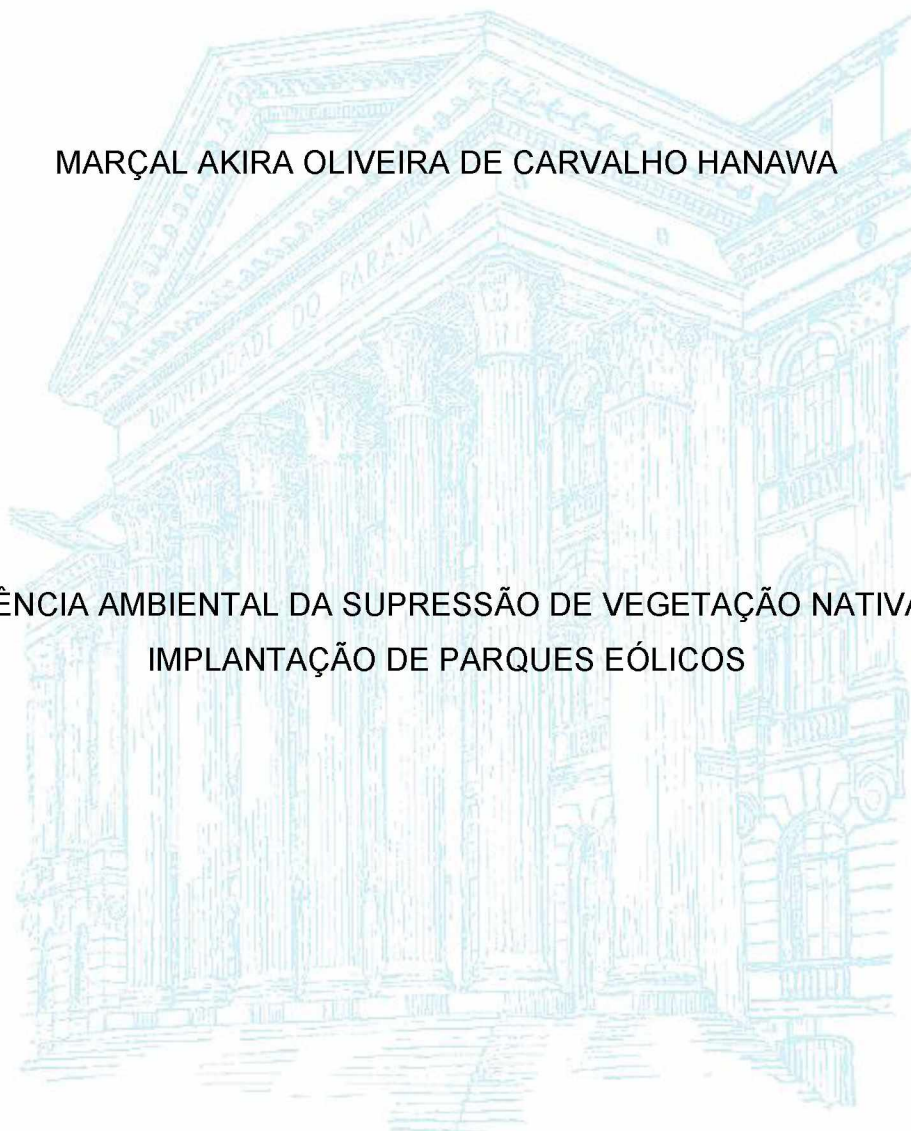


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARÇAL AKIRA OLIVEIRA DE CARVALHO HANAWA

EFICIÊNCIA AMBIENTAL DA SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO NATIVA EM
IMPLANTAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS



CURITIBA

2018

MARÇAL AKIRA OLIVEIRA DE CARVALHO HANAWA



EFICIÊNCIA AMBIENTAL DA SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO NATIVA EM
IMPLANTAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS

Trabalho de Conclusão do Curso de Pós-Graduação em MBA Gestão Ambiental da Universidade Federal do Paraná, apresentado como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Felga Gobbi.

Coorientadora: Profa. MsC. Valéria de Cássia Macedo.

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

MARÇAL AKIRA OLIVEIRA DE CARVALHO HANAWA

EFICIÊNCIA AMBIENTAL DA SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO NATIVA EM IMPLANTAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS

Trabalho de Conclusão do Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Gestão Ambiental no Programa de Pós-Graduação em MBA de Gestão Ambiental da Universidade Federal do Paraná.

Banca examinadora:

Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Aprovação:

RESUMO

Empreendimentos de geração e transmissão de energia geram inevitavelmente impactos ambientais, esses muitas vezes podem ganhar grande proporção em casos de médias e grandes obras. Os processos de licenciamento ambiental avaliam impactos ambientais locais e regionais e as medidas de controle, eliminação e mitigação; porém não há consolidado uma metodologia de comparação de impacto *versus* energia produzida. Diante disto, o presente trabalho analisou impactos ambientais associados à implantação de empreendimentos de geração de energia eólica, que foram segregados e descritos em classes: áreas de supressão de vegetação e impactos fundiários. Os subsídios de comparação de custos ambientais de geração de energia entre fontes iguais e/ou diferentes sendo desenvolvida através de dados obtidos em empreendimento eólico em implantação no estado do Rio Grande do Norte, esses dados foram submetidos a uma razão tendo como divisor uma unidade fixa de geração de energia (MW); visando desta forma a criação de um método de comparação de eficiência ambiental na implantação de unidade geradora de energia, que possibilite comparações com outros empreendimentos de energia eólica e/ou de outras fontes geradoras. Os resultados obtidos demonstraram efetividade da metodologia proposta como método de comparação da eficiência ambiental entre os parques eólicos.

Palavras-chave: Avaliação de impactos ambientais, custo ambiental, geração de energia eólica, metodologia de comparação.

ABSTRACT

Energy generation and transmission projects generate unavoidable impacts in external environments, in some cases in which the generators have a great impact in the case of media and large works. The processes of environmental and local and regional rights issuance and control, removal and mitigation measures; However, there is no consolidation of a methodology of comparison of impacts versus energy produced. Dowing of this, the present work analytical for medical associated to implantation of generation of energy energy and, that they segregated and display classes: areas of suppression of vegetation and land effects. The subsidies of comparison of energy sources of energy generation environment can be availed and / or diverted through data in wind farms in implantation in the state of Rio Grande do Norte. generation (MW); Taking this form the creation of a method of comparison of environmental energy in the implementation of an energy generating unit, which allows comparisons with other ventures of wind energy and / or other generating sources.

Keywords: Assessment of environmental impacts, environmental cost, environmental efficiency, wind energy, power generation, comparison methodology

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha mãe Maria José, meu pai Akira, minhas irmãs Melina e Milena, por todo apoio, amor e pela fundamental presença em minha vida.

Agradeço a todos meus irmãos MPQ que, direta e indiretamente, me apoiam em todas as ações nobres.

Pela paciência, apoio e insistência em tantos finais de semana juntos dedicados em aulas, estudo e trabalhos, incluindo esse trabalho final que também contou com o seu fundamental apoio. Agradeço imensamente Dra. Jayna Dionísio pela importante parcela na conclusão desta etapa.

Pelo fundamental apoio nas revisões, aos meus queridos afilhados Dr. Fabrizio e Dra. Heloísa.

Agradeço toda Família Ambitech, pelo apoio, aprendizado e principalmente pelo companheirismo em todos esses anos de labor.

Agradeço todos meus amigos de trabalho que estiveram ao meu lado durante todo esse tempo de obra CE Cutia.

Agradeço ao meu Professor Orientador Eduardo, e ao Coorientadora Professora Valéria e aos demais Professores deste Curso, pela orientação e inestimáveis ensinamentos.

Meu agradecimento especial a Deus, e a toda sua equipe de trabalho, que me forneceram paz, conhecimento, respeito e aprendizado.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - EFICIÊNCIA ÁREA OCUPADA DOS PE'S.....	24
GRÁFICO 2 - EFICIÊNCIA DA SUPRESSÃO VEGETAL DO PE'S.....	25
GRÁFICO 3 - EFICIÊNCIA DA SUPRESSÃO VEGETAL NAS RMT'S DOS PE'S ...	25
GRÁFICO 4 - DESEMPENHO DA EFICIÊNCIA AMBIENTAL DA SUPRESSÃO VEGETAL TOTAL (PE MAIS RMT) DOS PE'S.....	26

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E AMBIENTAIS DO PE01	21
TABELA 2 - EFICIÊNCIA AMBIENTAL POR PARÂMETRO DO PE01.....	22
TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E AMBIENTAIS DO PE02.....	22
TABELA 4 - EFICIÊNCIA AMBIENTAL POR PARÂMETRO DO PE02.....	23
TABELA 5 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E AMBIENTAIS DO PE03.....	23
TABELA 6 - EFICIÊNCIA AMBIENTAL POR PARÂMETRO DO PE03.....	24

LISTA DE SIGLAS

ADA – área diretamente afetada

AID – área de influência direta

AII – área de influência indireta

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EIA – estudos de impacto ambiental

PE – parque eólico

RIMA – relatórios de impacto ambiental

RMT – rede de média tensão

UTE – usinas termelétricas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1. GERAL	11
2.2. ESPECÍFICOS	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. OBTENÇÃO DE ENERGIA E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	13
3.1.1. Usinas termelétricas.....	14
3.1.2. Energia solar	14
3.1.3. Energia eólica	15
4. METODOLOGIA OU MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. ÁREA TOTAL	19
4.2. ÁREAS DE SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO NATIVA.....	19
4.3. VOLUME DE VEGETAÇÃO NATIVA.....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1. PARQUE EÓLICO 01 – PE01	21
5.2. PARQUE EÓLICO 02 - PE02	22
5.3 PARQUE EÓLICO 03 - PE03.....	23
6. CONCLUSÕES	28
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

Como uma das tecnologias de energias renováveis mais maduras, a energia eólica tem expressivamente crescido na última década. Ela se tornou a opção preferida para os planejadores e os governos nacionais, que procuram diversificar os recursos energéticos, para reduzir as emissões de gás carbônico (CO₂), para criar novas indústrias e para obter novas oportunidades de emprego (AZEVEDO, 2016). De acordo com o último Relatório Global Wind, toda a capacidade instalada de energia eólica mundial foi de 539,581 MW no final de 2017. No entanto, os desenvolvimentos de energia eólica não estão livres dos impactos ambientais adversos. (ABEEOLICA, 2018a; GLOBAL WIND STATISCS, 2017)

Em território brasileiro, os lugares considerados com maior potencial eólico localizam-se nas regiões costeiras do nordeste, na região ao longo do Vale do Rio São Francisco e na região sul do país. (AQUILA, 2015). O Brasil tem um dos melhores ventos do mundo para produção de energia eólica e, o fator de capacidade, que é a medida de produtividade do setor, passa do dobro da média mundial. Tendo também uma cadeia produtiva 80% nacionalizada, que investe e gera empregos. Até 2020, considerando apenas os contratos assinados e leilões já realizados, o Brasil vai chegar a 18,63 GW, e levando em consideração os novos leilões, esse número ainda vai crescer. (ABEEOLICA, 2018b).

Entretanto, Wang e Prin (2010) afirmam que o aproveitamento dos ventos para geração de energia apresenta, como toda tecnologia energética, impactos ambientais desfavoráveis. Em que a consideração dos custos socioambientais relativos aos projetos de investimento é um assunto recente que tem se tornado um desafio mundial. Conceitos e instrumentos que viabilizem a efetiva internalização destes custos têm sido objeto de investigação de universidades, centros de pesquisa e empresas de todo o mundo, e um vasto caminho ainda precisa ser percorrido para que a ciência econômica venha a dar conta da problemática ambiental.

O setor elétrico não foge a esta regra: enfrenta dificuldades na identificação e apropriação dos custos socioambientais de seus empreendimentos e, conseqüentemente, na definição da competitividade econômico-energética de um projeto e na sua própria viabilidade de implementação. Sabe-se que estes têm sido expressivos nos empreendimentos mais recentes, ultrapassando às vezes o valor de algumas contas tradicionalmente consideradas de maior relevância nos projetos

setoriais. Verifica-se, ainda, uma significativa diferença entre os custos orçados e aqueles efetivamente realizados. Isto se deve, em parte, às dificuldades conceituais e operacionais relacionadas à identificação e à contabilização dos custos socioambientais. (REIS, 2001)

Neste contexto, este trabalho visou através da análise de impactos ambientais associados à instalação de empreendimentos de geração de energia eólica propor uma metodologia que possibilite através de parâmetros obtidos por razões entre impacto ambiental/MW gerado. Essa razão confere simplificação matemática de valores, quais não atrelados aos valores financeiros podem facilmente serem aplicados como meio de comparação de impactos ambientais entre empreendimentos de mesmo tipo e/ou de tipos diferentes de geração, inclusive projetos com instalação em tempos e em moedas diferentes sem a necessidade de incluir atualizações ou câmbio monetário. O conhecimento e a aplicabilidade desta ferramenta apresentam úteis para futuras tomadas de decisão de empreendedores e de até ser considerada em leilões de energia; como uma forma de quantificar e pontuar a eficiência ambiental de um projeto de geração de energia e receber incentivos/fomentos em linhas de financiamentos governamentais ou não governamentais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi qualificar os impactos ambientais gerados na implantação de empreendimentos de geração de energia eólica, descrevendo-os nas mais diversas classes, segregadas de forma a possibilitar futuras comparações. Quantificar conforme metodologia proposta para os parâmetros de área de supressão vegetal, volume de supressão e área total utilizada os impactos gerados correlacionando com a com potência instalada, assim propondo uma ferramenta comparativa que possa ser utilizada entre diferentes fontes de geração de energia elétrica (renovável ou não renovável).

2.2 Objetivos Específicos

São três os objetivos específicos deste trabalho: (I) qualificar os impactos ambientais gerados na implantação de empreendimentos de geração de energia eólica, descrevendo-os nas mais diversas classes, segregadas de forma a possibilitar futuras comparações; (II) quantificar em impactos gerados e correlacionar com potência instalada para os parâmetros de área de ocupação total, área de supressão vegetal e volume de supressão vegetal, assim propondo uma ferramenta comparativa que possa ser utilizada entre diferentes fontes de geração de energia elétrica (renovável ou não renovável); e (III) propor metodologia de comparação de custo ambiental na implantação de empreendimentos de geração de energia.

3 REVISÃO DE LITERATURA

No cenário global de geração de energia, é expressivo o apelo mundial por energia barata e limpa para permitir o crescimento econômico sem prejudicar ambiente, ou seja, precisa-se conciliar um futuro sustentável com o aumento da produção de energia. A solução está na busca da eficiência energética e no desenvolvimento de tecnologias limpas, ecologicamente sustentáveis (ALNASIR; KAZERANI, 2013; AQUILA, 2015). Neste contexto, as fontes renováveis de energia têm participação cada vez mais relevante na matriz energética global nas próximas décadas.

Bertoldi *et al.* (2013) afirmam que as questões da conservação do meio ambiente e da mitigação de mudanças micro e meso climáticas estão intimamente ligadas à discussão relacionada às energias renováveis. Os autores ainda acrescentam que o desenvolvimento sustentável só pode ser alcançado com a combinação que reduz o consumo de recursos escassos, que conseqüentemente aumentam a eficiência energética. De tal maneira, é possível alcançar menor desperdício de recursos naturais e produzir a energia necessária para atender o consumo.

Saidur *et al.* (2010) relatam que nos anos 1990, a energia eólica foi a fonte que obteve o maior progresso em relação ao desenvolvimento tecnológico e em termos de crescimento anual de capacidade instalada por fonte. Nesse contexto, a fonte eólica tem demonstrado um avanço mais rápido em sua comercialização do que outras tecnologias, como a solar, células de combustível e maremotriz, por ser relativamente mais barata no que diz respeito à pesquisa e desenvolvimento.

Os padrões atuais de produção e consumo de energia são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. É preciso mudar esses padrões estimulando as energias renováveis, e, nesse sentido, o Brasil apresenta uma condição bastante favorável em relação ao resto do mundo (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

O Brasil tem hoje uma capacidade instalada que está quase chegando aos 13 GW, com mais de 500 parques eólicos, chegando a abastecer 11% do país e mais de 60% do nordeste, na época da “safra dos ventos”, que vai de junho a novembro. Nos últimos anos, e especialmente em 2016, as eólicas salvaram o nordeste de um

acionamento em tempos de reservatórios baixos e com bandeira vermelha. Além disso, o Brasil tem um dos melhores ventos do mundo para produção de energia eólica e apresenta fator de capacidade, que é a medida de produtividade do setor, passa do dobro da média mundial. Além disso, tem-se uma cadeia produtiva 80% nacionalizada, que investe e gera empregos. Em 2017, foram cerca de 30 mil postos de trabalho. Todos estes dados são prova de um setor que vem mostrando sua maturidade. Até 2020, considerando apenas os contratos assinados e leilões já realizados o Brasil vai chegar a 18,63 GW. Com novos leilões, esse número ainda vai crescer. (ABEEOLICA, 2018b).

3.1 Obtenção de energia e impactos ambientais

A preocupação com os impactos ambientais vem da crescente conscientização de que a vida na Terra necessita dos recursos naturais para se manter em equilíbrio. Ao mesmo tempo em que o homem precisa de energia elétrica para seu desenvolvimento, ele precisa encontrar formas para que essa geração não degrade o ambiente, que é o gerador dos recursos naturais e de importância vital. (INATOMI; UDAETA, 2007). A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 001, de 23 de janeiro de 1986, em seu art. 1º, define impacto ambiental como:

[...] considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I. a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II. as atividades sociais e econômicas;
- III. a biota;
- IV. as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V. a qualidade dos recursos ambientais. (CONAMA, 1986)

Associando assim os impactos ambientais à alteração ou efeito ambiental considerado significativo por meio da avaliação do projeto de um determinado empreendimento, podendo ser negativo ou positivo (BITAR & ORTEGA, 1998).

São diversos os impactos ambientais inerentes aos processos de obtenção de energia, sendo estes processos renováveis ou não. A seguir serão apresentados alguns destes impactos em seus respectivos processos de obtenção.

3.1.1 Usinas termelétricas

Numa termelétrica convencional, o calor, produzido pela queima dos combustíveis em caldeira, aquece a água que circula numa rede de tubos e produz vapor. Este vapor movimentando as pás de uma turbina, que ligada a um gerador produz energia elétrica. O vapor é resfriado por um condensador e volta a rede de tubos da caldeira, reiniciando o ciclo. Em geral, as termelétricas são instaladas próximas a leitos de rios ou mar, pois a água é utilizada no processo de condensação do vapor. Isto acarreta na elevação da temperatura da água onde termelétricas são instaladas, pois esta é devolvida mais quente, o que pode comprometer a fauna e a flora da região, além de aumentar também a temperatura média local. (INATOMI; UDAETA, 2007).

Além disso, usinas termelétricas (UTE) utilizam como fonte de energia elétrica os combustíveis fósseis, carvão mineral, derivados de petróleo (óleo e gás natural), os nucleares pelos elementos radioativos como urânio, tório e plutônio, além da biomassa (oriunda de florestas energéticas e bagaço de cana-de-açúcar).

As térmicas a carvão têm seu impacto causado no momento da lavra a céu aberto, provocando de imediato impacto visual, modificando a paisagem local. Ocorrem problemas associados de erosão, geração de poeiras, ruídos, vibrações e gases emanados das detonações e deposições de rejeitos e material estéril (KOPPE; COSTA, 2002). Podem provocar também impactos no lençol freático, conflitos no uso da terra, danos à saúde dos trabalhadores, a poluição de águas superficiais, além da poeira e material particulados emitidos. Como consequência, tem um efeito potencial de causar problemas na água na área do entorno da mina proveniente da drenagem ácida, sedimentação, poluentes químicos, metais-traço e sólidos dissolvidos suspensos. (STAUT, 2011).

3.1.2 Energia solar

Segundo Ottinger (1991), o sistema fotovoltaico é composto de “células” de material semicondutor que converte a luz solar diretamente em energia elétrica. Podendo também ser trabalhada como uma tecnologia não elétrica: de forma passiva na arquitetura bioclimática; e de forma ativa, com coletores térmicos solares para aquecimento de água ou suprimento de calor em edifícios.

O sistema fotovoltaico não emite poluentes durante sua operação e é muito promissor como uma alternativa energética sustentável, entretanto gera impactos ambientais a serem considerados.

De acordo com Tolmasquim (2004), de uma forma geral, o sistema fotovoltaico apresenta os seguintes impactos ambientais negativos:

- Emissões e outros impactos associados à produção de energia necessária para os processos de fabricação, transporte, instalação, operação, manutenção e de comissionamento dos sistemas;
- Emissões de produtos tóxicos durante o processo da matéria-prima para a produção dos módulos e componentes periféricos, tais como ácidos e produtos cancerígenos, além de CO₂, SO₂, NO_x e particulados;
- Ocupação de área para implantação do projeto e possível perda de habitat (crítico apenas em áreas especiais) – no entanto o sistema fotovoltaico pode utilizar-se de áreas e estruturas já existentes como telhados, fachadas, etc.;
- Impactos visuais, que podem ser minimizados em função da escolha de áreas não sensíveis;
- Riscos associados aos materiais tóxicos utilizados nos módulos fotovoltaicos (arsênico, gálio e cádmio) e outros componentes, ácido sulfúrico das baterias (incêndio, derramamento de ácido, contato com partes sensíveis do corpo); e
- Necessidade de se dispor e reciclar corretamente as baterias (geralmente do tipo chumbo-ácido, e com vida média de quatro a cinco anos) e outros materiais tóxicos contidos nos módulos fotovoltaicos e demais componentes elétricos e eletrônicos, sendo a vida útil média dos componentes estimada entre 20 e 30 anos.

3.1.3 Energia eólica

O uso da energia eólica vem de épocas remotas, quando era utilizada para bombeamento de água e moagem de grãos. Até a década de 1970, os investimentos em tecnologias para geração de energia eólica eram pequenos. Entretanto, com o choque da crise do petróleo, o setor eólico industrial começou a crescer. (INATOMI & UDAETA, 2007).

Outro fator contribuinte para o crescimento do setor eólico, foram os apelos mundiais por sustentabilidade. E, neste aspecto, a energia eólica é vista como uma contribuição para a redução de emissão de gases de efeito estufa e na redução da concentração de CO₂, visto que não polui durante sua operação.

O aproveitamento dos ventos para geração de energia elétrica apresenta, como toda tecnologia energética, algumas características ambientais desfavoráveis como, por exemplo: impacto visual, ruído, interferência eletromagnética, ofuscamento e danos à fauna. Essas características aparentemente negativas podem ser significativamente minimizadas, e até mesmo eliminadas, através de planejamento adequado e também no uso de inovações tecnológicas (DUTRA, 2001).

A Resolução CONAMA nº. 001/1986 conceitua como sistema ambiental os componentes do meio abiótico, biótico e antrópico. Esta metodologia, geralmente é a mesma utilizada em todos os estudos de impacto ambiental (EIA) e relatórios de impacto ambiental (RIMA). O que varia são as técnicas utilizadas.

Em pesquisa desenvolvida por Staut (2011), foram consideradas as ações do empreendimento as intervenções capazes de afetar direta ou indiretamente o comportamento dos parâmetros que compõem os meios abiótico, biótico e antrópico considerando as áreas de influência funcional do empreendimento, ou seja, área diretamente afetada (ADA), área de influência direta (AID) e área de influência indireta (AII). Sendo apresentados alguns impactos na fase de implantação para cada meio (físico, biótico e socioeconômico), na seguinte classificação:

Meio físico:

- Emissões atmosféricas;
- Derramamento acidental de óleo, graxas e derivados de petróleo;
- Geração de resíduos sólidos e efluentes;
- Instabilidades geotécnicas;
- Alteração na qualidade das águas.

Meio socioeconômico

- Desgaste das vias de acesso em decorrência do aumento da circulação de veículos, máquinas e equipamentos;
- Possibilidade da ocorrência de acidentes de trabalho;
- Possibilidade de acidentes com animais peçonhentos;

- Geração de empregos;
- Aumento da renda;
- Melhoria da infraestrutura local (equipamentos urbanos);
- Capacitação da mão de obra a ser contratada.

Meio biótico:

- Supressão da vegetação na ADA;
- Caça e captura de animais silvestres;
- Fuga e afugentamento da fauna;
- Acidentes com a fauna;
- Alteração da paisagem;
- Danos para a fauna devido à geração de resíduos sólidos.

No meio biótico, um dos impactos que tem elevada relevância é a supressão vegetal, que pode ser descrita como a retirada da cobertura do estrato herbáceo, espécies arbustivas e espécies arbóreas comuns para região, sendo essa remoção necessária para a instalação física do empreendimento.

A supressão vegetal que ocorre com a remoção de terra e compactação de terreno por máquinas, pode acarretar no surgimento diversos outros impactos importantes do meio biótico, sendo alguns deles:

- Alteração dos ecossistemas locais;
- Alteração de paisagem;
- Interferência em sítios arqueológicos e área de preservação ambiental;
- Redução da área destinada à alimentação da fauna;
- Redução da área de acasalamento e nidificação;
- Eliminação das tocas e refúgios da fauna;
- Eliminação do manto herbáceo;
- Redução do potencial de sementes e/ou mudas;
- Redução dos locais de dessedentação da fauna;
- Competitividade e escassez de alimentação.

Neste contexto, fica evidente a necessidade de estudos que quantifiquem e otimizem a utilização da supressão vegetal em empreendimentos de geração e transmissão de energias renováveis, em especial a eólica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a comparação de custos ambientais de geração de energia entre fontes iguais e/ou diferentes foram utilizados dados de três parques eólicos coletados diretamente na instalação de dois complexos eólicos no estado do Rio Grande do Norte, sendo esses dados submetidos a uma razão tendo como divisor uma unidade fixa de geração de energia (MW). Para tanto, foram analisados e quantificados os impactos ambientais segregados pelas seguintes classes:

4.1 Área total

Os parâmetros de custo ambiental em quantitativos de áreas diretamente ocupadas pela implantação de um parque, são obtidos através da análise das áreas utilizadas na implantação de um parque eólico e após tratados fornecerão os parâmetros de custo ambiental em áreas/MW gerados: *ef área total = área total/potência instalada*.

Onde: área total refere-se a área total destinada para instalação do parque eólico (PE), e potência instalada é igual a potência individual do aerogerador multiplicada pela quantidade de unidades de geração existentes no PE.

4.2 Áreas de supressão de vegetação nativa

A fim de obter os parâmetros de custo ambiental em ha/MW gerado, foram obtidos os quantitativos de área de supressão de vegetação nativa por parque, bem como o quantitativo da potência instalada por parque. Considerando para tanto, a seguinte expressão: *Ef áreas de supressão de vegetação nativa = área de supressão vegetal/potência instalada*.

Onde: Ef áreas de supressão de vegetação nativa é a eficiência da supressão vegetal por unidade de potência gerada, o área de supressão vegetal (ha) refere-se a área de supressão vegetal necessária para instalação do parque eólico, e potência instalada (MW) é igual a potência individual de cada aerogerador multiplicada pela quantidade de unidades de geração existentes no PE.

4.3 Volume de vegetação nativa

Obtenção dos quantitativos de área e volume de supressão de vegetação nativa por parque eólico, afim de obter os parâmetros de custo ambiental em M³/MW. Considerando as seguintes expressões: *Ef vol lenhoso = volume total de lenha/potência instalada*.

Onde: volume total de lenha refere-se ao volume total de madeira nativa suprimida para instalação do parque eólico, e potência instalada no Parque Eólico é igual a potência individual do aerogerador multiplicada pela quantidade de unidades de geração existentes no PE.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo foram apresentados e discutidos os dados referentes as eficiências obtidas aos diferentes parques eólicos analisados.

5.1 Parque eólico 01 – PE01

Composto por 11 aerogeradores, o PE 01 apresenta potência instalada de 23,1 MW, a área total é de 368,25 hectares, dos quais 18 necessitaram de supressão de vegetação nativa com volume suprimido de 518,04 m³. Para a implantação da Rede de Média Tensão (RMT), responsável pela transmissão da energia gerada no parque até a Subestação coletora é formada pelos seguintes valores: área de Supressão da RMT é de 2,9 ha e o volume suprimido é da ordem de 81,250 m³ de vegetação lenhosa nativa. Conforme apresentado no quadro resumo Tabela 1:

TABELA 1: Características técnicas e ambientais do PE01

AG (un)	11
Potência total (MW)	23,100
Área total (ha)	368,250
Área de supressão no parque (ha)	18,000
Área SV RMT (ha)	2,900
Área SV total (PE+RMT) (ha)	20,900
Volume de supressão PE (m³)	518,040
Volume de supressão RMT (m³)	81,250
Volume total (RMT+PE) (m³)	599,290

O processamento dos dados referentes a eficiência relativa do PE01, apresentado na Tabela 2, demonstra que a ocupação de área é de 15,942 hectares para cada MW de energia gerada; 0,779 hectares de vegetação nativa para cada MW de energia gerada; 0,126 hectares de supressão vegetal em RMT para cada MW transmitido, portanto 0,905 hectare de vegetação nativa suprimida para cada MW de energia gerada e transmitida até a subestação de energia coletora.

TABELA 2 - Eficiência ambiental por parâmetro do PE01

Área Total/MW (ha/MW)	15,942
Supressão Vegetal PE/MW (ha/MW)	0,779
Supressão Vegetal RMT/MW (ha/MW)	0,126
Supressão Vegetal Total /MW (ha/MW)	0,905

5.2 Parque eólico 02 - PE02

Composto por 10 aerogeradores, o PE 02 apresenta potência instalada de 21 MW, a área total é de 490,86 hectares, dos quais 11,75 necessitaram de supressão de vegetação nativa com volume suprimido de 338,17 m³. Para a implantação da RMT, responsável pela transmissão da energia gerada no parque até a subestação coletora é formada pelos seguintes valores: área de supressão da RMT é de 1,72 ha, e o volume suprimido é da ordem de 48,02 m³ de vegetação lenhosa nativa conforme apresentado no quadro resumo Tabela 3:

TABELA 1 – Características técnicas e ambientais do PE02

AG (un)	10
Potência total (MW)	21
Área total (ha)	490,86
Área de supressão no parque (ha)	11,75
Área SV RMT (ha)	1,72
Área SV total (PE+RMT) (ha)	13,470
Volume de supressão PE (m³)	338,17
Volume de supressão RMT (m³)	48,02
Volume total (RMT+PE) (m³)	386,190

O processamento dos dados referentes a eficiência relativa do PE02, demonstra na Tabela 4 que a ocupação de área é de 23,37 hectares para cada MW de energia gerada; 0,56 hectares de vegetação nativa para cada MW de energia gerada; 0,082 hectares de supressão vegetal em RMT para cada MW transmitido, portanto 0,641 hectare de vegetação nativa suprimida para cada MW de energia gerada e transmitida até a subestação de energia coletora.

TABELA 2 - Eficiência ambiental por parâmetro do PE02

Área total/MW (ha/MW)	23,374
Supressão vegetal PE/MW (ha/MW)	0,560
Supressão vegetal RMT/MW (ha/MW)	0,082
Supressão vegetal total /MW (ha/MW)	0,641

5.3 Parque eólico 03 - PE03

Composto por 13 aerogeradores, o PE 03 apresenta potência instalada de 27,3 MW, a área total é de 252,63 hectares, dos quais 32,21 necessitaram de supressão de vegetação nativa com volume suprimido de 1131,92 m³. Para a implantação da rede de média tensão (RMT), responsável pela transmissão da energia gerada no parque até a subestação coletora é formada pelos seguintes valores: área de supressão da RMT é de 5,33 ha e o volume suprimido é da ordem de 49,7 m³ de vegetação lenhosa nativa. Conforme apresentado no quadro resumo Tabela 5:

TABELA 1 - Características técnicas e ambientais do PE03

AG (un)	13
Potência total (MW)	27,3
Área total (ha)	252,63
Área de supressão no parque (ha)	32,21
Área SV RMT (ha)	5,33
Área SV total (PE+RMT) (ha)	37,540
Volume de supressão PE (m³)	1131,92
Volume de supressão RMT (m³)	49,7
Volume total (RMT+PE) (m³)	1181,620

O processamento dos dados referentes a eficiência relativa do PE03 demonstra na Tabela 6 que a ocupação de área é de 9,254 hectares para cada MW de energia gerada; 1,18 hectares de vegetação nativa para cada MW de energia gerada; 0,195 hectare de supressão vegetal em RMT para cada MW transmitido, portanto 1,375 hectare de vegetação nativa suprimida para cada MW de energia gerada e transmitida até a subestação de energia coletora.

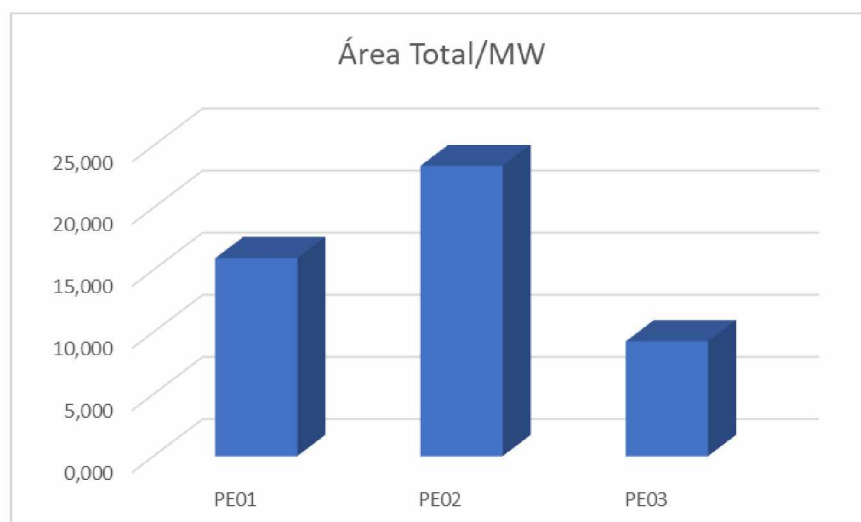
TABELA 2 - Eficiência ambiental por parâmetro do pe03

Área total/MW (ha/MW)	9,254
Supressão vegetal PE/MW (ha/MW)	1,180
Supressão vegetal RMT/MW (ha/MW)	0,195
Supressão vegetal Total /MW (ha/MW)	1,375

A análise dos dados obtidos demonstra a eficiência quantitativa para cada um dos itens dos parques eólicos estudados.

A Área Total refere-se à totalidade da área destinada para a geração de energia, esse parâmetro está diretamente associado ao *Layout* desenvolvido para o projeto de geração eólica, onde projetos mais compactos geram melhores eficiências no que diz respeito ao aproveitamento energético (área/geração). Quando projetos são desenvolvidos visando o aperfeiçoamento deste quesito, menor é a área fixada, com isso o impacto fundiário ocasionado pela indisponibilização de área agrícola, pecuária ou florestal é reduzido.

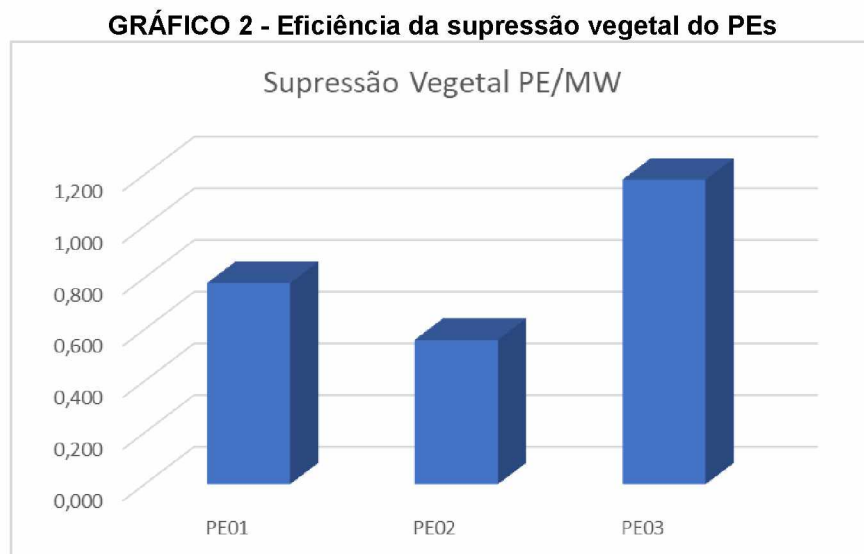
O Gráfico 1 demonstra a área destinada por megawatts gerado de energia para cada um dos parques eólicos estudados, sendo possível notar que o PE03 é o que apresenta maior eficiência seguidos do PE01 e PE02.

GRÁFICO 1 - Eficiência área ocupada dos PES

A supressão vegetal demandada para a implantação de um parque eólico é certamente considerada o maior ou um dos maiores impactos ambientais gerados pela sua implantação. A necessidade da abertura de áreas para implantação se dá pela necessidade de execução principalmente de acessos, plataformas de torres e

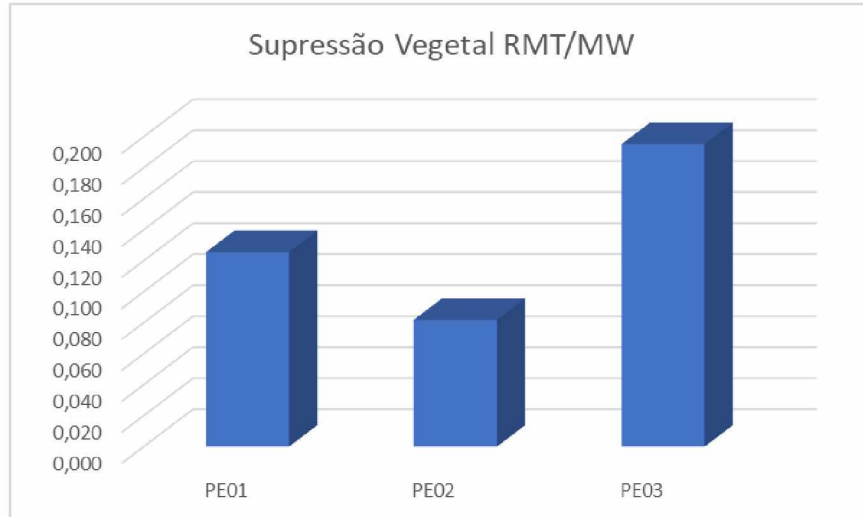
redes de transmissão (redes de média tensão RMT). Desta forma é apresentado abaixo três análises de eficiência considerando as situações de supressão vegetal para a implantação dos parques eólicos, das RMTs e da supressão total, *PE + RMTs*.

O Gráfico 2 demonstra a área de supressão vegetal necessária por cada megawatts gerado de energia para cada um dos parques eólicos estudados, sendo possível notar que o PE02 é o que apresenta maior eficiência seguidos do PE01 e PE03.



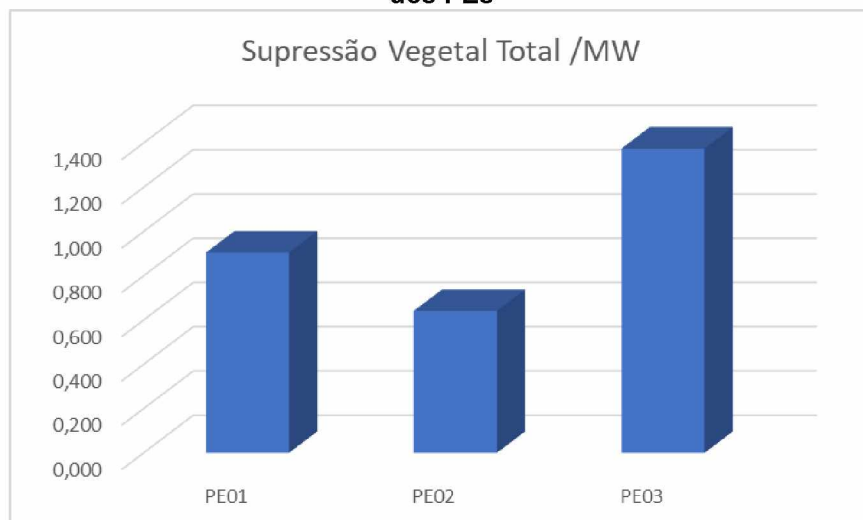
O Gráfico 3 demonstra a área de supressão vegetal necessária para implantação de RMTs por cada megawatts transmitido de energia para cada um dos parques eólicos estudados, sendo possível notar que o PE02 é o que apresenta maior eficiência seguidos do PE01 e PE03.

GRÁFICO 3 - Eficiência da supressão vegetal nas RMTs dos PEs



O Gráfico 4 demonstra a área de supressão vegetal necessária para implantação dos Parques e RMTs por cada megawatts gerado e transmitido de energia para cada um dos parques eólicos estudados, sendo possível notar que o PE02 é o que apresenta maior eficiência seguidos do PE01 e PE03.

GRÁFICO 4 - Desempenho da eficiência ambiental da supressão vegetal total (PE mais RMT) dos PEs



Em análise aos resultados obtidos, é possível realizar comparações entre a eficiência ambiental da geração de energia elétrica considerando itens de avaliação em diferentes projetos. As eficiências apresentadas através das razões matemáticas obtidas com relação aos itens avaliados/unidade de energia gerada são eficientes no que tangem comparações de diferentes projetos.

Esta forma de avaliação de eficiência impacto/geração de energia, considerando a sua capacidade de isolar variáveis é capaz de propor comparações de projetos de geração eólica e inclusive entre projetos de geração de tipos de fontes diferentes.

6 CONCLUSÕES

No estudo de caso apresentado a eficiência energética com relação a área utilizada mostrou como menos eficiente o projeto que utiliza a maior área total, proporção seguidas para a segunda e terceira maior área.

Elevado destaque segue acerca das avaliações referentes as análises das eficiências com relação as áreas de supressão vegetal, uma vez que o PE03 embora apresente a menor área total, foi o parque eólico que obteve os piores índices de eficiência com relação as análises com área e volumes de supressão vegetal. Isso se deu pela localização dos acessos e plataformas do projeto que foram locadas prioritariamente em áreas vegetadas.

Em consonância com o a análise anterior, foi possível constatar que o PE 02 mesmo apresentando a maior área total, apresentou os melhores índices de eficiência relacionados a área e volume de supressão. Isso proporcionado pela concentrada dispersão de aerogeradores e principalmente pela priorizada alocação dos mesmos em áreas antropizadas.

Importante considerar que com relação a rede de média tensão, dos três parques estudados o PE 02 foi o que apresentou a menor área e volume de supressão, isso por ser o mais próximo da subestação coletora, seguidos dos PE01 e PE03.

Em um projeto de geração de energia, existem diversas variáveis que podem ser consideradas objetivando melhorar a eficiência ambiental de um projeto. Com a avaliação apresentada neste trabalho foi possível destacar algumas premissas que podem ser relevadas na fase de projeto de futuros empreendimentos de geração de energia elétrica, tais como:

- Priorizar projetos com dispersão compacta de aerogeradores;
- Priorizar escolhas de áreas já antropizadas;
- Otimizar potência das unidades geradoras;
- Minimizar distâncias entre parques eólicos e a subestação coletora;
- Minimizar extensão e largura de acessos e plataformas de torres.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado neste trabalho mostrou eficiência na atribuição da eficiência da implantação de empreendimento de geração de energia elétrica de fonte eólica, com parâmetros associados à área de ocupação, área de supressão vegetal e volume de supressão. Como continuidade do estudo proposto, sugere-se que a aplicação da metodologia proposta seja aplicada em empreendimentos de geração de fontes diferentes tais como: hidrelétricas, termoelétricas, fotovoltaicas, além de diferentes parques eólicos do Brasil ou do mundo. Estendendo-se as análises para demais parâmetros de comparação, como:

- a) Consumo de insumos (cimento, aço, areia etc.)/MW;
- b) Consumo de água/MW;
- c) Liberação de carbono/MW;
- d) Geração de resíduos/MW.

As análises de área e volume de supressão vegetal, poderão ser qualificadas através da atribuição de coeficientes que considerem qualidade/diversidade de espécies vegetais suprimidas, bem como o seu potencial diamétrico. Essas análises fornecerão comparações mais consistentes no que tangem a eficiência ambiental dos empreendimentos nos quesitos relacionados aos impactos em vegetação nativa em biomas diferentes.

A metodologia proposta neste trabalho poderá ser aplicada também em estudos de avaliação de eficiência ambiental de diferentes formas de geração de energia na fase de operação, uma vez que com pequenas alterações metodológicas, é possível obter parâmetros operacionais para a análise dos custos ambientais com o consumo de insumos, emissão de carbono e/ou uso de recursos naturais/MW gerado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEÓLICA). **Energia sustentável**. 02/01/2018a. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/01/05_Infovento-online.pdf. Acessado em 07/05/2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEÓLICA). **Brasil sobe mais uma posição no Ranking mundial de capacidade instalada de energia eólica**. 15/02/2018b. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/noticias/brasil-sobe-mais-uma-posicao-no-ranking-mundial-de-capacidade-instalada-de-energia-eolica/>. Acessado em 07/05/2018.

ALNASIR, Z.; KAZERANI, M. **An analytical literature review of stand-alone wind energy conversion systems from generator viewpoint**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, v. 28, p.597-615, 2013.

AQUILA, G. **Análise do impacto dos programas de incentivos para viabilizar economicamente o uso de fontes de energia renovável**. Dissertação de Mestrado. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2015.

AZEVEDO, J. P. M.; NASCIMENTO, R. S.; SCHRAM, I. B. **Energia eólica e impactos ambientais: um estudo de revisão**. Anais do XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba.

BERTOLDI, P.; REZESSY, S.; OIKOMONOU, V. **Rewarding energy savings rather than energy efficiency: Exploring the concept of a feed-in tariff for energy savings**. Energy policy, v.56, p.526-535, Fev.2013.

CONAMA. Resolução nº 001, 23 de janeiro 1986. **Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA**. Diário Oficial da União. Brasília.

DUTRA, R. M. **Viabilidade Técnico-Econômica da Energia Eólica Face ao Novo GLOBAL WIND STATISCS**. Disponível em: http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL.pdf. Acessado em 07/05/2018.

GOLDEMBERG J.; LUCON O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estudos avançados. 21 (59), 2007. Disponível em:

http://seeds.usp.br/portal/uploads/INATOMI_TAHI_IMPACTOS_AMBIENTAIS.pdf
Acesso em 14/06/2018.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos.** Universidade de São Paulo – USP.

KOPPE, J. C.; COSTA, J. F. C.; TEIXEIRA, E. C. **Meio ambiente e Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.

KOPPE, C.J.; COSTA, L. C. F. J. *Processo de Lavra e beneficiamento de carvões, mineração.* In. TEIXEIRA, C. E. e PIRES, R. J. M. **Meio ambiente e carvão: impactos da exploração e utilização.** Porto Alegre: FEPAM, 2002. p.15-27.

OTTINGER, R. L. **Environmental costs of electricity / prepared by Pace University center for environmental legal studies.** New York : Oceana Publications, 1991.

SAIDUR, R; ISLAM, M.R; RAHIM, N.A; SOLANGI, K.H. **A review globak wind energy policy.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.14, p.1744-1762, Mar. 2010.

STAUT, F. **O processo de implantação de parques eólicos no nordeste brasileiro.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.

TOLMASQUIM, M. T. **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil.** Editora Relume Dumará. Rio de Janeiro, 2004.

WANG, C.; PRINN, Ronald G. **Potential climatic impacts and reliability of very large-scale wind farms.** Atmospheric Chemistry and Physics, v. 10, n. 4, p. 2053-2061, 2010.