

## ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE POTENCIALIDADES PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

### **Leila de Matos Abreu**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense  
Rua Dr. Siqueira, 273 – Pq. Dom Bosco – Campos dos Goytacazes, RJ  
leilamatosabreu@gmail.com

### **Milton Erthal Jr**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense/  
Universidade Candido Mendes  
Rua Dr. Siqueira, 273 – Pq. Dom Bosco / Rua Anita Peçanha, 100 – Pq. São Caetano –  
Campos dos Goytacazes, RJ  
miltonerthal@hotmail.com

### **Henrique Rego Monteiro da Hora**

Instituto Federal Fluminense  
Rua Dr. Siqueira, 273 – Pq. Dom Bosco – Campos dos Goytacazes, RJ  
dahora@gmail.com

### **Claudio Luiz Melo de Souza**

Universidade Candido Mendes  
Rua Anita Peçanha, 100 – Pq. São Caetano – Campos dos Goytacazes, RJ  
claudiomelo.edu@gmail.com

### **Wallan Azevedo dos Santos**

Instituto Federal Fluminense  
Rua Dr. Siqueira, 273 – Pq. Dom Bosco – Campos dos Goytacazes, RJ  
wallan.azevedo@hotmail.com

## RESUMO

A matriz energética mundial é predominantemente composta por fontes de origem fóssil. O Brasil apresenta uma distinção em relação a matriz elétrica mundial, no qual prevalece as fontes renováveis, porém o estado e a região em estudo utilizam em grande parte os combustíveis fósseis, em especial o gás natural, sendo necessário desenvolver uma matriz mais limpa. O objetivo desta pesquisa é analisar as potencialidades, viabilidades e impactos dessas fontes energéticas e identificar através de um método de análise decisória a melhor fonte de energia para a região Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro. As alternativas de fontes são as energias hidrelétricas, biomassa, eólica e fotovoltaica e os critérios de avaliação selecionados de acordo com os especialistas da área de energia. Como resultado, foi obtido um *ranking* dos fluxos líquidos das fontes de energia, com destaque para a energia fotovoltaica. Este trabalho contribui como suporte para um futuro planejamento energético da região.

**Palavra-chave:** Energia renovável; Multicritério; Promethee; Norte Fluminense.

## ABSTRACT

The world's energy matrix is predominantly made up of fossil sources. Brazil has a distinction in relation to the world electricity matrix, in which renewable sources prevail, but the state and the region under study use largely fossil fuels, especially natural gas, and it is necessary to develop a cleaner matrix. The objective of this research is to analyze the potentialities, feasibilities and impacts of these energy sources and to identify, through a decision analysis method, the best energy source for the Norte Fluminense region of Rio de Janeiro State. Source alternatives are hydroelectric, biomass, wind and photovoltaic energy and the assessment criteria selected according to energy specialists. As a result, a ranking of net flows of energy sources was obtained, especially photovoltaic energy. This work contributes to support future energy planning in the region.

**Keywords:** Renewable energy; Multicriteria; Promethee; Norte Fluminense.

### Como Citar:

ABREU, Leila; ERTHAL, Milton; DA HORA, Henrique; SOUZA, Claudio; SANTOS, Wallan. Análise Multicritério de Potencialidades para a Produção de Energia Renovável na Região Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro. *In*: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

## 1. INTRODUÇÃO

Os padrões atuais de produção e consumo de energia são sustentados nas fontes fósseis, ocasionando emissões de poluentes locais, intensificando os gases do efeito estufa, esgotando recursos naturais e a biodiversidade o que colocam em risco a sustentabilidade e o suprimento de longo prazo no planeta, logo é necessário mudar esses padrões investindo nas energias renováveis (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). A utilização dos combustíveis fósseis para geração de energia contribui para o acréscimo da concentração atmosférica dos Gases do Efeito Estufa (GEEs) como: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), entre outros, que são responsáveis pelas mudanças climáticas globais (MARQUES, 2006).

Apesar da diversificação e as discussões sobre a sustentabilidade energética, a matriz energética mundial ainda é muito dependente dos combustíveis fósseis, sendo 81,1% composta por carvão, petróleo e gás natural. Apenas 14% da matriz energética mundial é derivada de fontes renováveis, sendo subdivididas em 9,8% oriundas de biocombustíveis e resíduos, 2,5% de energia hidráulica e 1,7% de outras fontes renováveis, além dos combustíveis fósseis, 4,9% da matriz é composta por energia nuclear (IEA-International Energy Agency, 2018).

O setor energético brasileiro apresenta uma diferenciação no padrão de distribuição de fontes de energia em relação a matriz elétrica mundial. De acordo com o BEN – Balanço Energético Nacional (EPE, 2018) conforme na Figura 1, o setor elétrico brasileiro possui uma matriz elétrica predominantemente renovável, a capacidade instalada é concentrada em usinas hidrelétricas, correspondendo a cerca de 65,2% da energia gerada, seguida de 17,1% de geração por combustíveis fósseis, em sua maior parte de gás natural, 8,2% de biomassa,

em especial as geradas nas usinas que utilizam bagaço da cana-de-açúcar, 2,6% de energia nuclear, 6,8% de energia eólica e 0,1% de energia solar fotovoltaica.

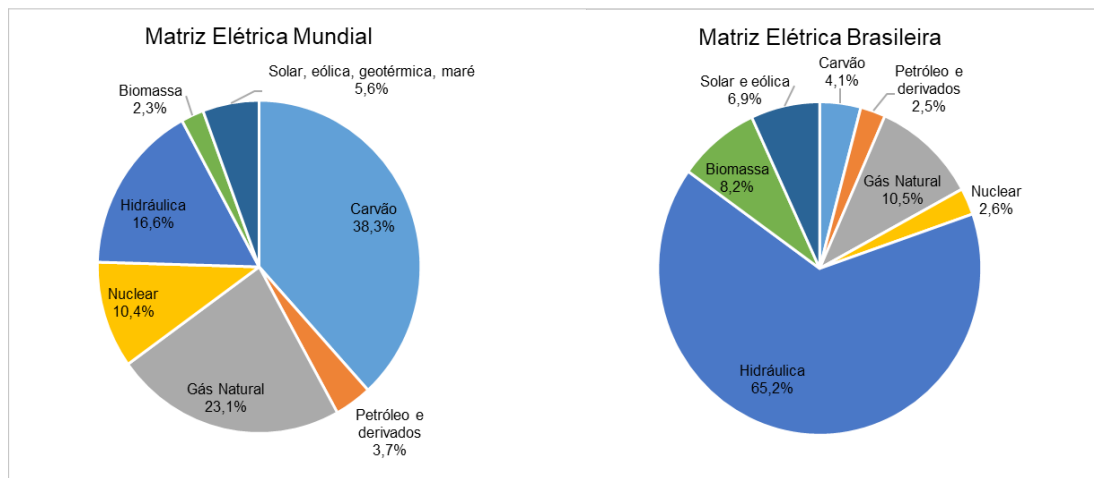


Figura 1 – Matriz Elétrica Mundial (2016) e Matriz Elétrica Brasileira (2017).  
Fonte: (IEA, 2018) e (BEN, 2018)

O Brasil possui 7.439 empreendimentos em operação, totalizando 164.830.554 kW de potência instalada, há previsão para os próximos anos uma adição de 20.739.477 kW na capacidade de geração do país, proveniente de 600 empreendimentos atualmente em construção ou projetos ainda não iniciados (ANEEL, 2019).

O estado do Rio de Janeiro tem participação significativa na matriz energética do Brasil (MENDES; STHIEL, 2018), considerado o maior produtor de petróleo e gás natural do país, concentrado na Bacia de Campos, localizada na Mesorregião Norte Fluminense. Esta é uma das seis mesorregiões pertencentes ao estado do Rio de Janeiro, caracterizado pela união entre nove municípios, sendo esses: Campos dos Goytacazes, Carapebus, Cardoso Moreira, Conceição de Macabu, Macaé, Quissamã, São Fidélis, São Francisco de Itabapoana e São João da Barra. Destaca-se por possuir uma área de 9.741km<sup>2</sup> e apresentar o maior PIB per capita entre as demais mesorregiões do estado (IBGE, 2018). A economia da região Norte Fluminense é sustentada principalmente por atividades petrolíferas em Macaé, pela economia agroindustrial de Campos dos Goytacazes, que possui usinas de açúcar e forte atividade agropecuária e pela potencial atividade portuária em São João da Barra. Nos demais municípios predominam a agricultura e criação de gado. O rio Paraíba do Sul, considerado o mais importante do estado, corta parte da região, favorecendo as atividades do setor primário.

O objetivo desta pesquisa é analisar e ordenar através de um método de análise decisória, as potencialidades, viabilidades e impactos para aproveitamento da geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis a fim de identificar a melhor fonte de geração de energia para um planejamento energético da região Norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro. Dentre as energias disponíveis e favoráveis conforme as características geográficas da região, foram consideradas as energias renováveis hidrelétricas, biomassa, eólica e fotovoltaica. Os critérios analisados de acordo com a análise dos especialistas para avaliação de cada fonte foram as potencialidades, estabilidade na geração, viabilidade econômica, viabilidade técnica, impactos ambientais e impactos sociais.

## 2. METODOLOGIA

Neste trabalho, foram realizadas pesquisas em relatórios de órgãos públicos nacionais e internacionais com estudos e levantamento de dados voltados para o setor energético e revisões bibliográficas em artigos publicados nas bases científicas Scopus®, Science Direct® e Scielo® com temáticas relacionadas a métodos multicritérios, energias renováveis e sustentabilidade.

A estratégia desta pesquisa é constituída das seguintes etapas: pesquisa exploratória dos artigos, livros, relatórios e documentos técnicos; elaboração, aplicação de questionário a especialistas, e tratamento dos dados obtidos; e por fim aplicação do método de análise decisória obtendo como resultado um *ranking* das fontes de energia analisadas na região. A metodologia está fundamentada nos conceitos de análise emergética, no qual o objeto de estudo foi a região Norte Fluminense (NF), localizada no interior do Estado do Rio de Janeiro com suas principais fontes geradoras de energia elétrica.

Os métodos MCDA – *Multicriteria Decision Analysis* ou Análise de Decisão Multicritério fornecem suporte à tomada de decisão, são métodos bastante estruturados e são utilizados para resolver problemáticas em que o decisor necessita analisar um conjunto de alternativas em relação a diferentes critérios, com capacidade de avaliar de forma subjetiva ou objetiva. Esses processos decisórios têm como objetivo expor alternativas e resultados que apoiem à decisão, identificando qual será a mais viável de acordo com a análise de critérios (ALMEIDA, 2013).

O método de decisão da família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) (BRANS; VINCKE, 1985), é um método conhecido e amplamente aplicado, analisa comparações de cenários, integra critérios quantitativamente e qualitativamente para diferentes alternativas, comparando as alternativas em pares a fim de tornar a avaliação mais realista.

O método PROMETHEE possui seis variáveis (I, II, III, IV, V e VI) (BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986), que representam diferentes características metodológicas e objetivos. Estes métodos são bastante utilizados em problemáticas de planejamento de energia renováveis e sustentabilidade (SULTANA; KUMAR, 2012). Nesta pesquisa será utilizado o método PROMETHEE II, que estabelece uma ordem completa entre as alternativas destinadas à problemáticas de ordenação, o cálculo do método é composto por quatro etapas:

Inicialmente consiste em calcular a diferença de desempenho ( $\delta_{ik}$ ) para cada alternativa  $x_i$  com a alternativa  $x_k$  relativa a critério  $j$  e a função de preferência relativa ( $P$ ) de cada critério  $j$ , a preferência relativa é dada pela Equação (1).

$$P(x_i, x_k) = P_j(u_j(x_i) - u_j(x_k)) = P_j(\delta_{ik}) \quad (1)$$

Em seguida calcula-se o índice de preferência ( $S_{ik}$ ) da alternativa  $x_i$  comparada as demais alternativas  $x_k$ , este índice é representado pela Equação (2). Onde  $w_j$  é o peso de cada critério, sendo a importância que o decisor atribui ao critério em relação ao problema.

$$S_{ik} = \frac{\sum_j w_j \cdot P(\delta_{ik})}{\sum_j w_j} \quad (2)$$

O próximo passo representa os fluxos de superação. O fluxo de superação positivo, ou fluxo de saída, representa a intensidade de preferência de uma alternativa sobre todas as alternativas, na Equação (3). O fluxo de superação negativo, ou fluxo de entrada, representa a intensidade de preferência de todas as alternativas sobre uma das alternativas, na Equação (4).

$$\Phi_{i^+} = \sum_k S_{ik} \tag{3}$$

$$\Phi_{i^-} = \sum_k S_{ki} \tag{4}$$

O último passo permite obter a ordenação geral das alternativas, utilizando o fluxo de superação ou fluxo líquido, que representa o resultado entre a força e a fraqueza da alternativa. Quanto maior for o fluxo líquido, melhor é o desempenho da alternativa, e quando os fluxos líquidos são iguais, as alternativas são indiferentes entre elas. A Equação (5) apresenta este fluxo.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \tag{5}$$

Desta forma para avaliar a potencialidade e viabilidade da implantação de energias renováveis na região Norte Fluminense, foi elaborado um questionário com seis perguntas em relação aos quatro tipos de fontes de energia. Um total de 28 questionários foram aplicados aos especialistas da área do meio acadêmico e empresarial que atuam na região. Além disso, foram estabelecidos pesos a cada um dos critérios a fim de se realizar o método de análise decisória.

Considerando as particularidades da região Norte Fluminense, as fontes energéticas que mais se adequam a implantação na região são as provenientes de hidrelétricas, biomassa, eólica e fotovoltaica. Quanto aos atributos a serem pesquisados, foram considerados, potencialidade, estabilidade na geração, viabilidade econômica, viabilidade técnica, impactos ambientais e impactos sociais. Para avaliação de cada atributo com sua respectiva alternativa, foram pontuados os quesitos: muito alto (5), alto (4), médio (3), baixo (2), muito baixo (1) e não quero opinar (0).

Após o tratamento dos dados é utilizado o método multicritério PROMOTHEE II, que resulta na ordenação das alternativas conforme critérios, evidenciando o primeiro lugar como a melhor fonte de energia para a região e o último lugar para a fonte de energia menos adequada. O software utilizado para a aplicação é o *Visual PROMETHEE Academic Edition*.

O modelo é composto por quatro alternativas e seis critérios, na Tabela 1 são apresentados os critérios de avaliação com suas respectivas descrições e pesos. Os pesos dos critérios foram estabelecidos conforme a média aritmética de todos os questionários aplicados, no qual foi avaliado por cada especialista o grau de importância de cada critério determinando uma nota entre 0 e 10.

Tabela 1 - Critérios de avaliação

N	Critérios	Descrição	Peso
C 1	Potencialidade	Este critério irá avaliar a potencialidade de implantação da fonte de energia, a capacidade de realização e viabilidade para a região. É um critério de maximização, ou seja, quanto maior melhor.	7,92
C 2	Estabilidade na Geração	Este critério irá avaliar a estabilidade da geração de cada fonte de energia, o quanto esta fonte é capaz de fornecer estabilidade no fornecimento de energia para um sistema. É um critério de maximização, ou seja, quanto maior melhor.	7,96
C 3	Viabilidade Econômica	Este critério irá avaliar a viabilidade econômica de cada fonte, considerando os custos de implantação, manutenção e geração	8,46



	de energia. É um critério de minimização, ou seja, quanto menor melhor.	
C Viabilidade 4 Técnica	Este critério irá avaliar a viabilidade técnica de cada fonte, considerando a viabilidade da infraestrutura e operacional de cada fonte de energia. É um critério de maximização, ou seja, quanto maior melhor.	8,67
C Impactos 5 Ambientais	Este critério irá avaliar os impactos ambientais de cada fonte de energia, ou seja, as alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente com a implantação e geração dessas fontes. É um critério de minimização, ou seja, quanto menor melhor.	8,50
C Impactos 6 Sociais	Este critério irá avaliar os impactos sociais de cada fonte de energia, ou seja, o quanto cada fonte tanto na implantação e geração pode transformar positivamente e mensurável em torno do local ou no máximo alcance. É um critério de maximização, ou seja, quanto maior melhor.	8,71

Conforme na Tabela 2, são apresentados os dados da matriz de pagamento das alternativas, que são as quatro respectivas fontes de energias renováveis em relação a um conjunto de seis critérios, o resultado de cada relação é a média aritmética dos questionários aplicados na pesquisa. Para os gráficos foram considerados os respectivos resultados considerando o desvio padrão das amostras.

Tabela 2 - Matriz de pagamento

Critérios/ Alternativas	Potencia- lidade	Estabilidade na geração	Viabilidade econômica	Viabilidade técnica	Impactos ambientais	Impactos sociais
Hidrelétrica	2,89	3,11	3,00	3,07	3,56	3,39
Biomassa	3,46	3,23	3,58	3,71	2,46	2,50
Eólica	3,96	3,32	3,56	3,72	2,08	2,36
Fotovoltaica	4,35	3,54	3,19	3,96	1,42	2,04

Ao analisar os questionários, alguns especialistas não souberam avaliar as diferenças dos atributos entre as alternativas, neste caso onde foram observados valores repetidos ou iguais, estas respostas foram eliminadas a fim de constituir uma melhor estatística descritiva.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos da pesquisa com os especialistas de acordo com os atributos/critérios e as respectivas fontes de energia e o *ranking* das alternativas com a aplicação do método de análise decisória.

#### 3.1. CRITÉRIOS E ALTERNATIVAS

A Figura 2 apresenta o resultado da avaliação dos especialistas em relação ao critério de potencialidade e ao critério de estabilidade na geração, ambos têm como objetivo analisar a viabilidade da implantação da respectiva fonte de energia considerando suas restrições e sua capacidade de fornecimento para alimentação dos sistemas e eficiência energética para a região. A energia com maior potencialidade e estabilidade na geração é a

fotovoltaica, respectivamente com 29,6% e 26,8% de relevância em relação ao nível de importância das outras fontes, pois na região Norte Fluminense há uma grande extensão territorial e com altos índices de incidência solar, em contrapartida a fonte de energia menos favorável para a região nos dois critérios é a hidrelétrica, com 19,7% e 23,5% de relevância, pois o relevo da região é formado por planície predominantemente, com poucas quedas d'água em seus rios.

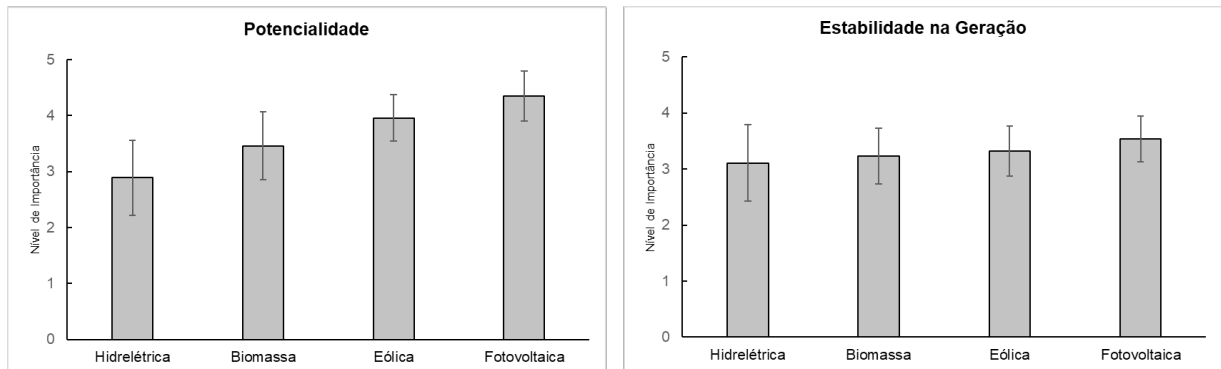


Figura 2 – Potencialidade e Estabilidade na Geração das fontes de energia.

A Figura 3 representa o resultado em relação ao critério de viabilidade econômica e o critério de viabilidade técnica, neste caso o primeiro atributo corresponde o quanto é economicamente viável a utilização dessas fontes, sendo considerado os custos da implantação do projeto, a manutenção da operação e o gasto com a geração. A fonte com melhor viabilidade econômica é a biomassa com 26,8% de importância, pois na região Norte Fluminense há relevante produção na indústria da cana-de-açúcar, apesar das mesmas serem utilizadas na cogeração, ainda é pouco explorada na geração de energia. Seguidas da energia eólica, devido que na região há altos potenciais de ventos para a geração de energia. O segundo atributo caracteriza a infraestrutura para a implantação e a operacionalidade da geração desta energia, sendo a fotovoltaica a fonte com melhor viabilidade técnica, com 27,4% de relevância, além da abundante disponibilidade de incidência solar, é crescente o mercado neste setor. Em ambos, a fonte de energia menos favorável é a hidrelétrica, respectivamente 22,5% e 21,2%, devido aos altos custos de implantação e altos esforços na operação.

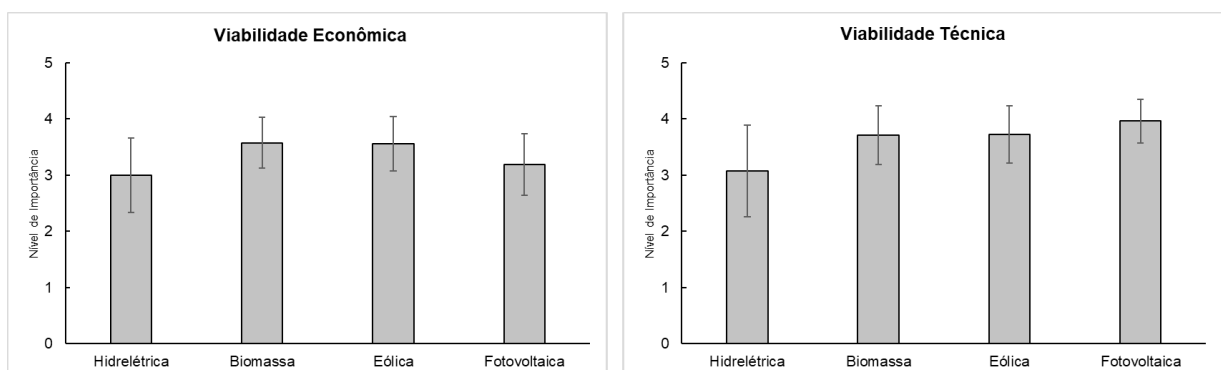


Figura 3 – Viabilidade Econômica e Viabilidade Técnica das fontes de energia.

Por fim, na Figura 4, são apresentados os resultados dos critérios dos impactos ambientais e os impactos sociais de acordo com a avaliação, a fonte de energia com menor impacto ambiental é a fotovoltaica com 14,9% de grau de importância e de forma oposta a com maior impacto é a hidrelétrica, com 37,3% de relevância, devido a grandiosidade desses

projetos e as modificações do ambiente com a sua implantação. Em relação aos impactos sociais, a fonte de energia com melhor impacto é a hidrelétrica representando 33%, e a fonte com menor impacto é a fotovoltaica representando 19,8% de nível de importância. A energia fotovoltaica apesar de ser mais favorável por causar um menor impacto no ambiente em relação as demais, há pouco impacto social devido à baixa necessidade de utilização de recursos após instalação, em contrapartida a energia hidrelétrica apesar de ter negativo impacto no ambiente, impacta positivamente na sociedade e mercado gerando oportunidades.

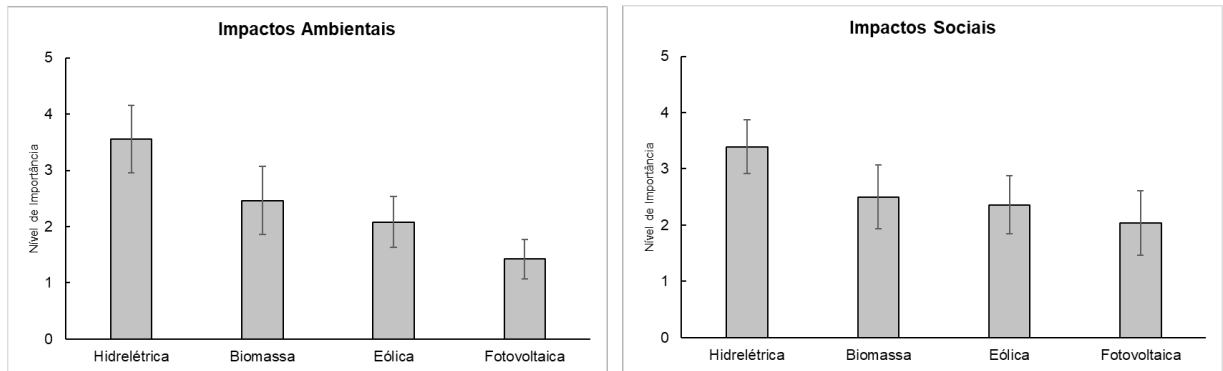


Figura 4 – Impactos Ambientais e Impactos Sociais das fontes de energia.

A matriz elétrica do Rio de Janeiro e da região Norte Fluminense, presente na Figura 5, possui uma baixa renovabilidade energética, devido a predominância da utilização de recursos de origem não renovável para a geração de eletricidade do estado, este índice de renovabilidade é resultado do total de energias renováveis pelo total de todas as energias utilizadas (ODUM, 1996). Destaca-se no Norte Fluminense que 95,1% da geração é proveniente do gás natural, o estado é o maior produtor deste combustível no país, há quatro termoelétricas em operação na região com potência outorgada de 1.778.395 kW, uma em construção no município de São João da Barra com capacidade de geração de 1.298.963 kW e projeto de construção para mais duas termoelétricas, uma no mesmo município e outra em Macaé, totalizando uma potência prevista de mais 2.238.099 kW de geração (ANEEL, 2019). Neste caso, torna necessário minimizar a dependência do gás natural na região, reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, diversificar a matriz e impulsionar a utilização das fontes renováveis para a melhoria da sustentabilidade.

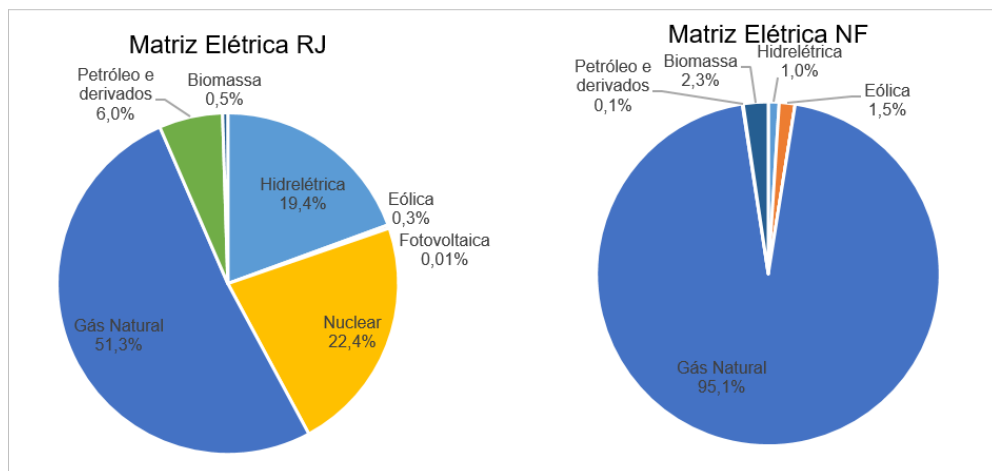


Figura 5 – Matriz Elétrica Rio de Janeiro e Norte Fluminense.  
Fonte: (BIG, 2019)



3.2. MÉTODO MULTICRITÉRIO

Com a aplicação da modelagem PROMETHEE II, é obtida uma ordenação das fontes de energias renováveis em ordem decrescente dos fluxos de importâncias líquidos ( $\phi$ ), conforme a Figura 6. Destacando-se na primeira posição do *ranking*, a energia fotovoltaica, sendo considerada a melhor fonte de geração para a região de acordo com a modelagem aplicada, com fluxo líquido de 0,5409, seguidas das energias eólicas e biomassa. Na quarta e última posição do *ranking* é a energia hidrelétrica, sendo considerada a menos favorável para a região, com um fluxo líquido de -0,3162. A energia fotovoltaica tem como vantagens ser uma fonte de energia limpa e inesgotável, não emite gases poluentes e não geram resíduos, baixo custo de manutenção, acessibilidade a diversos locais, longa vida útil, e complementariedade com outros sistemas gerando economia. Em contrapartida, como desvantagem está no alto custo do investimento, a intermitência na geração da energia e a alteração estética em relação as construções residenciais. Esta possui grande incentivo no Brasil, sendo justificado pelo potencial do país, que possui altos índices de radiação solar.

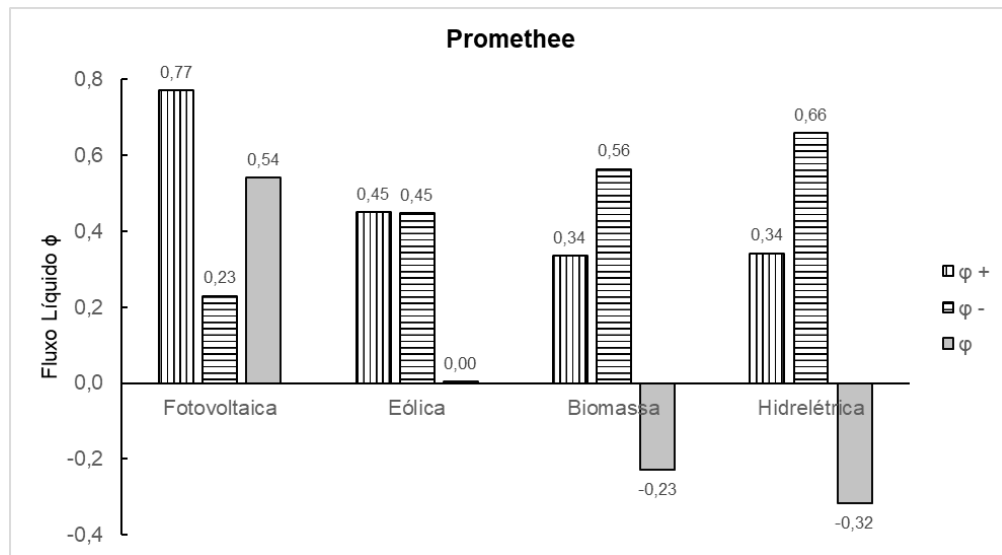


Figura 6 – Fluxo líquidos das fontes de energia.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa se propôs a analisar as potencialidades, viabilidades e impactos na geração de energia elétrica através de fontes renováveis a fim de identificar por meio do método de decisão a fonte mais adequada conforme as características da região Norte Fluminense e avaliações dos especialistas, obtendo-se como melhor alternativa a energia fotovoltaica.

A importância da utilização das fontes de energia renováveis, além da substituição das fontes fósseis e redução das emissões de carbono e outros poluentes, consiste na preservação dos recursos naturais, melhoria da eficiência energética, desenvolvimento de novas tecnologias e garantia da sustentabilidade. Por fim, este trabalho além de evidenciar a fonte fotovoltaica como uma excelente complementariedade de energia, contribui como suporte e pode funcionar como um modelo de aplicação em outras análises para um futuro planejamento energético da região, alinhado com políticas de desenvolvimento ambiental e econômico.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo: Atlas, 2013.
- [2] ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 31 maio. 2019.
- [3] **Balanco Energético Nacional 2018**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 16 maio. 2019.
- [4] BRANS, J. P.; VINCKE, PH. A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). **Management Science**, v. 31, n. 6, p. 647–656, 1985.
- [5] BRANS, J. P.; VINCKE, PH.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The Promethee method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, n. 2, p. 228–238, fev. 1986.
- [6] **Brasil | Cidades e Estados | IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/>>. Acesso em: 23 ago. 2019.
- [7] **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 16 maio. 2019.
- [8] GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7–20, abr. 2007.
- [9] **IEA - International Energy Agency**. Disponível em: <<https://www.iea.org/statistics/>>. Acesso em: 19 jan. 2019.
- [10] MARQUES, M. C. **Conservação de Energia - Eficiência energética de equipamentos e instalações**. 3ª ed. [s.l.] Eletrobrás/PROCEL EDUCAÇÃO/Universidade Federal do Itajubá/FUPAI, 2006.
- [11] MENDES, L. F. R.; STHEL, M. S. Analysis of the hydrological cycle and its impacts on the sustainability of the electric matrix in the state of Rio de Janeiro/Brazil. **Energy Strategy Reviews**, v. 22, p. 119–126, nov. 2018.
- [12] ODUM, H.T., 1996. "Environmental Accounting, Emergy and Decision Making". **John Wiley**, NY, 370 pp.
- [13] SULTANA, A.; KUMAR, A. Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors. **Biomass and Bioenergy**, Biorefinery. v. 39, p. 344–355, 1 abr. 2012.