

# **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA: ESTUDO DO PARQUE EÓLICO DE GARGAÚ NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

## **Resumo:**

Fontes renováveis de energia são apresentadas como principal alternativa para atender as demandas da sociedade com relação à qualidade e segurança do atendimento da demanda de eletricidade com redução dos danos ambientais decorrentes do consumo de energia limpa. Os impactos ambientais provenientes a implantação de parques eólicos são eminentes e certamente apresentam desequilíbrio ambiental. Sobre a redução dos impactos ambientais este trabalho visa um estudo na produção de energia limpa usando como referência o Parque Eólico de Gargaú no estado do Rio de Janeiro, a partir de uma revisão dos principais conceitos e aplicabilidade da energia eólica e da avaliação dos impactos ambientais decorrentes.

**Palavras-chaves:** Parque eólico; Energia limpa; Meio ambiente; Impactos ambientais.

## **Abstract:**

Renewable energy sources are presented as the main alternative to comply with the demands of society related with the quality and safety to attend of the electricity demand to reduce environmental damage from clean energy using. The environmental impacts from the implementation of wind farms are eminent and certainly cause environmental imbalance. On reducing the environmental impact this work presents a study in clean energy production with reference to the Wind Farm Gargaú in the state of Rio de Janeiro, from a review of the main concepts and applicability of wind energy and the evaluation of environmental impact due.

**Keywords:** Wind farm; Clean energy; Environment; Environmental impact.

Cassia Maria Alves de Souza (cassiasouza232@gmail.com), Estephany Cristina Nascimento Nunes (tephacristina@hotmail.com), Lucas Cordeiro Pinho (pinheirolucas27@gmail.com), alunos do Curso de Engenharia da Universidade Veiga de Almeida Marapendi - Barra da Tijuca.

Alfredo Nazareno Pereira Boente (alfredo.boente@uva.br), Doutor em Engenharia de Produção (COPPE/UFRJ), Professor do Curso de Engenharia da Universidade Veiga de Almeida.

## 1. Introdução

De acordo com Souza et al. (2015, p. 19) a produção de Energia Limpa está sendo alvo de grandes discussões e estudos para sua utilização, devido aos problemas ambientais que estamos sofrendo, ocasionados principalmente pela poluição e emissão de gases poluentes causadores do Efeito Estufa, à utilização de fontes renováveis passam a ser a melhor opção para obtermos resultados positivos e sem danos ambientais.

Neste viés, entende-se por Energia Limpa toda energia gerada a partir de matérias naturais e renováveis, não poluentes e inesgotáveis, conforme afirma Pinto (2013). Quanto a utilização de energias renováveis, nota-se benefícios consequentes do aumento no consumo de energia limpa, destacando-se:

- a) Aumento da diversidade de oferta de energia;
- b) Crescimento econômico;
- c) Geração de energia sustentável em longo prazo;
- d) Maior geração de empregos no setor energético e novas oportunidades nas regiões rurais;
- e) Preservação da biodiversidade;
- f) Redução da poluição e da emissão de gases de efeito estufa;
- g) Reduz o risco da falta de energia.

Existem diversas fontes para obtenção de energia elétrica, como por exemplo, as hidrelétricas, o carvão, o petróleo, a biomassa, a solar, a eólica, a geotérmica, a fusão, o hidrogênio, as ondas, a térmica das marés, as marés, os óleos vegetais, o álcool e o gás natural (FADIGAS, 2011).

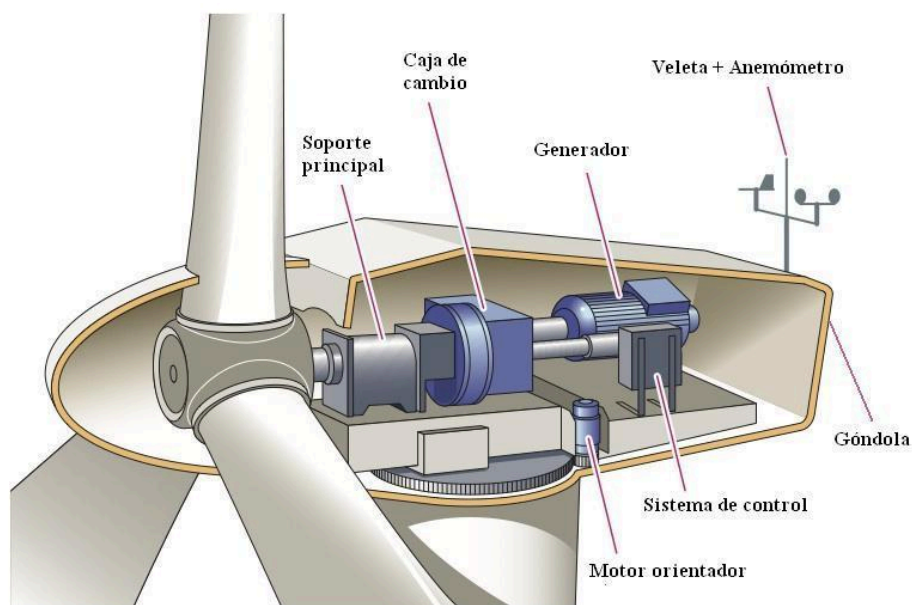
Neste trabalho foi apresentado como fonte de energia a energia eólica produzida pelo Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro, onde através da qual buscou-se avaliar os impactos ambientais locais.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1. Energia Eólica

A energia eólica é considerada uma alternativa energética sustentável que se mostra uma ótima alternativa como fonte energética limpa devido ao fato de não poluir durante sua efetiva operação (LOPES, 2012). Ela é vista como uma contribuição para a redução de emissão de gases de efeito estufa e da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o que vem causando inúmeras preocupações nos órgãos competentes de engenharia ambiental.

Conforme afirmam Javier e Rodriguez Rodriguez (2012, p. 42), a força do vento é captada por hélices ligadas a uma turbina que aciona um gerador elétrico, conforme ilustra a figura 1, produzindo, portanto, energia limpa.

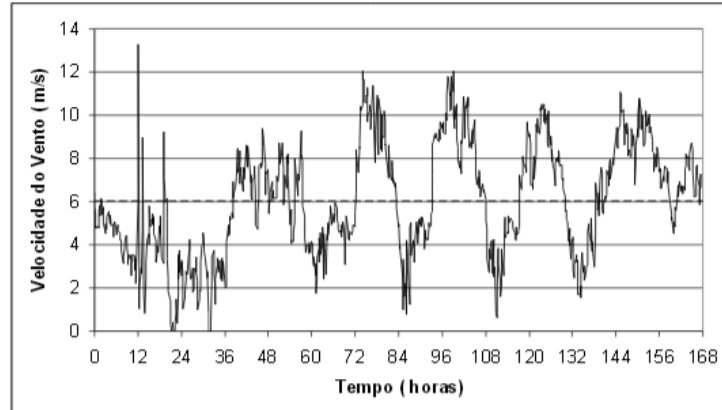


**Figura 1** - Turbina eólica e o sistema gerador de energia elétrica limpa.

**Fonte:** Nascimento, Mendonça e Cunha, 2012.

A quantidade de energia transferida é função da densidade do ar, da área coberta pela rotação das hélices ou pás, e proveniente da velocidade do vento produzida (MARTINS, GUARNIERI e PEREIRA, 2008).

De acordo com a Organização Mundial de Meteorologia, segundo Dalmaz, Passos e Colle (2008, p. 38), o vento apresenta velocidade média igual ou superior a 6 metros por segundo, a uma altura de 50 metros, em apenas 13% da superfície terrestre, de acordo com a ilustração da figura 2.



**Figura 2** - Gráfico da velocidade média do vento na região.

**Fonte:** Dalmaz, Passos e Colle, 2008.

Custódio (2013, p. 52) afirma que o Brasil é um dos países que mais investem em energia limpa, em particular, energia produzida pelos ventos, eólica. A Associação Brasileira de Energia Eólica (ABE Eólica), afirma que até 2016 o Brasil deve alcançar a segunda ou terceira posição no ranking dos países que investem no aproveitamento dos ventos como fonte de energia elétrica e também, será a sexta em classificação mundial em capacidade instalada.

## 2.2. Os Impactos Ambientais

De acordo com Lopes (2012), a implantação de uma usina eólica pode gerar impacto negativo direto junto à fauna local. As formas de danos podem ocorrer por:

- a) alteração do sucesso reprodutor para tipos específicos de aves;
- b) colisão das aves com as linhas de transporte de energia;
- c) colisão das aves com as turbinas aerogeradoras;
- d) desvio da utilização do habitat devido à perturbação associada à presença das turbinas que produzem muito barulho;
- e) perda de habitat natural de reprodução e alimentação;
- f) perturbação na migração.

Estes mesmos impactos ambientais, utilizados como parâmetros na pesquisa realizada, podem ser visualizados através do quadro 1, ilustrado a seguir:

Impactos Ambientais Negativos Junto à Fauna de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro	
I01	Alteração do sucesso reprodutor para tipos específicos de aves
I02	Colisão das aves com as linhas de transporte de energia
I03	Colisão das aves com as turbinas aerogeradoras
I04	Desvio da utilização do habitat devido a perturbação associada à presença das turbinas que produzem muito barulho
I05	Perda de habitat natural de reprodução e alimentação
I06	Perturbação da migração

**Quadro 1** - Itens avaliativos dos impactos ambientais negativos.

**Fonte:** Adaptado de Boente, 2015.

Como exemplo, a poluição visual e a poluição sonora causam fortes impactos ambientais, pois a turbina eólica, conforme ilustração da figura 3, pode ser vista, de forma positiva, como um símbolo de energia limpa e bem-vinda, ou, negativamente, como uma alteração de paisagem, devido suas alturas, e também a perturbação sonora, devido aos altos ruídos produzidos pelas turbinas geradoras (FADIGAS, 2011).



**Figura 3** - Poluição visual e sonora proveniente de um parque eólico.

**Fonte:** Fadigas, 2011.

Custódio (2013) afirma que a forma de percepção das comunidades afetadas visualmente pelos parques eólicos também depende da relação que essas populações têm com o meio ambiente.

Em geral, a poluição visual das turbinas tem sido levada em consideração ao espaço que é necessário para a construção de parques eólicos, a altura das torres e das turbinas são pontos cruciais de forte discussão.

Quando há pessoas que vivem perto de uma usina eólica, cuidados devem ser tomados para garantir que o som das turbinas de vento seja em um nível razoável em relação ao nível de som ambiente na área visando não atrapalhar por demasia as pessoas que moram ao seu entorno, buscando, muitas das vezes, ornamentar as turbinas eólicas, buscando camufla-las aquele ambiente (NASCIMENTO, MENDONÇA e CONHA, 2012).

Devido à grande variação dos níveis de tolerância individual ao ruído, conforme afirma Pinto (2013), não há nenhuma maneira completamente satisfatória para se medir os seus efeitos subjetivos, ou as reações correspondentes de aborrecimento e insatisfação. Também é relevante citar que o ruído das turbinas podem causar as pessoas sintomas prejudiciais à saúde, tais como distúrbios do sono, pressão nos ouvidos, náuseas, vômito, tonturas, irritabilidade, problemas de concentração e falha de memória.

Buscando evitar tais problemas, atualmente, têm sido elaborados projetos modernos com propostas para redução significativa deste tipo de incômodo à saúde das pessoas que habitam ao entorno desses parques eólicos.

### **2.3. Parques Eólicos no Brasil**

No Brasil, existem 167 parques eólicos, porém 36 deles estão sem linhas de transmissão. A maior parte dos parques eólicos se concentram nas Regiões Nordeste e Sul do Brasil. Não obstante, quase todo território nacional tem potencial para gerar esse tipo de energia (SOUZA et al., 2015).

É relevante citar que o primeiro Parque Eólico do Brasil foi instalado no Rio Grande do Sul, o Parque Eólico de Osório, que recebeu recursos do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), e foi o primeiro a fazer parte do Sistema Interligado Nacional (SIN), controlado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico, e ainda, considerado um dos maiores Parques Eólicos da América Latina, integrado por três parques, que reúnem 75 aerogeradores de 2 megawatts cada, instalados em torres de concreto a 100 metros de altura e pás que medem 35 metros (PERALES BENITO, 2012).

### 3. Caso do Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro

No Rio de Janeiro, na cidade de São Francisco de Itabapoana, o Parque Eólico de Gargaú, ilustrado na figura 4, é composto por 17 torres com 80 metros de altura e atrai a atenção de moradores e turistas quando as hélices giram incessantemente numa velocidade de até 160 quilômetros por hora (SOUZA et al., 2015).



**Figura 4** - Parque eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro.

**Fonte:** Adaptado de Souza et al., 2015.

O parque eólico de Gargaú, administrado pela empresa Ômega Energia, é um belo exemplo de sustentabilidade, que tende a crescer. Souza et al. (2015) afirmam que diariamente, são produzidos 28 megawatts de energia elétrica, o suficiente para abastecer uma cidade de 80 mil habitantes. Toda esta produção segue para uma central e depois é distribuída por todo o Brasil.



**Figura 5** - Construção da maquete do Parque Eólico de Gargaú - fase inicial.

**Fonte:** Souza et al., 2015.

As figuras 5 e 6 ilustram a reprodução por maquete do Parque Eólico de Gargaú, utilizada na apresentação do trabalho final da disciplina de Projeto I, do Curso de Engenharia da Universidade Veiga de Almeida.



**Figura 6** - Construção da maquete do Parque Eólico de Gargaú - fase final.

**Fonte:** Souza et al., 2015.

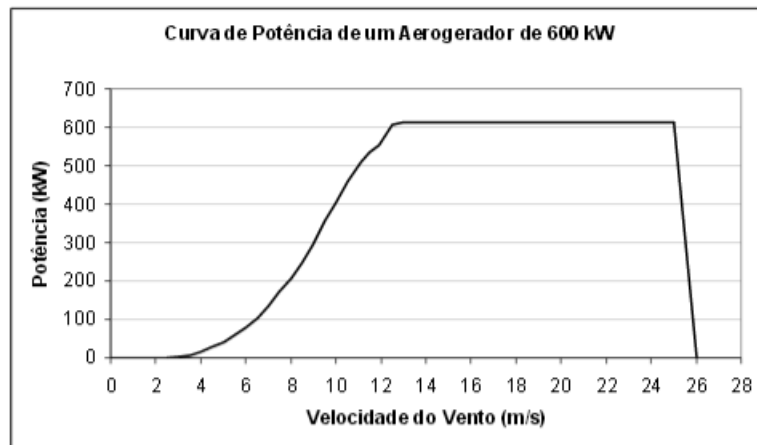
Através da turbina aerogeradora vinculada à maquete, a partir da produção de vento, foi possível gerar energia sustentável de tal forma que as luzes dos postes e das casas pudessem acender, caracterizando, portanto, uma fonte de energia limpa, sem uso de filhas ou qualquer outro tipo de energia elétrica.

#### **4. Análise e Interpretação dos Resultados**

A empresa Ômega Energia que implantou o Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro, é voltada exclusivamente para geração de energia elétrica por meio de fonte renovável, eólica, uma ótima alternativa de sustentabilidade. No Parque Eólico de Gargaú, a instalação das turbinas eólicas causaram inúmeros transtornos ao meio ambiente, segundo a pesquisa realizada, como a alteração na paisagem local, a poluição sonora devido ao som produzido pelas turbinas eólicas, a interferência em transmissões de rádio e televisão e também, a ameaça às aves que habitam aquela região.

Diversos são os fatores que influenciam a eficiência de uma turbina aerogeradora de certo parque eólico (FADIGAS, 2011). A figura 7 ilustra a representação da curva de potência dos

aerogeradores instalados no Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro com potência nominal de 600 kW.



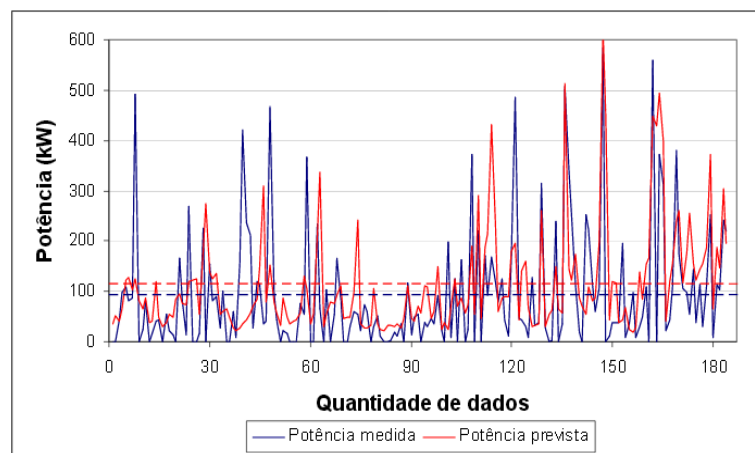
**Figura 7** - Potência nominal dos aerogeradores - 60KW.

Fonte: Souza et al., 2015.

De acordo com Amenedo, Gómez e Díaz (2003), uma forma de se avaliar a capacidade de geração de energia de um parque eólico é a partir do valor do fator de capacidade calculado pela seguinte fórmula:

$$FC = \frac{E_a}{P_N T}$$

Onde  $E_a$  representa a quantidade de energia produzida no intervalo de tempo  $T$ , e  $P_N$  é a soma das potências nominais das turbinas aerogeradoras de certo parque eólico. A figura 8 ilustra a medição de potência calculada para o Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro.



**Figura 8** - Medição da Potência calculada.

Fonte: Souza et al., 2015.

De acordo com a amostra de vinte moradores do entorno do Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro, participantes desta pesquisa, acerca dos impactos ambientais, ocasionados a partir de sua instalação, tem-se ilustrado nos quadro 2 e 3, respectivamente, os graus de presença e de importância dos critérios de impactos ambientais, respectivamente, adquiridos por meio de questionário estruturado, para os cálculos iniciais, de transcrição dos processos de fuzificação, defuzificação e normalização, que servirão de base para calcular o grau de incidência referente aos impactos ambientais avaliados.

	I01	I02	I03	I04	I05	I06
M01	3,00	3,00	3,00	2,00	4,00	3,00
M02	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	4,00
M03	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00
M04	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00
M05	4,00	4,00	3,00	3,00	4,00	4,00
M06	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	4,00
M07	3,00	1,00	1,00	2,00	1,00	3,00
M08	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00
M09	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
M10	2,00	4,00	1,00	2,00	3,00	2,00
M11	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	3,00
M12	2,00	3,00	4,00	3,00	3,00	4,00
M13	4,00	3,00	3,00	2,00	3,00	4,00
M14	4,00	2,00	4,00	2,00	3,00	4,00
M15	2,00	3,00	4,00	3,00	2,00	4,00
M16	3,00	3,00	4,00	2,00	4,00	4,00
M17	3,00	1,00	4,00	2,00	2,00	3,00
M18	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
M19	3,00	3,00	3,00	2,00	4,00	3,00
M20	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Ñ	1,90	1,70	1,95	1,60	1,95	2,40
	2,90	2,70	2,95	2,60	2,95	3,40
	3,70	3,55	3,60	3,55	3,65	3,90
Crisp	2,85	2,66	2,86	2,59	2,88	3,28
Norm	0,87	0,81	0,87	0,79	0,88	1,00

**Quadro 2** - Grau de Presença dos Critérios de Impactos Ambientais.

Fonte: Elaboração própria.

Como os valores e entrada foram coletados através de questionários estruturados, acerca da opinião de vinte moradores ao entorno do Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro,

respondentes desta pesquisa, nos leva a imprecisão e incerteza, e, por este fato, conforme afirma Boente (2015), foi indicado o uso da lógica fuzzy para realizar tal avaliação.

	I01	I02	I03	I04	I05	I06	
M01	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	3,00	
M02	4,00	3,00	4,00	3,00	4,00	3,00	
M03	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	
M04	4,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	
M05	4,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00	
M06	4,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	
M07	3,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00	
M08	3,00	4,00	3,00	3,00	4,00	4,00	
M09	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	
M10	4,00	4,00	3,00	3,00	4,00	4,00	
M11	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	3,00	
M12	4,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	
M13	4,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	
M14	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00	4,00	
M15	4,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	
M16	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	4,00	
M17	4,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00	
M18	3,00	4,00	4,00	3,00	4,00	4,00	
M19	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	3,00	
M20	4,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00	
Ñ	2,55	2,40	2,40	2,00	3,00	2,45	
	3,55	3,40	3,40	3,00	4,00	3,45	
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Crisp	3,41	3,30	3,30	3,00	3,75	3,34	
Norm	0,91	0,88	0,88	0,80	1,00	0,89	Σ= 5,36

**Quadro 3** - Grau de Importância dos Critérios de Impactos Ambientais.

Fonte: Elaboração própria.

Os cálculos para fuzificação dos graus de presença e importância dos critérios de impactos ambientais foram realizados através da seguinte fórmula:

$$(a) \quad (a, m, b)_{\text{agreg}_j} = \sum_{i=1}^{06} \sum_{j=1}^{20} CI_{\text{resp}_i} * (Aval)_{\text{crit}_j}$$

Em seguida utilizou-se as fórmulas abaixo, (b) e (c), respectivamente, para calcular o valor crisp e o valor normal, que serviu de parâmetro matemático para os cálculos fuzzy.

$$(b) \quad V_{\text{crisp}} = \frac{(a + 2m + b)_{\text{agreg}_j}}{4} \qquad (c) \quad V_{\text{norm}} = \frac{V_{\text{crisp}}}{V_{\text{max}}}$$

A partir dos graus de presença e importância dos critérios de impactos ambientais, foi calculada a Distância *Hamming*, distância existente entre os graus de presença e importância, que de

acordo com a ilustração do quadro 4, os dados foram utilizados para calcular o Grau de Incidência desses impactos ambientais, efetivamente naquela região.

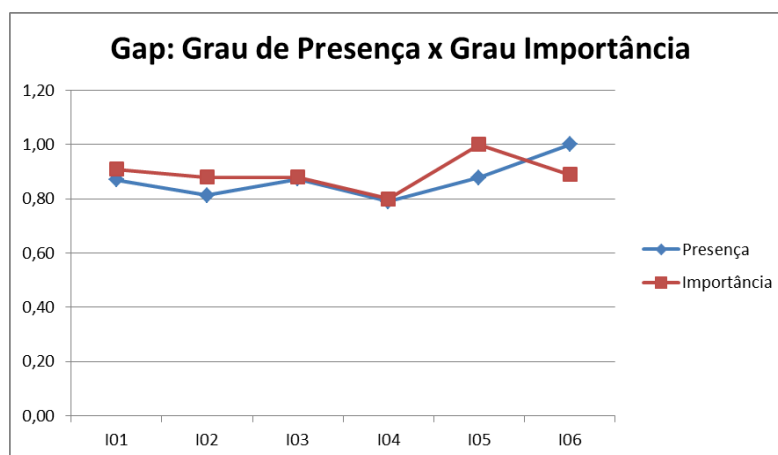
Critérios	Presença	Importância	Distância Hamming
I01	0,87	0,91	-0,04
I02	0,81	0,88	-0,07
I03	0,87	0,88	-0,01
I04	0,79	0,80	-0,01
I05	0,88	1,00	-0,12
I06	1,00	0,89	0,11

**Quadro 4** - Distância existente entre os Graus de Presença e Importância dos Critérios de Impactos Ambientais.

Fonte: Elaboração própria.

Para cálculo da distância *hamming*, conforme ilustrado na figura 9, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$(d) \text{Dist}_{crisp} = V_{crisp} P - V_{crisp} I$$



**Figura 9** - Gráfico da Distância entre os Graus de Presença e Importância dos Critérios de Impactos Ambientais.

Fonte: Elaboração própria.

Analisando as distâncias consegue-se observar que os itens I03 (*Colisão das aves com as turbinas aerogeradoras*) e I04 (*Desvio da utilização do habitat devido à perturbação associada à presença das turbinas que produzem muito barulho*), são os critérios que mais geram impactos negativos diretos junto à fauna local, aves, em especial.

A partir dessa informação, através da fórmula (e), buscou-se calcular o Grau de Incidência dos impactos ambientais identificados nesta pesquisa, obtendo-se, portanto, 0,87, considerado como um alto grau de incidência desses fatores.

$$(e) \quad G_{Incid} = \frac{\sum_{i=1}^6 (G_{IMP_i} \times G_{PRES_i})}{\sum_{i=1}^6 G_{IMP_i}} = 0,87$$

## 5. Considerações Finais

Conclui-se, portanto, que a Produção de Energia Limpa tornou-se eficaz para o combate a poluição, a emissão de gases poluente, o crescimento econômico e a geração de novos empregos na região do Gargaú no Estado do Rio de Janeiro. No entanto, a carência de pesquisas, informação e o custo elevado fazem com que este recurso seja pouco utilizado no Brasil.

A Energia Eólica é a fonte renovável que apresenta maiores vantagens na geração de energia elétrica, pois só depende da velocidade dos ventos e não emite dióxido de carbono ou outros gases nocivos ao meio ambiente, embora traga algumas desvantagens quanto aos impactos ambientais na região onde Parques Eólicos são instalados.

De acordo com esta pesquisa, foi calculado um alto Grau de Incidência dos impactos ambientais considerados negativos, 0,87 junto à fauna local, em especial às aves, enfatizando dois critérios principais para esta contribuição negativa, a colisão das aves com as turbinas aerogeradoras (I03) e o desvio da utilização do habitat devido à perturbação associada à presença das turbinas que produzem muito barulho (I04).

Embora existam problemas decorrentes à instalação de Parques Eólicos, esta prática é adotada no mundo inteiro contribuindo para o crescimento econômico e social dos países, que optam por este tipo de energia limpa, e tem se mostrado como uma fonte alternativa de grande importância na elaboração dos cenários energéticos ditos ecologicamente corretos.

## 6. Referências

- AMENEDO, J.L.R.; GÓMEZ, S.A.; DÍAZ, J.C.B. **Sistemas Eólicos de Producción de Energia Eléctrica**. Madrid: Rueda, 2003.
- BOENTE, R.M.P. **Avaliação Fuzzy da Aprendizagem Organizacional**. Revista EDU.TEC, v. 1, n. 1, e. 2, Revista Científica Digital da FAETEC, 2015.
- CUSTÓDIO, R.S. **Energia eólica para a produção de energia elétrica**. 2 ed. Porto Alegre: Synergia, 2013.

DALMAZ, A.; PASSOS, J.C.; COLLE, S. **Energia eólica para geração de eletricidade e a importância da previsão**. Revista ABCM-Engenharia, 2008.

FADIGAS, E.A.F.A. **Energia eólica - Série sustentabilidade**. Rio Grande do Sul: Editora Antus, 2011.

JAVIER, M.M.M.; RODRIGUEZ RODRIGUEZ, L.M. **Energia Eólica**. Montevidéo: Curtón, 2012.

LOPES, R.A. **Energia eólica**. 2 ed. São Paulo: Liber, 2012.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B. **O aproveitamento da energia eólica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 2008.

NASCIMENTO, T.C. MENDONÇA, A.T.B.B.; CUNHA, S.K. **Inovação e sustentabilidade na produção de energia: O caso do Sistema sectorial de energia eólica no Brasil**. Caderno EBAPE, v. 10, n. 3, set., 2012.

PERALES BENITO, T. **Prática de Energia Eólica**. São Paulo: Atlas, 2012.

PINTO, M. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SIMÕES, M.G.; FRANCESCHETTI, N.N.; BIMAL, K.B. **Otimização de um Sistema de Geração de Energia Eólica através de Controle Fuzzy**. Sociedade Brasileira de Controle & Automação, v. 10, n. 1, jan-abr, 1999.

SOUZA, C.M.A. et al. **Produção de Energia Limpa para a redução dos impactos ambientais: Estudo de Caso do Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro**. In XII SEGeT - Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. v. 1, n. 1, p. 178, out, 2015.