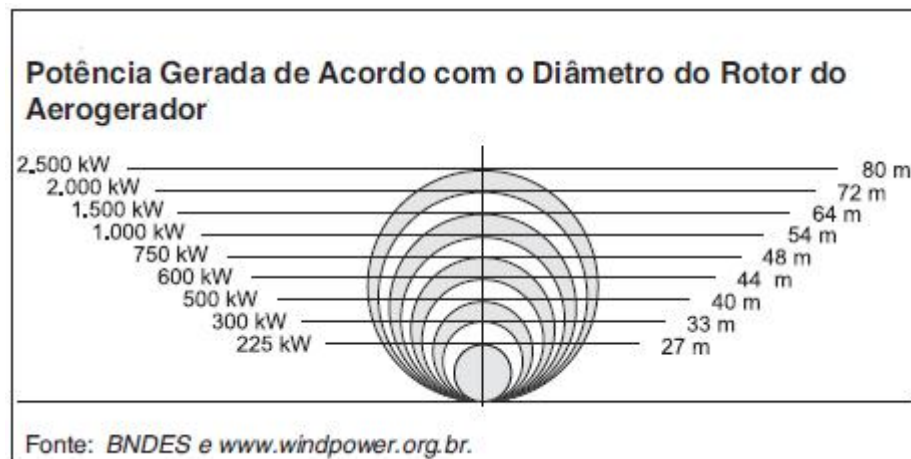
- *Nacelle*: Construída em aço, a *nacelle* é o local onde fica os principais equipamentos do aerogerador. Ela pesa aproximadamente 82 toneladas (sem contar com o peso do rotor).
- Rotor: de eixo horizontal construído em aço com peso aproximado de 62 toneladas. Composto pelas pás, *hub* e cubo (ou nariz)
- *Hub*: Estrutura de aço ou ferro na qual as 3 pás são fixadas.
- Cubo ou Nariz: Estrutura de fibra de vidro normalmente reforçada de epóxi.

Figura 5: *Hub*.

Fonte: website da Sandvik (2016)

- Pás: São construídas em fibra de vidro reforçadas em epóxi ou madeira. Existem algumas pás que possuem fibra de carbono, tornando-as mais leves, porém o preço deste material ainda é alto e torna a fabricação praticamente economicamente inviável. Assim como as torres, o tamanho das pás está relacionado com a potência de geração de energia dos aerogeradores. As maiores pás construídas até o momento possuem o comprimento de 83,5 metros (SSP Technology em parceria com a Samsung Heavy Industries) e 75 metros (Siemens).

Figura 6: Potência gerada de acordo com o diâmetro do rotor do aerogerador



Fonte: Costa, Casotti, Azevedo (2009)

- Caixa de engrenagem: responsável por sincronizar a baixa velocidade da turbina com a alta velocidade do gerador. Construída em aço e lubrificada com óleo ou graxa. Possui um reservatório de óleo hidráulico.
- Gerador: É o equipamento responsável pela geração de energia elétrica. Ele é composto principalmente de aço, óleo hidráulico e cabos elétricos.

3. EÓLICA NO BRASIL

Desde a crise do petróleo na década de 70, o investimento em energias renováveis vem crescendo, porém, até hoje, a dependência por petróleo continua grande e substituí-lo completamente, infelizmente, não parece ser uma realidade. Contudo, por causa do impacto ambiental das hidrelétricas e a crise hídrica dos últimos anos o investimento em outras fontes de energia vem aumentando, principalmente na energia eólica.

Foi somente em 1993 que a primeira turbina eólica foi instalada em solo brasileiro, na ilha de Fernando de Noronha a qual gerava apenas 75kW. 10 anos depois tínhamos 24 MW instalado.

De acordo com o primeiro atlas de potencial eólico brasileiro publicado pelo CEPEL/ELETROBRAS (Centro de Investigação Elétrica / Companhia Elétrica Brasileira) em 2001 a capacidade do Brasil é de aproximadamente 143GW (a 50m de altura), sendo a região nordeste, sudeste e sul do país os locais com melhores ventos.

Com o intuito de aumentar a capacidade eólica instalada em aproximadamente 1GW e promover desenvolvimento energético, ambiental e social nacional, a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica 43 – GCE criou o "PROEOLICA" (Programa Emergencial de Energia Eólica), porém por causa da falta de incentivo fiscal ele não foi eficiente. Este programa, não teve infelizmente todos os seus objetivos alcançados, mas permitiu que empresas multinacionais investissem no mercado brasileiro.

Em 2004 outro programa foi criado, o "PROINFA" (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), priorizando as fontes renováveis (eólica, biomassa e PCHs), que resultou em 3.300MW de capacidade instalada dividida em 140 parques eólicos até o fim de 2013.

Além disso, existem os leilões de energia, nos quais a energia eólica vem se destacando nos últimos anos. Os leilões acontecem cerca de 3 ou 4 leilões por ano,

dependendo da demanda energética e investimentos governamentais. O primeiro leilão exclusivo de energia eólica foi em dezembro de 2009, com a contratação de 71 projetos por R\$ 148,39/MWh. Em dezembro de 2012 foi registrado o menor valor negociado, por R\$ 87,94/MWh, isso fez com que somente 10 projetos fossem viabilizando economicamente. O último leilão de eólica foi em novembro de 2015, negociada à R\$ 203,46/MWh com contrato de 20 anos.

Por causa dos últimos leilões e incentivos do governo, muitas empresas europeias e de outros países se interessaram em investir neste ramo de atividade no Brasil, principalmente com o empréstimo do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). Então, para garantir o desenvolvimento nacional o BNDES adicionou uma condição para os empréstimos, que 60% do material (componentes) deveriam ser nacionais. Como consequência, diversas empresas abriram fabricas no Brasil, localizadas na Bahia, Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte, São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná.

De acordo com as últimas notícias da ABEEólica (Associação Brasileira de Energia Eólica) o Brasil possui 349 usinas instaladas somando uma capacidade de 8,71GW, e este ano chegará à 10GW de potência. Se considerarmos uma média de potência por turbina de 2MW, até o fim deste ano teremos 5.000 turbinas em operação com vida útil de aproximadamente 20 anos (de acordo com os fornecedores). Após este período os fabricantes e importadores serão responsáveis pela destinação ambientalmente correta dos equipamentos, de acordo com a legislação brasileira.

4. LOGÍSTICA REVERSA

A tecnologia é uma das melhores soluções de nosso dia a dia. Diariamente novos equipamentos são lançados ao mercado para facilitar nossas tarefas diárias e melhorar nossa qualidade de vida. Porém, toda esta regalia tem seu preço: o consumismo e a imensa geração de resíduos.

Mensalmente milhares de celulares, computadores, tabletes, etc., são considerados obsoletos por seus proprietários pelo simples fato de não serem o último modelo lançado no mercado. O lado bom de tudo isso é a movimentação do mercado, conhecida também como "a mão invisível", onde a população compra mais, aumentando a venda e a fabricação, e conseqüentemente, a geração de empregos. O lado ruim é a disposição deste material, ou seja, onde os consumidores estão descartando todo este "lixo tecnológico", a maioria dos resíduos vão para aterros sanitários (possuem estrutura para não permitir a contaminação do solo pelo chorume - líquido proveniente da degradação dos resíduos- e cuidado com os gases gerados) ou até mesmo lixões (não possuem nenhuma estrutura, ou seja, altamente contaminador).

Os aerogeradores, transformadores, geradores, etc., não são diferentes. Apesar de não serem substituídos com frequência, devem ser destinados ambientalmente corretos quando descartados por seus usuários, seja por troca por um equipamento mais novo, quebra ou por fim de sua vida útil.

A maioria dos equipamentos eletroeletrônicos possui substâncias que podem ser prejudiciais à saúde e ao meio ambiente se não manuseadas corretamente. Para evitar que todos os eletrônicos fossem para o aterro sanitário (ou lixões) e que pudessem se tornar um risco sanitário e ambiental, os países estão estabelecendo leis que institui responsabilidades aos fabricantes (na maioria dos casos) pelo recolhimento dos equipamentos e a sua destinação ambientalmente correta (conhecida como "Logística Reversa de equipamentos no fim de vida útil").

Os principais objetivos da Logística Reversa são melhorar o sistema de gestão de resíduos (melhorar o sistema de coleta de resíduos nos municípios, aumentar a vida útil dos aterros sanitários, aumentar o índice de reciclagem municipal, etc), transferir a responsabilidade (principalmente a financeira) dos municípios para as empresas (uma vez que elas serão as responsáveis pela coleta e destinação ambientalmente correta dos resíduos), aumentar a eficiência no consumo de recursos naturais (pois irá aumentar o reuso, reciclagem, tratamento térmico para fins de recuperação energética e diminuindo envio de resíduos para disposição) e estimular a fabricação de produtos mais ambientalmente amigáveis (o fabricante provavelmente irá optar por matérias primas mais facilmente recicláveis, já que após o uso ele será responsável pela destinação e tratamento; redução de embalagem).

4.1. LEI DA LOGÍSTICA REVERSA NA EUROPA, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA E CHINA

4.1.1. UNIÃO EUROPEIA - "*WEEE DIRECTIVE*"

Em fevereiro de 2003 o Parlamento Europeu decretou a Política Ambiental da Comunidade Europeia. Seus principais objetivos são a preservação e proteção ambiental e a melhoria da qualidade do meio ambiente, além da proteção à saúde pública e utilização consciente dos recursos naturais.

De acordo com esta lei, somadas as diretivas relacionadas ao assunto (2008/98/CE – gestão de resíduos; 2006/66/CE – pilhas e baterias; 94/62/CE – embalagens e seus resíduos; 2000/53/CE – veículos; 2002/96/CE – eletroeletrônicos), os consumidores também possuem um papel chave nesta política, devem colaborar com os comerciantes e fabricantes, devolvendo corretamente os equipamentos para posterior destinação ambientalmente correta. Porém o custo da destinação dos equipamentos fica para o fabricante para equipamentos vendidos antes da data de entrada em vigor (13/08/2005) e os equipamentos vendidos após esta data poderá ter em sua nota fiscal o custo real da destinação ambientalmente correta (responsabilidade estendida ao consumidor).

Os equipamentos devem ser desmontados, se necessário, e atualizados para serem reutilizados. Quando isso não for possível, deverão ser reciclados, para que possa ser evitado o consumo de matéria prima virgem. Se mesmo assim, não houver alternativa, deve ser coprocessado para recuperação energético (geração de energia elétrica, aquecimento de água, etc.) e somente após todas as alternativas anteriores não sejam possíveis, o material pode ser destinado para aterro sanitário.

Para que tudo isso ocorra, o governo incentiva os produtores a reutilizarem seus produtos e utilizar material reciclado em produtos novos.

4.1.2. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA - "E-WASTE LAW"

Apesar da U.S.EPA (United State - Environmental Protection Agency - Agência de Proteção Ambiental Americana, em português) definir os tipos resíduos, suas características, assim como considerar "resíduos universais" baterias, pesticidas, equipamentos que contenham mercúrio e lâmpadas (todos possuem normas federais), não existe uma lei federal no país que obrigue fabricantes a recolherem os lixos eletrônicos.

Porém até 2014, 25 estados aderiram ao movimento mundial e criaram uma lei com este objetivo. Os primeiros estados foram Oregon em 1972, Vermont em 73, Michigan, Maine e Iowa em 1978, Connecticut em 80, Nova Iorque, Massachusetts e Delaware em 83, Califórnia em 1987, Havaí em 2005, entre outros.

As leis norte-americanas, assim como a europeia, não abrangem ainda 100% dos eletroeletrônicos. A maioria das leis estão focadas nos eletroeletrônicos domésticos e corporativos de pequeno porte, como por exemplo, telefone, televisões, computadores, geladeiras, fogões, etc.

Algumas leis autorizam os fabricantes a repassarem o custo de destinação ambientalmente correta aos consumidores, total ou parcialmente. Também prioriza a redução, reutilização e reciclagem dos equipamentos no fim de sua vida útil.

Em Minnesota, possui um caso específico de parques eólicos, é exigido um depósito de fundos para o governo, o qual só será devolvido ao do dono do parque após o correto descomissionamento. (Machuca, 2015)

4.1.3. CHINA – LEI NÚMERO 551

A lei estabelecida em 2008 com data de entrada em vigor em 2011 incentiva os fabricantes de equipamentos eletroeletrônico a reutilizar e reciclar os produtos no fim de sua vida útil. Para aqueles que não podem ser reutilizados ou reciclados, poderão ser destinados a aterros sanitários, porém o fabricante necessitará de uma licença especial.

Os equipamentos atualizados (reutilizados) deverão conter em local visível o aviso de "equipamento de segunda mão", além de seguir as leis locais de qualidade.

Diferente as outras leis, na China o custo do descarte será pago por todos os fabricantes e importadores atrás de um fundo. Mas a regulamentação não libera ou proíbe um repasse deste custo aos consumidores.

4.2. LEI DA LOGÍSTICA REVERSA NO BRASIL

A lei número 12.305 de 02 de agosto de 2010 "institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispoendo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, as responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis" (Artigo 1º da lei). Ou seja, tem como principais objetivos a prevenção e precaução a poluição, o princípio de poluidor-pagador e o protetor-recebedor e incentivo ao desenvolvimento socioambiental do país.

Além de estabelecer diretrizes para os municípios referente a gestão de resíduos, a lei também estabelece que as empresas possuem um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) gerados durante a fabricação de seus produtos (seção V da lei). A legislação também obriga que este plano possua um responsável técnico

capacitado e que a empresa prioriza a redução do consumo de recursos naturais, reutilização de produtos e matéria prima (considerado como "não geração de resíduos") e que incentive a reciclagem.

Na seção II desta lei, define-se a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, abrangendo desde os fabricantes até os consumidores finais e os responsáveis pela limpeza urbana e de manejo de resíduos.

O artigo 31 estabelece as responsabilidades dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de investirem no desenvolvimento dos produtos e embalagens para que estes possam ser fabricados com a menor utilização possível de recursos naturais e que, após o término de sua vida útil, possam ser reutilizados ou reciclados, diminuindo assim a quantidade de resíduos gerados.

Para que a reciclagem dos produtos utilizados ocorra, é obrigatório a estruturação de procedimentos e implementação de sistema de logística reversa, independentemente se houver um serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos na região.

E para que estes resíduos sejam recolhidos, postos de entregas devem ser criados para que os consumidores (pessoa física) possam depositar seus resíduos. Os fabricantes, distribuidores, importadores e comerciantes devem garantir que os resíduos entregues nos ferros velhos e postos de reciclagem também recebam o destino ambientalmente corretos. Para isso, os responsáveis devem atuar em parceria com cooperativas ou outras associações de catadores de materiais, a fim de garantir a segurança e saúde destes trabalhadores e proteção do meio ambiente.

Diferente as legislações da União Europeia, Estados Unidos da América e China, a legislação brasileira abrange muitos resíduos (pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes e seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; e produtos eletroeletrônicos e seus componentes), e suas embalagens. Por se tratar de uma grande quantidade e tipo de resíduos totalmente diferentes, o decreto número 7.404 de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta a lei número 12.305, estabelece normas para a execução da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Ele define que os sistemas de Logística Reversa deverão ser implementados e

operacionalizados por meio de acordos setoriais, ou por regulamentos expedidos pelo Poder Público ou por termos de compromisso. Também obriga o estabelecimento de metas de recolhimento e destinação ambientalmente correta.

Para os equipamentos eletroeletrônicos está sendo estabelecido um acordo setorial, o qual está sendo acompanhado pelas associações de classe, como por exemplo, a ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica). A previsão da aprovação do acordo setorial pelo Ministério do Meio Ambiente é até o meio de 2016. A meta de recolhimento dos eletroeletrônicos (EE) é de em até 5 anos recolher 17% do total de equipamentos vendidos no ano anterior da assinatura do acordo setorial.

Os principais desafios para o setor industrial de EE na gestão de seus produtos no fim de vida útil são:

- O custo do recolhimento e destinação ambientalmente adequada - uma vez que este tópico não é referenciado na legislação, entende-se que este custo pode ser repassado para o consumidor (ou parte dele);

- Legislações estaduais ou municipais estão sendo estipuladas com diretrizes e metas mais restritivas e com obrigações diferentes, tornando a implantação da logística reversa complicada para fabricantes, importadores, distribuidoras e comerciantes;

- O transporte interestadual do produto ou resíduo (se assim forem considerados pelo Ministério do Meio Ambiente) será um desafio, uma vez que cada estado possui uma legislação. Por exemplo, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) estabelece normas para a movimentação de resíduos dentro do estado de São Paulo. Ou seja, todos os fabricantes deveram solicitar CADRIs (Certificados de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental) para movimentação destes produtos ou resíduos e se diferente em outro estado deverão seguir a legislação vigente local.

- A legislação obriga aqueles que assinarem o acordo setorial serão responsáveis por cumpri-lo. Porém não obriga aqueles que não o assinarem a cumprir a legislação. Ou seja, sem uma fiscalização abrangente, algumas empresas podem não

cumprir a legislação, tornando seu equipamento mais barato para o consumidor (não teria o custo da logística reversa e não passaria este custo ao consumidor).

- A propriedade do bem é outra barreira. Uma vez que o cliente comprou aquele equipamento ele passa a ser um ativo da empresa ou de propriedade da pessoa física. Não foi definido como será repassado para o fabricante o bem de volta.

Apesar do acordo setorial ainda não ter sido assinado, muitas empresas deste setor já possuem seus procedimentos de logística reversa e algumas já implementaram seus postos de coletas de produtos pós consumo.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - SOLUÇÕES PARA OS AEROGERADORES NO FIM DE VIDA UTIL

Apesar deste estudo ser focado em descomissionamento e logística reversa dos aerogeradores, procurei verificar alternativas que diminuísse o impacto ambiental e tivesse vantagens econômicas da geração de energia eólica.

As melhores alternativas para prolongar a vida útil de um equipamento é a manutenção preventiva e a reforma durante sua vida útil.

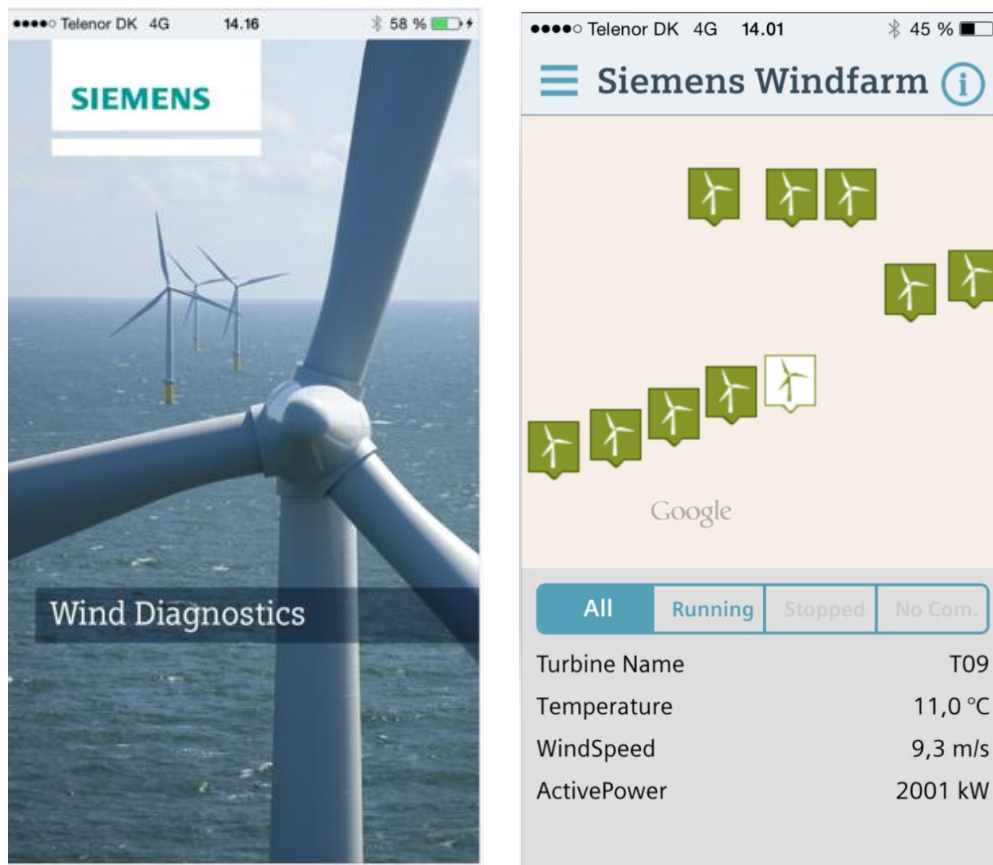
De acordo com Puglari (2013, nossa tradução) o custo de manutenção dos aerogeradores pode diminuir bastante quando estes possuem o Sistema de Controle de Manutenção. Este sistema verifica automaticamente os equipamentos da turbina e avisa quando algo pode não estar dentro dos padrões. Assim, tornando as manutenções preventivas esporádicas, somente sendo realizadas quando o sistema detecta algo.

Este sistema possui sensores que monitoram variáveis físicas, tais como temperatura, velocidade do vento, kWh produzido em tempo real. Caso tenha algo diferente do padrão, o operador pode decidir qual serão os próximos passos imediatamente.

A maioria das empresas que vendem aerogeradores, também vendem este tipo de solução. A Siemens possui um sistema de monitoramento de diagnóstico, onde o operador e responsáveis podem acompanhar estes dados pelo celular (Aplicativo “*Siemens Wind Diagnostics*”).

Este aplicativo mostra tanto informações gerais do site, como turbina por turbina (figura abaixo).

Figura 7: Aplicativo Siemens Wind Diagnostics.



Fonte: Apple Store.

Tradução: Diagnóstico do vento; Siemens Parque Eólico; Nome da turbina, Temperatura; Velocidade do Vento; Potência ativa

5.1. REPOTENCIAÇÃO

Repotenciação é a atividade de realizar a troca de uma turbina antiga por uma mais moderna, e na maioria das vezes, de maior potência.

O processo de repotenciação, na maioria dos casos, ocorre durante sua operação, normalmente 10 anos depois de seu comissionamento, as turbinas são paradas e trocadas ou modificadas uma a uma, mantendo o parque funcionando normalmente. Também existe a possibilidade de realizar a repotenciação do parque após a vida útil dos aerogeradores.

Porém isso só poderá ocorrer se o proprietário do terreno autorizar a continuação do uso do solo, pois normalmente o contrato tem a duração de 20 anos e os novos aerogeradores terão uma vida útil maior que o tempo vigência do contrato, quando trocados com 10 anos de uso.

As vantagens de repotenciação são o aumento da potência gerada no parque, uma vez que poderão ser colocadas máquinas com maior capacidade, aumento da eficiência e diminuição do custo de manutenção por serem equipamentos novos. Irá gerar mais energia com impacto ambiental quase mínimo. Outra vantagem econômica é que a infraestrutura do parque já está pronta, e normalmente paga.

Na Alemanha, na Dinamarca e na Holanda a energia eólica já está tão difundida que não existem tantos lugares apropriados para novos parques, sendo a potenciação a melhor alternativa.

Existe um incentivo na Alemanha para esta atividade. Em 2011, 170 aerogeradores (capacidade total de 123MW) foram trocados por 95 novas turbinas (238MW). Na Dinamarca esse programa incentivou, entre 2001 e 2003, a troca de 1480 turbinas (122MW) por 272 novos aerogeradores (332 MW), aproximadamente 2/3 dos aerogeradores mais velhos do país. (Ortegon, Nies, Sutherland,2012 e Welstead et al.,2013, nossa tradução)

No Brasil ainda não foi encontrado nenhum caso de repotenciação. A Resolução da ANEEL nº 112 de 18 de maio de 1999, “estabelece os requisitos necessários à obtenção de registro ou autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia” (Resolução da ANEEL nº 112/99).

De acordo com esta resolução, para que o proprietário possa realizar a repotenciação do parque, ele deve seguir com os mesmos tramites anteriores (implantação). Não está claro na lei se é necessário um novo estudo de impacto ambiental e de viabilidade econômica e, como mencionado, não foi encontrado nenhum caso de repotenciação no Brasil.

As máquinas antigas, podem ser remanufaturadas, ou seja, passarem por um processo de vistoria e reforma, se necessário, e depois vendidas. Alguns acadêmicos acreditam que a remanufatura (ou *retrofit*) dos aerogeradores pode gerar uma estratégia "ganha-ganha" nos aspectos econômicos e ambientais. Acredita-se que o motivo que irá incentivar esta estratégia será a questão econômica, Market Share, proteção da tecnologia e por solicitação dos clientes.

Outra alternativa é realizar o *retrofit* nas máquinas e as reinstalarem nos parques. Isso poderá melhorar o rendimento dos aerogeradores e diminuir os custos com manutenção.

A viabilidade ambiental é um dos pontos-chaves da repotenciação. O impacto ambiental será praticamente mínimo, quando há a possibilidade da utilização da infraestrutura do parque já instalada, assim a movimentação de caminhões será somente para o transporte das *nacelles* (novas e antigas) e pás, estas se necessária a troca.

Caso seja escolhida a troca por aerogeradores mais potentes, aumentando a potência instalada do parque, provavelmente será necessária a modificação da infraestrutura, para comportar a nova potência. Neste caso deverá ser realizado o estudo de viabilidade econômica e ambiental novamente, pois o impacto ambiental poderá ser de magnitude igual ou pouco inferior ao impacto ambiental gerado durante o comissionamento.

Há a possibilidade também de diminuir a quantidade de aerogeradores, mantendo a mesma potência instalada. Esta pode ser uma alternativa viável ambientalmente e economicamente. Diminui o valor de manutenção (menor número de máquinas), não serão necessárias a adição de infraestrutura, como cabeamento e transformador da subestação elevadora e pode utilizar as torres já existentes.

Para a realização do estudo de repotenciação, hoje em dia existem alguns softwares que simulam os ventos e a geração de energia, como por exemplo o WAsP e o WindPRO. Daqui 10 ou 20 anos, existiram programas mais avançados que tornaram a repotenciação (e o novos projetos) ainda mais eficiente e viável.

Tabela 2: Vantagens de desvantagens da repotenciação.

Vantagens	Desvantagens
Aumento da potência gerada	Movimentação de caminhões na metade da vida útil do parque
Menor custo de manutenção	Maior potência – Adequação da infraestrutura
Mesma potência – Infraestrutura pronta e paga	

Fonte: Elaborada pela autora.

5.2. REMANUFATURA (*RETROFIT*) E REVENDA DE AEROGERADOR

Antes de começar o processo de desmontagem, deve-se verificar se existe algum problema nos equipamentos, como por exemplo, vazamento de óleo. A segunda etapa é a retirada da *nacelle* e em seguida transporte até o local de *retrofit*.

5.2.1. AS PÁS E O EIXO PRINCIPAL

Deverão ser realizados testes na estrutura para verificar se a resistência e a superfície estão adequadas para reuso (mais detalhes no item de reutilização das pás eólica no sistema de logística reversa).

Deverão ser tirados os rolamentos do eixo principal, balanceados e testados. Os rolamentos poderão ser reutilizados se verificados que estão ainda em condição de uso.

5.2.2. NACELLE E BASE DOS EQUIPAMENTO (*BEDFRAME*)

Após a retirada de todos os equipamentos (gerador, caixa de engrenagem, luz e dispositivos) a *nacelle* pode ser limpa com água quente pressurizada e depois

inspecionada. Caso seja necessário, poderá utilizar uma nova camada de produto para acabamento.

Já a base de apoio (*Bedframe*), deve ser limpa com água quente em alta pressão e solventes biodegradáveis, passa por um processo de vistoria para verificar danificações no aço galvanizado. De acordo com estudos, este material é super-resistente, então não há grandes problemas em reutilizá-lo.

5.2.3. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DA NACELLE

O motor de guinada e mecanismo de *pitch* deverão ser inspecionados e traçados, se necessário.

Provavelmente os freios deverão ser reconstruídos e calibrados.

O gerador deverá ser desmontado e suas peças inspecionadas, somente após este processo que o gerador poderá ser testado novamente.

A caixa de engrenagem deverá passar por testes de vibração, análise do óleo, etc. Somente depois desta etapa que se inicia a fase de desmontagem do equipamento, verificando se existe alguma alteração nas peças. Provavelmente será necessário a troca do filtro de óleo e do próprio óleo. Se não encontrado nenhuma alteração, o equipamento é remontado, pintado e está pronto para reutilização.

O transformador deve ser limpo, inspecionado e desmontado. Verificam a necessidade da troca de alguns componentes e depois deste processo o transformador é remontado.

5.2.4. TORRE

Deverá passar por uma inspeção e recoberta com uma tinta protetora.

5.2.5. REVENDA DE AEROGERADOR REMANUFATURADO

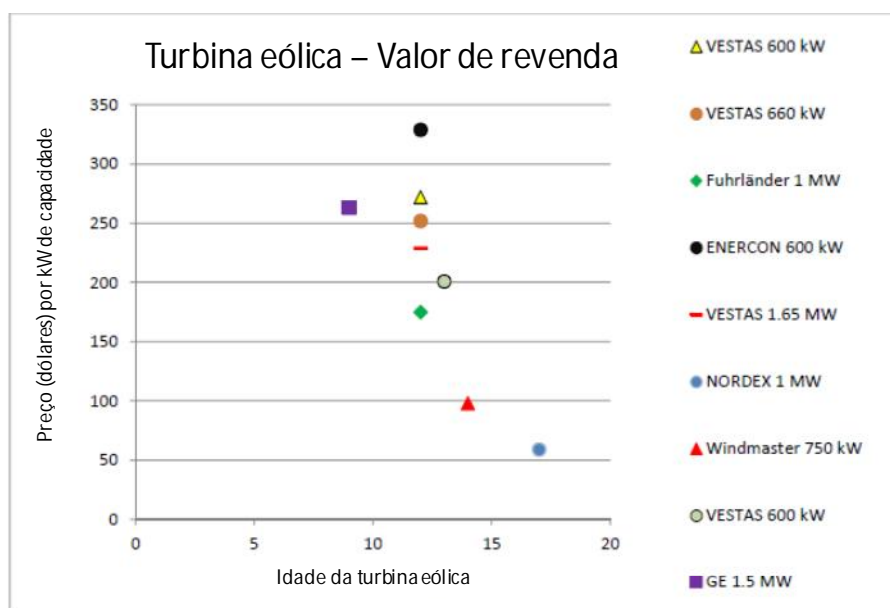
De acordo com estudos, a remanufatura de um aerogerador de 2MW pode evitar o consumo de 70% de energia elétrica na produção de uma nova máquina, isso significa evitar a emissão atmosférica de aproximadamente 862 toneladas de CO2 equivalentes. E, em geral, é praticamente 50% menos impactante. (Ortegon, Nies, Sutherland,2012 e Skrainka,2012, nossa tradução)

A turbina remanufaturada pode ser vendida pela metade do preço de uma nova e uma média de 5 anos de garantia. (Ortegon, Nies, Sutherland,2012, nossa tradução)

Uma alternativa de revenda do aerogeradores remanufaturados pode ser para serem utilizados em comunidades ou aldeias indígenas (muitas utilizam gerador a diesel para a geração de energia elétrica ou sem acesso ao Sistema Interligado Nacional - SIN) ou produtores agrícolas e empresários que queiram investir em geração distribuída ou ainda serem vendidos para países subdesenvolvidos.

A AECOM (2012) realizou uma pesquisa de preço de venda de aerogeradores remanufaturados:

Figura 8: Revenda de turbina. Nossa tradução



Fonte: AECOM (2012)

Este tipo de atividade não foi realizado ainda aqui no Brasil, pois a energia eólica é considerada nova e não possui parques que já possam passar por repotenciação ou equipamentos que já passaram por remanufatura.

Tabela 3: Vantagens de desvantagens do *retrofit*.

Vantagens	Desvantagens
Menor consumo de energia quando comparado com a fabricação	Menor vida útil do equipamento
Comunidades e Aldeias - Acesso à energia	

Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.6. ESTUDO DE CASO – ISLE OF GIGHA (Welstead et al., 2013, nossa tradução)

A ilha *Gigha* no oeste da Escócia foi um dos primeiros compradores de aerogeradores remanufaturados. As 3 turbinas, comparadas em 2004, geram 675kW quase toda energia necessária para consumo de toda a ilha, diminuindo radicalmente sua pegada de carbono, pois antes das turbinas, a energia elétrica era gerada por geradores a diesel.

Vantagens: mais baratas (aproximadamente 40% menos do preço original), por serem menores (menor tamanho), as chances de conseguirem autorização do governo/órgão ambiental para a instalação são maiores.

Sabe-se que a empresa holandesa Windbrokers já revendeu aerogeradores para a GlaxoSmithKline e Nissan Motor, para que estas pudessem gerar a sua própria energia, diminuindo seu impacto ambiental, ou seja, diminuindo sua pegada de carbono.

5.3. DESCOMISSIONAMENTO DOS AEROGERADORES

Ainda não existem muitos trabalhos relacionados ao tema de descomissionamento total pelo fato de ser uma tecnologia considerada recente e das turbinas eólicas durarem mais de 20 anos. E os parques antigos são repotenciados (ou seja, é retirado somente a *nacelle* e o rotor e recolocados).

A desativação de um parque eólico pode ocorrer por causa do fim de seu contrato de compra e venda de energia, e/ou fim do contrato de arrendamento do terreno (entre o empreendedor e o proprietário do terreno) e/ou o fim da vida útil dos equipamentos.

O processo de descomissionamento das turbinas deve ser realizado da maneira inversa do processo de comissionamento, ou seja, retirando primeiramente as pás, depois a *nacelle*, a torre e por último a fundação, colocando solo no buraco deixado pela retirada da fundação e replantando a vegetação impactada, se necessário.

O ecossistema deverá ainda ser monitorado por aproximadamente 2 anos. (Ortegon, Nies, Sutherland, 2012, nossa tradução)

Todas as instalações construídas para o monitoramento e manutenção do parque deverá ser retirado do local. Assim como o estudo de impacto da retirada de vias construídas para o acesso do local e todas as outras infraestruturas construídas.

Os benefícios ambientais da reciclagem dos equipamentos no fim de sua vida útil são muito maiores do que as vantagens econômicas. Este processo diminui a pegada de hídrica (estudos de impactos causados pelo consumo de água) e de carbono (estudos de impactos causados pelo consumo de energia elétrica) das empresas que utilizam este material. Além de poupar o consumo de matéria prima virgem e mitigar a possibilidades de uma escassez.

Ortegon, Nies, Sutherland (2012, nossa tradução) realizaram um estudo de custos envolvidos no descomissionamento de aerogeradores.

Tabela 4: Custo do descomissionamento por aerogerador, por MW e por kWh. Nossa tradução.

	Record Hill (Maine-2009)	Spruce Mountain (Maine-2010)	Buffalo Ridge II (S. Dakota-2008)
Tamanho do projeto (MW)	55	22	306
Vida útil (anos)	20	20	30
Números de aerogeradores	22	11	160
Capacidade instalada	2.5	2	2
Custo de descomissionamento por turbina	\$ 148.600,00	\$ 117.000,00	\$ 90.805,00
Valor residual por turbina	\$ (113.658,00)	\$ (90.268,00)	\$ (79.355,00)
Valor líquido do descomissionamento por turbina (a)	\$ 34.942,00	\$ 26.732,00	\$ 11.450,00
Valor total de descomissionamento do projeto	\$ 828.224,00	\$349.052,00	\$ 1.832.000,00
Custo de descomissionamento por MW	\$ 15.059,00	\$ 15.866,00	\$ 5.987,00
Produção anual de energia (kWh/ano)	\$ 130.000.000,00	\$ 55.000.000,00	\$ 938.196.000,00
Custo de descomissionamento por kWh	\$ 0,01	\$ 0,01	\$ 0,002
Fonte	(MDEP, 2010a)	(MDEP, 2010b)	(Iberdrola Renewables, 2008)

(a) Custo de descomissionamento: incluindo montagem e desmontagem da grua, remoção do aerogerador, desmontagem e transporte dos seus componentes, remoção dos componentes eletrônicos, demolição da fundação e recuperação do solo.

Fonte: Ortegon, Nies, Sutherland (2012)

Infelizmente a receita proveniente da venda da sucata gerada é menor que os custos do descomissionamento do aerogeradores. Isso tornará a ser um custo para o fabricante de aerogeradores. Por outro lado, poderá incentivar a venda de turbinas remanufaturadas.

De acordo com estudos realizados para o descomissionamento do Parque eólico Black Oak em Enfield, New York, o custo de seu descomissionamento será de \$50.000,00 a \$45.000,00 por turbina (valor líquido), este custo dependerá do valor de venda do aço.

Knauth,1997 apud Paul Gipe, (2011, nossa tradução), estima que o custo de descomissionamento é de \$20 a \$650 por kW instalado.

Já as turbinas *offshore* (fora da costa, ou seja, no mar) possuem um processo mais complexo, por causa de sua localização. Também não existem muitos trabalhos referente a este tema, mas a técnica que está sendo utilizada para descomissionamento de plataforma de extração de petróleo, é a utilização de explosivo. O principal problema da utilização desta técnica é o impacto ambiental causado (vibração, ruído, pode espalhar o resíduo pelo mar, perigoso para a segurança das pessoas, etc.).

Smyth et al. (2015, nossa tradução) realizaram um estudo específico sobre a retirada das turbinas *offshore*. Eles utilizaram a análise SWOT (*Strenghts-Forças; Weaknesses-Fraquesas; Opportunities-Oportunidades e Threats-Ameaças*) para verificar as oportunidades e dificuldades que poderão surgir na remoção total e parcial dos aerogeradores *offshore*.

Tabela 5: Análise SWOT de descomissionamento total ou parcial de turbinas *offshore*. Nossa tradução

Análise SWOT	Remoção total da Turbina	Remoção parcial da Turbina
Strengths (Forças)	<ul style="list-style-type: none"> • Retorno da atividade marítima do coloca • Retorno da atividade de pesca • Restauração do habitat anterior, se possível. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor impacto em habitat já desenvolvido ao redor da turbina • Redução do custo de descomissionamento
Weaknesses (Fraquezas)	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos significativos no habitat – perda potencial do habitat criado na turbina • Aumento do custo • Falta de conhecimento de técnicas de descomissionamento de turbinas <i>offshore</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento contínuo dos restantes do parque – custo • Limitado potencial para desenvolver algo no local • Falta de conhecimento de técnicas de descomissionamento de turbinas <i>offshore</i>
Opportunities (Oportunidades)	<ul style="list-style-type: none"> • O site pode ser utilizado novamente, por exemplo, nova dragagem. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização das turbinas como corais artificiais – atraindo peixes, turismos, crustáceos, etc. • Possibilidade de reutilização do local para outras atividades, como por exemplo, criação de crustáceos.
Threats (Ameaças)	<ul style="list-style-type: none"> • Passivo financeiro • Alienação de grupo de usuários 	<ul style="list-style-type: none"> • Possível colisão de navios • Alienação de grupo de usuários

Fonte: Smyth (2015).

5.3.1. PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DA ATIVIDADE DE DESCOMISSIONAMENTO

O descomissionamento de aerogeradores deverá ser estudado e bem planejado, analisando todas as atividades que serão executadas para que não ocorram acidentes e que o impacto ambiental seja o menor possível. Deve-se prever um Plano de Atendimento de Situações Emergenciais e avisar as autoridades locais, como por exemplo, os bombeiros, sobre as atividades e seu grau de risco.

Para começar a planejar as atividades é necessário verificar se:

- EIA / RIMA – Condicionantes para esta atividade: Como por exemplos, apresentação prévia de um plano de descomissionamento contendo: a maneira que deverá ser realizada a atividade, transporte e sinalização de vias, destinação ambientalmente adequada dos equipamentos, se será necessário o monitoramento da área durante e após o descomissionamento ou não, programas sócios-ambientais com os empregados, comunidade e proprietário do terreno, etc.
- Legislações aplicáveis: Em contato com uma empresa de consultoria especializada em legislação ambiental, a qual informou que não existe nenhuma legislação específica para descomissionamento no Brasil, porém existem as Resoluções estaduais (na maioria dos estados) que estabelecem critérios para o licenciamento ambiental de atividades e estabelecimentos efetivos e/ou potencialmente poluidores. De acordo com estas resoluções, apesar de não estar explícito o descomissionamento de aerogeradores, atividades que possam causar degradação ambiental devem ser licenciadas.

Caso nenhum dos dois itens acima listados forem aplicáveis, o plano de descomissionamento poderá ser elaborado somente com a premissa de menor geração de impacto ambiental e social.

Para que a elaboração possa ser a mais assertiva possível, os seguintes itens devem ser levados em consideração:

- Posterior utilização do terreno – Este item afetará as alternativas de descomissionamento, transporte e monitoramento da área pós desmontagem.
- Definição a alternativa de descomissionamento – implosão, maçarico, rompedor hidráulico acoplável, serra ou fio de diamante, argamassa ou cal expansiva, ou com água pressurizada.
- Período a ser realizadas as atividades – Durante o verão ou inverno, tempo húmido (diminui o levantamento de material particulado, mas pode dificultar o tráfego de caminhões grandes e pesados) ou tempo seco.
- Plano de transporte e trafico - A primeira será a verificação das vias de acesso do local. Elas deverão ser inspecionadas e verificadas. Caso necessitem de melhorias, estas devem ser levadas em consideração no planejamento do descomissionamento. O Plano de transporte e tráfico elaborado na fase de comissionamento deverá ser atualizado e utilizado na fase de descomissionamento.
- Levantamento e atendimento das legislações de proteção ambiental, saúde e segurança – Como por exemplo, armazenagem temporária e destinação ambientalmente correta para os resíduos, necessidade (ou não) de um Engenheiro de Segurança do Trabalho para acompanhar as atividades, assim como a necessidade de uma equipe de emergência (brigadistas e enfermeiros).
- Definição da existência de uma área de desmontagem ou de armazenamento temporário para facilitar e organizar o descomissionamento do parque e posterior transporte.
- Possuir um plano de atendimento a situações emergenciais e avisar os bombeiros sobre a atividade.

5.3.1.1. DESCOMISSIONAMENTO DOS AEROGERADORES

Como já mencionado anteriormente, os aerogeradores e as subestações serão desmontados na ordem inversa de sua montagem.

1º deve-se desligar qualquer fonte de energia do aerogerador. Deve-se verificar se a subestação unitária está desenergizada. Desligamento dos cabos da subestação unitária (local onde fica o transformador próximo ao aerogerador, pode ter também painel de média tensão) e do barramento da turbina.

2º deve-se remover os equipamentos da subestação unitária, assim como desmontá-la.

3º instalação adequada e segura do guindaste próximo ao aerogerador. E certificar-se que somente pessoas autorizadas e treinadas estejam no local, assim como expor o mínimo de pessoas possível à situação perigosa. Deve-se verificar a necessidade e possibilidade da instalação de proteção de queda de materiais e sedimentos.

4º dentro do aerogerador, deve-se desconectar conexões eletrônicas e físicas para a remoção do rotor (cone, *hub* e pás). Este deve ser colocado no chão. As pás, o cone e o *hub* devem ser separados para facilitar o transporte.

5º deve-se desconectar a *nacelle* para a sua retirada da torre. Deve-se verificar se há vazamentos de óleo e se possível retirar os óleos dos equipamentos (como por exemplo da caixa de engrenagem e sistema de lubrificação) para evitar qualquer possível contaminação do solo durante o transporte dos equipamentos.

6º para que a torre possa ser removida, primeiro deve-se retirar os cabos internos, plataforma e escada ou elevador, assim como qualquer outro equipamento que possa dificultar a atividades (iluminação interna da torre, por exemplo).

Para o descomissionamento da torre foram encontradas as seguintes alternativas:

- a. Implosão: Coloca-se dinamite na base da torre e a torre é derrubada (com ou sem a *nacelle*), porem esta atividade deve ser realizada com muito mais cautela para não aumentar o impacto ambiental e causar acidentes.

Figura 9: Implosão de uma turbina eólica.



Fonte: <http://www.implosionworld.com/recent.htm> (acessado em 19/05/2016)

Para as demais alternativas a remoção deve ser realizada com o auxílio de uma grua ou guindaste. Se realizada em seções, a desmontagem deve ser feita na maneira inversa da instalação, descendo as partes até o chão.

Figura 10: Montagem de uma torre de aço.



Fonte: <http://www.bsm.com.br/projetos-especiais/eolica> (último acesso em 08/05/2016)

Figura 11: Seção da torre de aço.



Fonte: http://www.siemens.co.uk/en/news_press/index/news_archive/siemens-boosts-local-business-with-new-towers-contract.htm (acessado em 19/05/2016)

Figura 12: Peças da torre pré-moldada de concreto.



Fonte: Website Portal dos Equipamentos – Eplas.

- b. Maçarico: Para as torres de aço, a melhor alternativa é o maçarico.

Figura 13: Utilização de um maçarico para torres de aço.



Fonte: Welstead et al. (2013)

- c. Utilizar um rompedor hidráulico acoplável: O rompedor pode ser encaixado em uma escavadeira de longo alcance. As mais comuns chegam à 20 metros. Utilizando a grua ou guindaste para segurar as partes do meio e superior da torre, o rompedor é utilizado na área de encaixe da torre para quebrar esta área e desencachar as partes do meio e superior da peça base (inferior) da torre. Com a parte superior no chão, o rompedor pode ser utilizado novamente para separar a parte do meio da parte superior.

Na figura 10 vemos a montagem de uma torre. O guindaste erguendo a parte superior para encaixá-la na parte do meio. Para a utilização do Rompedor hidráulico acoplado à escavadeira de braço longo (até 20 metros), o guindaste terá que suportar o peso das partes do meio e superior da torre.

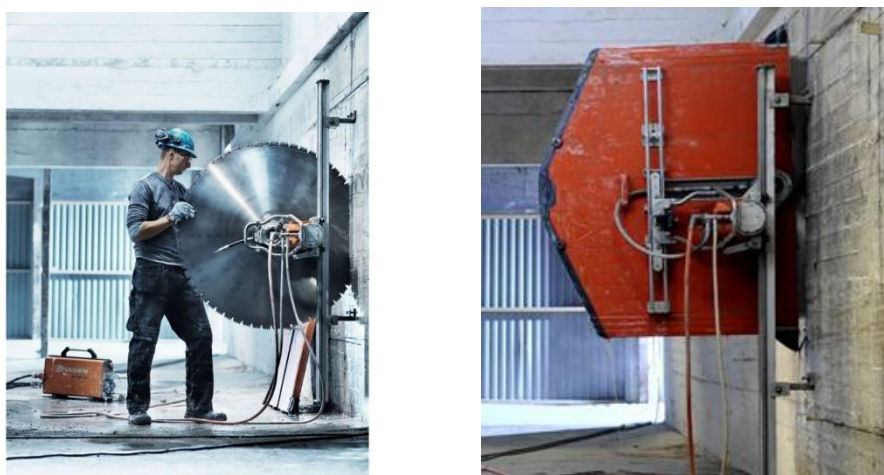
Figura 14: Rompedor hidráulico acoplado à uma escavadeira.



Fontes: Emolidora Solum (esquerda) e Caterpillar (direita).

- d. Utilizar serra ou fio de diamante: A serra é comumente utilizada, o equipamento com fio de diamante é uma tecnologia nova. Da mesma maneira que a anterior, a grua ou guindaste segura a parte superior da torre e a serra rompe a área da junta das peças.

Figura 15: Serra de diamante – WS 482 HF – Wall sawing



Fonte: Husqvarna

Figura 16: Serra de diamante – DS TS20-E – Wall saw

DS TS20-E Wall saw



Fonte: Hilti

Esta máquina poderá ser alugada com representantes da Hilti e, comparada com a anterior, é mais segura, pois o funcionário não precisará estar perto para acioná-la, uma vez que esta máquina possui controle remoto. Esta serra pode cortar uma parede de até 53 cm de espessura.

No caso do fio de diamante, só foram encontrados fios pequenos (até 3 metros), tornando impossível a utilização no descomissionamento das torres atualmente, porém pode ser uma possível alternativa em 2033.

Figura 17: Fio de diamante – CS 2512 – Wire saw



Fonte: Husqvarna

- e. Argamassa ou Cal expansiva: A argamassa expansiva é um produto químico em pó que ao ser misturado com água e expande após uma espera de aproximadamente 24 horas, dependendo da temperatura ambiente. Este tipo de produto é utilizado normalmente para quebrar rochas grandes nas pedreiras. Mas seu campo de aplicação tem aumentado, pois ela também tem sido usada quando a explosão não é autorizada por motivos de segurança.

São feitos furos na peça de concreto ou na rocha e o produto é colocado nestes orifícios. Após aproximadamente 24 horas (dependendo da temperatura ambiente) o produto se expande quebrando o concreto.

De acordo com a FISPQ (Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico) da empresa Chimica Edile do Brasil Ltda, o produto não é inflamável, nem comburente e também não é combustível. A principal preocupação é que não seja utilizada água para a limpeza em caso de derramamento e que não deixe o produto ir para a galeria de esgoto.

Figura 18: Rocha quebrada utilizando a argamassa expansiva.



Fonte: <http://www.lord.eng.br/areadeatucao/desmonte-de-rocha/> (18/05/2016)

- f. Água pressurizada: Esta alternativa é comumente utilizada na demolição de rodovias, pontes e estacionamentos.

Figura 19: Equipamento de pressurização de água.

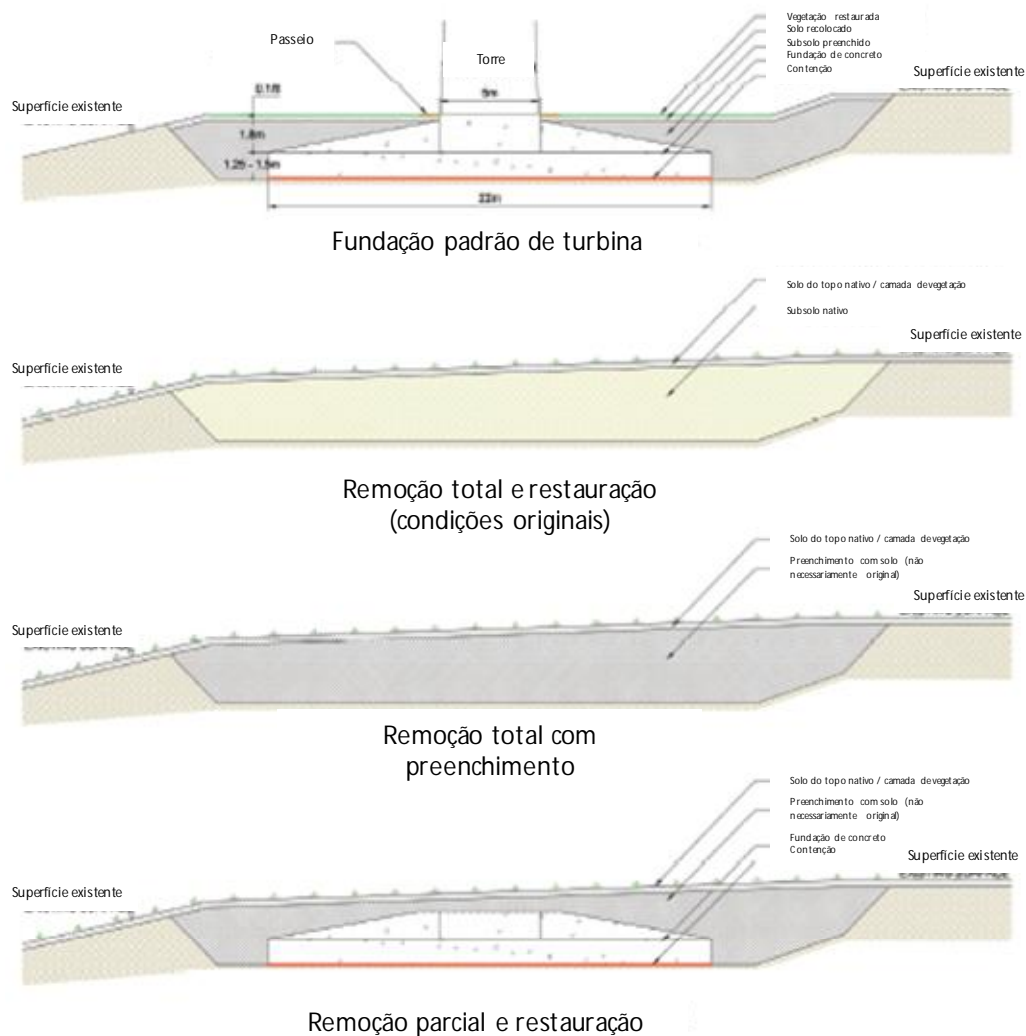


Fonte: http://www.waterblast.com/uploadedFiles/Site/Service_and_Support/Resources/HydroDemolition_Brochure_Web.pdf (acessado em 18/05/2016)

7º nesta última etapa, ocorre a remoção da fundação de concreto com utilização de Martelo Hidráulico ou explosivos, pode ser necessário um equipamento de queima (tipo maçarico) para cortar o aço. Deve-se preencher do buraco deixado pela retirada da fundação. E remoção de qualquer buraco deixado pelo guindaste.

O impacto ambiental da retirada da fundação do aerogerador (barulho, movimentação da terra, vibração, transporte de resíduos, transporte do material que irá preencher o buraco criado, emissão de CO₂ e custo) será maior que se a fundação for deixada como está.

Figura 20: Sugestão de remoção total ou parcial da fundação do aerogerador. Nossa tradução



Fonte: Welstead et al. (2013)

Na maioria da bibliografia específica de descomissionamento, a fundação será retirada parcialmente. Ou seja, será retirado o concreto com profundidade de aproximadamente 90cm de profundidade. Para efeitos de comparação uma fundação pode ter cerca de 18 metros, de acordo com a Casa dos Ventos.

O descomissionamento de aerogeradores *offshore* é realizado da mesma maneira, ou seja, na ordem inversa de sua montagem. No caso da fundação, por causa do seu grande impacto no solo, economicamente inviável e tecnicamente complicado, é

cortada com aproximadamente 2 metros abaixo do nível do mar. (Karavida e Nõmmik, 2015, nossa tradução)

5.3.1.2. DESCOMISSIONAMENTO DA INFRAESTRUTURA DO PARQUE

1º deve-se retirar todos os cabos aéreos cabos de energia que ligavam o parque à rede deverão ser retirados. Os cabos subterrâneos poderão ficar onde estão, pois se retirados causarão um enorme impacto ao meio ambiente. Para que as pontas dos cabos não fiquem expostas, estas deverão ser cobertas com material isolante e enterradas (sugestão de profundidade: 1 metro.). Caso for obrigatório a retirada dos cabos subterrâneos, deverá ser feita valas utilizando escavadeira e depois o preenchimento das mesmas.

2º descomissionamento da subestação elevatória do parque eólico. Os equipamentos dever ser retirados do local, assim como qualquer piso de concreto, cercas etc.

3º demolição da estrutura de apoio da manutenção do parque, como por exemplo, prédio de serviços (sala de monitoramento, escritório, refeitório, banheiros, estoque de peças e ferramentas, etc.).

4º desmontagem da área, se construída, de armazenagem temporária ou de desmontagem dos aerogeradores descomissionados.

5º as vias construídas dentro dos parques também devem ser retiradas ou desfeitas. As ruas (externas) de acesso ao parque, quando solicitado, serão desfeitas. Para sua retirada, recomenda-se a utilização de escavadeira e caminhão tipo dumper.

5.3.1.3. RESTAURAÇÃO DA ÁREA DEGRADA PELO PROCESSO DE DESCOMISSIONAMENTO

Esta etapa tem como principal objetivo mitigar todos os impactos causados pela atividade de descomissionamento do parque eólico, pois os impactos causados pelo

comissionamento já foram mitigados de acordo com o Estudo de Impacto Ambiental (EIA).

Não existe legislação brasileira que obriga o EIA ou o monitoramento do ecossistema após a atividade de descomissionamento. Porém, em alguns EIAs elaborados antes da fase de comissionamento já possuem condicionantes para a etapa de desativação do parque eólico. E estes devem ser seguidos.

Apesar de não ser obrigatório, é recomendável que a empresa deixe o terreno exatamente como encontrou, como por exemplo, configuração original do terreno instauração de curso d'água existente (quando modificado), replantio da vegetação impactada, etc.

Se houver alteração da topografia do terreno, sugere-se plantar arvores que irão controlar uma possível erosão do terreno.

No caso de áreas agrícolas, o solo colocado nos buracos (retirada de fundação, canaletas de cabos subterrâneos, restauração do declive/active do terreno, etc) deverá ter as mesmas características e nutrientes que o solo original. (Gunns 2013).

Obviamente que quanto mais se mexer no terreno, maior será o impacto causado ao meio ambiente e, conseqüentemente, maior o período de readaptação do ecossistema ao redor, ou seja, o período de monitoramento ambiental (se aplicável) será maior se a fundação, cabos subterrâneos e estradas e pavimentações forem retiradas. Porém, isso não significa que estes sempre deverão ser deixados no local. Cada situação deverá ser estudada antes e os impactos positivos e negativos comparados (este tema será discutido no próximo item).

Planejamento elaborado pela AECOM (2012, nossa tradução), prevê um período de 18 meses para o descomissionamento de 30 turbinas e recuperação da área degradada.

5.3.1.3.1. IMPACTOS AMBIENTAIS

De acordo com estudos realizados por Welstead et al. (2013, nossa tradução) os impactos ambientais relacionado ao descomissionamento são:

Tabela 6: Impactos ambientais do descomissionamento.

Negativos	Positivos
Movimentação do solo devido a retirada da fundação da torre, pavimentação, bases de concreto da subestação elevatória e subestações unitárias, demolição do prédio de serviço e escavação para a retirada dos cabos subterrâneos	Regeneração do ecossistema. Ele voltará como era antes da construção da fazenda eólica
Possível vazamento de produtos químicos da parte hidráulica dos caminhões, guindaste, dos transformadores, caixas de engrenagem, etc.	
Possível poluição atmosférica por materiais suspensos causada pela implosão da torre ou fundação	
Aumento da emissão de CO2 dos caminhões e guindaste	Incentivo da revenda de aerogeradores remanufaturados ou na reciclagem dos equipamentos. Ambos trazendo impactos ambientais e sociais já discutidos anteriormente
Poluição sonora, visual e luminosa afetando pessoas e animais	
Grande movimentação de máquinas, causando vibrações, podendo perturbar a comunidade vizinha e animais	
Se mal realizada, o descomissionamento pode causar mais impactos se comparado com cenário de não descomissionamento (ou seja, desativado, porém com todos os aerogeradores deixados no local)	
Utilização de material externo do parque para preenchimento de buracos, como por exemplo, a retirada da fundação	

Fonte: Elaborada pela autora com base nos estudos de Welstead et al. (2013)

Welstead et al. (2013, nossa tradução) também realizou um trabalho mais aprofundado em relação aos impactos ambientais na retirada de alguns componentes. Porém, seu foco é em impactos hidrológicos, então, para agregar mais conhecimento para este trabalho, sua tabela foi adaptada para impactos gerais.

Tabela 7: Possíveis impactos ambientais na remoção da fundação, cabos e estradas ou pavimentações construídas durante a etapa de comissionamento, operação, manutenção e descomissionamento. Nossa tradução e nossa adaptação.

Componentes	Potenciais impactos e considerações	Opções potenciais de descomissionamento	Outras Considerações potenciais
Remoção da fundação	<ul style="list-style-type: none"> * O solo teve que ser drenado para a construção da fundação? * A fundação precisaria ser removida? * Seria possível retirar somente parte da fundação? * Se uma parte ou toda a fundação for deixada, ela se tornaria uma ameaça para o solo ou água? * A alteração na fundação levaria a instabilidade do solo, impacto ecológico ou outros impactos indiretos? * A atividade afetaria o ecossistema ao redor? 	<ul style="list-style-type: none"> * Não retirar ou retirar apenas uma parte; * Se existe o potencial impacto positivo na remoção da fundação - comparar com os impactos do cenário de não remoção da fundação; * Identificar ações mitigadoras conforme requeridas para proteger o ecossistema ao redor; 	<ul style="list-style-type: none"> * Considerar potenciais efeitos de instabilidade no solo que poderá afetar indiretamente e ecossistema ao redor; * Desenvolver e acordar métodos de construção antes da execução da atividade; * Considerar demais impactos - ruído, poeira, resíduos, etc.
Remoção dos cabos	<ul style="list-style-type: none"> * A colocação dos cabos alterou o ecossistema ao redor? * Se os cabos forem deixados no local, seria um risco de contaminação ambiental? * A atividade de retirada dos cabos impactaria o ecossistema ao redor? 	<ul style="list-style-type: none"> * Não retirar; * Se existe o potencial impacto positivo na remoção dos cabos - comparar com os impactos do cenário de não remoção dos cabos; * Identificar ações mitigadoras conforme requeridas para proteger o ecossistema ao redor; 	<ul style="list-style-type: none"> * Considerar potenciais efeitos de instabilidade no solo que poderá afetar indiretamente e ecossistema ao redor; * Desenvolver e acordar métodos de construção antes da execução da atividade; * Considerar demais impactos - ruído, poeira, resíduos, etc.

Remoção de estrada ou pavimentação construída	<ul style="list-style-type: none"> * A estrada ou pavimentação precisaria ser retirada? * A estrada ou pavimentação alterou significativamente a condição do local? * Seria possível remover somente metade da estrada ou pavimentação? *Quais seriam os efeitos da retirada da estrada ou pavimentação para o ecossistema? * A atividade de retirada da estrada ou pavimentação impactaria o ecossistema? 	<ul style="list-style-type: none"> * Não retirar; * Se existe o potencial impacto positivo na remoção da estrada ou pavimentação - comparar com os impactos do cenário de não remoção estas; * Identificar ações mitigadoras conforme requeridas para proteger o ecossistema ao redor; 	<ul style="list-style-type: none"> * Considerar potenciais efeitos de instabilidade no solo que poderá afetar indiretamente e ecossistema ao redor; * Desenvolver e acordar métodos de construção antes da execução da atividade; * Considerar demais impactos - ruído, poeira, resíduos, etc.
---	---	---	---

Fonte: Welstead et al. (2013)

5.4 LOGÍSTICA REVERSA

De acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos deve-se ser seguida a ordem de prioridade de não geração, redução, reutilização, assim como a reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos e por último a destinação adequada dos rejeitos, esta será a ordem de destinação ambientalmente correta dos aerogeradores desta revisão bibliográfica.

As maneiras de incentivar a não geração e a redução dos resíduos de aerogeradores são:

- a. Revenda de aerogeradores remanufaturados
- b. Não descomissionamento de aerogeradores no fim de vida útil

Apesar da turbina ser 80% (em massa) reciclável incluindo a fundação. Os outros 20% são as pás, fundação e alguns equipamentos que podem ser destinados a aterros

sanitários. As turbinas são compostas principalmente por aço, alumínio, cobre, fibra de vidro, poliéster, fibra de carbono e epóxi. (Cherrington et al., 2012, nossa tradução)

Vários autores acreditam que apenas 10% de todo o material reciclado será perdido, considerando a *nacelle*, caixa de engrenagem, gerador, transformador e demais equipamentos dentro da *nacelle*. De acordo com os estudos realizados por eles, o ferro poderá ser reciclável com perda de 10%, a fibra de vidro e plásticos (PVC) deverão ser enviados à aterros sanitários, outros tipos de plástico, borracha e os óleos enviados à incineração, o aço e cobre também poderão ser recicláveis com perda de 10%. (D'Souza, Gbegbaje, Shonfield, 2011, Martínez et al., 2008 e Milanese, 2009)

Quantidade aproximada de material de uma turbina:

Tabela 8: Quantidade aproximada de materiais de uma turbina.

Aerogerador e cabos	
Materiais	Quantidade (t)
Aço e ferro	311,2
Alumínio	17,7
Cobre	4,8
Fibra de Vidro e Polímeros	32
Cerâmica e vidro	24,0
Elétricos, Eletrônicos e Magnéticos	2,4
Lubrificantes	1,3
Outros materiais	3,2

Fonte: Elaborada pela autora baseada nos estudos de D'Souza, Gbegbaje, Shonfield (2011).

Os principais equipamentos e suas respectivas destinações ambientalmente corretas:

5.4.1 PÁS EÓLICAS

São vários os desafios da destinação ambientalmente correta das pás eólicas. Elas são compostas por materiais complexos, como a fibra e endurecedores, e por causa deste último não podem ser remodeladas.

De acordo com Albers (2009, nossa tradução) a cada 1 kW instalado vão gerar 10 kg de pás, assim, daqui aproximadamente 20 anos teremos 100.000.000 kg (10 GW instalado em 2016) material complexo para a destinação ambientalmente correta.

Apesar de ser mais resistente e mais leves, a utilização de fibra de carbono na fabricação de pás eólicas não é tão comum por causa de seu alto custo. Este tipo de material, por possuir uma composição química diferente da fibra de vidro, pode ser reciclado. Ela pode ser usada na fabricação de novos produtos (como reforço), para enchimento, para aumentar a durabilidade da pintura, cimento e outros materiais de construção.

Há estudos para substituição destes materiais por PET. O PET pode ser facilmente reciclável e de acordo com alguns fabricantes que já estão utilizando, mantem a mesmas propriedades. (Larsen, 2009, nossa tradução).

Acredita-se que o que irá incentivar as empresas à investirem em novas tecnologias não será somente por razões econômicas, mas ambientais também. A quantidade de resíduo gerado no futuro será imensa se não for reciclável.

O cone, ou nariz, também é fabricado com o mesmo material, logo, ele também poderá ter as mesmas destinações ambientalmente corretas que as pás.

5.4.1.1 REUTILIZAÇÃO DAS PÁS EÓLICAS

Uma das alternativas é a reutilização das pás eólicas em aerogeradores novos ou remanufaturados. Para isso foi feito um estudo na Alemanha com uma pá utilizada durante 18 anos. Na inspeção visual não foi encontrado nenhuma alteração significativa quanto a dano e rigidez da pá.

No caso de reforma das pás, elas deverão passar por inspeção com ultrassom e medição da frequência natural das laminas. Além de serem pintadas, pesadas e balanceadas novamente. Esta alternativa é economicamente viável para pás de pequeno porte, pois seu transporte não é tão complicado tanto uma pá de 45m. (Beauson, Bech, Brøndsted, 2014, nossa tradução)

Figura 21: Transporte de pás grande / pequena.



Fonte: Beauson, Bech, Brøndsted (2014).

Porém, outros acreditam que a utilização deste material para fabricação de outra pá poderá ser inaceitável, uma vez que a resistência é prejudicada pelas condições climáticas (projetas para durarem 20 anos na chuva, sol, neve, ventos fortes, salinidade, etc.). E que se for utilizada, deve-se usar somente 30% do material de uma pá pode ser reaproveitado na fabricação de uma nova pá. (Milanese,2009 e Skrainka,2012, nossa tradução)

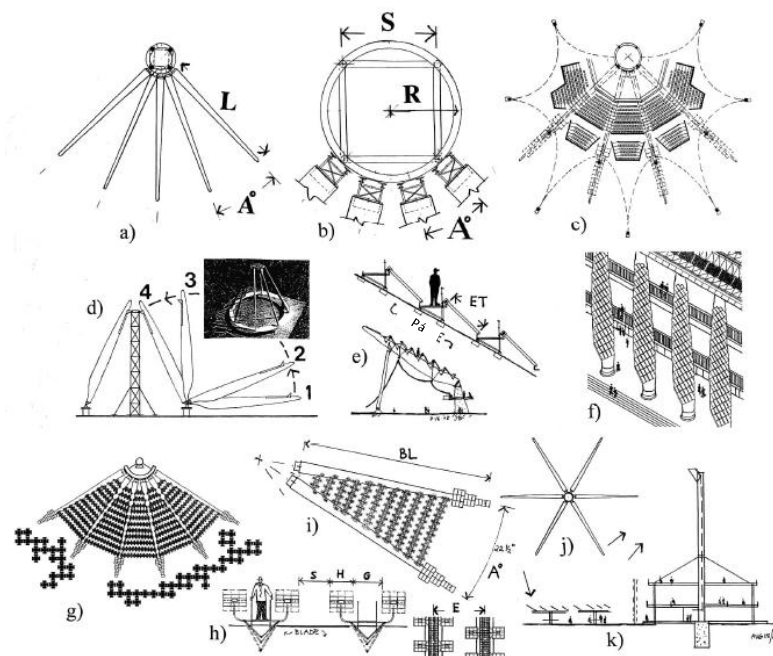
Tabela 9: Vantagens de desvantagens da reutilização das pás eólicas para mesmo fim.

Vantagens	Desvantagens
Redução do consumo de matéria prima	Possibilidade de reutilização para o mesmo fim ainda somente na teoria
Redução na geração de resíduos	Menor vida útil da pá
	Transporte de pás inteiras

Fonte: Elaborada pela autora.

Outra alternativa foi sugerida pelo arquiteto pesquisador Joel H. Goodman que desenhou várias sugestões de como reutilizar as pás eólicas em projetos arquitetônicos:

Figura 22: Reutilização das pás eólicas. A, b, c = teatro ao ar livre com uma cobertura sustentada pelas pás ao invés de vigas; d = tripé; e = suporte; f = colunas; g,h,i = torres receptoras; j, k = restaurante utilizando as pás como coberturas e como poste para iluminação. Nossa tradução.



Fonte: Rahnama (2011).

Tabela 10: Vantagens de desvantagens da reutilização na arquitetura.

Vantagens	Desvantagens
Redução do consumo de matéria prima	Possibilidade de reutilização ainda somente na teoria
Redução na geração de resíduos	Transporte de pás inteiras
	Desafios para os arquitetos e engenheiros

Fonte: Elaborada pela autora.

Rahnama (2011, nossa tradução) sugeriu outra alternativa para a reutilização de pás, preferencialmente as pás de turbinas *offshore*, que é utilizá-las como recife artificial. Os recifes artificiais são criados para proteger o ambiente marinho, incentivar o turismo e recreação e prover local para a procriação marinha. Cerca de 10% do recife do Japão é artificial, são aproximadamente 170 mil peças colocadas no mar.

De acordo com estudos realizados, para melhor aproveitamento das pás como recifes artificiais é necessário cortá-las e fazer pequenos buracos em sua superfície, facilitando a entrada de animais marinhos dentro das pás. (Rahnama,2011, nossa tradução)

Tabela 11: Vantagens e desvantagens da reutilização das pás eólicas como recifes artificiais.

Vantagens	Desvantagens
Redução do consumo de matéria prima de peças de concreto	Possibilidade de reutilização ainda somente na teoria
Redução na geração de resíduos	Transporte de pás <i>onshore</i>
Não há transporte de pás de aerogeradores <i>offshore</i>	Material leve pode tornar o recife instável

Fonte: Elaborada pela autora.

Outra alternativa é a utilização de pedaços das pás na fabricação de móveis. O "Super-Use Studios" realizou um projeto piloto para a utilização das pás na fabricação de móveis.

Figura 23: Móveis feitos de pás de aerogeradores no fim de vida útil.



Fonte: Sacchi (2014)

Figura 24: Reutilização das pás na construção de móveis.



Fonte: Beauson, Bech, Brøndsted (2014)

A construção de móveis com material reciclável não é novidade, mas no Brasil esta técnica é, infelizmente, utilizada por poucos. Os materiais mais utilizados para esta atividade é a madeira, garrafas PETs, pallets entre outros.

Exemplos de empresas que fabricam moveis com materiais recicláveis:

Figura 25: Cadeira fabricada com madeira de demolição.



Fonte: <http://www.trapichecarioca.com.br/marcenaria/> (visualizado em 03/05/2016)

Figura 26: Moveis fabricados com garrafas PET.



Fonte: <https://paoecologia.wordpress.com/2009/11/23/amma-produz-moveis-com-garrafas-pet/>
(visualizado em 03/05/2016)

Tabela 12: Vantagens de desvantagens da reutilização das pás eólicas para fabricação de móveis.

Vantagens	Desvantagens
Redução do consumo de matéria prima dos móveis	Desafio para os Designer de moveis
Redução na geração de resíduos	Transporte de pás em pedaços razoavelmente grandes

Fonte: Elaborada pela autora.

Outra alternativa criativa do "Super-Use Studios" foi o projeto piloto da utilização das pás na construção de um playground na Holanda.

Figura 29: Reutilização das pás em playground em Wikado, Rotterdam, Holanda.



Fonte: <http://superuse-studios.com/index.php/2008/10/wikado-2/>

Estas são soluções mais ecologicamente corretas e provavelmente mais economicamente viáveis.

Tabela 13: Vantagens de desvantagens da reutilização das pás eólicas para construção de playground.

Vantagens	Desvantagens
Redução do consumo de matéria prima dos móveis	Desafio para os arquitetos
Redução na geração de resíduos	Transporte de pás em pedaços grandes ou inteiras

Fonte: Elaborada pela autora.

5.4.1.2 RECICLAGEM DAS PÁS EÓLICAS

Faz tempo que pesquisadores vem estudando a reciclagem de fibra de vidro, e até o momento três alternativas foram encontradas: reciclagem química e coprocessamento. O principal objetivo do coprocessamento é utilizar esse material nos fornos de cimenteiras (será melhor explicado no próximo item).

O grande desafio do descomissionamento e reciclagem das pás é o econômico. O valor residual do material é instável (se a matéria prima já possui uma instabilidade grande - na década de 60 a fibra custava £200/kg e em 2013 era £13/kg - do "resíduo" é muito maior), a tecnologia de reciclagem ainda é muito recente tornando-se cara e o custo de descarte do material em aterros sanitários é alto. (Cherrington et al., 2012, nossa tradução)

Para facilitar o transporte, as pás podem ser cortadas com garras de demolição, por exemplo.

Abaixo serão discutidos os diferentes tipos de reciclagem estudadas nos últimos anos.

5.4.1.2.1 PIRÓLISE E GASEIFICAÇÃO

A pirólise é uma decomposição termoquímica da matriz de polímero a temperaturas elevadas sem oxigênio (sem combustão) com o intuito de recuperar a fibra. Seu resultado é a geração de um composto que pode substituir a gasolina e alguns produtos químicos devido ao óleo rico em energia. Uma possível segunda etapa é a gaseificação deste óleo.

Gaseificação é um processo que transforma combustível sólido ou líquido em combustível gasoso, conhecido como gás de síntese, podendo ser utilizado como combustível ou base na fabricação de fertilizantes. Isso é possível aquecendo (derreter) o material com temperatura maior ou igual a 700°C sem deixa-lo pegar fogo. Este gás também pode ser utilizado na produção de energia elétrica.

Estes estudos foram realizados por diversos autores (descritos na bibliografia), dois deles são Sacchi (2014) e Owens et al. (2013).

Outra alternativa é o aquecimento com micro-ondas. Ainda é um método que está sendo estudado. Sua vantagem é que não é necessário cortar a peça para aquecê-lo como a Pirolise convencional.

O resultado dos estudos realizados pelos pesquisadores Akesson et al. (2013, nossa tradução) foi:

3kg de par eólica = 0.5kg de óleo + 2,1kg de resíduo sólido + 0,4kg de gás (hidrocarbonetos e metano) => consumo de 15MJ de energia para o processo.

Tabela 14: Vantagens e desvantagens da reciclagem por pirólise e gaseificação.

Vantagens	Desvantagens
Total recuperação do volume do resíduo	Em fase de projeto piloto;
	Empresas que realizam este processo possuem pouca capacidade de produção
	Processo ainda muito caro e complexo
Pode ser utilizada na fábrica de telhas de cerâmicas	Necessita passar por um processo de oxidação do carbono
	Aplicável somente para a fibra de carbono

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 30: Peça de uma pá de aerogerador após o processo de pirólise.



Fonte: Sacchi (2014).

5.4.1.2.2 PIRÓLISE DE LEITO FLUIDIZADO

É praticamente o mesmo processo anterior, porém ocorre a separação da fibra, da resina e do plástico.

Para que isso ocorra são utilizadas técnicas químicas, ou seja, agentes químicos para despolimerar a resina, separando a da fibra.

5.4.1.2.3 HIDROLISE NEUTRA

É o processo de extração química da fibra com utilização de água em alta pressão (cerca de 30 a 40 atm.) e alta temperatura (300-650°C). Este processo já é utilizado na recuperação de PVC, porém ainda está na fase de estudo para o plástico reforçado com fibra. O material precisa ser triturado para que a reação aconteça homogeneamente.

Tabela 15: Vantagens de desvantagens da reciclagem por hidrólise neutra.

Vantagens	Desvantagens
Utilização de água como solvente	Material deve ser triturado antes
A fibra recuperada por atingir um alto grau de pureza	Material deve ser separado pelo tipo de material (tipo de plástico utilizado)

Fonte: Elaborada pela autora.

5.4.1.2.4 AGREGADO NO CONCRETO

De acordo com estudos realizados por Bini, Antunes e Sottovia (2011) pedaços pequenos de pás podem ser utilizados como agregado no concreto.

Porém se substituir os agregados miúdos por 50% de material de pá eólica não é recomendado, pois diminui a resistência a compressão, inutilizando o material para a construção, mesmo sendo para fins não estruturais. Se esta quantidade for de 5% a 15%, ele torna-se viável para a reutilização sem fins estruturais.

Além do material da pá possuir uma facilidade de contato com o cimento, ele é mais leve que a brita. De acordo com os experimentos, o concreto reciclado possui resistência menor que o convencional. Mas, conforme a Normas técnica, este concreto reciclado pode ser utilizado na fabricação de blocos leves de concreto não estrutural.

Tabela 16: Vantagens de desvantagens da reciclagem para fabricação de concreto reciclado.

Vantagens	Desvantagens
Mais leve	Diminuição da resistência à compressão, tornando o uso do concreto reciclado um pouco restrito.
Menor consumo de agregados	Estudos para definir quantidade de aproveitamento (porcentagem a ser utilizada)
Solução mais barata que as descritas anteriormente	

Fonte: Elaborada pela autora.

5.4.1.3 TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DAS PÁS EÓLICAS PARA FINS DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA

MOAGEM DAS PÁS EÓLICAS

Esta tecnologia tem como objetivo transformar peças grandes em pequenos pedaços para reutilizá-los como substituto da resina ou como material de preenchimento.

Figura 31: Moagem da fibra de vidro.



Fonte: Sacchi (2014)

Tabela 17: Vantagens de desvantagens da moagem.

Vantagens	Desvantagens
Substituição do carvão na produção de energia térmica (1kg de pá triturada pode substituir 0,587kg de carvão). (Sacchi, 2014, nossa tradução)	Tecnologia específica disponível somente na Alemanha (planta específica para esta atividade)
Substituição de matéria prima de preenchimento	

Fonte: Elaborada pela autora.

5.4.1.3.1 COPROCESSAMENTO

As cimenteiras utilizam diversos tipos de matérias primas e aproveitando o poder calorífico deste material em seus fornos pode chegar a uma diminuição de 16% de uso pegada de carbono (utilizando 75% de material triturado e 25% de combustível virgem). (EuCIA,2011, nossa tradução)

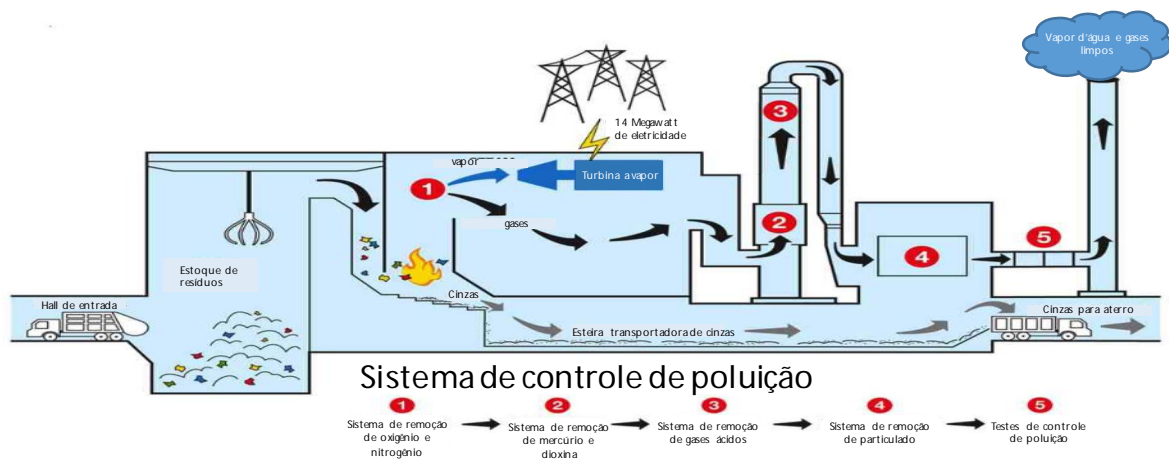
As vantagens são a menor utilização de matéria prima que será queimada, menor quantidade de resíduo para aterro (uma vez que no Brasil não existe uma lei que proíbe que este tipo de material seja enviado para esta destinação, assim como na Europa - European Waste Framework - EWF 2008/98/EC).

No Brasil, uma das empresas que realizam este processo é a Votorantim. De acordo com o site da empresa, ela também utiliza resíduos para substituir as matérias-primas na fabricação do cimento, como por exemplo calcário e argila.

A Votorantim possui 16 unidades que utilizam este processo, duas delas ficam no Ceará (Laranjeiras e Sobral). Ou seja, o transporte dos resíduos até este fornecedor é uma vantagem.

5.4.1.3.2 QUEIMA EM USINAS DE RECUPEÇÃO ENERGÉTICA

Figura 32: Ilustração de uma Unidade Recuperadora de Energia. Nossa tradução



Fonte: Sacchi (2014)

Esta tecnologia tem como principal objetivo diminuir o volume de resíduo enviado a aterro sanitário (as cinzas são enviadas para disposição após o processo de queima, porém com uma redução de 60% a 90% do volume). Na maioria dos casos essas unidades aproveitam o poder calorífico do resíduo queimado na produção de energia elétrica, ou aquecer a água (este último utilizado bastante na Europa). Todo este processo possui um tratamento dos gases gerados para minimizar o impacto de emissões atmosféricas.

A Usina de Recuperação Energética ou outras usinas podem utilizar as pás como 60% do seu combustível para queima. Mas antes disso, as pás deverão ser cortadas em pedaços menores. (Skrainka,2012, nossa tradução)

A queima de resíduos em Unidades de Recuperação Energética (URE) é ainda novidade no Brasil. Apesar de ser uma tecnologia conhecida no mundo, os pré-conceitos de queima ainda é grande no país, por causa da quantidade de gases gerados. Este empreendimento queima os resíduos com o objetivo de aquecer uma caldeira para gerar vapor que alimenta uma turbina para produzir energia elétrica.

Há mais de 600 UREs na Europa, Estados Unidos e Ásia. A primeira no Brasil está localizada em Barueri (São Paulo). Terá a capacidade de receber até 825 toneladas diárias de resíduos, de acordo com a empresa Foxx Ambiental, responsável pelo projeto.

Tabela 18: Vantagens de desvantagens da queima de Usina de Recuperação Energética.

Vantagens	Desvantagens
Não é necessário um pré-tratamento para a queima	Material com poder calorífico muito alto não pode ser utilizado, pois pode danificar a caldeira/forno
	Sua queima pode gerar muito CO ₂ e NO _x (gases de efeito estufa)
Geração de energia elétrica ou aquecimento de água sem consumo de combustíveis não renováveis.	Apesar da resina possuir um alto poder calorífico, a fibra de vidro não, podendo tornar algumas pás inviável de incinerar.
	Pré-conceito da população quanto a queima do “lixo”

Fonte: Elaborada pela autora

5.4.1.4 DISPOSIÇÃO DO REJEITO DAS PÁS EÓLICAS

Apesar desta técnica ser a mais antiga para destinação de resíduos, ela poderá não ser aceita no futuro. Hoje já existe uma legislação na União Europeia que proíbe o envio deste tipo de material para aterros sanitários, logo mais esta proibição poderá se tornar mundial. Os motivos desta proibição são diminuir a quantidade de resíduos enviados à aterros, diminuindo assim a quantidade de gás metano gerado na decomposição dos materiais, incentivar a reutilização, reciclagem e reaproveitamento térmico a fim de diminuir o consumo de matérias primas e combustíveis não renováveis.

No Brasil nós temos um agravante. Infelizmente ainda existem lixões e aterros controlados não apropriados, que, por não possuírem estrutura, contaminam o solo e atraindo vetores de doenças, como moscas, mosquitos, baratas, ratos, etc.

O local mais apropriado para este tipo de disposição é o aterro sanitário, o qual possui manta impermeável e canaletas de captação de chorume (líquido gerado na degradação do resíduo), como também tubulações para retirada do metano do solo (gás também gerado na degradação do resíduo). Já os aterros controlados não possuem tratamento

do chorume, nem captação de gases, mas os resíduos são aterrados e o lixões, o pior deles, sequer possui um aterramento dos resíduos.

Tabela 19: Vantagens de desvantagens da disposição dos rejeitos da pá eólica.

Vantagens	Desvantagens
Viabilidade econômica (a curto prazo). Apesar de se pagar uma taxa para o aterramento, ela ainda é muito mais barata	Tempo de decomposição considerada grande, por causa da sua durabilidade, podendo demorar mais de 100 anos
De acordo com os resultados da pesquisa realizada por Sacchi (2014, nossa tradução) esta técnica emitirá baixo teor de gás de efeito estufa e gases que degradam a camada de ozônio	Ocupara um grande espaço por causa de ser volume. Ou deverá passar por um processo de quebra ou moagem antes
	Estudos realizados por Owens et al. (2013, nossa tradução) demonstraram que por se tratar de um material orgânico (aproximadamente 30%), quando em decomposição gera um gás composto por 55% de metano

Fonte: Elaborada pela autora.

5.4.2 EQUIPAMENTO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS (AÇO, FERRO, COBRE, ETC.)

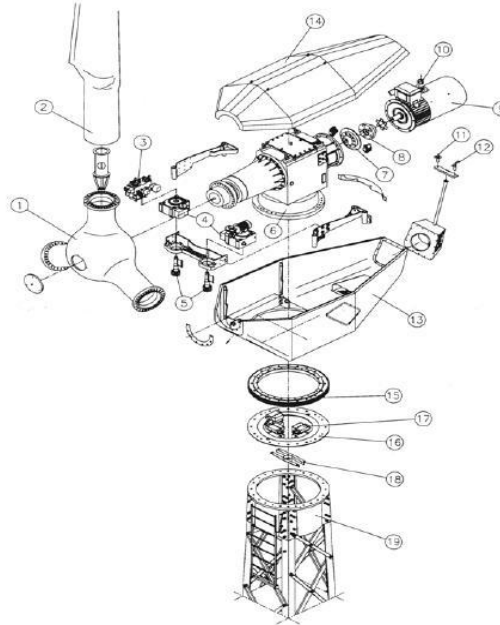
São exemplos de equipamentos de materiais recicláveis:

- *Nacelle*: Aço
- Base de apoio (*bedframe*): Aço galvanizado
- Eixo principal: Aço forjado ou ferro
- *Hub*: Aço ou ferro
- Caixa de engrenagem: óleo, aço e ferro;
- Gerador e transformador: Aço, ferro, cobre, sílica e óleo
- Acoplamento: Aço ou plástico reforçado
- Grua de serviço: ferro

- Partes eletrônicas: cobre

Figura 33: Componentes periféricos dos aerogeradores.

- 1- Cubo do rotor
- 2- Pás do rotor
- 3- Sistema hidráulico
- 4- Sistema de posicionamento da nacele
- 5- Engrenagem de posicionamento
- 6- Caixa multiplicadora de rotação
- 7- Disco de freio
- 8- Acoplamento do gerador elétrico
- 9- Gerador elétrico
- 10- Sensor de vibração
- 11- Anemômetro
- 12- Sensor de direção
- 13- Nacele, parte inferior
- 14- Nacele, parte superior
- 15- Rolamento do posicionamento
- 16- Disco de freio do posicionamento
- 17- Pastilhas de freio
- 18- Suporte do cabo de força
- 19- Torre



Fonte: <https://evolucaoalp.wordpress.com/2012/06/19/componentes-de-um-sistema-eolico/>

De acordo com D'Souza, Gbegbaje, Shonfield (2011) estes equipamentos podem ser 98% reciclado e os cabos podem chegar a 98%.

5.4.2.1 REUTILIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Etapa já descrita no item “remanufatura (*retrofit*)”.

5.4.2.2 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DOS EQUIPAMENTOS

O Brasil já possui um know-how e cultura de reciclagem de aço, ferro, cobre, ferro, silício, e outros tipos de sucatas. Por este motivo, esta revisão bibliográfica não entrará em detalhes neste processo.

Basicamente o processo de reciclagem deste material é são separados e comprimidos em fardos para facilitar o transporte, são enviados para a siderurgia para serem derretidos e moldados em novas peças.

As vantagens são o menor consumo de matéria prima, menor consumo de energia primaria e secundaria, alterando significativamente a pegada de carbono das empresas que utilizam sucata para a fabricação de novas peças.

De acordo com estudos, o quadro abaixo mostra a quantidade de economia de energias na utilização de sucata ao invés de matéria prima.

Tabela 20: Porcentagem de economia de CO₂ equivalente na reciclagem de materiais.

Material	% de economia de CO ₂ equivalente (energia primaria e secundaria)
Alumínio	92%
Cobre	65%
Ferrosos	58%
Chumbo	99%

Fonte: elaborada pela autora com base nos dados retirados do *Report on the Environmental Benefits of Recycling* (Grimes, Donaldson, Gomez,2008)

A reciclagem de aço economiza cerca de 52% de energia, conseqüentemente diminui a emissão atmosférica e o consumo de matéria prima. Uma tonelada de aço reciclado economiza uma tonelada de minério de ferro, 635kg de carvão e 54kg de calcário. (Karavida e Nõmmik,2015).

Uma das empresas mais conhecidas neste ramo de atividade é a Gerdau. No Brasil desde 1901, a Gerdau tem a capacidade de reciclar cerca de 14 milhões de toneladas de sucata ferrosa e torna-las em produtos novos (informações retiradas do site da empresa).

São 115 unidades da empresa espalhadas pelo Brasil e está presente em mais 13 países. Sua capacidade total é de 25 milhões de toneladas de aço anualmente. (Informações retiradas do site da empresa)

Existem outras empresas que realizam a reciclagem de sucata espalhadas pelo Brasil. Outro exemplo é a RFR Recycling. Possui 80 anos de experiência no mercado de reciclagem de sucata metálica e tem capacidade de até 500 mil toneladas anualmente. (Informações retiradas do site da empresa).

Já o óleo do transformador e óleo lubrificantes dos equipamentos podem ser rerrefinados. Este processo é composto de diversas etapas, retirando as impurezas do óleo utilizado e estas são reaproveitadas, em sua grande maioria, para produzir outros produtos. Por exemplo, solventes (combustível para fornos), óleo spindle (utilizado em formulações diversas), óleo diesel, borra neutra (utilizada para deixar o asfalto impermeável), material parecido com o gesso (utilizado na correção do solo) e o óleo básico mineral com propriedades de um óleo básico virgem. (Website da empresa Lwart Lubrificantes e Castro, 2011)

A empresa Lwart Lubrificante faz a reciclagem do óleo. Ela recolhe cerca de 140 milhões de litros de óleo anualmente. Ela possui 15 centros de coletas espalhados pelo Brasil e 300 caminhões que possam ir ao local de geração para buscar o óleo usado. Após o refino, a empresa emite o Certificado de Coleta de Óleo (CCO), comprovando assim a destinação ambientalmente correta do óleo.

Esta atividade diminui a quantidade de resíduos não recicláveis gerados, diminui significativamente o impacto ambiental do descarte de resíduos, uma vez que o óleo é um produto químico nocivo ao meio ambiente e aumenta a receita da logística reversa.

Já o gás SF₆ presente no painel de média tensão (gás de efeito estufa) por ser reutilizado. Se necessário o gás pode ser reciclado, transformando-o em outros gases, como por exemplo CaF₂ (utilizados em pasta de dente) e CaSO₄ (Van der Zel, L., 2003 e Christophorou, Olhoff, 1998).

Tabela 21: Vantagens de desvantagens da reciclagem de sucata.

Vantagens	Desvantagens
Menor utilização de matéria prima	Não Aplicável
Menor consumo de energia elétrica	
Menor emissão atmosférica	

Fonte: Elaborada pela autora.

5.4.2.3 TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DOS EQUIPAMENTOS PARA FINS DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA

As sucatas dos equipamentos, em sua grande maioria, não são inflamáveis. Ou seja, elas derretem quando expostas à altas temperaturas, mas não pegam fogo. Isso torna o tratamento dos resíduos dos equipamentos para fins de recuperação energética impossível ou pouco provável.

5.4.2.4 DISPOSIÇÃO DO REJEITO DOS EQUIPAMENTOS

Difícilmente estes materiais irão para disposição, por causa do seu alto valor agregado.

5.4.3 TORRE

As torres podem ser construídas de aço ou cimento.

As torres de aço deverão ser divididas em partes menores para facilitar no transporte e poderão ser recicladas (assim como qualquer equipamento descrito no item anterior). Ou elas poderão ser reutilizadas, conforme descrito no item de repotenciação.

Iremos verificar qual poderá ser o destino ambientalmente correto das torres de concreto.

5.4.3.1 REUTILIZAÇÃO DAS TORRES

Caso o proprietário decida fazer a repotenciação dos parques ou continuar a geração após 20 anos trocando somente as *nacelles* (e se necessária as pás), as torres e as fundações poderão ser reutilizadas. De acordo com Roque e Moreno Junior (2005), as obras de caráter permanente possuem vida útil de 50 a 100 anos. Logo as torres e as fundações estarão dentro do período de sua vida útil. Recomenda-se a inspeção da torre e reparo, se necessário.

Mas caso ocorra o descomissionamento, provavelmente a alternativa de utilizar a torre em outro local será inviável por possíveis avarias (por causa de vibração, movimentação, impacto, etc.) na estrutura durante a desmontagem.

Rahnama sugeriu utilizar as pás como recife artificial e esta ideia também pode ser aplicável para as torres. Hoje em dia recifes artificiais são construídos com o intuito de proteger a vida marinha de seu pior predador, o ser humano. Nós degradamos o ambiente marinho através de resíduos jogados inapropriadamente nos rios e mares, na coleta de corais, pesca desordenada e ocupação, muitas vezes não autorizadas, da costa.

Um exemplo de corais artificiais é a única Unidade de Conservação Marinha do Estado do Ceará, o Parque Estadual Marinho da Pedro da Risca do Meio, criado em 1997. Este parque está cerca de 19km do Porto do Mucuripe, em Fortaleza. De acordo com a SEMACE (Superintendência Estadual do Meio Ambiente) o objetivo de sua criação é proteger uma área de reprodução e alimentação das espécies marinhas, resgatar a pesca artesanal (sem utilização de rede), pesquisas e atração turística.

A utilização dessas peças pode ser uma solução para aumentar esta área de 33km². A dificuldade desta alternativa é o transporte até o Parque. A diferença entre a utilização das torres e das pás é que o resultado da utilização do concreto é conhecido, pois os recifes construídos neste material.

Figura 34: Recife artificial de concreto.



Fonte: <http://ultimosegundo.ig.com.br/ciencia/meioambiente/2013-02-03/recifes-artificiais-recuperam-fauna-na-costa-do-parana.html> (acessado em 07/05/2016)

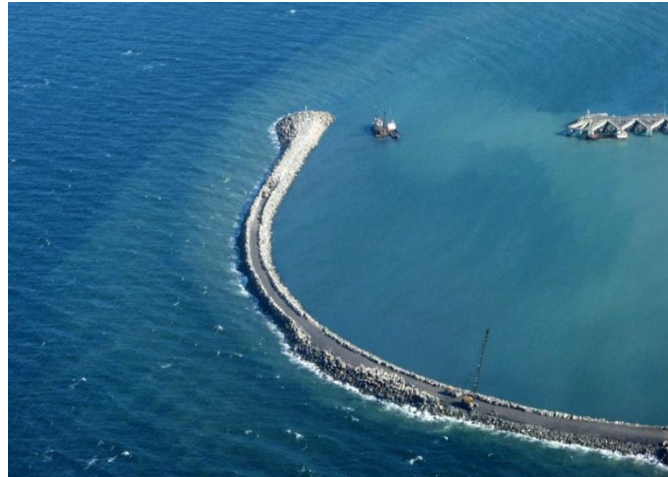
Uma possível alternativa é utilizar estas peças como quebra-mar. O Quebra-mar tem como função servir de barreira para diminuir a força das ondas. Esta estrutura é comumente utilizada em zonas portuárias (proteção e abrigo) e próxima de construções na zona costeira. Veja abaixo alguns exemplos destas construções.

Figura 35: Quebra-mar.



Fonte: <http://www.formenteratravel.com/blog/tag/ibiza/> (Acessado em 07/05/2016).

Figura 36: Quedra-mar – proteção e abrigo de zona portuária.



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgZ0UAH/obras-costeiras-estuarinas?part=2> (acessado em 07/05/2016)

5.4.3.2 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DAS TORRES

De acordo com a pesquisa realizada por Milanese (2009, nossa tradução), apesar da torre ser o maior componente da turbina, ela não é o mais pesado, equivale somente 23% do peso total. Cerca de 60% do peso refere-se à fundação.

90% da torre de aço pode ser reciclável, tornando o índice de reciclabilidade do aerogerador maior e auxiliando a viabilidade econômica do processo, por causa do alto valor da sucata de aço.

A reciclagem do aço já é conhecida e comumente realizada no Brasil.

O concreto, após ser triturado (britado), pode ser utilizado como:

- Enchimento em projetos de drenagem ou como material de base, sub-base ou revestimento em construção de rodovias, taludes, preenchimento de valas e vazios na construção – por não precisar ser moído, estas alternativas são as mais baratas.
- Agregado em novos concretos não estrutural, substituindo a areia e a brita, sendo necessário somente a água e cimento – também economicamente viável por não precisar ser moído várias vezes.

- Agregado para argamassa – custo alto, pois o concreto reciclado necessita de uma granulometria próxima da areia.

Dependendo de sua utilização, como vimos, ele pode ser britado (moído) apenas uma vez (primária) ou mais vezes.

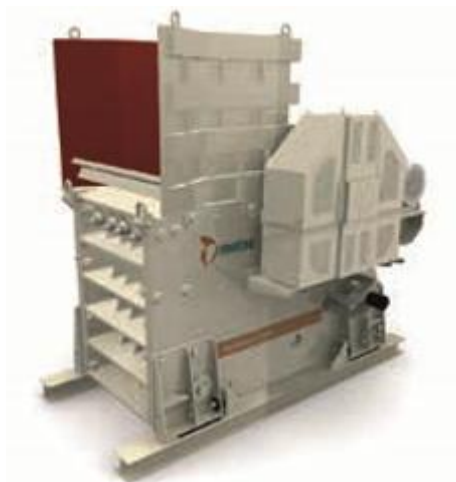
Tabela 22: Tamanhos máximos de alimentação e de saída da britagem.

Estágio da britagem	Tamanho máximo de alimentação (mm)	Tamanho máximo de saída (mm)
Primária	1.000	100,0
Secundária	100	10,0
Terciária	10	1,0
Quaternária	5	0,8

Fonte: Website Metalica.

Para realizar a etapa primária é comum utiliza o britador de mandíbula ou britador de impacto.

Figura 37: Britador de mandíbula.



Fonte: Catálogo Nordberg Britadores de mandíbulas série C – Metso Minerals

Considerado primária por não diminuir muito o tamanho do concreto. Possui baixo custo de manutenção e é o mais indicado para triturar concreto estrutural. As desvantagens são a poluição sonora local e a geração de pedaços grandes. (Silva,2004)

Outro tipo de britador é o de impacto.

Figura 38: Britador de Impacto.



Fonte: Catálogo Britadores de Impacto Nordberg Série NP – Metso Minerals

A vantagem deste equipamento é a trituração de concreto para obras de pavimentação, baixa poluição sonora, porém possui custo de manutenção alto e constantes trocas de peças. (Silva,2004)

De acordo com os estudos realizados por Silva (2004), o concreto fabricado utilizando agregado recicláveis atende as especificações técnicas da NBR quanto a resistência a compressão e resistência mínima para pavimentação de locais restrito aos pedestres.

De acordo com experiências realizadas por Góngora,Palneira (2012), a utilização de resíduos de construção e de demolição (argamassa, concreto, etc.) como agregado apresentou melhor desempenho para construção de estrada do que o com brita (convencional). Ele também aumentou a vida útil de estradas não pavimentadas, quando usado como reforço e o resíduo também pode ser utilizado como aterro.

De acordo com Porto, Silva (2008), quanto menos solo e outros resíduos estiverem na mistura do reciclado (no caso de demolição terá tijolo, azulejos, etc), melhor será a resistência do novo concreto. Ou seja, no caso de torres de concreto, não terão este problema, uma vez que somente terá concreto.

Gonçalves (2011) afirma que a utilização de concreto de cura convencional (utilização de “ar”, como por exemplo laje) utilizado como agregado pode ser utilizado em fabricação de peças pré-fabricadas, pois tecnicamente seu desempenho não diverge do convencional, como os concretos de cura técnica (utilização de vapor d’água, como por exemplo na fabricação de estacas). Assim, sendo importante verificar qual a origem do material antes de sua utilização.

Foram encontradas algumas empresas que fazer o concreto reciclado e outras que possuem o serviço de gestão e britagem dos resíduos de construção civil em geral.

A empresa Estação Resgate recicla concreto desde 2007. Possui 5 localidades, duas em Sete Lagoas (MG), São Paulo (SP), Aparecida de Goiânia (GO) e Recife (PE), esta última sendo a mais próxima dos parques em Trairi. Eles possuem também o serviço de britagem (120 toneladas / hora) no local do empreendimento, diminuindo assim a quantidade de caminhões para a retirada dos resíduos de construção civil.

Outra empresa neste ramo é a Usina de Reciclagem de Fortaleza Ltda. (Usifort Ambiental). Fundada em 1997 é responsável pela construção de algumas casas na região, como por exemplo as Casas Aracape feitas com concreto ecológico e o conjunto Anita Garibaldi.

A empresa RecinertAmbientale aluga e opera as máquinas britadeiras.

A empresa Soliforte no paran desde 2006 constr blocos de concreto com material reciclado, alm de concreto triturado to fino quanto areia ou mais grossos como pedrisco, brita e racho.

Como este material britado pode ser utilizado como material de enchimento em projetos de drenagem ou como material de base, sub-base ou revestimento em construo de rodovias, taludes, preenchimento de valas e vazios na construo. Logo a recuperao das rodovias onde os caminhes iro transitar pode ser feita com o material do prprio parque.

A armao do concreto pode ser reciclada por empresas recicladoras de sucatas, como as descritas no item anterior.

Tabela 23: Vantagens de desvantagens da reciclagem do concreto.

Vantagens	Desvantagens
Diminui o consumo de mteria prima	Dependendo da cura ter limitao na utilizao
Aumento da vida til de estradas no pavimentadas	

Fonte: Elaborada pela autora.

5.4.3.3 TRATAMENTO DOS RESDUOS DAS TORRES

O ao e o concreto no so materiais inflamveis, logo esta alternativa  improvvel.

5.4.3.4 DISPOSIO DO REJEITO DAS TORRES

A disposio das torres de ao  improvvel, por causa de seu alto valor agregado.

Assim como os entulhos de construo civil, o concreto tmm era comumente enviado para aterros sanitrios. Talvez por desconhecimento difundido da sua reutilizao ou por ser o processo mais fcil.

De acordo com a Legislação CONAMA 307 de 2002, o entulho não poderá mais ser enviado à aterros sanitários. Deverão ser dispostos em locais específicos para posterior reciclagem.

5.4.4 FUNDAÇÃO DE CIMENTO ARMADO

A fundação é normalmente construída com ferro e reforçada com concreto. O problema da remoção desta parte é o impacto ambiental que ela gera. Pois o buraco deve ser refeito, degradando novamente a área entorno da turbina.

Alguns autores acreditam que a fundação deve ser deixada onde está, pois com toda certeza em 20 anos a vegetação do local já se recuperou da instalação da fundação. Outros autores acreditam que este material deve ser retirado do subsolo e reutilizado em pavimentações de rodovias e estradas, dependendo de suas condições até sendo realizado em outra turbina ou mesmo enviado para disposição (este último aumenta o impacto ambiental e diminui o índice de reciclabilidade da turbina).

De acordo com os autores Martínez et al. (2008, nossa tradução) 100% do cimento da fundação pode ser reciclado, se caso a fundação for de aço e ferro, ela pode ser 90% reciclado.

De acordo com D'Souza e outros (2011) são utilizadas 902 toneladas de concreto, 45,2 toneladas de aço e ferro para a fundação de uma turbina de 3MW de potência.

Não tem estudos que comprovam que a reutilização da fundação é possível. Para sua retirada, ela deve ser quebrada, logo não pode ser reutilizada como fundação novamente.

Ela poderá ter o mesmo destino que as torres de concreto descrita nos itens anteriores. O ferro deverá ter as mesmas destinações dos equipamentos que possuem ferro, conforme descritas também nos itens anteriores.

6. ESTUDO DE CASO – PARQUES EÓLICOS EM TRAIRI

Ao longo do curso de energias renováveis aprendi que é possível gerar energia sem impactar muito nosso planeta. Para que a energia eólica continue sendo uma destas energias limpas, pesquisei alternativas ambientalmente corretas para os aerogeradores no fim de vida útil.

Neste estudo de caso, sugeri opções para destinações corretas das turbinas eólicas e subsistemas dos Parques Eólicos de Trairi (25,4MW), Mundaú (30MW), Flexeiras I (30MW) e Guajiru (30 MW), totalizando 50 aerogeradores da empresa Alemã Siemens com capacidade unitária de 2,3MW, diâmetro do rotor de 101 metros e torres de 80 metros de altura.

Figura 39: Localização dos Parques Eólicos.



Fonte: RIMA da Central Eólica Trairi Ltda, 2011

Estes parques estão localizados na cidade cearense de Trairi, à aproximadamente 124 km da capital Fortaleza. Trairi é uma pequena cidade de 925 km² e com cerca de 52 mil habitantes. Cidade litorânea com águas verde-esmeralda e cercada de dunas é conhecida por ter sido um dos cenários do romance Iracema de José de Alencar.

Principais Impactos Ambientais descritos nos RIMAs dos 4 empreendimentos:

- Aumento da movimentação nas vias de acesso e alargamento de 6 metros da via de acesso, causando poeiras, emissões de gases e ruído.
- Canteiro de obras gera impactos visuais, geração de resíduos e efluentes
- A remoção da vegetação, para a limpeza do terreno, pode causar processos erosivos, levantamento de poeira e geração de ruído;
- Fundação das torres, edificações civis, construção da subestação aumenta a movimentação do solo e de maquinários causando ruído, poeira, vibração, geração de resíduos;
- Montagem das torres e instalação dos aerogeradores causa impacto visual e tem o risco de vazamentos de produtos químicos;
- Para a instalação do cabeamento elétrico são necessárias a escavação de canaletas, ou seja, tem movimentação temporária do solo;

6.1. PARQUES EÓLICOS DO ESTUDO DE CASO

6.1.1. CENTRAL EÓLICA TRAIRI LTDA.

Todos os dados citados neste item foram retirados do Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA) da Central Eólica Trairi Ltda.

Central geradora eólica Trairi:

Tabela 24: Dados do Parque Eólico Trairi.

Parque Eólico Trairi	
Quantidade de Aerogeradores	11
Capacidade Instalada	25,4 MW
Área do terreno	37,99 ha
Estrutura operacional	<ul style="list-style-type: none"> * Estradas de acesso; * Cabeamento elétrico e de controle; * Subestação elevatória; * Centro de Controle; * Guarita e oficina / almoxarifado;

Fonte: Elaborada pela autora.

Neste terreno existem dunas e corpos hídricos, os quais são consideradas Área de Proteção Permanente (APP) pelas Resolução CONAMA nº 303 de 2002, Lei nº 4.771/75 e Lei nº 7.803/89. Estes não poderiam ser modificados, porém a Resolução CONAMA nº 369/2006 prevê o aproveitamento desta área quando o empreendimento for de utilidade pública ou interesse social. Seis aerogeradores foram instalados nesta área, como podemos ver na figura abaixo.

Figura 40: Configuração do Parque Eólico Trairi.



Fonte: RIMA da Central Eólica Trairi Ltda, 2011

Características do local:

- De acordo com as análises de ruídos, alguns pontos os níveis foram maiores que os determinados pela NBR 10.151;
- Dunas móveis e fixas;
- Áreas de alagamento no inverno – lagoas interdunares e lagoas temporárias;
- Vegetação tipo 1 – pioneira sobre as dunas móveis; algumas áreas degradadas pela agricultura, fogo e ocupação humana.
- 64 Espécies de aves (56 residentes e 8 migratórias); nenhuma considerada em extinção;
- 32 Espécies de répteis; nenhuma considerada em extinção;
- 22 Espécies de anfíbios; nenhuma considerada em extinção;
- 35 Espécies de mamíferos; Gato-pintado (*Leopardus tigrinus*) espécie ameaçada, alguns estudiosos acreditam que o morcego é uma das espécies mais afetadas pelos aerogeradores, porém ainda não há estudos deste tipo de influência no Brasil, além dos registros de colisões, causando morte. Porém, de acordo com o RIMA, o empreendimento não traz prejuízo.

Foram citados no RIMA 133 impactos ambientais neste empreendimento. Sendo 79 benéficos e 54 adversos. A maioria deles já foram citados no começo deste estudo de caso.

Figura 41: Quadro de avaliação dos impactos ambientais.

Caráter		Escala		Ordem		Magnitude		Duração	
Benéfico	Adversos	Local		Direto		Grande		Longa	
79	54	37	53	40	54	2	0	14	8
		Regional		Indireto		Média		Média	
		42	1	39	0	21	15	37	10
						Pequena		Curta	
				56	39	28	36		

Fonte: RIMA da Central Eólica Trairi Ltda, 2011

Um dos impactos positivos é a construção de estradas de acesso aos aerogeradores. Como este empreendimento não ficará cercado, os moradores poderão utilizar estes acessos livremente para chegar mais rapidamente a comunidades adjacentes.

Figura 42: Área alagada durante o inverno.



Fonte: RIMA da Central Eólica Trairi Ltda, 2011

Figura 43: Aerogerador mais ao sul do Parque, o mais próximo das instalações construídas (almoxarifado e *facilities*).



Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.

Figura 44: Central Eólica Trairi entre as dunas.



Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.

6.1.2. CENTRAL EÓLICA MUNDAÚ LTDA.

Todos os dados citados neste item foram retirados do Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA) da Central Eólica Mundaú Ltda.

Tabela 25: Dados do Parque Eólico Mundaú

Parque Eólico Mundaú	
Quantidade de Aerogeradores	13
Capacidade Instalada	30 MW
Área do terreno	183,64 ha
Estrutura operacional	<ul style="list-style-type: none"> * Estradas de acesso; * Cabeamento elétrico e de controle; * Subestação elevatória; * Centro de Controle; * Guarita e oficina / almoxarifado;

Fonte: elaborada pela autora.

Neste terreno existem dunas e corpos hídricos, os quais são consideradas Área de Proteção Permanente (APP) pelas Resolução CONAMA nº 303 de 2002, Lei nº 4.771/75 e Lei nº 7.803/89. Estes não poderiam ser modificados, porém a Resolução CONAMA nº 369/2006 prevê o aproveitamento desta área quando o empreendimento for de utilidade pública ou interesse social. Dez aerogeradores foram instalados nesta área, como podemos ver na figura abaixo.

Figura 45: Configuração do Parque Eólico Mundaú.



Fonte: RIMA da Central Eólica Mundaú Ltda, 2011

Características do local:

- De acordo com as análises de ruídos, alguns pontos os níveis foram maiores que os determinados pela NBR 10.151
- Dunas móveis e fixas;
- Áreas de alagamento no inverno – lagoas interdunares e lagoas temporárias;
- Vegetação tipo 1 – pioneira sobre as dunas móveis; nas áreas alagadas possuem espécies de lagoas, como as espécies *Hydrocotyle bonariensis* (Orelha-de-onça) e *Cyperus maritimus* (Capim-da-praia);
- 68 Espécies de aves (55 residentes e 13 migratórias); nenhuma considerada em extinção;
- 32 Espécies de répteis; nenhuma considerada em extinção;

- 22 Espécies de anfíbios; nenhuma considerada em extinção;
- 35 Espécies de mamíferos; Gato-pintado (*Leopardus tigrinus*) espécie ameaçada, alguns estudiosos acreditam que o morcego é uma das espécies mais afetadas pelos aerogeradores, porém ainda não há estudos deste tipo de influência no Brasil, além dos registros de colisões, causando morte. Porém, de acordo com o RIMA, o empreendimento não traz prejuízo.

Foram citados no RIMA 126 impactos ambientais neste empreendimento. Sendo 76 benéficos e 50 adversos. A maioria deles já foram citados no começo deste estudo de caso.

Figura 46: Quadro de avaliação dos impactos ambientais.

Caráter		Escala		Ordem		Magnitude		Duração	
Benéfico	Adversos	Local		Direto		Grande		Longa	
76	50	37	49	38	49	2	0	14	8
		Regional		Indireto		Média		Média	
		39	1	38	1	21	13	37	9
						Pequena		Curta	
						53	37	25	33

Fonte: RIMA da Central Eólica Mundaú Ltda, 2011

Um dos impactos positivos é a construção de estradas de acesso aos aerogeradores. Como este empreendimento não ficará cercado, os moradores poderão utilizar estes acessos livremente para chegar mais rapidamente a comunidades adjacentes.

Figura 47: Afloramento do lençol freático localizado na Planície de Deflação, ao norte do empreendimento.



Fonte: RIMA da Central Eólica Mundaú Ltda, 2011

Figura 48: Parque Eólico Mundaú.



Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.

6.1.3. CENTRAL EÓLICA FLEXEIRAS I LTDA.

Todos os dados citados neste item foram retirados do Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA) da Central Eólica Flexeiras I Ltda.

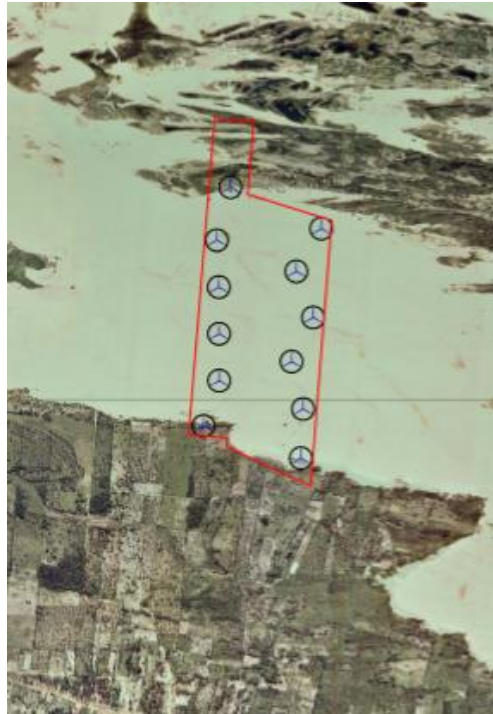
Tabela 26: Dados do Parque Eólico Flexeiras I.

Parque Eólico Flexeiras I	
Quantidade de Aerogeradores	13
Capacidade Instalada	30 MW
Área do terreno	74,04 ha
Estrutura operacional	<ul style="list-style-type: none"> * Estradas de acesso; * Cabeamento elétrico e de controle; * Subestação elevatória; * Centro de Controle; * Guarita e oficina / almoxarifado;

Fonte: elaborada pela autora.

Neste terreno existem dunas e corpos hídricos, os quais são consideradas Área de Proteção Permanente (APP) pelas Resolução CONAMA nº 303 de 2002, Lei nº 4.771/75 e Lei nº 7.803/89. Estes não poderiam ser modificados, porém a Resolução CONAMA nº 369/2006 prevê o aproveitamento desta área quando o empreendimento for de utilidade pública ou interesse social. Seis aerogeradores foram instalados nesta área, como podemos ver na figura abaixo.

Figura 49: Configuração do Parque Eólico Flexeiras I.



Fonte: RIMA da Central Eólica Flexeiras I Ltda, 2011

Características do local:

- De acordo com as análises de ruídos, alguns pontos os níveis foram maiores que os determinados pela NBR 10.151
- Dunas móveis e fixas;
- Áreas de alagamento no inverno – lagoas interdunares e lagoas temporárias;
- Vegetação tipo 1 – pioneira sobre as dunas móveis; Coqueirais;
- 38 Espécies de aves (31 residentes e 7 migratórias); nenhuma considerada em extinção;
- 32 Espécies de répteis; nenhuma considerada em extinção;
- 22 Espécies de anfíbios; nenhuma considerada em extinção;

- 35 Espécies de mamíferos; Gato-pintado (*Leopardus tigrinus*) espécie ameaçada, alguns estudiosos acreditam que o morcego é uma das espécies mais afetadas pelos aerogeradores, porem ainda não há estudos deste tipo de influência no Brasil, além dos registros de colisões, causando morte. Porém, de acordo com o RIMA, o empreendimento não traz prejuízo.

Foram citados no RIMA 126 impactos ambientais neste empreendimento. Sendo 76 benéficos e 50 adversos. A maioria deles já foram citados no começo deste estudo de caso.

Figura 50: Quadro de avaliação dos impactos ambientais.

Caráter		Escala		Ordem		Magnitude		Duração	
Benéfico	Adversos	Local		Direto		Grande		Longa	
76	50	37	49	38	49	2	0	14	8
		Regional		Indireto		Média		Média	
		39	1	38	1	21	13	37	9
						Pequena		Curta	
						53	37	25	33

Fonte: RIMA da Central Eólica Flexeiras I Ltda, 2011

Um dos impactos positivos é a construção de estradas de acesso aos aerogeradores. Como este empreendimento não ficará cercado, os moradores poderão utilizar estes acessos livremente para chegar mais rapidamente a comunidades adjacentes.

Figura 51: Parque Eólico Flexeiras I.



Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.

Figura 52: Parque Eólico Flexeiras I e Mundaú ao fundo.



Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.

6.1.4. CENTRAL EÓLICA GUAJIU LTDA.

Todos os dados citados neste item foram retirados do Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA) da Central Eólica Guajiru Ltda.

Tabela 27: Dados do Parque Eólico Guajiu.

Parque Eólico Guajiru	
Quantidade de Aerogeradores	13
Capacidade Instalada	30 MW
Área do terreno	75,59 ha
Estrutura operacional	<ul style="list-style-type: none"> * Estradas de acesso; * Cabeamento elétrico e de controle; * Subestação elevatória; * Centro de Controle; * Guarita e oficina / almoxarifado;

Fonte: elaborada pela autora.

Neste terreno existem dunas e corpos hídricos, os quais são consideradas Área de Proteção Permanente (APP) pelas Resolução CONAMA nº 303 de 2002, Lei nº 4.771/75 e Lei nº 7.803/89. Estes não poderiam ser modificados, porém a Resolução CONAMA nº 369/2006 prevê o aproveitamento desta área quando o empreendimento for de utilidade pública ou interesse social. Dois aerogeradores foram instalados nesta área, como podemos ver na figura abaixo.

Figura 53: Configuração do Parque Eólico Guariju.



Fonte: RIMA da Central Eólica Guariju Ltda, 2011

Características do local:

- De acordo com as análises de ruídos, alguns pontos os níveis foram maiores que os determinados pela NBR 10.151
- Dunas móveis e fixas;
- Áreas de alagamento no inverno – lagoas interdunares e lagoas temporárias;
- Vegetação tipo 1 – pioneira sobre as dunas móveis; nas áreas alagadas possuem espécies de lagoas, como as espécies *Hydrocotyle bonariensis* (Orelha-de-onça);

- 40 Espécies de aves (35 residentes e 5 migratórias); nenhuma considerada em extinção;
- 32 Espécies de répteis; nenhuma considerada em extinção;
- 22 Espécies de anfíbios; nenhuma considerada em extinção;
- 35 Espécies de mamíferos; Gato-pintado (*Leopardus tigrinus*) espécie ameaçada, alguns estudiosos acreditam que o morcego é uma das espécies mais afetadas pelos aerogeradores, porem ainda não há estudos deste tipo de influência no Brasil, além dos registros de colisões, causando morte. Porém, de acordo com o RIMA, o empreendimento não traz prejuízo.

Foram citados no RIMA 133 impactos ambientais neste empreendimento. Sendo 79 benéficos e 54 adversos. A maioria deles já foram citados no começo deste estudo de caso.

Figura 54: Quadro de avaliação dos impactos ambientais.

Caráter		Escala		Ordem		Magnitude		Duração	
Benéfico	Adversos	Local		Direto		Grande		Longa	
79	54	37	53	40	54	2	0	14	8
		Regional		Indireto		Média		Média	
		42	1	39	0	21	15	37	10
						Pequena		Curta	
						56	39	28	36

Fonte: RIMA da Central Eólica Guajiru Ltda, 2011

Um dos impactos positivos é a construção de estradas de acesso aos aerogeradores. Como este empreendimento não ficará cercado, os moradores poderão utilizar estes acessos livremente para chegar mais rapidamente a comunidades adjacentes.

Figura 55: Parque Eólico Guajiru.



Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.

6.2. ALTERNATIVAS AMBIENTALMENTE CORRETAS

De acordo com a revisão bibliográfica, sem dúvida as melhores alternativas para manter o parque em perfeitas condições são a manutenção preventiva e a instalação do Sistema de Monitoramento. Eles farão com que o aerogerador funcione corretamente e evite piores danos no equipamento durante sua vida útil.

A repotenciação é uma ótima alternativa após 10 ou 20 anos, quando mantida a mesma potência, por dois motivos:

1º A Lei 11.488 de 2007 institui o benefício do REIDI (Regime Especial de Incentivo para o Desenvolvimento da Infraestrutura), para empreendimentos de até 30MW, o qual terá descontos ou isenção de impostos como o PIS e COFINS.

2º A infraestrutura dos parques suporta até 30 MW cada. Mantendo esta potência não será necessário alterá-la. Serão utilizados os mesmos cabos e subestações (unitárias e de saída).

Para manter a mesma potência pode ser realizada as seguintes alternativas:

- a. *Retrofit* dos aerogeradores e reinstalação;

Tabela 28: Vantagens de desvantagens do retrofit.

Vantagens	Desvantagens
Não há grande geração de resíduos	Local da realização da atividade
Menor custo com manutenção	Não há garantia de vida útil de 20 anos

Fonte: Elaborada pela autora.

- b. Troca dos aerogeradores por equipamentos mais novos e mais potentes (diminuindo a quantidade de máquinas)

Tabela 29: Vantagens de desvantagens da troca de equipamentos.

Vantagens	Desvantagens
Menor número de máquinas – menor custo com manutenção	Descomissionamento de algumas torres
Maquinas novas – melhor desempenho	Impacto do transporte dos equipamentos novos e antigos
	Geração de resíduos

Fonte: Elaborada pela autora.

Para a escolha destas duas alternativas o empreendedor terá que estudar a viabilidade técnica e financeira na época. Quanto a parte ambiental, a alternativa A é a melhor, pois a quantidade de resíduos gerados será menor que a B e também não será necessário o descomissionamento de nenhuma torre.

6.2.1. DESCOMISSIONAMENTO

Conforme já mencionado na revisão bibliográfica, o descomissionamento deve ser realizado da maneira inversa ao comissionamento.

Porém, antes do início do processo, as atividades devem ser planejadas.

6.2.1.1. PLANEJAMENTO DO DESCOMISSIONAMENTO

Primeiramente deve-se verificar o EIA/RIMA e as Legislações do local. No caso dos parques eólicos em Trairi, não existe nenhuma orientação no EIA / RIMA dos quatro parques e, como mencionado na revisão bibliográfica, não existe nenhuma legislação específica para descomissionamento no Brasil, porém existe a Resolução estadual do Ceará COEMA 10/15, a qual estabelece critérios para o licenciamento ambiental de atividades e estabelecimentos efetivos e/ou potencialmente poluidores. De acordo com esta resolução, apesar de não estar explícito o descomissionamento de aerogeradores, atividades que possam causar degradação ambiental devem ser licenciadas.

Então, após elaborado o planejamento da atividade de descomissionamento do parque, o representante legal da empresa deverá solicitar a licença prévia, de acordo com o artigo 5º da COEMA 10/15.

Como não existe uma condicionante no EIA/RIMA ou uma legislação específica de como realizar a atividade de descomissionamento, deverá ser elaborado um plano de descomissionamento.

Para o cumprimento da lei 12.305/2010 (Política Nacional dos Resíduos Sólidos) deve-se criar um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) contendo a relação e quantidade de resíduos que serão gerados no descomissionamento dos parques. E também em cumprimento a lei CONAMA 307/2002 (estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Também considera que os empreendedores devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, vegetação e solos

removidos) deverá ser elaborado também o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC).

Para a elaboração deste plano, seguiremos o passo a passo descrito na revisão bibliográfica:

- Posterior utilização do terreno:

No caso de Trairi será utilizado como ponto turístico, como era antes e durante a instalação do parque.

- Período a ser realizadas as atividades:

Se realizado em período de seca, sugere-se que caminhão pipa seja contratado para molhar as vias de acesso para diminuir o levantamento de poeira. Pois se realizado em tempo de chuvas, além do aparecimento das lagoas interdunares que poderão dificultar o acesso dos guindastes e caminhões, estes podem atolar nas vias de acesso dos parques em Trairi.

- Plano de transporte e trafico:

O plano elaborado para o comissionamento deve ser atualizado para esta atividade. Deve ser feito o processo de verificação das condições das rodovias, assim como a averiguação de sua largura. Deverá verificar os horários de rush do local e sinalização existentes. Caso estas não estejam adequadas, deverão ser trocadas e a movimentação dos caminhões sinalizadas.

- Levantamento das legislações de Saúde e Segurança que deverão ser cumpridas, assim como as leis ambientais: Sugere a contratada de uma empresa de especializada em legislações para o levantamento de legislações aplicáveis ao descomissionamento dos parques. Assim, verificando a necessidade de um Engenheiro de Segurança do Trabalho, PPRA (Programa de Prevenção a Riscos Ambientais), PCMSO (Programa de Controle Médico de Saúde), Levantamento de Perigos e Riscos Ocupacionais e Aspectos e Impactos Ambientais, a necessidade de treinamentos específicos dos realizados das atividades como,

por exemplo, NR35 – Trabalho em Altura, legislação aplicável à movimentação e destinação dos resíduos, etc.

- É recomendada a existência de um local de armazenamento temporário para os resíduos gerados. Este local deve ser fora da Área de Preservação Permanente.
- Elaboração do plano de atendimento a situações emergenciais e avisar os bombeiros sobre a atividade.

Todos os itens mencionados acima preocupam-se com o social (saúde e segurança dos contratados para a execução da atividade), ambiental (minimizar o impacto ambiental) e o econômico (evitando a autuação em caso de descumprimento de lei, incidentes com danos ambientais, pessoais ou materiais).

6.2.1.2. ATIVIDADE DE DESCOMISSIONAMENTO DO AEROGERADOR

1º Desenergização do parque – Desligamento da subestação unitária, abertura dos disjuntores dos circuitos da rede interna, abertura dos disjuntores e chave de alta tensão, assim como da subestação elevatória. Verificar se a ausência de tensão em todas as fases e se possível utilizar o LOTO (Lock Out Tag Out - trava contra religação/identificação), para evitar qualquer possibilidade de choque elétrico.

2º Retirada da cerca de proteção – Para que a grua e os caminhões possam chegar o mais próximo possível do aerogerador. Enviar material para o local de armazenagem temporária.

3º Retirar os equipamentos da subestação unitárias – Para que não ocorra vazamentos, é recomendável que o óleo do transformador seja retirado antes de sua movimentação. Os cabos do painel de média tensão devem ser desconectados para que o painel possa ser removido. Enviar material para o local de armazenagem temporária.

Figura 56: Cerca de proteção e subestação unitária de uma torre em um dos parques em Trairi.



Fonte: fotografia tirada pela autora durante visita técnica, 2015.

4º Montagem do guindaste para o descomissionamento – certificar-se que o guindaste foi posicionado em local seguro e seu perímetro isolado. Sua movimentação só poderá ser realizada por pessoas autorizadas e treinadas. Deve-se verificar a possibilidade e necessidade de instalar telas de proteção à queda de materiais e sedimentos. O equipamento necessita ter uma capacidade de aproximadamente 200 toneladas.

5º Verificação de vazamentos dos equipamentos dentro da *nacelle* e retirada, quando possível, todos os óleos contidos nos mesmos - evitar qualquer incidente ambiental (contaminação do solo). Armazenar o óleo em um recipiente e leva-lo para o local de armazenagem temporária.

6º Desconectar cabos e peças (parafusos e conectores) para a retirada e descida do rotor – As pás e *hub* (não existe cone nestes aerogeradores) devem ser desconectados no nível do chão. Tempo aproximado de desmontagem de 4 horas (baseado no tempo de montagem de acordo com o vídeo da MidAmerican Energy Company). Transportar o material para o local de armazenagem temporária.

7º Desconectar cabos e peças (parafusos e conectores) para a retirada e descida da *nacelle* - Tempo aproximado de operação de 4 horas (baseado no tempo de preparação e içamento de acordo com o vídeo da MidAmerican Energy Company).

Transportar a *nacelle* de aproximadamente 82 toneladas (de acordo com o mesmo vídeo) para o local de armazenagem temporária.

8º Desconectar e retirar os cabos, plataformas, escada (ou elevador), iluminação interna da torre – preparação para os descomissionamento da torre.

9º Descomissionamento da torre: As torres dos quatro parques são de peças de concreto pré-moldadas. Como mencionado anteriormente a maneira mais rápida de descomissionamento da torre é a implosão. Pelo fato dos parques estarem em uma Área de Proteção Permanente (APP), esta atividade será, bem provavelmente, proibida pelo órgão ambiental do estado e também se tornará inviável pelo levantamento de areia das dunas que esta atividade causará.

Por ser um cenário novo e ainda não ter sido testado, não foi possível obter orçamentos para realizar a comparação econômica das alternativas descritas na revisão bibliográfica. Também não é possível estimar qual alternativa irá afetar mais ou menos a comunidade, então, considere a parte “social” do tripé da sustentabilidade a segurança dos trabalhadores que realizarão as atividades. Logo, de todas as alternativas estudadas, a utilização de argamassa ou cal expansiva é considerada a mais viável, pois, de acordo com o fabricante, o produto não emite gases tóxicos para as pessoas ou nocivos para o meio ambiente. A utilização do guindaste, ainda se faz necessária, pois a torre deverá ser suportada por este equipamento.

Para a colocação da argamassa expansiva, é recomendada a perfuração inclinados na base da torre para que facilite a entrada do produto e no caso de concreto armado, recomenda-se também que os furos sejam paralelos as armaduras principais. A empresa Chimica Edlie do Brasil Ltda sugere as seguintes proporções de diâmetro e espaçamento dos furos:

Tabela 30: Proporções de diâmetro e espaçamento dos furos.

Diâmetro	Espaçamento
32mm	12 a 20 cm
35mm	25 a 40 cm
40mm	45 a 60 cm

Fonte: http://chimicaedile.com.br/arquivos/demolicao/cat_demox.pdf (acessado em 18/05/2016)

De acordo com o mesmo fabricante, quanto mais alta a temperatura ambiente mais rápida será a reação química. Para temperatura de aproximadamente 20°C, o tempo de expansão é de aproximadamente 24 horas.

A cidade de Trairi possui uma média histórica de temperaturas de 30°C, isso poderá agilizar a reação química do produto, tornando assim o descomissionamento do parque um pouco mais rápido que 24 horas por utilização.

Para utilização da argamassa, pode ser realizada de duas maneiras:

- a. Colocação da argamassa expansiva na base da torre

Tabela 31: Vantagens de desvantagens da utilização da argamassa expansiva na base.

Vantagens	Desvantagens
Atividade durará no máximo 24h	Guindaste de capacidade de 750 toneladas
Menor quantidade de argamassa expansiva	Custo da diária do guindaste
	Transporte da peça inteira

Fonte: Elaborada pela autora.

- b. Colocação da argamassa expansiva na área de junção dos peças pré-moldadas

Tabela 32: Vantagens de desvantagens da utilização da argamassa expansiva na junção.

Vantagens	Desvantagens
Guindaste de menor capacidade	Maior tempo de descomissionamento
Custo da diária do guindaste	Maior quantidade de argamassa expansiva
Transporte de pedaços da torre	

Fonte: Elaborada pela autora.

Para a escolha destas atividades, deverá ser realizada uma pesquisa de preço das diárias dos guindastes. No caso da escolha da primeira opção, o valor do aluguel do guindaste será maior, porém por menos dias, quando comparado com a outra alternativa.

Após este processo a torre poderá ser colocada no chão para ser quebrada com um rompedor, facilitando assim o transporte até o espaço reservado para armazenamento temporário ou levada inteira até o local e lá ser quebrada.

A utilização do rompedor hidráulico acoplado à uma escavadeira não foi escolhido pois seria uma atividade perigosa para o condutor da escavadeira, uma vez que ele ficaria bem próximo à torre e pedaços de concreto poderiam cair sobre ele. A serra de diamante é preparada para cortar peças retas, como não foi encontrada nenhuma utilização em peças redondas, teria que ser feita uma adaptação, o que pode tornar perigoso para o operador. Corte com água pressurizada é inviável, uma vez que há possibilidade de alagamento, tornando difícil a movimentação dos veículos pesados.

10º Retirada da fundação – Para que não ocorra uma grande movimentação de terra e areia do local é recomendável a retirada parcial da fundação com um rompedor ou com a argamassa expansiva, aproximadamente 90cm de profundidade. Como mencionado na revisão bibliográfica, o impacto ambiental da fundação do aerogerador (barulho, movimentação da terra, vibração, transporte de resíduos, transporte do material que irá preencher o buraco criado, emissão de CO₂ e custo) será maior que se a fundação for deixada como está. O entulho deve ser enviado para o local de armazenagem temporária.

Todos os itens mencionados acima preocupam-se com o social (saúde e segurança dos contratados para a execução da atividade), ambiental (minimizar o impacto ambiental) e o econômico (utilizando a atividade possíveis mais barata).

6.2.1.3. ATIVIDADE DE DESCOMISSIONAMENTO DA INFRAETRUTURA DOS PARQUES

1º Remoção de cabos – Os cabos dos parques em Trairi são todos subterrâneos. Assim como a fundação, é recomendável a permanência onde estão para evitar a movimentação de terra e areia. E como sugerido pelos autores lidos, é recomendável que as pontas sejam cobertas por material isolante e enterradas.

2º Desmontagem da subestação elevatória – Para que não ocorra vazamentos, é recomendável que o óleo do transformador seja retirado antes de sua movimentação. Também é recomendada a retirada do gás SF₆ dos disjuntores com máquina de evacuação de ar/gás. Os demais componentes da subestação deverão ser descomissionados, as britas devem ser recolhidas, a caixa separadora de água e óleo do transformador deve ser verificada e limpa, a fundação dos equipamentos também poderá ser enterrada para evitar maiores impactos. Os equipamentos da sala de controle da subestação elevatória também deverão ser desmontados e retirados do local. Todos os equipamentos e componentes devem ser transportados para área destinada a armazenagem temporária.

Figura 57: Carrinho para transporte de cilindro, evacuação de ar e reenchimento com gás SF₆.



Fonte: Engemet Elétrica

3º Prédios de apoio – Foram construídos 4 prédios, 1 galpão para armazenagem de componentes e produtos para manutenção dos aerogeradores, 1 escritório para monitoramento do parque e atividades de manutenção, 1 para equipamentos e produtos de manutenção do parque.

Para que não seja necessária a demolição destas estruturas, é sugerido um acordo com o dono do terreno para a doação desta área para a prefeitura com o intuito de criação de escolas, creches ou mesmo aluguel desta estrutura par alguma empresa de pequeno porte.

Caso o proprietário não tenha interesse, os prédios deverão ser demolidos com escavadeira. As quatro portarias construídas para controle de entrada e saída dos parques deverão também ser demolidas. Todo o resíduo deve ser enviado à área de armazenagem temporária.

4º Após a destinação ambientalmente correta dos materiais (descrita no próximo item), a área de armazenagem temporária deve ser desativada e deixada como era antes.

5º Após toda esta movimentação, é recomendado que todo o terreno seja verificado para garantir a devolução ao proprietário da maneira que era antes da instalação dos parques.

6º As rodovias de acesso devem ser inspecionadas e, se necessário, melhoradas após a movimentação dos caminhões.

7º Monitoramento da área – Apesar de não ser obrigatória, nem exigida pela legislação, é recomendado o monitoramento do solo para se certificar-se que não ocorrerá erosão, assim como monitoramento da fauna e flora da localidade.

Todos os itens mencionados acima preocupam-se com o social (saúde e segurança dos contratados para a execução da atividade), ambiental (minimizar o impacto ambiental e manter o terreno como era antes do comissionamento) e o econômico (utilizando a atividade possíveis mais barata).

6.2.2. DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE CORRETA

Não será considerado nesta parte o *retrofit* dos equipamentos e será seguido o fluxo da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos para fins de recuperação energética e disposição).

Neste caso a não geração de resíduos é praticamente impossível, pois nem todo o material será 100% reciclado. E a redução da geração de resíduos seria a alternativa do *retrofit*. Este gerará resíduos, porém em menor quantidade e o equipamento terá maior vida útil.

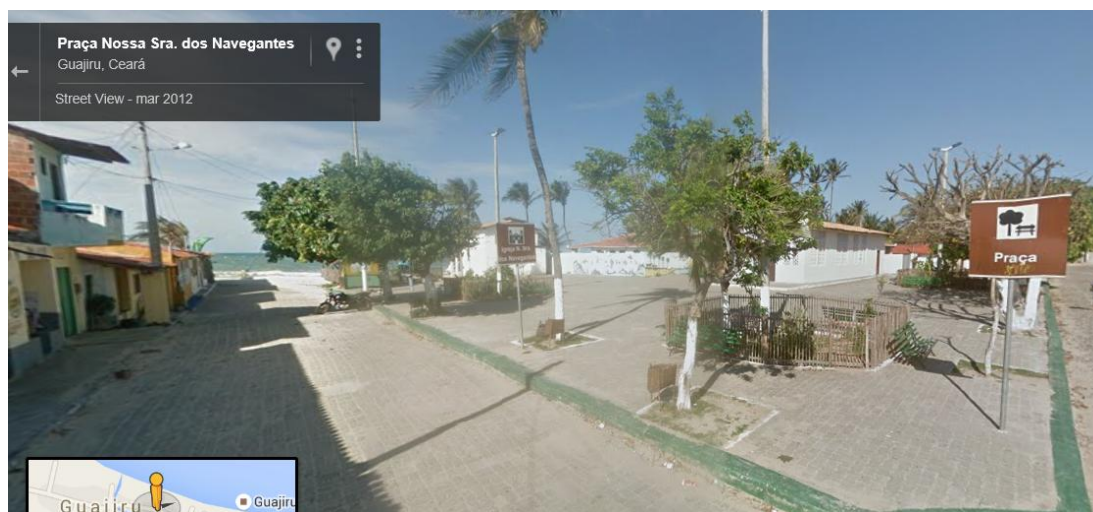
Além do tripé da sustentabilidade será considerada alternativas viável para a empresa.

6.2.2.1. PÁS

São 50 aerogeradores nos parques em Trairi, isso totaliza 150 pás eólicas. Cada pá possui aproximadamente 10 toneladas. Ou seja, em 2032/2033 poderão ser gerados 1.500 toneladas de fibras de vidro reforçada para a destinação ambientalmente correta.

Sem dúvida a melhor alternativa seria a reutilização na construção de um playground. Eles poderiam ser construídos em praças da região e próximo de escolas. Abaixo estão duas praças da região que poderiam ser utilizadas para a construção do playground.

Figura 58: Praça Nossa Senhora dos Navegantes em Guajiru, Ceará.



Fonte: Google Street View (visto em 03/05/2016)

Figura 59: Praça na frente do Fórum em Trairi, Ceará.



Fonte: Google Street View (visto em 03/05/2016)

Porém esta alternativa por ser inviável para uma empresa. Por exemplo, uma vez que a burocracia da “doação” para a prefeitura pode ser um problema ou em caso ocorra um acidente com as crianças a mídia poderá associá-lo com a marca da empresa.

As alternativas de reciclagem são reduzidas devido à falta desta tecnologia no país. Pois ainda não existem empresas que realizem pirólise, gaseificação, hidrólise. Também não existe nenhum caso comprovado da utilização de fibra de vidro como agregado do concreto, como sugerem Bini, Antunes e Sottovia (2011). Esta poderia ser a melhor alternativa para a reciclagem de pás eólicas.

Até 2032/33 acredita-se que as URE já estejam difundidas no país para a recuperação energética dos resíduos. Mas hoje, esta alternativa não é viável ainda.

Logo, as alternativas viáveis é o coprocessamento em substituição de combustíveis nas caldeiras das empresas cimenteiras, como por exemplo a Votorantim ou disposição em aterro sanitário.

O estado do Ceará possui apenas 4 aterros sanitários. O aterro da cidade de Caucaia é o mais perto de Trairi, cerca de 87km. Não é uma alternativa ambientalmente correta, como já lido na revisão bibliográfica, porém, a curto prazo é a mais fácil, e se não aceita pela cimenteira, é a única.

Tabela 33: Resumo das possíveis destinação ambientalmente correta das pás.

Pás	Coprocessoamento
	Aterro Sanitário

Fonte: Elaborada pela autora.

6.2.2.2. EQUIPAMENTOS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS (AÇO, FERRO, COBRE, ETC.)

A somatória dos pesos dos materiais utilizados nos 50 aerogeradores dos parques em Trairi (baseado nas considerações de D'Souza, Gbegbaje, Shonfield):

Tabela 34: Quantidade aproximada de materiais dos quatro parques eólicos.

Aerogerador e cabos	
Materiais	Peso total (t)
Aço e ferro	15.560*
Alumínio	885
Cobre	240
Fibra de Vidro e Polímeros	1.600
Cerâmica e vidro	1.000
Elétricos, Eletrônicos e Magnéticos	120
Lubrificantes	65
Outros materiais	160

Fonte: Elaborada pela autora baseada nos estudos de D'Souza, Gbegbaje, Shonfield (2011).

*No caso de Trairi, a quantidade de aço será de aproximadamente 8.800 toneladas, pois a torre é de concreto, totalizando 32.000 toneladas deste material nos quatro parques.

Definitivamente a melhor alternativa para estes resíduos é a reciclagem. A reciclagem de sucata no país é bem conhecida e é uma prática bastante realizada.

A sucata pode ser enviada para a unidade mais próxima da Gerdau, em Fortaleza. Ou para o Grupo Recicla BR criado em 2013 é o maior grupo de reciclagem de metais não ferrosos no Brasil. Sua capacidade é de reciclar cerca de 200 mil toneladas de sucata não ferrosa anualmente. São 22 Centros de Coleta, sendo um deles no Ceará. (Informações retiradas do site da empresa).

O óleo pode ser enviado para a empresa Lwart Lubrificante. Ela possui 15 centros de coletas espalhados pelo Brasil, o mais perto fica em Feira de Santana na Bahia.

Tabela 35: Resumo das possíveis destinação ambientalmente correta dos equipamentos.

Sucatas em geral - aço, ferro, cobre, alumínio, cerâmica, vidro, etc.	Reciclagem
Óleo isolante e hidráulico	Reciclagem

Fonte: Elaborada pela autora.

6.2.2.3. TORRE E FUNDAÇÃO

Apesar a sugestão de utilizar peças como recifes artificiais seja uma boa ideia, novamente pode não ser viável para a empresa.

A quantidade aproximada de concreto que será triturado e enviado para a reciclagem é de 38 mil toneladas.

Das empresas descritas na revisão bibliográfica, a Usina de Reciclagem de Fortaleza Ltda. (Usifort Ambiental) é a melhor alternativa para envio dos resíduos dos parques em Tairi, pois é a empresa mais próxima.

Tabela 36: Resumo das possíveis destinação ambientalmente correta do concreto.

Concreto	Reciclagem
Ferro da armação	Reciclagem

Fonte: Elaborada pela autora.

6.2.2.4. INFRAESTRUTURA DOS PARQUES

A subestação elevatória possui diversos equipamentos, entre eles estão o transformador de potência, disjuntores, chaves seccionadora, TI (transformadores de corrente e potencial), relés, Para-raios, etc.

Os materiais destes equipamentos são basicamente aço (das carcaças dos transformadores), cobre, silício, alumínio, óleo, cerâmica e Hexafluoreto de enxofre (SF₆).

O gás SF₆ é utilizado como gás isolante em disjuntores e painéis de média tensão. Apesar de não ser tóxico quando inalado, é um dos gases mais nocivos para o efeito estufa (efeito de criação de uma barreira que impede a calor se dissipar para o espaço, aquecendo a Terra), seu potencial de bloqueio, quando comparado com o efeito do dióxido de carbono (CO₂), é 23 mil vezes maior.

Nos parques em Trairi foram utilizados cerca de 27 km de cabos. Estes estão enterrados a uma profundidade aproximada de 3 metros. Para evitar a escavação de 27 km, é sugerido que estes cabos sejam deixados onde estão.

Os equipamentos da Subestação elevatória podem ser reutilizados e reciclados conforme descrito no item 6.2.2.2. E o gás SF₆ pode ser reutilizado em novos equipamentos. Uma vez que este

A área de armazenagem temporária dos materiais deverá ser desfeita e seu resíduos também destinado ambientalmente correto.

Conforme mencionado anteriormente os prédios construídos nos parques de Trairi deverão ser demolidos e os resíduos serão enviados junto com os resíduos das torres para reciclagem.

É sugerido que as rodovias utilizadas sejam recuperadas após o envio dos materiais no fim de sua vida útil. Uma possibilidade já mencionada no item anterior é a utilização do entulho britado para a recuperação da rodovia.

Tabela 37: Resumo das possíveis destinação ambientalmente correta da infraestrutura.

Subestação elevatória, 23km de cabos	Reciclagem / reutilização do SF6
Prédio de <i>Facilities</i> - entulho	Reciclagem
Área de armazenagem temporária e estradas e rodovias	Verificadas e deixadas como antes

Fonte: Elaborada pela autora.

7. CONCLUSÃO

O descomissionamento e a logística reversa de aerogeradores ainda são desafios para as empresas, principalmente nos países que o envio de resíduos para aterro é proibido.

Apesar de existirem diversas alternativas ambientalmente corretas, sua grande maioria ainda é experimental e realizadas por estudantes de universidades ou ainda não são realizadas no Brasil.

É esperado que até 2033 já existirão técnicas mais avançadas para serem utilizadas nos parques em Trairi.

Resumo das técnicas de descomissionamento e em negrito (quando mais de uma alternativa) a sugerida no estudo de caso dos parques em Trairi:

Tabela 38: Resumo dos principais equipamentos e técnica de descomissionamento.

Rotor e <i>Nacelle</i>	Utilizando um guindaste, desmontando da maneira inversa do comissionamento
Torre	<ul style="list-style-type: none"> • Implosão • Maçarico • Rompedor hidráulico acoplável • Serra ou fio de diamante • Argamassa ou Cal expansiva – na junção ou na base • Água pressurizada
Fundação	<ul style="list-style-type: none"> • Retirada total • Retirada parcial de 90cm
Subestações unitárias e elevatória	Descomissionamento da maneira inversa da montagem; aterramento da fundação da Subestação elevatória
Prédios, cercas, área de armazenagem temporária dos resíduos e rodovias	Demolidos / desfeitos; terrenos verificados e deixados como antes

Fonte: Elaborada pela autora.

O quadro abaixo é o resumo dos principais componentes, seus materiais e suas destinações ambientalmente corretas até o momento. Em negrito estão as alternativas sugeridas para os resíduos gerados em Trairi.

Tabela 39: Resumo dos componentes, materiais e destinação ambientalmente correta.

Componente	Material	Destinação (disponível no Brasil)
Pás eólicas e <i>nouse</i> (cubo)	Fibra de Vidro	<u>Reutilização</u> - <i>retrofit</i> ; playground; móveis; arquitetura; recife artificial. <u>Reciclagem</u> - agregado de concreto reciclado (fase de estudo). <u>Recuperação energética</u> - URE; Coprocessoamento; <u>Disposição</u> - aterro sanitário industrial
<i>Nacelle e Hub</i>	Aço	<u>Reutilização</u> - <i>retrofit</i> . <u>Reciclagem</u> - empresas recicladoras de sucata . <u>Recuperação energética</u> - pouco provável por causa de seu alto valor agregado <u>Disposição</u> - pouco provável por causa de seu alto valor agregado
Equipamentos do aerogerador e subestação (gerador, transformador, eixo principal, caixa de engrenagem, painel, disjuntores, etc.)	Aço, Ferro, Alumínio, Cobre, Polímeros, Cerâmica, Vidro, Componentes elétricos, eletrônicos e magnéticos, óleo isolante, óleo lubrificante	<u>Reutilização</u> - <i>retrofit</i> ; SF6 - Reutilização em novos equipamentos <u>Reciclagem</u> - empresas recicladoras de sucata, cerâmica e vidro; empresa especializada em refino de óleo . <u>Recuperação energética</u> - pouco provável por causa de seu alto valor agregado <u>Disposição</u> - pouco provável por causa de seu alto valor agregado
Torre, Fundação e Prédios (almoxarifado, portarias e <i>facilities</i>)	Concreto armado, peças pré-moldadas e entulho	<u>Reutilização da torre</u> – <i>retrofit</i> ; recife artificial; quebra-mar. <u>Reciclagem do entulho</u> - concreto reciclado <u>Recuperação energética</u> - não inflamável <u>Disposição</u> - proibida por lei (CONAMA 307/2002)

Fonte: Elaborada pela autora.

8. BIBLIOGRAFIA

AECOM Australia Pty Ltd. **Decommissioning and Rehabilitation Plan** - Crookwell 3 Wind Farm Project – Australia - 29 June 2012

ALBERS, Hennig. **Recycling of Wind Turbine Rotor Blades** - Fact or Fiction?. Publicado em: DEWI Magazin nº 34, 2009.

ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica). **Brochura de Energia Eólica da ANEEL** – disponível em [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf) Acessado em 04/01/2016

AKESSON, D.; FOLTYNOWICZ, Z.; CHRISTÉEN, J.; SKRIFVARS, M.. **Products obtained from decomposition of glass fiber-reinforced composites using microwave pyrolysis**. Publicada em POLIMERY 2013, 58, nr 7—8

BARTOLI FILHO, Wesley de Souza. **Argamassa expansiva**. Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. 2010

BRAINSFAIR, Bob. **Onshore Windfarm Decommissioning and Restoration Workshop**: Case Study: Bramford Landfill, Suffolk – Global Environmental Solutions 2012

BINI, M. P. M.; ANTUNES, M. L. P.; SOTTOVIA, L.. **Estudo da Incorporação de Resíduo de Fabricação de Pás Eólicas para Aerogeradores em Cimento Portland** - 3º International Workshop Advances in Cleaner Production, 2011

Black Oak Wind Farm – **Appendix E – Preliminary Decommissioning Plan**. Disponível em: http://www.blackoakwindny.com/wp-content/uploads/Appendix_E_-_Preliminary_Decommissioning_Plan.pdf acessado em 17/08/2015

BLORUP, Mads; ANDERSEN, Per Dannemand. **Recycling and removal of offshore wind turbines** – An interactive method for reduction of negative environmental effects. Publicado em: ResearchGate. 2015

BREAUSSON, J.; BECH, J. I.; BRØNDSTED, P.. **Composite recycling**: Characterizing end of life wind turbine blade material – Publicado em: Proceedings of 19th International Conference on Composite Materials - 2014.

Brochura da **Turbina Siemens** utilizada no site de Trairi - SWT 2.3 - 101 (Siemens Wind Turbine - 2.3 MW e 101m de diâmetro de rotor) - disponível em http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/wind-power/SWT-2%203-101_brochure_EN_022012.pdf - visualizado em 30/01/2016

CASTRO, Marcos Daniel Gomes. **Caracterização do processo de reciclagem do óleo lubrificante usado em postos de combustíveis e identificação de desafios frente à Política Nacional de Resíduos Sólidos**. BAURU 2011

Catálogo Britadores de Impacto Nordberg Série NP – Metso Minerals, disponível em [http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/1E76CD497587F984C1257115004B1691/\\$File/NP_Port.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/1E76CD497587F984C1257115004B1691/$File/NP_Port.pdf) . Acessado em 05/04/2016.

Catálogo Nordberg Britadores de mandíbulas série C – Metso Minerals disponível em [http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/0D7557574F5A77CD42256B7B00342A2A/\\$File/C_Series_Portuguese.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/0D7557574F5A77CD42256B7B00342A2A/$File/C_Series_Portuguese.pdf) Acessado em 05/04/2016

CHERRINGTON, R.; GOODSHIP, V.; MEREDITH, J.; WOOD, B. M.; COLES, S. R.; VUILLAUME, A.; FEITO-BAIRAC, A.; SPEE, F.; KRWAN, K.. **Producer responsibility**: Defining the incentive for recycling composite wind turbine blades in Europe – Publicado em: Energy Policy, 2012.

CHRISTOPHOROU, L. G.; OLTHOFF, J. K.. **Gaseous Dielectrics VIII**. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, Maryland.1998. Disponível em <https://books.google.com.br/books?hl=pt->

BR&lr=&id=1fgjnGtAdSkC&oi=fnd&pg=PA431&dq=SF6+recycling+guide:+Reuse&ots=4oDalLuPMo&sig=pvjbPBQuXGiH3s_mVXjz96ftCS0#v=onepage&q=SF6%20recycling%20Oguide%3A%20Reuse&f=false. Acessado em 13/04/2016.

COPEL GERAÇÃO- **Manual de avaliação técnico-econômico de empreendimentos eólicos -elétricos** -DEN/CER - CGER 001 - Curitiba -2007

COSTA, R. A.; CASOTTI, B. P.; AZEVEDO, R. L. S.. **Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica.** - publicado em BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 29, p. 229-278, mar. 2009

CRAWFORD, R. H. **Life cycle energy and greenhouse emissions analysis of wind turbines and the effect of size on energy yield** – publicado em Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 -2009 – páginas 2653–2660

DAVIDSSON, S.; HÖÖK, M.; WALL, G.. **A review of life cycle assessments on wind energy systems.** 2012. published in The International Journal of Life Cycle Assessment.

D'Souza, N.; Gbegbaje-Das. E.; Shonfield, P.. **Life Cycle Assessment of Electricity Production from a V112 Turbine Wind Plant.** PE North West Europe ApS. 2011

EuCIA (European Composites Industry Association) - Brochura **Composites Recycling Made Easy** –2011 – disponível em http://media.virbcdn.com/files/29/be6465fc69e5f425-20130207_eucia_brochure_a4_12pages_v002h1r.pdf - visualizado em 21/02/2016

EYRE, Charlotte. **The wind industry's end-of-life challenge.** Publicado em: Plastics News. 2010.

FISPQ do produto químico argamassa ou cal expansiva. Fabricante Chimica Edile do Brasil Ltda. Disponível em http://chimicaedile.com.br/arquivos/demolicao/ficha_seguranca_demox.pdf. Acessada em 18/05/2016.

GONÇALVES, Micheli Silveira. **Análise de viabilidade técnica de utilização de resíduo de concreto oriundo da pré-fabricação como agregado graúdo para a produção de novos concretos.** Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. São Leopoldo, 2011.

GÓNGORA, I. A. G.; PALMEIRA, E. M.. **Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) com e sem Reforço Geossintético em Estradas Não Pavimentadas** - Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2012.

GRIMES, S.; DONALDSON, J.; GOMEZ, G.C.. **Report on the Environmental Benefits of Recycling** - Bureau of International Recycling (BIR) - Imperial College London - October 2008

GUERREIRO, P. C.; MANCINI, S.D.; TOUBIA, C.M.. **Estudo da Incorporação de Resíduo de Fabricação de Pás Eólicas para Aerogeradores em Cimento Portland.** Publicado em HOLOS Environmental v. 11, n2, 2011, p147.

GUEZURAGA, B.; ZAUNER, R.; PÖLZ, W.. **Life cycle assessment of two different 2 MW class wind turbines** – publicado em Renewable Energy 37 - 2012 - páginas 37 a 44.

Gunn's Hill Windfarm Inc. Prowind Canada. **Decommissioning Plan Report** – Final. 2013.

JUÁREZ, A. A.; ARAÚJO, A. M.; ROHATGI, J. S.; OLIVEIRA FILHO, O. D. Q. **Development of the wind power in Brazil: Political, social and technical issues.** 2014

KARAVIDA, S.; NÖMMIK, R. **Waste Management of End-of-Service Wind Turbines** - Aalborg University – 2015

KNAUTH, Jonathan P. . **Knauth's Analysis of cost to decommission turbines.** Public commentary on the Ridgeline Energy LLC Monticello Hills Application. Decommissioning estimate. 2011

KEMERICH, P. D. C.; PIOVESAN, M.; BERTOLETTI, L. L.; ALTMAYER, S.; VORPAGEL, T. H.. **Fibra de vidro**: Caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170), 2013

KURTZ, Maria Josefina Reyna. Competências Ambientais do Descomissionamento de Instalações *Offshore*. Concremat Ambiental. Disponível em: http://www.amchamrio.com.br/srcreleases/maria_josefina_kurtz.pdf Acessado em 30/03/2016.

LACAL-ARÁNTGUI, Roberto. **Materials use in electricity generators in Wind turbines** – state-of-the-art and future specifications. Publicado em Journal of Cleaner Production 87 – 275 a 283. 2015

LARSEN, Karen. **Recycling Wind**. Publicado em: Reinforcedplastic. Janeiro/fevereiro 2009.

LISBOA, J. S.; BINI, M. P. M.; ANTUNES, M. L. P. **Estudo da incorporação de resíduos da fabricação de pás eólicas para aerogeradores em cimento Portland**. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre – RS – 2011

LUENGO, M. M.; KOLIOS, A.. **Failure Mode Identification and End of Life Scenarios of Offshore Wind Turbines**: A Review. 2015. Publicado em: Energies

MACHUCA, Mônica Nassar, **Análise ambiental, técnica e econômica da pós- operação de parques eólicos**. 2015. Universidade Federal de Santa Catarina. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

MANCINI, S. D.; RODRIGUES, L. L.; GIANELLI, B. F.; BATISTA, V. X.; MENDES, D. F.; FRANCO, C. S.; ZIVIANI, J.; ANTONIOL, G.; NOGUEIRA, N.; BOTURA JR, G.. **Materiais Descartados no Setor Elétrico: Perspectivas de Reutilização e**

Reciclagem. 2009. The 8th Latin-American congress on electricity generation and transmission.

MARTÍNEZ, E.; SANZ, F.; PELLEGRINI, S.; JIMÉNEZ, E.; BLANCO, J..**Life-cycle assessment of a 2-MW rated power wind turbine:** CML method - Publicado em: Int Journal of Life Cycle Assess (2009) - Published online: 7 October 2008

MARTÍNEZ, E.; SANZ, F.; PELLEGRINI, S.; JIMÉNEZ, E.; BLANCO, J..**Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine** – publicado em Renewable Energy 34 – 2009- páginas 667–673

MidAmerican Energy Company. Vídeo **MidAmerican Energy Company From the Ground Up Building our energy future one turbine at a time.** Disponibilizado em: <https://www.youtube.com/watch?v=84BeVq2Jm88>. Última visualização em 30/04/2016.

MILANESE, Aline. **Recyclability of Wind Turbines, Current and Future:** Technical, Economic and Environmental - Thesis for Master of Science in Renewable Energy and Resource Management - The University of Glamorgan - September 2009

MILNER-SMITH, James. **Windfarm Repowering and Decommissioning** – Scottish Natural Heritage - Lessons Learnt on SSE Projects – 2012

ORTEGON, K.; NIES, L.F.; SUTHERLAND, J. W.. **Preparing for end of service life of wind turbines** – publicado em Journal of Cleaner Production 27/08/2012

ORTEGON, K.; NIES, L.F.; SUTHERLAND, J. W. **The Impact of Maintenance and Technology Change on Remanufacturing as a Recovery Alternative for Used Wind Turbines.** Publicado em: ScienceDirect 2014.

OWENS, B. C.; WEBER, J. M.; YANCEY III, W.; ZHUANG, L.; TALREJA, R.. **Sustainability Assessment of a Wind Turbine Blade:** An Engineering Framework - Texas A&M University, College Station, TX - 54th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Material Conference - April 8-11,2013, Boston, Massachusetts.

PERRY, N.; BERNARD, A.; LORACHE, F.. **Improving design for recycling: Application to composites** – Publicada em: CIRP Annals - Manufacturing Technology - 2012

PICO, D.; JANSE, M.; SEIDE, G.; GRIES, T.. **Pyrolysis and recycling of the reinforcement from wind blades scraps: A case study.** Institut fuer Textiltechnik (ITA) of RWTH Aachen University, Germany – 2012

PIEREZAN, J.; ANTOCHEVES, R.. **Reaproveitamento do Entulho da Construção Civil.** Universidade Federal do Pampa. 2012

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de energia eólica.** [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

PORTO, M. E. H. C.; SILVA, S. V.. **Reaproveitamento dos entulhos de concreto na construção de casas populares.** XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008

PUGLIA, Gloria. **Life cycle cost analysis on wind turbines.** Master of Science Thesis in Energetic engineering. 2013

RAHNAMA, Behzad. **Reduction of Environmental Impact Effect of Disposing Wind Turbine Blades** - Master Thesis written at Gotland Universit - Sweden, Spring 2011

RISSEON, P.; CARVALHO, G. A.; VIEIRA, S. L.; ZENI, M.; ZATTERA, A. J.. **Reaproveitamento de Resíduos de Laminados de Fibra de Vidro na Confecção de Placas Reforçadas de Resina Poliéster.** Publicado em Polímeros: Ciência e Tecnologia - Jul/Set – 98

ROQUE, J.A.; MORENO JUNIOR, A.L. **Considerações sobre vida útil do concreto.** 1º Encontro Nacional de pesquisa-produção em concreto pré-moldado. São Carlos, 03-04 de novembro de 2005.

RUIVO, Fabio. **Descomissionamento de sistemas de produção offshore**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia do Petróleo) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.

SACCHI, Romain. **Best Available Technologies report: Reusing, recycling, recovering fiber**-publicada em: reinforced thermoset plastics - April 8, 2014

São Paulo (Estado) Secretaria do Meio Ambiente. **Logística. Reversa**. Texto Flávio de Miranda Ribeiro. São Paulo: SMA, 2014 (série Cadernos de Educação Ambiental, 20).

SILVA, Luiz Ricardo Amaro. **Utilização do entulho como agregado para a produção de concreto reciclado**. Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

SKRAINKA, Manuel Sosa. **Thesis Analysis of the environmental impact on remanufacturing wind turbines** - Rochester Institute of Technology RIT Scholar Works – 7/30/2012

SMYTH, K.; CHRISTIE, N.; BURDON, D.; ATKINS, J. P.; BARNES, R.; ELLIOTT, M.. **Renewables-to-reefs?: Decommissioning options for the offshore Wind power industry** - publicado em Marine Pollution Bulletin 90 – 2015 – páginas 247 a 258.

Van der Zel, L. **SF6 and the Environment - Guidelines for Electric Utility Substations**. EPRI Project Manager. 2003.

Website da **Biblioteca de Leis do Congresso Americano** - <http://www.loc.gov/law/foreign-news/article/china-regulations-on-electronic-waste/> Acessado em 09/02/2016.

Website da empresa Caterpillar. http://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/wheel-excavators/wheel-excavators/18534133.html Acessado em 30/04/2016.

Website da Casa dos Ventos -
http://casadosventos.com.br/pdf/150825_Folder_CasadosVentos_MitoseVerdades_final.pdf acessado em 12/04/2016.

Website da **Comissão Europeia** -
http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm - acessado em 30/01/2016.

Website da empresa Engemet Elétrica. Folder do equipamento disponível em
<http://www.engemeteletrica.com.br/produtos/dilo/catalogos/DISPOSITIVOSDEEVACUA CAOENCHIMENTO.pdf> acessado em 30/04/2016.

Website da **Eletronics Recycling Coordination Clearinghouse:**
<http://www.ecycleclearinghouse.org/content.aspx?pageid=10> - acessado em 09/02/2016.

Website da empresa Emolidora Salum.
<http://www.demolidorasolum.com.br/equipamentos/escavadeira-de-longo-alcance>
 Acessado em 30/04/2016.

Website da empresa Gerdau. <https://www.gerdau.com/> Acessado em 05/05/2016.

Website do Governo - <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/aterros-sanitarios-protectem-meio-ambiente-de-contaminacao>. Acessado em 01/04/2016

Website <https://evolucaoalp.wordpress.com/2012/06/19/componentes-de-um-sistema-eolico/> Acessado em 02/04/2016

Website da empresa Husqvarna.
<http://www.husqvarna.com/us/construction/products/wall-saws-product-range/ws-482-hf/>
 Acessado em 30/04/2016.

Website do Instituto Nacional de Eficiência Energética -INEE.
http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp . Acessado em 24/04/2016.

Website da empresa Lwart -<http://www.coletalwart.com.br/somos.php> Acessado em 05/04/2016

Website Metalica - <http://wwwo.metalica.com.br/artigos-tecnicos/britadores-e-moinhos>
Acessado em 05/04/2016

Website Portal dos Equipamentos – Eplas -
<http://www.portaldosequipamentos.com.br/guia-de-fabricantes-revendidas-construcao-civil-infraestrutura-logistica> Acessado em 30/04/2016.

Website da empresa RFR Recycling. <http://www.gruporfr.com.br/empresa.php>
Acessado em 05/05/2016.

Website da empresa Sandvik: <http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/industrysolutions/windpower/Pages/Hub.aspx?Country=br> Acessado em 21/02/2016

Website da empresa Votorantim Cimentos. <http://www.votorantimcimentos.com.br/htms-ptb/Responsabilidade/Coprocessamento.htm>. Acessado em 02/04/2016

YANG, Y.; BOOM, Y.; IRION, B.; VAN HEERDEN, D.; KUIPER, P.; DE WIT, H.. **Recycling of composite materials**. Publicado em Chemical Engineering and Processing 52. 53 a 68. 2012

WELSTEAD, J.; HIRST, R.; KEOGH, D.; Robb, G.; BAINSFAR, R.. 2013. **Research and guidance on restoration and decommissioning of onshore wind farms**. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 591.

WIEGAND, Sandra. **An analysis to the main economic drivers for offshore wells abandonment and facilities decommissioning**. 2011. Thesis (Master of Science in Engineering) – University of Texas at Austin, Texas, 2011.

ZATTERA, A. J.; CARVALHO, G. A.; FREIRE, E.; ZENI, M.. **Reuso de Resíduos de Laminados de Fibra de Vidro na Construção Civil** - Grupo de Polímeros;

Departamento de Engenharia Química – publicada em *Holos Environment*, v.11, nº2, 2011.