

**PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO**

ROSANGELA FERRAZ DE ANDRADE

**DESCOMISSIONAMENTO E REPOTENCIAMENTO DE PARQUES
EÓLICOS**

**SÃO PAULO
2019**

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

ROSANGELA FERRAZ DE ANDRADE

**DESCOMISSIONAMENTO E REPOTENCIAMENTO DE PARQUES
EÓLICOS**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Energias
Renováveis, Geração Distribuída e
Eficiência Energética

Orientador: Prof. Ph.D. Demetrio
Cornilius Zachariadis

SÃO PAULO
2019

Catalogação-na-publicação

Andrade, Rosangela Ferraz de
Descomissionamento e Repotenciação de Parques Eólicos / R. S.
Andrade – São Paulo, 2019.
43 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 parque eólico 2. Repotenciação de parque
eólico 3. Relação entre descomissionamento e repotenciação I. Universidade de
São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em
Engenharia II.t.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem ele
não teria forças para cumprir mais esta etapa da minha
vida e aos meus pais, pela paciência, incentivo e apoio
que me deram a certeza de que não estou sozinha nessa
caminhada.

RESUMO

O aproveitamento da energia eólica ao longo dos anos apresenta mecanismos e tecnologias cada vez mais sofisticados. Os sistemas desenvolvidos visam o aperfeiçoamento da geração, o aumento da eficiência e a redução de custo e impactos ambientais.

No Brasil a energia eólica é a terceira maior fonte geradora de energia e após a crise energética de 2001 o setor apresenta crescimento exponencial.

Por se tratar um segmento relativamente novo e em constante expansão, nota-se carência de informações relativas ao que deve ser feito ao final da vida útil de um parque eólico.

Dada a importância do segmento eólico nacional e considerando que nos próximos anos alguns parques deverão atingir o fim da sua vida útil, é fundamental entender o impacto da gestão de resíduos do processo de geração de energia eólica, de modo que isso não venha a se tornar um problema ambiental num futuro próximo.

Em paralelo ao processo de descomissionamento, a repotenciação de parques tem sido abordada por países pioneiros no segmento de geração de energia eólica, tornando-se indispensável analisar os procedimentos a serem adotados neste processo, seus efeitos e a viabilidade desta opção.

Processos de descomissionamento e repotenciação de parques eólicos são inovadores no Brasil, portanto se faz necessário analisar qual das duas soluções apresenta maior benefício técnico, ambiental e econômico.

Este trabalho demonstrou que a repotenciação é a melhor solução a ser aplicada no segmento nacional, uma vez que atende a conceitos de sustentabilidade ambiental e energética, além de atender a critérios econômicos de forma satisfatória.

Palavras-chave: Energia eólica. Descomissionamento. Repotenciação.

ABSTRACT

The use of wind energy over the years presents increasingly sophisticated mechanisms and technologies. The systems developed aim to improve generation, increase efficiency and reduce environmental costs and impacts.

In Brazil, wind energy is the third largest source of energy, after the energy crisis of 2001 the sector presents an exponential growth.

Since it is a relatively new and constantly expanding segment and there is a lack of information regarding what should be done at the end of the useful life of a wind farm.

Given the importance of national wind tracking and considering that some parks are expected to reach the end of their useful life in the coming years, it is crucial to understand the impact of waste management on the wind power generation process, so that it will not become an environmental problem in the near future.

Parallel to the process of decommissioning, the repowering of parks has been addressed by pioneer countries in the wind energy generation segment. It is essential to analyze the procedures to be adopted in this process, their effects and the feasibility of this option.

Decommissioning processes and repowering of wind farms are innovative in Brazil, so it is necessary to analyze which of the two solutions has the greatest technical, environmental and economic benefit.

This work demonstrated that the repowering is the best solution to be applied in the national follow-up, since it meets the concepts of environmental and energy sustainability, besides satisfying economic criteria satisfactorily.

Keywords: Wind energy. Decommissioning. Repowering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma simplificado do Descomissionamento Eólico	6
Figura 2 - Descomissionamento do parque eólico Cowley Ridge no Canadá: Remoção das pás.	7
Figura 3 - Lâmina de turbina eólica antes e depois da pirólise	8
Figura 4 - Descomissionamento do parque eólico Cowley Ridge no Canadá: Remoção das torres.....	9
Figura 5 – Sugestão de Remoção de Fundações	10
Figura 6 - Processo de múltiplos estágios, a fábrica combina as lâminas de fibra de vidro com resíduos de produção de papel para criar uma matéria-prima para o cimento.	12
Figura 7 - Parque eólico El Cabrito na Espanha: Antes e depois da repotenciação.	28
Figura 8 - Parque eólico Klettwitz na Alemanha: Fundação para as novas torres.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor agregado ao empreendimento.....	36
--	----

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica.

ABINEE Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABEEólica Associação Brasileira de Energia Eólica.

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente.

EIA Estudo de Impacto Ambiental.

EPE Empresa de Pesquisa Energética.

FEPAM Fundação Estadual de Proteção Ambiental.

LP Licença Prévia.

LI Licença de Instalação.

LO Licença de Operação.

MME Ministério de Minas e Energia.

NREL Laboratório Nacional de Energia Renovável

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos.

PNMA Política Nacional do Meio Ambiente.

RIMA Relatório de Impacto ao Meio Ambiente.

SNVS Sistema Nacional de Vigilância Sanitária.

SISNAMA Sistema Nacional do Meio Ambiente.

SUASA Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária.

SIN Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO	3
1.2. METODOLOGIA	4
2. DESCOMISSIONAMENTO	5
2.1. PROCEDIMENTOS DE DESATIVAÇÃO	6
2.2. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS.....	12
2.3. ASPECTOS NORMATIVOS.....	18
2.4. METODOLOGIAS INTERNACIONAIS.....	22
2.5. CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS	25
2.6. ANÁLISE CRÍTICA.....	27
3. REPOTENCIAMENTO	28
3.1. CONCEITOS E DEFINIÇÕES.....	29
3.2. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS DA REPOTENCIAMENTO.....	30
3.3. POTENCIAIS GANHOS COM A REPOTENCIAMENTO	32
3.4. ASPECTOS INSTITUCIONAIS, LEGAIS E REGULATÓRIOS	33
3.5. ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS DE REPOTENCIAMENTO	35
4. DESCOMISSIONAMENTO X REPOTENCIAMENTO.....	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
6. CONCLUSÃO.....	40
7. BIBLIOGRAFIA.....	42

1. INTRODUÇÃO

O processo de descomissionamento de parques eólicos requer a análise de políticas ambientais voltadas para a destinação dos resíduos gerados por este tipo de empreendimento.

No Brasil o lixo gerado pela população possui destinação definida pela Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Tal qual ocorre com os resíduos sólidos urbanos, os resíduos sólidos industriais também requerem a correta destinação a fim de que não ocorra contaminação do solo e do lençol freático.

A atribuição da responsabilidade pela correta disposição de resíduos compartilhada por fabricantes, distribuidores e consumidores é denominada Logística Reversa.

A destinação de um equipamento industrial ao fim da sua vida útil deve atender aos critérios estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece o aumento da reciclagem por meio da reutilização de resíduos que possuam valor econômico e possam ser reaproveitados, assim como a forma ambientalmente adequada de dispor os rejeitos que não possam ser reciclados.

Práticas internacionais de logística reversa abrangem a prevenção, redução, reutilização, reciclagem, valoração energética e a eliminação de resíduos sólidos em aterros sanitários. Políticas ambientais internacionais priorizam a recuperação do resíduo mediante sua viabilidade técnica e econômica, para isso consideram que os custos para a recuperação do resíduo seja inferior ou igual em comparação com os custos da sua disposição final. Na Europa a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, ou seja, fabricação, distribuição, consumo e

eliminação são atribuídos ao fabricante, de modo que este aplique em seus processos produtivos resíduos recuperáveis e matérias-primas secundárias.

No Brasil a logística reversa voltada para o segmento industrial obriga os geradores de resíduos industriais a apresentar um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, comprovando a sua capacidade de gerir todos os resíduos que o seu processo produtivo venha a gerar.

Nota-se que práticas nacionais e internacionais de logística reversa não abrangem especificamente o segmento eólico, entretanto o artigo 15 do decreto Nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010 em complemento à Política Nacional de Resíduos Sólidos, determina uma direção por meio de acordos setoriais.

Em contrapartida ao processo de descomissionamento, estudos voltados para processos de repotenciação surgem como uma alternativa ambientalmente correta.

O processo de repotenciação consiste no reaproveitamento do local onde um empreendimento eólico encontra-se em operação, substituindo, modernizando e/ou reformando aerogeradores, a fim de proporcionar o aumento da capacidade e da eficiência do parque.

No Brasil a possibilidade de aplicação da repotenciação já é uma realidade: a Central Eólica Mucuripe localizada em fortaleza Ceará foi repotenciada em meados do ano 2000 e o empreendimento que inicialmente possuía uma capacidade de geração de 1200kW passou a gerar 2400kW.

Diferente do processo de descomissionamento existe políticas nacionais específicas para repotenciação de centrais geradoras de energia.

A Resolução normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica - 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” (ANEEL nº 112, 1999, p. 01).

A reutilização de estudos do potencial eólico local e dos impactos ambientais realizados na etapa de implantação do parque torna a viabilidade econômica o principal aspecto a ser analisado, dado que a resolução normativa da ANEEL não esclarece a necessidade de realização de novos estudos.

Por sua vez dados de operação do parque fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) podem mitigar os impactos econômicos associados à repotênciação.

Países pioneiros no processo de geração de energia eólica têm efetuado um recondicionamento em suas máquinas e revendido os equipamentos, gerando um retorno financeiro que pode vir a contribuir na viabilização do processo de repotenciação do parque.

1.1. OBJETIVO

Processos de Descomissionamento e Repotenciação são abordados na busca por soluções que atendam políticas ambientais e apresentem baixo custo de investimento associado ao processo.

Este trabalho tem como propósito o estudo dos fundamentos técnicos aplicados ao desenvolvimento de soluções para estender a vida útil de um parque eólico por meio da repotenciação em comparação com os estudos de descomissionamento, visando à redução do impacto ambiental derivada do processo de gestão de resíduos, apresentando fatores técnicos e financeiros de maior impacto sobre as tomadas de decisão do projeto.

1.2. METODOLOGIA

O desenvolvimento desta monografia utilizada como base literaturas técnicas, artigos científicos, dissertações, monografias, normas e sites atinentes ao tema.

A bibliografia sobre descomissionamento e repotenciação de Parques Eólicos é em sua essência baseada em literatura estrangeira, considerando a recente exploração e expansão desse recurso no Brasil.

Especificamente o estudo realiza a análise comparativa da viabilidade técnica, ambiental e econômica dos processos de descomissionamento e repotenciação, destacando suas vantagens e limitações, a fim de indicar qual o melhor processo a ser adotado no Brasil.

2. DESCOMISSIONAMENTO

Descomissionamento por definição é a ação de desmantelar ou de desativar alguma coisa.

O objetivo do descomissionamento é remover os equipamentos e instalações e restaurar o local a uma condição tão próxima quanto possível do estado original.

Ainda que no Brasil a indústria de exploração eólica encontre-se em plena expansão, o processo de descomissionamento já é uma questão muito relevante.

Nos últimos anos, a desativação de centrais geradoras eólicas vem ganhando importância no planejamento governamental no que tange a problemas ambientais.

No cenário nacional operações de desativação de centrais eólicas são inovadoras, portanto, avaliações técnicas são fundamentais para indicar potenciais problemas e riscos associados aos procedimentos a serem adotados após o fim do seu ciclo de vida útil.

Operações de descomissionamento incidem no descarte apropriado de resíduos, exigindo das agências reguladoras do setor o preenchimento de lacunas existentes na legislação vigente, de modo que isso não se torne um problema ambiental.

2.1. PROCEDIMENTOS DE DESATIVAÇÃO

Um empreendimento eólico encerra seu ciclo de vida após concluir a recomposição da área onde o empreendimento em questão está localizado.

Não existe um procedimento padrão para descomissionar um parque eólico, mas é de senso comum que este procedimento inclui não somente a remoção das turbinas, mas a remoção de estruturas de operação do parque, bem como a restauração do solo.

A reversão do processo de instalação é em sua essência muito similar ao processo de construção do parque. Descomissionamento de parques eólicos podem ser descritos de forma proporcionalmente inversa ao processo de comissionamento e representados de maneira simplificada por meio de um fluxograma.

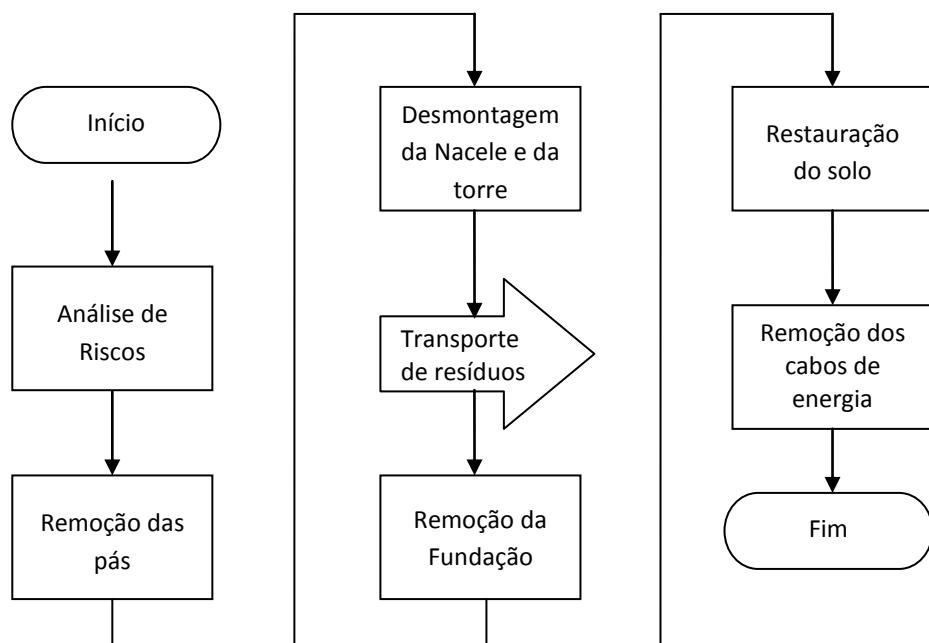


Figura 1 - Fluxograma simplificado do Descomissionamento Eólico
Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

Cada etapa do descomissionamento envolve procedimentos específicos:

- a) 1º Etapa: Identificação e análise de riscos inerentes à desativação da instalação. Nesta etapa são efetuadas as manobras de desenergização/desconexão do parque com a rede elétrica.
- b) 2º Etapa: Remoção das pás.



Figura 2 - Descomissionamento do parque eólico Cowley Ridge no Canadá: Remoção das pás.

Fonte: <https://www.windpowerengineering.com/business-news-projects/decommissioning-canadas-oldest-wind-farm/>.

O processo de descomissionamento dos aerogeradores requer o uso de um guindaste móvel para remoção de peças e componentes, alocado paralelo ao aerogerador a ser desmontado.

Ao remover as pás, elas devem ser cortadas em pedaços menores para facilitar o transporte e a disposição dos resíduos.

Na Suécia, é proibido utilizar o aterro como método de eliminação de resíduos inflamáveis e / ou orgânicos. A fibra de vidro e a fibra de carbono são inflamáveis. Portanto o processo de eliminação se dá através incineração destes resíduos.

No Brasil estes materiais podem ser descartados em aterros, mas metodologias de reciclagem também podem ser aplicadas. A fragmentação e separação do material para uso como enchimento é uma alternativa, outro método mais avançado é usar pirólise.

No processo de pirólise o plástico é gaseificado e queimado para produzir energia, enquanto a fibra de vidro, o metal e os enchimentos são recuperados e separados. A fibra de vidro pode então ser usada como material de isolamento ou como reforço para novos produtos de plástico.



Figura 3 - Lâmina de turbina eólica antes e depois da pirólise

Fonte: <https://www.materialstoday.com/composite-applications/features/recycling-wind/>.

Etapa 3: Desmontagem da Nacelle e da torre.

Para evitar o risco de poluição, óleos e outros fluidos prejudiciais ao meio ambiente devem ser removidos antes que as estruturas sejam desmontadas.



Figura 4 - Descomissionamento do parque eólico Cowley Ridge no Canadá: Remoção das torres.

Fonte: <https://www.windpowerengineering.com/business-news-projects/decommissioning-canadas-oldest-wind-farm/>.

No processo de separação da torre e da nacelle o concreto é triturado e o aço é cortado em pedaços.

O aerogerador contém aço comum, ferro fundido, aço inoxidável, cobre, alumínio e chumbo, este material tem valor de mercado e pode ser revendido. Por sua vez, o concreto recuperado é usado como material de enchimento. Já o material orgânico é comumente incinerado e os componentes eletrônicos podem ser entregues a uma empresa de reciclagem especializada.

c) Etapa 4: Remoção da Fundação.

A remoção da fundação não é considerada uma etapa obrigatória. Uma vez que se opte pela remoção da fundação seu material residual consiste em concreto e aço. Tal qual ocorre com as torres o concreto é usado como material de enchimento e o aço pode ser revendido para os comerciantes de sucata.

Comumente a fundação é parcialmente removida, em função da sua profundidade, de modo que o solo possa ser restaurado sem maiores prejuízos.

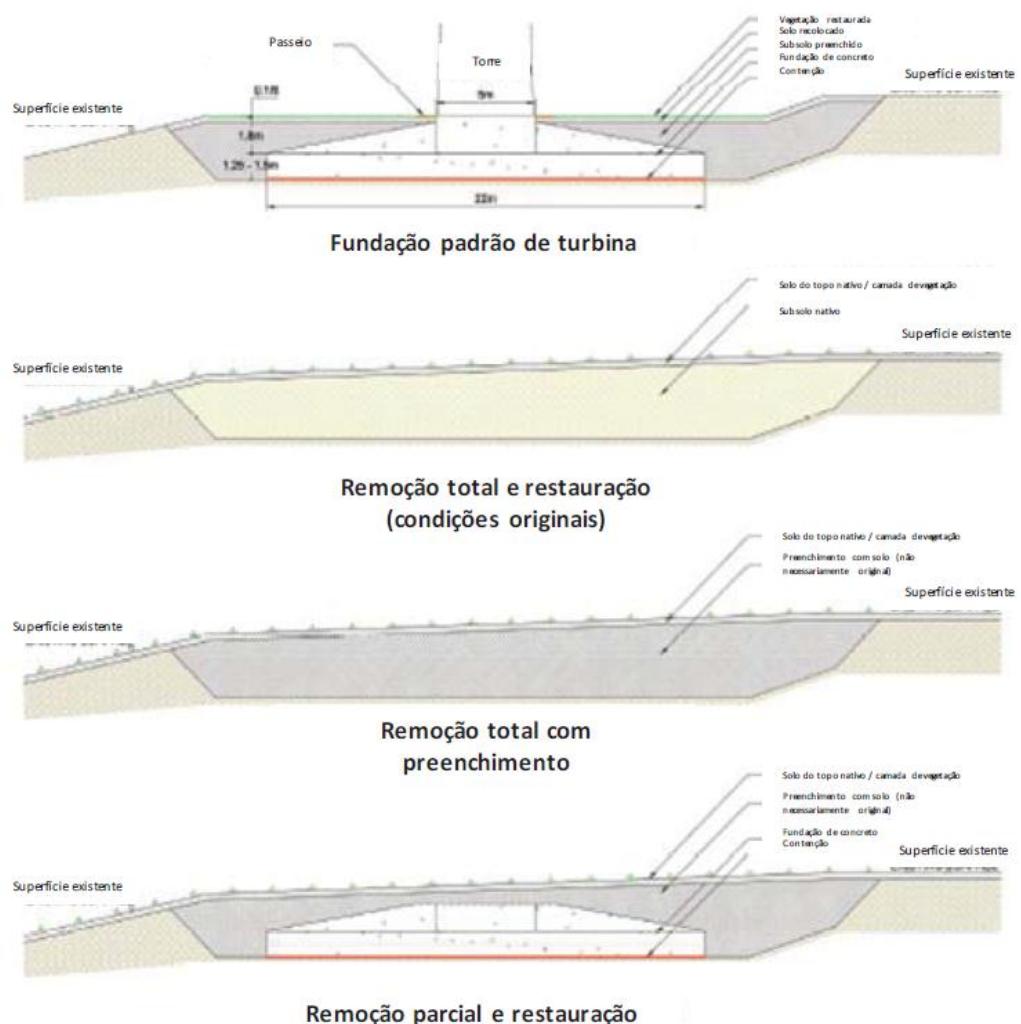


Figura 5 – Sugestão de Remoção de Fundações
Fonte: TADANO, Aline de Castro Mendes. **Descomissionamento e logística reversa de aerogeradores**. Monografia 2016.

d) Etapa 5: Restauração do solo.

A restauração do local é fundamental uma vez que a fundação é removida de forma parcial ou total, devendo ser preenchida com material adequado, que na maioria dos casos é húmus.

e) Etapa 6: Remoção de cabos de energia.

A exigência de remoção cabos aéreos e subterrâneos varia de acordo com cada país. Comumente algumas empresas do setor manifestaram interesse em remover os cabos devido ao valor material que pode ser recuperado.

Uma vez que os cabos tenham sido removidos, eles podem ser vendidos ou exportados para países em desenvolvimento, onde o processo de recuperação pode ser realizado com redução de custo.

Subestações, locais de monitoramento e manutenção do parque, também devem ser descomissionados e demolidos. Geralmente recomenda-se que todo o local de implantação do parque seja restaurado e entregue em condições semelhantes à configuração original.

A execução das etapas de descomissionamento requer o planejamento das atividades em conformidade com o EIA e o RIMA, além do atendimento a legislação ambiental vigente.

2.2. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

O processo de gerenciamento de resíduos tem como princípio o desenvolvimento sustentável, objetivando a “[...] não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (Lei 12.305,2010).



Figura 6 - Processo de múltiplos estágios, a fábrica combina as lâminas de fibra de vidro com resíduos de produção de papel para criar uma matéria-prima para o cimento.

Fonte: <https://www.wfb-bremen.de/en/page/bremen-invest/recycling-glass-fibre-polymers-nehlsen>.

Uma vez gerado o resíduo em quantidade significativa, o processo de gerenciamento abrange:

- a) Reutilização

Reutilização consiste no reaproveitamento da matéria prima sem a alteração das suas propriedades.

b) Reciclagem

Reciclagem é o reaproveitamento da matéria prima reprocessada, ou seja, que sofreu alterações para ser inserida em um novo ciclo de produção.

c) Tratamento de resíduos sólidos

O processo de tratamento dos resíduos sólidos requer a classificação dos materiais, que por sua vez necessita da identificação do processo produtivo que lhe deu origem.

Resíduos sólidos derivados de processos industriais possuem a seguinte classificação:

i. Resíduos classe I – Perigosos: Estes resíduos possuem características inflamáveis, corrosivas, reativas, toxicas e/ou patogênicas.

ii. Resíduos classe II - Não perigosos: Esta classificação possui duas sub classes:

- Resíduos classe II A - Não inertes: Estes resíduos possuem características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- Resíduos classe II B – Inertes: Estes resíduos possuem como característica a insolubilidade em água.

d) Disposição final de resíduos sólidos:

Os resíduos que não são passíveis de redução, reutilização e reciclagem, devem ser destinados a uma empresa de descarte licenciada pelos órgãos ambientais do estado ou município.

Os procedimentos de descarte de resíduos sólidos industriais mais utilizados são:

i. Aterros sanitários:

A disposição final de resíduos sólidos em aterros sanitários aplica como técnica a separação e compactação dos resíduos.

Este tipo de aterro deve ter seu terreno impermeabilizado e possuir drenagem para captação do chorume. Os resíduos devem ser separados e depositados conforme suas características e os materiais que produzem perclorato devem ser revestidos por uma camada selante.

Um aterro sanitário tem uma vida útil estimada em 10 anos, ao esgotar sua capacidade e encerrar suas operações, é preciso aplicar medidas de recuperação e monitoramento da área degradada que requer a captação do chorume, a drenagem das águas superficiais, a queima dos gases além de trabalhos de revegetação, estes processos são necessários por ao menos 15 anos após o encerramento das atividades do aterro.

ii. Aterros industriais:

A disposição final de resíduos sólidos em aterros industriais aplica metodologias de classificação e confinamento a fim de evitar riscos à saúde e segurança da população e minimizar os impactos ambientais.

Este tipo de aterro requer dupla impermeabilização do solo, no mais o tratamento de gases e efluentes se assemelha ao processo descrito no aterro sanitário.

iii. Coprocessamento:

O coprocessamento pode ser entendido como sendo a destruição térmica de resíduos em fornos de cimento. Este processo difere das

demais técnicas de queima em função do aproveitamento do resíduo como potencial energético.

Segundo a Resolução Conama nº 264, de 26 de agosto de 1999, o coprocessamento de resíduos em fornos rotativos para produção de cimento é uma técnica ambientalmente eficaz de processamento e utilização de resíduos sólidos industriais.

Esta técnica consiste na destruição total dos resíduos que requerem altas temperaturas na fabricação do clínquer.

Nesse contexto, o processo de coprocessamento surge como uma solução ambientalmente adequada para a destinação final de rejeitos se comparado com os aterros e as atuais práticas de incineração.

Segundo a legislação brasileira pneus, óleos, graxas, madeiras, componentes plásticos e resinas, dentre outros materiais, são resíduos industriais que podem ser coprocessados.

Resíduos hospitalares, corrosivos, radioativos, explosivos e pesticidas não são passíveis de coprocessamento.

O coprocessamento proporciona uma destinação relativamente segura a resíduos industriais e corresponde às exigências legais, entretanto não está isento de danos ambientais e riscos à saúde. O transporte e manuseio dos resíduos de forma inadequada pode afetar o processo, geralmente resíduos industriais requerem pré-tratamento a fim de evitar a contaminação do cimento e a emissão de partículas poluentes para atmosfera.

iv. Incineração:

Consiste na queima de resíduos industriais de classe I, este procedimento gera emissões de gases poluentes a atmosfera, gases estes que devem ser tratados e monitorados. Além dos gases este processo gera sub-resíduos, as cinzas derivadas deste processo devem ser dispostas em aterros e os efluentes líquidos devidamente encaminhados para estações de tratamento.

v. Tratamento de efluentes:

O tratamento de efluentes é uma etapa fundamental na gestão de resíduos, tem como função a remoção de possíveis agentes contaminantes gerados no decorrer do processo.

A Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, determinam os tipos de tratamento de efluentes:

“- Físico-químico: Promove a retirada de poluentes inorgânicos por meio de processos de coagulação, floculação, decantação e por fim separação do lodo e dos efluentes. Esse procedimento também é aplicado como pré-tratamento biológico na redução de carga orgânica” (Resolução Conama nº 430, 2011).

“- Biológico: Promove a remoção de contaminantes orgânicos por meio de processos de aeração, decantação, recirculação e filtração. Os resíduos derivados deste processo são retirados do sistema e conduzidos para secagem e desidratação, ao final do processo são enviados para um aterro industrial” (Resolução Conama nº 430, 2011).

A aplicação da gestão de resíduos é uma obrigação das empresas e indústrias que almejam destinar seus resíduos de maneira ambientalmente correta. No segmento industrial eólico os compostos de fibra de vidro e carbono tradicionalmente utilizados no processo produtivo de pás para aerogeradores, são o principal desafio por se tratar de materiais de difícil recuperação.

A disposição final destes resíduos é complexa e estudos demonstram que a incineração é o pior cenário de descarte do ponto de vista ambiental, devido às emissões liberadas durante os processos de queima. Por outro lado, em alguns países é proibido depositar materiais inflamáveis em aterros.

Atualmente, diversos países estudam alternativas para reciclagem de pás eólicas, a reutilização da fibra na fabricação de novas pás e na aplicação no setor de construção civil, onde podem ser utilizadas no reforço de estruturas de concreto armado são as principais alternativas. Outra solução em análise é a possibilidade da fabricação de pás em aço, o que praticamente eliminaria o problema de possíveis descartes irregulares, uma vez que o aço é 100% reciclável.

2.3. ASPECTOS NORMATIVOS

A regulamentação brasileira não apresenta diretrizes específicas sobre processo de descomissionamento de empreendimento eólicos, em termos de desenvolvimento sustentável o processo de descomissionamento pode ser entendido como sendo o gerenciamento de resíduos derivados deste tipo de empreendimento. Por sua vez o processo de gerenciamento de resíduos denominado Logística Reversa é regido pela lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA).

A PNRS regulamenta a gestão de resíduos, já os estados e municípios atuam de forma complementar por meio de projetos e planos de gestão integrados.

Quando não é possível conter a geração de resíduos industriais é fundamental buscar soluções integradas visando à conservação do meio ambiente, esta atividade é denominada Gerenciamento Integrado de Resíduos Industriais, e contempla a elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, que por sua vez atua em conformidade com a lei nº 12.305/2010, que define a destinação final ambientalmente adequada, como sendo “[...] destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (Lei nº 12.305, 2010, Capítulo II, Art. 3º, item VII).

Normas nacionais ABNT NBR ISO 14040:2014 e ABNT NBR 10.004:2004 complementam PNRS, atuando na análise do ciclo de vida de materiais, na classificação de resíduos sólidos e na definição de procedimentos a serem adotados nos processos de destinação final dos resíduos.

Por sua vez a lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 que institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), responsabiliza de forma objetiva o poluidor, atribuindo penalidades:

“§ 1º - Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. O Ministério Público da União e dos Estados terá legitimidade para propor ação de responsabilidade civil e criminal, por danos causados ao meio ambiente” (Lei Nº 6.938, 1981, Art. 14).

De modo generalista um empreendimento ou atividade potencialmente poluidora além de atender a PNRS está sujeito às aprovações determinadas pelo art. 8º da resolução CONAMA nº 237/97, que dispõe sobre o licenciamento ambiental, dividindo-o em três etapas:

I - Licença prévia (LP): Nesta etapa ocorre a análise do projeto, sendo que o Estudo de Impacto ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA) são os principais aspectos a serem avaliados.

II – Licença de Instalação (LI): Nesta etapa são definidas as condições em que o empreendimento ou atividade será anuído, baseado na análise da etapa I.

III – Licença de Operação (LO): Nesta etapa ocorre a vistoria do órgão ambiental a fim de confirmar se as condições determinadas nas etapas I e II foram atendidas de modo que o empreendimento possa entrar em operação. Como visto acima, a legislação nacional preocupa-se com as etapas de análise, instalação e operação, não estabelecendo critérios para desinstalação do empreendimento.

De modo específico a resolução CONAMA nº 462: “*Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre*” (CONAMA nº 462, 2014).

Dispondo especificamente sobre o processo de licenciamento de empreendimentos eólicos, a resolução CONAMA nº 462/2014, classifica tais empreendimento como sendo de baixo potencial poluidor, mencionando de forma discreta:

“*Reversibilidade - traduz a capacidade do ambiente de retornar ou não à sua condição original depois de cessada a ação impactante (reversível ou irreversível)*” (Resolução CONAMA nº 462, 2014, Anexo I, item 7).

“*Temporalidade - traduz o espaço de tempo em que o ambiente é capaz de retornar a sua condição original (curto, médio ou longo prazo)*” (Resolução CONAMA nº 462, 2014, Anexo I, item 7).

Tais menções lembram vagamente a necessidade da análise do processo de descomissionamento, sem apresentar de fato um procedimento consistente.

A condicionante legal mais próxima que chegamos do que poderia vir a ser considerado como uma licença de desinstalação é a Licença de Operação

emitida pela FEPAM no Rio Grande do Sul, direcionada ao empreendimento Chuí I, que no item 5 e seus sub itens, dispõe sobre a destinação adequada de resíduos:

“5.1. O empreendedor deverá proceder e comprovar à adequada destinação dos resíduos gerados no empreendimento, sendo que os resíduos de Classe I deverão ser encaminhados para local licenciado pela FEPA” (Licença de Operação emitida pela FEPAM, Processo n.^º 3365-05.67/15-0, Empreendimento Chuí I, p.3/4);

“5.2. Todos os resíduos gerados pelo empreendimento deverão ser comprovadamente destinados a locais devidamente licenciados por esta Fundação” (Licença de Operação emitida pela FEPAM, Processo n.^º 3365-05.67/15-0, Empreendimento Chuí I, p.3/4);

“5.3. Não será permitido o lançamento de efluentes líquidos em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos sem o prévio licenciamento da FEPAM” (Licença de Operação emitida pela FEPAM, Processo n.^º 3365-05.67/15-0, Empreendimento Chuí I, p.3/4).

Considerando a legislação atual e os impactos socioambientais derivados do processo de descomissionamento e logística reversa fica evidente a necessidade de se criar instrumentos capazes de regular o procedimento de desinstalação, minimizando os prejuízos ambientais, sociais e econômicos, de modo atender aos princípios de desenvolvimento sustentável.

2.4. METODOLOGIAS INTERNACIONAIS

Segundo o relatório emitido pela WindEurope o continente europeu desativou 0,421GW de energia eólica em 2018, sendo que 0,249 GW dos empreendimentos foram desativados na Alemanha.

Atualmente a Alemanha é a terceira maior produtora de energia eólica do mundo, liderando a produção de energia eólica na Europa. Por ser um dos países precursores da geração de energia elétrica por meio de fontes eólicas é evidente que alguns de seus parques já tenham atingido o fim da vida útil, levantando questões relativas ao descomissionamento e a gestão de resíduos derivados do processo de desativação dos parques.

Na Alemanha assim como em alguns países da Europa a obtenção da licença de operação está condicionada ao completo descomissionamento e restauração do local ao fim do período de operação.

Os resíduos derivados do processo são recuperados ou eliminados conforme a Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012 relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). As diretrizes Europeias visam regular a aplicação dos princípios de prevenção, valorização e eliminação segura de resíduos, contribuindo para uma produção sustentável através da reutilização e reciclagem de matérias-primas. Esta diretiva atribui responsabilidade aos produtores, distribuidores, consumidores, e operadores diretamente envolvidos no recolhimento, tratamento ou destinação dos resíduos.

Nos Estados Unidos, especificamente no Havaí o estatuto 201N-32 dispõe sobre o descomissionamento de instalações de energia eólica, determinando como responsável pelo processo de descomissionamento o

proprietário do empreendimento. A restauração do local deve ocorrer num prazo de doze meses, mediante garantia financeira preestabelecida.

Em termos de leis atualmente nos Estados Unidos alguns estados exigem que os operadores contribuam para um fundo de descomissionamento, garantindo que haja condições financeiras para a execução do processo de descomissionamento. O estatuto regula o montante da garantia financeira, não apresentar provas de segurança financeira resulta em uma multa ao responsável pelo empreendimento limitada a US \$ 1.500 por dia.

O não cumprimento do estatuto por parte do responsável pelo empreendimento dentro do prazo estabelecido atribui responsabilidade ao proprietário do terreno em que o empreendimento eólico está localizado, devendo este tomar as medidas cabíveis para conclusão do descomissionamento do local. Nesta situação a disposição prevê que o proprietário do terreno tem acesso à garantia financeira, para fins de descomissionamento.

No estatuto havaiano o descomissionamento é descrito como sendo a remoção das turbinas, torres, fundações, componentes elétricos cabeamento e quaisquer outras instalações associadas, bem como a restauração do terreno as condições encontradas antes da implantação do empreendimento.

De modo geral metodologias internacionais ainda não são capazes de responder como vamos garantir que empreendedores restaurem os locais onde implantaram seus empreendimentos eólicos.

Tal qual o ocorre no Reino Unido e nos Estados Unidos dentre outros países, a produção de energia eólica é um experimento relativamente novo

e como acontece com muitas indústrias na sua infância, a regulamentação pertinente à produção de energia eólica continua subdesenvolvida.

Esta realidade afeta especialmente o segmento eólico voltado para o descomissionamento. Atualmente poucos países impõem garantia financeira aos produtores de energia eólica, este quadro cria um sistema dependente de promessas imposta às companhias eólicas por decretos ou regulamentação estatal.

A história mostra a ineficácia de tais atos ao longo dos anos, sistemas eólicos têm sido desativados e abandonados. A criação de um de projeto de lei exigindo dos produtores de energia garantia financeira e planos detalhados para descomissionamento que assegurem a correta destinação dos resíduos derivados do processo de descomissionamento poderia ser mais eficaz.

2.5. CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

A corrida do vento ilustra uma característica chave da indústria de energia eólica, ela sempre contou com incentivos governamentais para sua existência e expansão. Mas agora por falta de regulamentação, o governo pode acabar pagando a conta para remover as turbinas também.

Embora as informações sobre descomissionamento não estejam bem documentadas, vários projetos mostram que há motivo para grande preocupação, a ameaça potencial de falhas no descomissionamento, não transmite adequadamente os desafios da desativação.

A desativação de instalações eólicas deve obedecer a procedimentos legais a serem adotados após o fim do seu ciclo de vida útil, bem como prever a disponibilização de fundos destinados à desativação e restauração da área em questão.

O descomissionamento de uma turbina eólica está sujeito à prestação de garantias financeiras, mas quanto é o valor dessas garantias?

Na França, o montante de garantias financeiras é fixado em € 50.000 por turbina eólica, sendo que este valor é atualizado a cada cinco anos.

Já na Alemanha, o cálculo do montante difere de uma cidade para outra, em alguns locais o valor é fixado em aproximadamente 4% dos custos de fabricação, em outros representa 6,5% dos custos totais de investimento, também pode ser definida em 10% dos custos estruturais ou obtida por um fator multiplicador baseado na altura do centro da turbina eólica por 1.000.

As garantias financeiras são autorizadas sob a forma de obrigações e instrumentos com rendimento fixo e contas de depósito.

Nos Estados Unidos os custos de desativação por turbina equivalem a US\$ 25.500, mas variáveis relativas ao tamanho, tecnologia e materiais da torre não estão sendo contabilizadas nos custos.

Os métodos de remoção das turbinas eólicas influem diretamente no custo, a remoção da torre de concreto via guindaste é a mais viável por razões ambientais e econômicas em comparação com o método de implosão que causa maiores distúrbios ambientais ao local. Torres metálicas por sua vez possuem valor de mercado que podem ser abatidos dos custos totais de descomissionamento.

O custo exato de realizar esforços de desativação é uma questão em aberto. As diferenças de tamanho das turbinas e a localização do empreendimento inviabilizam a determinação de um valor padrão para desativação.

A questão é criar uma legislação que exija que garantias financeiras estejam em vigor antes do início da construção do empreendimento, cuidar do problema no início do projeto também faz sentido logístico e garante um capital aplicado ao descomissionamento sustentável destes projetos.

2.6. ANÁLISE CRÍTICA

A tarefa de descomissionar inclui muitos desafios e exigirá um grande esforço monetário e tecnológico em reciclagem, além da supervisão por parte dos órgãos fiscalizadores para atingir o sucesso no descomissionar.

Atualmente as leis em vigor não asseguram o descomissionamento ambientalmente correto e não garantem que os seus custos permaneçam internalizados dentro do setor eólico.

Garantias financeiras devem ser exigidas para custos de descomissionamento, atribuindo o ónus do descomissionamento exclusivamente aos proprietários do empreendimento, uma vez que no Brasil os proprietários de terras, não são capazes de arcar com os custos deste processo.

A falta de legislação específica implica na transferência das obrigações socioambientais aos estados, uma vez que trazem consequências ambientais e prejudicam o uso da terra.

Compete aos órgãos regulamentadores do setor elétrico e ambiental definir claramente políticas e diretrizes necessárias à execução do descomissionamento.

3. REPOTENCIAMENTO

Repotenciação nada mais é do que estender da vida útil de um determinado empreendimento, resultando no aumento da sua confiabilidade, na redução de custos de manutenção e na elevação da eficiência deste empreendimento.



Figura 7 - Parque eólico El Cabrito na Espanha: Antes e depois da repotenciação.
Fonte: <https://www.accionaenergia.com/es/areas-de-actividad/eolica/installaciones-destacadas/parque-eolico-el-cabrito/>.

O processo de repotenciação consiste na modernização do sistema, onde ocorre a substituição de equipamentos antigos por outros mais novos, que possuam maior capacidade nominal e mais eficiência, resultando no aumento da energia gerada.

A repotenciação pode ocorrer de várias maneiras, podendo ser parcial onde normalmente a torre e as fundações existentes são mantidas no local ou total onde ocorre a substituição de todo o sistema. Seu objetivo é o aumento da produção de energia e a redução de custos para manter o empreendimento em operação.

Repotenciar um parque eólico abrange a substituição de turbinas eólicas mais antigas e geralmente menores, por equipamentos mais novos e consequentemente maiores e mais eficientes. Geralmente a repotenciação ocorre durante a operação do parque, entre 10 a 15 anos pós comissionamento do empreendimento, mas nada impede que ocorra ao término da sua vida útil.

As tecnologias atuais de produção de energia eólica apresentam o aumento do tamanho das máquinas que por sua vez são capazes de gerar uma quantidade ainda maior de energia agregando valor ao empreendimento.

Estudos realizados nos Estados unidos destacaram os potenciais benefícios da repotenciação, como sendo a redução da mortalidade aviária, devido à instalação de um número reduzido de turbinas eólicas. Turbinas antigas são substituídas por máquinas que possuem tamanho, capacidade e eficiência superiores, resultando na redução de custos de operação em relação a novos projetos.

No Brasil o fator socioambiental destaca-se, uma vez que o arrendamento de terras é fundamental na contribuição da economia local.

Embora muitos obstáculos atrapalhem a ascensão da repotenciação de parques eólicos, a principal barreira a ser vencida é a financeira. Simplesmente porque instalações eólicas antigas ainda estão mais lucrativas a curto prazo em operações contínuas, do que poderiam ser se buscassem a repotenciação de seus sistemas eólicos.

3.1. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

O significado da repotenciação de usinas eólicas ou de seus equipamentos é variado, podendo ser interpretado de diversas formas, entretanto todas as definições estão associadas a avanços tecnológicos que visam gerar ganhos

de potência e rendimento por meio da modernização do projeto originalmente concebido.

Este conceito advém da premissa que a incorporação de novas tecnologias eleva os padrões de produtividade, reduz custos operacionais e atende a aspectos ambientais associados às unidades geradoras.

Entretanto há que se ponderar quantos e quais seriam os empreendimentos eólicos passíveis de serem repotenciados, os ganhos de potência associados, a montante dos investimentos e os resultados positivos e/ou negativos advindos da repotenciação.

Além de analisar a necessidade de aperfeiçoamentos legais e regulatórios no âmbito da repotenciação a fim de incentivar possíveis investimentos.

3.2. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS DA REPOTENCIAÇÃO

Repotenciar usinas eólicas antigas ou próximas do fim de sua vida útil requer a realização prévia de análises técnicas, a fim de se identificar o estado físico dos equipamentos e os padrões atuais de eficiência de geração. O objetivo destas análises é mensurar o tempo de vida residual do empreendimento e introduzir ações corretivas que possam reduzir perdas, aperfeiçoar a geração de energia e consequentemente aumentar a confiabilidade do sistema.

Após a avaliação de desempenho da usina e de suas unidades geradoras, podem ser aplicadas as seguintes intervenções considerando os principais equipamentos da usina:

- Modernização geral da usina: Esta forma de repotenciação consiste na restauração de alguns equipamentos, através de ações de

recondicionamento. Tais ações promovem a melhoria do rendimento e da confiabilidade do sistema, que resultam na elevação da produção de energia e na extensão da sua vida útil, sem promover o aumento da energia assegurada pelo empreendimento.

- Reforma geral da usina: A substituição dos aerogeradores proporciona o aumento da potência nominal, do rendimento e consequentemente da energia gerada, proporcionando o aumento da energia assegurada pelo empreendimento.



Figura 8 - Parque eólico Klettwitz na Alemanha: Fundação para as novas torres.

Fonte: <https://www.gicon.de/en/aktuelles/nachrichtenliste-aktuell/newsdetails/archive/2015/june/13/article/after-repowering-the-windpark-klettwitz-is-again-amongst-the-ten-most-powerful-wind-farms-in-germany.html>.

A essência do processo de repotenciação consiste no aperfeiçoamento do sistema de geração, entretanto o processo apresenta algumas desvantagens, tais como sua viabilidade econômica e a movimentação de maquinários antes do fim da vida útil do empreendimento.

3.3. POTENCIAIS GANHOS COM A REPOTENCIACÃO

Os potenciais ganhos de energia advindos da repotenciação estão associados ao fator tempo, ambiente e desenvolvimento tecnológico. A ação natural do tempo e das condições ambientais provoca a deterioração dos equipamentos reduzindo a capacidade nominal de geração de energia ao longo dos anos. O fator tempo também influí na obsolescência do dimensionamento do empreendimento, a evolução relativa aos parâmetros de dimensionamento pode indicar um sistema subdimensionado na época do projeto original. Por fim a defasagem tecnológica apresenta em muitos casos a inferioridade em termos de capacidade e eficiência de aerogeradores antigos em relação a máquinas novas.

Dadas a condições de tempo, ambiente e tecnologias, os possíveis ganhos energéticos decorrentes da repotenciação de um empreendimento eólico, podem ser descritos como sendo:

- Ganhos energéticos: decorrem da aplicação de tecnologias mais modernas aos equipamentos de conversão de energia eletromecânica.
- Ganhos ambientais: a redução de impactos ambientais ocorre em função da reutilização de grande parte da infraestrutura existente.
- Ganhos econômicos: A repotenciação eleva a produção de energia elétrica e reduz os custos de manutenção.

3.4. ASPECTOS INSTITUCIONAIS, LEGAIS E REGULATÓRIOS

Quando se trata de investimentos no setor elétrico brasileiro os aspectos regulatórios são tão importantes quanto às análises de viabilidade técnica e econômica.

A resolução normativa da ANEEL nº 112, “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” (ANEEL nº 112, 1999, p. 01).

A legislação em questão não esclarece a necessidade ou não da realização de novos estudos ambientais. Há que se observar que, ainda que se opte por uma repotenciação total a infraestrutura básica e de estradas de acesso ao antigo parque podem ser reutilizados, diminuindo substancialmente o impacto ambiental no local.

Ainda que a legislação conte com a repotenciação de centrais geradoras, não existem diretrizes específicas que estabeleçam um tipo de compensação financeira para os investimentos advindos de obras de repotenciação.

Por falta de legislação específica e experiência consolidada sobre o assunto, recorremos às legislações internacionais a fim de analisar os desafios regulatórios e entender o que poderia ser aplicado a nossa legislação de modo a preencher as lacunas e viabilizar a repotenciação de parques nacionais.

Nos Estados Unidos o principal desafio é ambiental, expandir a capacidade do parque por meio da repotenciação requer novo licenciamento ambiental.

Outro desafio é a falta de mão de obra especializada para atuar na repotenciação, a demanda de desenvolvimento de novos projetos ainda é muito alta e suga a mão de obra especializada.

Na Dinamarca por outro lado o objetivo é atingir a maior capacidade instalada utilizando o menor número de aerogeradores possível, para isso é preciso efetuar a substituição de aerogeradores pequenos e antigos por aerogeradores com maior potência. Por ser um país pioneiro em geração eólica a primeira repotenciação ocorreu em 1994 seguida por outras. A partir desta experiência tarifas específicas de compra de energia relativa a parques repotenciados foram aplicadas a título de incentivo financeiro, a iniciativa do governo resultou na substituição de aproximadamente 1200 turbinas que proporcionaram um aumento de 202 MW de capacidade de geração eólica ao país.

Nota-se que o incentivo financeiro é que determina a viabilidade da repotenciação, seguido pelos licenciamentos ambientais e pela mão de obra especializada. Portanto no âmbito nacional é preciso criar incentivos financeiros que tornem atrativos investimentos em repotenciação, definir a necessidade ou não de realização de novos estudos ambientais, e desenvolver um nicho de mercado próprio para este segmento, uma vez que tal qual nos Estados Unidos o Brasil possui um potencial de desenvolvimento de novos projetos muito superior a demanda instalada atualmente.

3.5. ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS DE REPOTENCIAÇÃO

A decisão de Repotenciar depende do desempenho financeiro do parque eólico (produção de energia existente; subsídios e custos de manutenção), ponderando se custo de remover as turbinas velhas e substituí-las por novas atribuiria valor financeiro ao empreendimento.

O atual modelo de comercialização de energia contempla apenas contratos de energia assegurada; isso significa que a repotenciação tem que estar associada ao aumento do rendimento para garantir um possível acréscimo financeiro relativo à energia gerada em determinados períodos, caso contrário a produção de energia adicional fica à disposição do sistema gratuitamente.

Nos estados Unidos a Agência Nacional de Energia Renovável (NREL) conduziu uma avaliação econômica da repotenciação de parques eólicos apresentando a atratividade do investimento através da perspectiva do proprietário.

O estudo aborda a análise de repotenciação total e parcial do aerogerador, sendo avaliados parâmetros relativos à vida útil do equipamento, potência nominal e o diâmetro do rotor.

Tendo como base a comparação do valor presente líquido (VPL) do fluxo de caixa futuro do parque, o VPL de uma instalação repotenciada é comparado com a projeção do VPL desta mesma instalação sem a repotenciação, que por sua vez é também comparado com o VPL de um novo projeto.

Esta análise apresenta qual seria o investimento mais apropriado para a planta em questão, considerando um projeto de 100MW.

	2015-100 MW		2025-100 MW		2030-100 MW	
Inicio da Operação	Novo projeto	Repotenciação	Novo projeto	Repotenciação	Novo projeto	Repotenciação
1999	\$28M	\$15M	\$8M	\$12M	\$5M	\$12M
2003	\$28M	\$20M	\$8M	\$14M	\$6M	\$12M
2008	\$28M	-\$62M	\$9M	-\$28M	\$5M	-\$15M

Tabela 1 - Valor agregado ao empreendimento

Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

Os resultados demonstraram que até o 14º ano de operação a repotenciação não se apresenta lucrativa e somente após a conclusão do 15º ano de operação que o empreendimento passa a ser lucrativo do ponto de vista da repotenciação; esta análise também indicou que a construção de um complexo adjacente no mesmo ano base seria mais lucrativa do que a repotenciação parcial do parque. Somente após 20 anos de operação, ou seja, próximo ao fim da vida útil, a repotenciação total do complexo se torna mais atraente financeiramente.

Complementar ao processo de repotenciação, a remanufatura de aerogeradores vem a contribuir para o processo de modo a evitar impactos ambientais provenientes da produção de novas máquinas. A AECOM empresa multinacional americana de engenharia realizou uma pesquisa de mercado, demonstrando que os aerogeradores remanufaturados agregam valor ao empreendimento uma vez que podem ser revendidos por 50% do valor de um equipamento novo.

Por fim os estudos apresentados demonstram que a repotenciação poder ser entendida como uma estratégia para a transformação de ativos de baixo desempenho em ativos de alta rentabilidade. Contribuindo significativamente para o aumento da capacidade de geração elétrica no país, sem estender os danos ambientais agregados ao empreendimento.

4. DESCOMISSIONAMENTO X REPOTENCIÃO

A Repotenciação de empreendimentos eólicos se apresenta como uma oportunidade de ganho de potência para o sistema elétrico nacional.

Os ganhos de capacidade e os custos de repotenciações associados à redução de impactos ambientais executadas em plantas fora do país demostram sua viabilidade.

Por outro lado, o Descomissionamento do parque ao fim de sua vida útil apresenta um custo excessivamente alto considerando que a desativação do empreendimento requer uma disposição final ambientalmente adequada para os equipamentos desativados e a revitalização do local. Atualmente a logística reversa enfrenta desafios socioambientais referentes à reciclagem de materiais derivados das pás e a disposição final dos resíduos não recicláveis. Além destes fatores a desativação de um empreendimento afeta a economia local no que se refere ao arrendamento de terras e a geração de empregos. A carência de legislação e os altos custos atribuídos ao processo podem ser desestimulantes.

Consciência ambiental é fator fundamental na tomada de decisão entre a Repotenciação e o Descomissionamento, a repotenciação eólica proporciona ganhos de energia impactando muito pouco no meio ambiente, já o descomissionamento requer a construção de um novo empreendimento em outro local resultando em novos impactos ambientais.

A inexistência de regulamentação ambiental específica para obras de Repotenciação e Descomissionamento, de certa forma direciona a tomada de decisão para projetos de repotenciação que por sua vez se orientam por meio das diretrizes da regulamentação de novos empreendimentos.

Dado o atual cenário do setor elétrico nacional a desativação de usinas eólicas viria a comprometer o fornecimento de energia no país, implicando em novos investimentos na implantação de obras de expansão de geração de energia fundamentais para a segurança do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Neste contexto a repotenciação de usinas eólicas pode vir a ser a melhor estratégia a ser adotada, pois a aplicação de novos equipamentos com maior capacidade acompanha o crescimento da demanda de forma sustentável e eficiente além de contribuir na redução das emissões de gases na atmosfera.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como observamos neste estudo a evolução tecnológica tem conduzido o mercado na buscar por soluções que apresentem não somente benefícios financeiros, mas principalmente benefícios socioambientais.

Conceitualmente o desenvolvimento sustentável abrange a preservação econômica, social e ambiental, garantindo às gerações presentes e futuras o direito à qualidade de vida.

Dentro deste conceito a sustentabilidade energética visa minimizar seus impactos e preservar sua base produtiva, sendo esta fundamental para a criação e o desenvolvimento de uma sociedade sustentável. Para atender este conceito o setor energético precisa ser essencialmente eficiente e preferencialmente renovável isso é aperfeiçoar ao máximo os processos produtivos e reduzir a utilização de combustíveis fósseis em sua matriz energética.

A adoção de energias renováveis na matriz energética, especificamente a energia eólica atende aos critérios de sustentabilidade na medida em que o custo desta geração é competitivo e o impacto ambiental associado à implantação e operação do empreendimento é muito baixo.

Dada à importância geração eólica na matriz energética e na conservação do meio ambiente, a desativação de projetos desta natureza não condiz com os critérios de expansão da capacidade de geração de forma sustentável, tais aspectos denotam a importância da repotenciação como sendo a solução mais adequada a ser aplicada em projetos futuros.

6. CONCLUSÃO

A repotenciação é a melhor solução a ser adotada no segmento nacional, uma vez que atende ao conceito de preservação e expansão da capacidade de geração de energia.

O objetivo deste trabalho foi apresentar a melhor solução a ser aplicada ao fim da vida útil de um empreendimento eólico. Os estudos aqui apresentados abordaram soluções baseadas em processos de Descomissionamento e Repotenciação, aplicando uma análise comparativa entre as soluções abordadas.

No estudo comparativo ações de repotenciação demonstram ser fundamentais para a preservação do potencial eólico. Por sua vez processos de Descomissionamento apresentam muitas limitações técnicas, ambientais e financeiras.

A repotenciação é indicada quando o empreendimento está próximo ao fim da sua vida útil; os danos ambientais provenientes da construção de novos parques e os custos associados ao Descomissionamento ambiental, demonstram a vantagem da repotenciação.

Dentre os principais benefícios associados a ações de Repotenciação, destaca-se a vida útil dos parques, o aumento de sua confiabilidade, a segurança no controle e fornecimento de energia, a redução dos custos de manutenção, o curto prazo de implantação e a indisponibilidade programada. Uma vez que o processo não exige a desativação completa do empreendimento, a repotenciação pode ser efetuada em etapas permitindo que a planta continue a gerar energia durante este processo, além do aumento da energia assegurada da usina.

O planejamento prévio dos procedimentos de repotenciação deve ser rigoroso a fim de se efetuar a mínima reabilitação condicionada ao maior ganho de geração,

sendo este estabelecido dentro um cronograma que vise o menor tempo possível para conclusão do projeto. O objetivo principal é a preservação e expansão da capacidade de geração de energia.

O estudo apresentado pela NREL demonstra a garantia de ganho de energia e da oportunidade de negócios, vinculando o sucesso do empreendimento ao retorno de capitais. Entretanto cabe ainda a necessidade de aperfeiçoamentos regulatórios e incentivos a investimentos desta natureza, além da necessidade de linhas de transmissão que comportem a expansão da geração. Desafio este a ser transposto pelo setor eólico, que necessita da implantação de modelo vinculando às concessões à capacidade de distribuição do parque, a fim de promover a redução de incertezas quanto ao escoamento da geração e expansão da energia eólica contratada no ambiente regulado, ou mesmo a repotenciação conjunta da linha de distribuição em paralelo ao processo de repotenciação do parque.

7. BIBLIOGRAFIA

ANNEI. Agência Nacional de Energia Elétrica.
<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>.
 12/02/2019, 18:52 hs

EPE. Empresa de Pesquisa Energética.
<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. 13/02/2019, 19:23 hs

INEE. Instituto Nacional de Eficiência Energética.
http://www.inee.org.br/informacoes_impressa_artigo.asp?id=714&Cat=info.
 14/02/2019, 21:33 hs

MMA. Ministério do Meio Ambiente.
<http://www.mma.gov.br/component/k2/item/10575-cen%C3%A1rio-nacional>.
 14/02/2019, 23:19 hs

MME. Ministério de Minas e Energia.
www.mme.gov.br/web/guest/perguntas-frequentes-energia-eolica. 15/02/2019,
 18:46 hs

White Rock Wind Farm
www.whiterockwindfarm.com/wp-content/uploads/2016/04/16-04-21-WRWF-DPE-Approved-Decommissioning-and-Rehabilitasian-Plan.pdf. 16/02/2019, 14:22 hs

Pérez, O. & Rickardsson, E. (2008). **What goes up must come down – modelling economic consequences of wind turbine decommissioning:**
<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1351439&fileId=2435160>. 06/03/2019, 15:38hs

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
http://ww2.fepam.rs.gov.br/doclicks/signed/2015/691903_signed.pdf. 02/04/2019,
 11:56hs.

WEEE. Waste Electrical & Electronic Equipment
http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/legis_en.htm. 03/04/2019, 14:29hs.

EWEA. Wind energy in Europe in 2018 - Trends and statistics
<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2018.pdf>. 03/04/2019, 14:41hs.

TLR. Texas Law Review. Wind Energy's Dirty Word: Decommissioning*
<http://texaslawreview.org/wp-content/uploads/2016/12/Stripling95.pdf>. 10/04/2019,
 11:31hs.

EWEA. The European Wind Energy Association
<http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/Factsheets.pdf>.
 07/05/2019, 15:41hs.

NREL. Laboratório Nacional de Energia Renovável

<https://www.nrel.gov/wind/distributed-wind.html>. 07/05/2019 16:45hs.

AECON. American multinational engineering firm

<https://www.aecom.com/au/combining-wind-and-solar/>. 07/05/2019 18:22hs.

ANNEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Central Eólica Mucuripe - CE

[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).

09/07/2019 16:59hs.

IEC – International Electrotechnical Commission, 6-1400 Part 12-1 Ed.1 (2005),
Power performance measurements of electricity producing wind
turbines.

**PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio de Aquino Nascif - Manutenção –
Função Estratégica** – 4 ed. - Quality Mark, 2001.

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

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.

PINTO, Milton de Oliveira. Fundamentos de energia eólica. Rio de Janeiro: LTC,
2014.

**TADANO, Aline de Castro Mendes. Descomissionamento e logística reversa
de aerogeradores.** Monografia apresentada ao Programa de Especialização em
Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo. 2016.

**FREESZ, Flávia Masini. Descomissionamento de Parques Eólicos: custos e
valores residuais no Brasil e no mundo e a relação com seus investimentos.**
Monografia apresentada ao Programa de Especialização em Energias
Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo. 2017.