



Gustavo Pires da Ponte

**Geração de energia elétrica em Sistemas Isolados:
desafios e propostas para aumento da participação de
fontes renováveis com base em uma análise multicritérios**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental

Orientador: Prof. Rodrigo Flora Calili

Co-orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza

Rio de Janeiro

Abril de 2019



Gustavo Pires da Ponte

Geração de energia elétrica em Sistemas Isolados: desafios e propostas para aumento da participação de fontes renováveis com base em uma análise multicritérios

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Rodrigo Flora Calili

Orientador

Programa de Pós-graduação em Metrologia – PUC-Rio

Prof. Reinaldo Castro Souza

Coorientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Dr. Bernardo Vieira Bezerra

PSR Consultoria

Prof. Delberis Araujo Lima

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Dr. Glaysson de Mello Muller

Empresa de Pesquisa Energética

Rio de Janeiro, 29 de abril de 2019.

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Gustavo Pires da Ponte

Consultor Técnico na Superintendência de Projetos de Geração da Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade de Brasília - UnB e pós-graduação em Engenharia de Tubulações pela PUC-Rio.

Ficha Catalográfica

Ponte, Gustavo Pires da

Geração de energia elétrica em Sistemas Isolados: desafios e propostas para aumento da participação de fontes renováveis com base em uma análise multicritérios / Gustavo Pires da Ponte; Rodrigo Flora Calili; co-orientador: Reinaldo Castro Souza. – 2018.

164 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2019.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Engenharia urbana e ambiental – Teses. 3. Sistemas Isolados. 4. Óleo diesel. 5. Energias renováveis. 6. Métodos multicritério de apoio à decisão. 7. Lógica fuzzy. 8. AHP-TOPSIS. I. Calili, Rodrigo; Souza, Reinaldo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e

CDD: 624

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida.

À minha esposa Amanda e meu filho Nicolas, por terem me apoiado desde o início, compreendido minha ausência durante o período de aulas do mestrado e as inúmeras horas que passei em frente ao computador me dedicando a esta dissertação.

Aos colegas da EPE, por proporcionarem discussões que resultaram nesta dissertação. Boa parte das ideias aqui expostas são fruto de nossas conversas.

Ao professor Reinaldo Castro Souza, pelo auxílio na escolha do mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental e orientação na definição do tema.

Igualmente agradeço ao professor Rodrigo Flora Calili por aceitar o desafio da orientação, compartilhar a experiência da elaboração e apresentação do artigo e apontar sugestões importantes para esta dissertação.

Aos especialistas que responderam o Instrumento de Coleta de Dados, avaliando as políticas públicas propostas, o que foi fundamental para a análise multicritério. Obrigado Alexandre Sklo, André Lucena e Roberto Schaeffer (PPE-UFRJ); Delberis Lima (PUC); Fabricio Lacerda (MME); George Soares (Cepel); Luiz Augusto Barroso e Rafael Kelman (PSR); Márcio Forte (UFF) e Sergio de Godoy Campos (UFRJ).

Aos colegas da turma do mestrado, que tornaram mais leves as aulas à noite, mesmo após um dia inteiro trabalho.

Resumo

Ponte, Gustavo Pires da; Calili, Rodrigo Fora (Orientador); Souza, Reinaldo Castro (Co-orientador).

Geração de energia elétrica em Sistemas Isolados: desafios e propostas para aumento da participação de fontes renováveis com base em uma análise multicritérios. Rio de Janeiro, 2018. 164p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os cerca de 250 Sistemas Isolados do Brasil, concentrados na região Norte, representam aproximadamente 1% do consumo nacional de energia elétrica, sendo historicamente atendidos por meio de geradores a diesel, uma solução cara, poluente e dependente de uma complexa logística de fornecimento de combustível. Apesar de diversas publicações indicarem que fontes renováveis já são técnica e economicamente viáveis, sobretudo em economias dependentes de combustíveis caros, a geração a partir do diesel ainda predomina nessas localidades. Esta dissertação tem por objetivo hierarquizar propostas de políticas públicas, visando à inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados do Brasil, por meio de uma ferramenta de análise multicritério. Com isso, ter-se-á a transição de dependência em combustíveis fósseis para uma economia baseada em energias renováveis. Para subsidiar a seleção e hierarquização dessas propostas, indo além das habituais avaliações técnico-econômicas, criou-se um modelo utilizando os métodos multicritério de apoio à decisão AHP e *fuzzy*-TOPSIS, por serem ferramentas reconhecidas como ideais para a modelagem de problemas em que subjetividade, incerteza e ambiguidades estejam presentes. Como resultado, concluiu-se que a política pública de maior impacto seria a implantação de projetos-piloto de usinas híbridas, combinando geração a diesel com fotovoltaica, por exemplo, de forma a auxiliar a transposição de barreiras culturais e de conhecimento sobre tecnologias alternativas nos sistemas isolados. Outras políticas apontadas como relevantes seriam: a simplificação do licenciamento ambiental de projetos baseados em fontes renováveis e a adoção de um modelo de planejamento determinativo, exigindo nos leilões uma penetração mínima dessas fontes.

Palavras-chave

Sistemas Isolados; óleo diesel; energias renováveis, métodos multicritério de apoio à decisão; lógica *fuzzy*; AHP-TOPSIS .

Extended abstract

Ponte, Gustavo Pires da; Calili, Rodrigo Flora (Advisor); Souza, Reinaldo Castro (Co-advisor).

Energy generation in Isolated Systems: challenges and proposals for increasing the share of renewables based on a multicriteria analysis. Rio de Janeiro, 2018. 164p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

1. Introduction

Isolated systems are those places not connected to the national grid, for technical or economic reasons and supplied by local generation. Nowadays in Brazil, there are about 250 isolated systems, concentrated in the Northern region, which sums only 1% of the electricity total consumption of the country, but represents around 40% of the territory. Most of these systems are supplied by diesel power plants, with a few examples of generation by natural gas, biomass or small-hydro. Historically, the diesel gensets have been an easy solution, due to its facility to build, operate and maintain. Also, these power plants do not require complex projects and large areas and have relatively low investment cost associated.

Despite the complex logistics of fuel supply, mostly done by boats along Amazonian rivers, the energy generation has worked quite well in the last decades. However, the operational costs, especially those related to the fuel, are very high. In some places, depending on the season and navigability, it can reach R\$ 10/liter (around US\$ 3/l), resulting in high generation costs, that can achieve R\$ 1,600/MWh (around US\$ 450/MWh). All electricity consumers in Brazil share a great part of this cost.

Other problems related to the diesel-based generation are the pollutant and greenhouse gases emissions, in the middle of the Amazon forest, where most of the isolated systems are located. Some effort has been made to connect isolated systems to the national grid, reducing the local generation, and consequently, its costs and emissions. However, the expansion of conventional power grid has high costs and, in some cases, technical and environmental constraints (Ribeiro, *et al.*, 2012).

The declining costs for solar PV and wind, together with reduced costs for battery storage, make those options attractive for households and small communities disconnected from the grid (IRENA, 2015). Despite this, the diesel solution remains even in the recent auctions for energy supply for isolated systems (EPE, 2017a). The study aims to identify the actual barriers for renewable energy sources in the isolated systems of Brazil and to propose some public policies to change the overall picture.

The main purpose of this study is to hierarchize these public policies, based on a multicriteria tool, in order to increase the share of renewables in Brazilian isolated systems.

2. Diesel based generation: track record and impacts

Due to their easiness of building, operating and maintaining, the diesel generators have been an easy solution over the last decades, despite the emissions caused by this technology and the complex logistics of fuel supply. In this context, the energy generation in isolated systems represents not only advantages to local population, but also challenges.

It is well known that the access to electricity is an important development vector to any society, improving its average productivity and welfare. In small Amazonian communities, energy generation can drive the entire local economy due to the jobs and income provided to a considerably large part of its population. For this reason, in the past years, many of these villages have grown around power plants, bringing another frequent complaint: the noise of engines. According to a series of interviews, conducted by IE-PUC (2011) at Parintins-AM, one of the largest isolated systems, the general perception of local population is that diesel is not clean as solar energy and is considered expensive, pollutant and counts on old machines. Many people also complained about fuel theft and leaking, and suggested the use of renewable sources in order to minimize these problems.

Despite its problems, diesel based generation is the most preferred solution by Distribution System Operators (DSO) with isolated systems in Brazil, who is in charge of electricity supply for these markets. As owners and operators of power plants, they tend to choose for the most reliable and cheap technology,

despite its high cost of operation. As the major cost of generation is subsidized, fuel cost is not an important issue for the distribution companies.

Also, the taxes included in the diesel price represent important revenues for the states, and consequently, a reduction in fuel consumption, which can cause a lower collection.

Although the impacts of diesel-based generation and the social acceptance of renewable energy innovation, Wüstenhagen et al. (2007) points out to aspects like the public's trust on the involved agents as a strong factor towards the acceptance of a given project. In addition, the article mentions the "not in my backyard" (NIMBY) issue, which happens when people are positive towards renewables as long as they are not near generation sites. If we take the example of the Parintins population, however, it would be reasonable to assume that, since the general opinion on the current generation scheme is not positive, people would act sympathetically towards the implementation of renewable energy generation sites.

3. Alternative solutions for isolated systems

Almost every country has its isolated systems, in different conditions and sizes. Most of these isolated grids, with local electricity generation, occur in islands, rural areas or distant regions with strong economic activities like mining or onshore oil and gas exploration. In areas distant from main power grids, regional isolated grids operating on costly diesel fuel are often the main source of electricity to industry and households (Frankfurt School, 2015). Another common situation in these systems is that the governments usually subsidize the fuel.

For example, in the far eastern and northern regions of Russia, outside of the unified power system, the costs of power generation are very high and the power generators are old and inefficient. In these regions, approximately 10 million people are served by stand-alone generation systems using either diesel fuel or gasoline (OECD/IEA, 2003), with only a few tens of kW of power based on renewables. These regions represent an extremely high potential market for introducing renewable energy technologies such as wind turbines, photovoltaic modules, power generators that burn biomass/biogas and geothermal plants (Lombardi, *et al.*, 2016).

In the southeast of Japan, there are about 40 isolated islands mostly depending on diesel generators for power supply since they are too far from the mainland of Okinawa and their area is too small. Due to the distance, the cost of delivering fuel to these islands is high and, consequently, price per kWh of diesel generators in isolated islands is very expensive when compared with conventional generation (Senjyu, *et al.*, 2007).

According to Frankfurt School (2015), generating costs in isolated grids can be reduced by hybridizing these systems with renewable photovoltaic (PV) power. Based on seven case studies in different countries, this study estimated that hybridization could reduce generation costs in up to 16 percent, depending on financing terms and scenario for oil prices, representing a significant potential to reduce the cost of electricity in rural and island settings across the developing world.

A similar study (Das e Claudio, 2017), performed for five communities in Canadian Arctic, where diesel burning is the only way to generate electricity, conclude that the deployment of hybrid systems is always economically interesting, reducing the consumption of diesel and greenhouse gases emissions.

In recent years, the Energy Research Office, the official energy planning agency of Brazil, published studies about electricity generation on isolated grids on Acre (EPE, 2014) and Amazonas (EPE, 2016b) states, concluding that hybrid systems, based on diesel, solar photovoltaics and batteries, could reduce the fuel consumption by up to 26% and reduce energy price by 6.5% on average, based on conservative premises. According to these reports, if future cost of fossil fuels increases and PV equipment prices declines, the difference could be even greater.

According to SIDS lighthouses initiative (IRENA, 2017), electricity in most small islands is generated using expensive imported refined petroleum products. This dependence, combined with long supply chains and limited purchasing power, means that these systems have some of the highest electricity costs in the world, ranging from USD 0.30 per kilowatt-hour (kWh) to over USD 1.00 per kWh. Thus, electricity generated using renewable energy is often the lowest-cost option, offering a path to low-cost electricity and sustainable development.

There are many examples of solar systems associated with storage in rural areas around the world. The “Light for All” program in Brazil (MME, 2015) for

example, estimates that around 100,000 families in remote regions are going to be supplied by photovoltaic systems. Even in the country's isolated systems, some successful examples can be mentioned. Fernando de Noronha island is supplied by a diesel power plant and by two photovoltaic systems, that allowed a reduction in diesel consumption saving R\$ 1.5 million a year (Freitas, Mascarenhas e Almeida, 2016).

The city of Itacoatiara, in Amazonas state, counts on two power plants: one with 23.8 MW from diesel engines, and a second one that burns biomass (wood pellets) from legal extraction, delivering 9 MW to the local grid.

At the most northern point of Brazil, Oiapoque, another isolated system, had always been supplied by fossil fuels until a project considering a small hydro power plant won an action held in 2014 and started to operate together with diesel engines. After that, the developer also announced a 4.3 MWp photovoltaic system, in order to reduce fuel consumption (ANEEL, 2017b).

Ribeiro, et al. (2012) developed a hybrid pilot plant, located in Lençóis Island, a small isolated community in the north region of Brazil, combining wind and solar generation, associated to battery bank and a backup diesel generator. The system brings energy to the community and helped to decrease the CO₂ emissions. However, due to the low energy demand and difficult access to isolated areas, the main issues were related to efficiency, flexibility and reliability of generation, especially due to local climate conditions.

Despite the examples of successful use of renewables in off-grid areas and studies showing its feasibility, most isolated systems still run on conventional power plants. Next sections present some possible reasons and suggests public policies for the development of renewable generation in these areas.

4. Barriers to renewables (subsidies, taxes, investment costs and tariffs) and proposals for changing

Due to the high cost of electricity in the isolated systems of Brazil, a national fund (Fuel Consumption Account or *Conta de Consumo de Combustíveis* - CCC, in Portuguese) was created in 1973 (Brasil, 1973) in order to ensure affordable prices of energy to people living in these areas. Electricity bills of all

consumers in the country contain a fee, used for many purposes, including supplying the CCC fund.

For the energy generation, DSO in isolated areas pay only the average cost of national regulated market (*ACRmed*). The difference between the total cost and the *ACRmed* is subsidized by the CCC fund. In 2016, for example, the *ACRmed* was R\$ 204.84/MWh (ANEEL, 2016b), while the energy price in isolated systems was up to R\$ 2.000/MWh (ANEEL, 2016c), among the highest electricity costs in the world.

To access the CCC fund, power plants managed by DSO must accomplish regulated limits of fuel consumption, managed by National Electricity Agency (ANEEL). Except by these limits, there are no other incentives to reduce the fuel consumption or invest in alternative sources of energy. According to Eletrobras (2016b), in 2017 around 507 m³ of diesel are expected to be consumed for electricity generation in isolated systems of Brazil, resulting in more than R\$ 6.8 billion spent by the CCC fund. Around 18% of this cost is due taxes, representing another important point to look out.

Among these taxes, the most relevant is the “State Value-Added Tax on Sales and Services (*Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS*, in Portuguese), charged on diesel price, which rates vary from 17% to 25% in the northern region, depending on the state. Consequently, when the CCC fund pays for electricity generation based on fossil fuels, there is a transfer of resources to states. As the revenue is proportional to the diesel consumption, incentives for reducing it should not be expected by the states.

Considering these issues, two major changes could minimize the impacts of subsidies: (i) fix a cap for subsidies and (ii) consider a single rate for taxes subsidies (17%, for instance, while the difference to the actual rate would not be subsidized). These policies could stimulate energy efficiency and distributed generation, avoiding the consumer exposure to high diesel prices and consequently, reduce future subsidies. But it is important to remark that states may face a reduction in tax collection.

Regarding the project’s CAPEX, while thermal power plants cost around R\$ 2,500/kW, a PV system can achieve R\$ 5,000/kW. However, as the fuel can be very expensive in distant locations, operational costs usually represent 80% of

total energy price in terms of R\$/MWh. For this reason, solar generation can be competitive, especially considering the decreasing costs of solar panels in recent years. In 2018 auctions for interconnected systems, for example, the average bid for solar projects was R\$ 118/MWh, while diesel generation in isolated systems is usually higher than R\$ 1.000/MWh.

The main disadvantage of photovoltaics systems in these areas where there is no other source of energy is the need of storage systems in order to ensure electricity supply all the time. Also, as there are few examples of PV, local generators are not confident enough on its reliability.

Another option is the hybridization, using PV associated with diesel engines that can generate during nighttime or at moments with low solar irradiation. Therefore, projects based on renewable technologies need much higher investments, resulting in higher capital costs. Thus, the feasibility of solutions like this depends on how much fuel is saved and its cost.

To change this situation, a third public policy is suggested: to have pilot projects considering hybrid solutions, aiming to demonstrate its feasibility and reduce fuel consumption. First projects would need subsidies, but the next one would be benefited from the higher level of knowledge and future reduction in PV CAPEX.

The actual tariff formulation for IPPs on isolated systems is composed of two major parts: one to pay investment costs and the other consists of terms that reflect operational expenditures, including fuel price. The first term is corrected every year by a national inflation index, while the fuel is monthly updated, considering price published by National Oil Agency (ANP) (ANEEL, 2016a).

For renewables based projects where there is no fuel consumption, costs shall be allocated on the fixed tariff. On the other hand, for those based on diesel, if fuel prices increase, the final tariff will automatically rise on the following month during the Power Purchase Agreement (PPA). Consequently, if the fuel price rises, there is no risk for generators. Thus leads to another suggestion: to transfer to generators the risk of diesel price volatility. Instead of updating the tariff monthly by current fuel price, energy tariff would be updated by an inflation index. By this way, power plants owners would receive only a fixed tariff, with periodic corrections by in inflation index, assuming the risk of detachment

between inflation and fuel price in the future. To minimize the risk of long term detachment, they would search for solutions less dependent on fossil fuels. However, it is expected that generators evaluate the price of the risk, allocating it in tender bid. It is important to mention that in low competition markets, this risk premium can lead to windfall profits or, in the worst cases, to the bankruptcy of generators.

One frequently related problem is the difficult faced by entrepreneurs to have environmental license for their projects, especially when based on renewables. Oiapoque original project, for instance, was based on a small-hydro, designed to occupy only the river bank, without comprising the river flow or the navigability. This project already had a license in the past, but as it was not built yet, the environmental agency required new licensing process, with further studies. Despite its simplicity and low impact, the environmental agency also demanded an underground transmission line (usually applied to urban environment) and the design of a urban mobility plan, even though the project is far away from the city. Due to this demands, there was a delay in studies, while a thermal power plant was licensed with no difficult to supply the isolated system. To face situations like this, environmental licensing for projects based on renewables should be simplified and should consider not only local impacts of projects, but also the global effects, like greenhouse gases emissions.

Another way to increase the use of renewables in isolated systems is to have a more determinative planning. While indicative energy planning in Brazil has worked well so far in the interconnected system, in isolated system, it leads to almost 100% diesel based matrix, due to the easiness of this technology and to the other barriers discussed above. In practice, next auctions for isolated systems should require a compulsory share of renewables. A similar example is going to be held on Roraima auction, scheduled for May 2019, in which different products were designed, including one specifically for renewables, with longer PPA's.

5. Multicriteria methods for evaluating and selecting public policies

Decision making process is a great challenge when discussing public policies, due to the impact of actions for society. This challenge is even more complex when dealing with subjective variables and value judgments.

multicriteria decision making (MCDM) methods offer a modeling tool for this kind of problem, distinguished as an important instrument, with increasing use in organizational environments (Mello, 2015).

According to Martins (2017), multicriteria methods are recognized as ideal tools for modelling problems where subjectivity, uncertainty and ambiguities are present. Among the methods, AHP, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS and MACBETH are widely used in reference works.

Those methods can be also combined with fuzzy logic (Zadeh, 1965) and are expected to be quite useful in accounting for the impacts of complex feedback loops and manifold impacts (Cowan, et al., 2009).

The first step was to search for papers about MCDM applied do energy planning and public policies; 20 (twenty) studies were found and considered in the research, but no one proposed a method for evaluating public policies for energy sector, showing a gap on the literature to be fulfilled. Among the methods considered, AHP stands as the most frequent, while TOPSIS was used in 3 (three) of the papers. Also, 3 (three) studies combined the fuzzy logic to treat uncertainties.

5.1 The AHP-fuzzy-TOPSIS model

The model for evaluating and selecting public policies was based on Martins (2017), who created a tool to select renewable technologies using a *fuzzy* AHP-TOPSIS model. It also used some concepts presented by Liu et al. (2012), who used hybrid MCDM models to improve tourism policy implementation in Taiwan. Thus, it is a generic and conceptual model for evaluating public policies, in any sector.

The development was divided in two phases. Phase I (AHP) provides the criteria weight, necessary to run the fuzzy-TOPSIS (phase II), where policies ranked by its contribution for the final objective. For the second phase, ten experts in energy were interviewed to give their opinion on the importance of each criteria for the six public policies proposed.

The importance of one attribute over the other, given by the specialists, are represented by triangular fuzzy numbers, calculated according to the judgment of

the experts by means of linguistic terms based on the scale proposed by Saaty (1991).

5.2 Applying the model to select public policies for Brazilian isolated systems

The definition of weights (phase I) was firstly done by the author and then discussed with another two experts on energy field. The dimensions and criteria were selected from the 20 reference papers, resulting in 6 dimensions and 18 criteria, shown in Table 1.

These criteria were compared in pairs, using a 1 to 10 scale of importance, resulting in weights shown in Table 1, and a consistent ratio was calculated. Ratios lower than 0.1 were accepted. Once the consistency is accepted, it is possible to generate the matrix of pairwise comparison and move forward to the fuzzy-TOPSIS phase.

Among dimensions, “Robustness” was considered the most relevant and Previous experience criterion had the higher weight. “Technical” dimension was considered the second most important, followed by “Economical”, with similar weights. It reveals that the policies should not lead to extra costs for society or worsen the electricity supply by adopting new technologies.

In phase II (*fuzzy-TOPSIS*), the experts judged each policy from the point of view of each criterion and gave their opinion using a 1 to 5 scale, where 1 means less important and 5 means more important. The results were formatted considering the lower, the higher and the most frequent grades, defining the triangular fuzzy number, and thus, the fuzzy decision matrix. This matrix is normalized, using a linear transformation scale, and multiplied by the weights shown in Table 1.

Next step consists in defining the ideal fuzzy positive and negative solution (FPIS and FNIS) and its distances (D^+ and D^-), allowing the determination of the relative proximity of the ideal value (CC_i approximation coefficients), resulting in final ordering, presented in Table 2. CC_i coefficients represents the performance index of each public policy, considering the weights of dimensions and criteria, calculated in phase I.

Table 1 – Hierarchy structure of dimensions / criteria and weight calculated by AHP method

Dimensions	Dimension weight	Criteria	Criteria weight	Final weight
Economic	0,173	E ₁ Potential for market transformation	0,089	0,02
		E ₂ Cost for Society	0,125	0,02
		E ₃ Increase in subsidies	0,376	0,07
		E ₄ Tax collection	0,41	0,07
Social	0,065	S ₁ Social acceptance	0,192	0,01
		S ₂ Electricity access	0,131	0,01
		S ₃ Local development	0,677	0,04
Robustness	0,339	R ₁ Previous experience	0,461	0,16
		R ₂ Difficulty of implementation	0,191	0,06
		R ₃ Easiness to monitor and evaluate the policy	0,126	0,04
		R ₄ Foreseen impacts	0,222	0,08
Political	0,148	P ₁ Alignment with international agreements	0,114	0,02
		P ₂ Alignment with national policies	0,114	0,02
		P ₃ Political risks	0,406	0,06
		P ₄ Accountability and sector sustainability	0,287	0,04
		P ₅ Foreign dependency	0,079	0,01
Technical	0,187	T ₁ Reliability of power supply	1	0,19
Environmental	0,088	A ₁ Environmental impact	1	0,09

Table 2 - Fuzzy-TOPSIS results

Public Policies	Distances		CC _i
	D ⁺	D ⁻	
Hybrids	17,0115	1,09611	0,0605
Generator risk	17,1403	0,93301	0,0516
Determinative planning	17,0866	0,98065	0,0543
Cap for subsidies	17,1624	0,91916	0,0508
Single rate for taxes	17,1452	0,93844	0,0519
Environmental licensing	17,0366	1,08428	0,0598

Finally, the policies are ranked by their CC_i coefficients, in order of importance:

- (i) Pilot projects with hybrid solutions (0,0605);
- (ii) Simplified environmental licensing for projects based on renewables (0,0598);
- (iii) Determinative planning (0,0543);
- (iv) Single rate for taxes (ICMS) subsidies (0,0519);
- (v) Transfer to generators the risk of diesel price volatility (0,0516); e
- (vi) Fix a cap for subsidies (0,0508)

After the final results, sensitivity analysis was carried out in order to evaluate the contribution of each variable to the result. The first approach was to equalize the weights defined in phase I. It resulted in a single inversion of the last two policies, which weights were similar. The second attempt was to delete the low weighted criteria (less than 2%), resulting in no differences in final rank, despite the changes in CCI coefficients. Thus leads to the conclusion that these criteria have no relevance and could be excluded from the analysis. The final sensitivity case did not use fuzzy numbers in phase II. Like the first approach, there was a slight change in final order (inversion of second and third policies). These three sensitivity analyses show the robustness of the results presented in Table 2.

6. Concluding remarks

As discussed, the majority of isolated systems in Brazil are located inside the Amazon forest and the electricity generation on these places is mostly based on fossil fuel burning, leading to not only greenhouse gas emissions and pollution in a sensitive area, but also to expensive costs. This kind of solution used to be the most economical in the past and is still an easy approach from the technical point of view. But the recent decrease in photovoltaic costs represents a chance for hybrid systems, thus allowing reduction in energy tariffs and emissions, as suggested by several studies. Although, there are still some challenges to incentivize renewable technologies on those isolated grids, especially on legislation, auction rules and financing.

Based on the identified barriers and challenges, six public policies were proposed aiming to stimulate the use of renewable energy generation in isolated systems of Brazil and also to reduce the subsidies necessary to support the generation costs in these communities.

A Multicriteria Decision Making (MCDM) model, based on AHP and TOPSIS methods, combined with fuzzy logic, was developed to evaluate and select the proposed public policies, contributing to the knowledge development regarding public policies in the energy sector, as no similar study was found in literature. In the first phase of the model, 6 (six) dimensions and 18 (eighteen)

criteria were selected and weighted. In phase II, 10 (ten) experts were interviewed to judge the policies by these criteria.

Final results have shown that the most relevant policy is the development of hybrid projects, in order to disseminate the knowledge about unusual technologies in isolated systems and show the potential for reducing fuel consumption, without compromising energy supply reliability. Although these pilot projects could depend on subsidies, they may contribute for the economical sustainability of future solutions.

The second most important alternative was the simplification of environmental licensing process for projects based on renewables, giving a more isonomic treatment of different sources. It worth mentioning the location of isolated systems in Brazil, mainly in Amazon forest, where a properly assessment of environmental impacts is even more relevant.

In third place, the determinative energy planning was pointed out as solution, aiming a minimum renewable penetration in next auctions. Like the first police, it can lead to higher cost in the beginning, but with potential for economic benefits in the future.

Finally, the last three policies, in order, were: fix a single rate for taxes, for subsidies purposes; transfer to generators the risk of diesel price volatility; and fix a cap for subsidies in isolated systems.

During the judgment by experts, some criteria were considered more relevant, deserving more attention for the effectiveness of public policies: robustness, previous experience and reliability of technologies.

As suggestions for future works, the model should be used to evaluate public policies in other sectors or even applied for isolated systems in other countries, verifying if the criteria also represent its characteristics. Also, more experts, from others sectors should be interviewed, and other methodologies, like ELECTRE, PROMETHEE, MACBETH should be assessed. As final suggestion, the public policies should be monitored when applied and, depending on the results, the criteria should be reviewed.

Keywords

Isolated power systems; diesel; renewable energy sources; multicriteria decision making; fuzzy logic; AHP-TOPSIS

Sumário

1. Introdução	28
1.1. Definição do problema de pesquisa	32
1.2. Objetivos: geral e específicos	33
1.3. Metodologia	34
1.3.1. Fase exploratória e descritiva	36
1.3.2. Fase de pesquisa aplicada	36
1.3.3. Fase conclusiva	38
1.4. Organização do trabalho	38
2. Sistemas Isolados: situação, dificuldades, impactos e subsídios	40
2.1. Histórico do suprimento de energia elétrica nos Sistemas Isolados	41
2.2. Leilões para atendimento aos Sistemas Isolados	42
2.3. Impactos socioambientais da geração nos Sistemas Isolados	45
2.3.1. Emissões relacionadas à geração com óleo diesel	45
2.3.2. Relação da população com as usinas	47
2.4. Conta de Consumo de Combustíveis (CCC)	48
2.5. Logística do óleo diesel na região Norte	51
2.5.1. Custos do transporte de combustível	53
2.6. Tributos: como eles beneficiam a geração a diesel	55
2.6.1. Particularidades do ICMS	58
2.7. Soluções alternativas ao óleo diesel	61
2.7.1. Experiências internacionais de geração a partir de fontes renováveis em sistemas isolados.	65
2.8. Considerações finais sobre o capítulo	69
3. Identificação de barreiras às fontes renováveis e propostas para mudança	70
3.1. Barreiras culturais e de conhecimento	70
3.2. Questões regulatórias e contratuais	71
3.3. Custos financeiros e de investimento	78
3.4. Modelos de planejamento: orientativo versus determinativo	79
3.4.1. Leilões adicionais de energia renovável	82
3.5. Tributos e subsídios	84
3.6. Licenciamento ambiental	86

3.7.	Considerações finais sobre o capítulo	88
4.	Métodos Multicritério para avaliação e seleção de políticas públicas	92
4.1.	Métodos multicritério de apoio à decisão sob incerteza	92
4.2.	Métodos multicritério para avaliação e seleção de políticas públicas	95
4.3.	Dimensões e critérios para avaliação de políticas públicas com vistas à inserção de fontes renováveis em Sistemas Isolados	98
4.4.	Considerações finais sobre o capítulo	104
5.	Modelo AHP-<i>fuzzy</i>-TOPSIS para avaliação e seleção de políticas públicas	105
5.1.	Lógica <i>Fuzzy</i>	106
5.1.1.	Teoria de conjuntos <i>fuzzy</i>	106
5.1.2.	Conjunto <i>fuzzy</i> e números <i>fuzzy</i>	106
5.2.	Visão geral do modelo	108
5.3.	Descrição da fase I – AHP	110
5.4.	Descrição da fase II – Fuzzy TOPSIS	115
6.	Aplicação do modelo proposto para seleção de políticas públicas nos Sistemas Isolados brasileiros	119
6.1	Coleta dos dados	119
6.2	Formatação, análise e apresentação dos resultados	121
6.2.1	Fase I – AHP: definição de pesos dos critérios	122
6.2.2	Fase II – Fuzzy TOPSIS: hierarquização das políticas públicas	126
6.2.3	Análises de sensibilidade	132
6.3	Discussão dos resultados	134
7.	Conclusões e recomendações	138
8.	Referências	143
	Apêndice 1 - Cidades crescem em torno das usinas - o caso de Careiro da Várzea - AM	152
	Apêndice 2 - Formulário enviado aos especialistas	156

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Leilões de Sistemas Isolados realizados (2014 a 2017)	43
Tabela 2 - Arrecadação anual de ICMS no Amapá.	56
Tabela 3 - Índice de consistência aleatória (<i>IR</i>)	114
Tabela 4 - Termos linguísticos e respectivos valores numéricos para os critérios qualitativos	115
Tabela 5 - Razão de consistência das matrizes de dimensões e critérios	124
Tabela 6 - Pesos das dimensões e critérios calculados pelo método AHP	125
Tabela 7 - Exemplo de consolidação das respostas dos especialistas	127
Tabela 8 - Matriz de decisão <i>fuzzy</i> das políticas públicas <i>versus</i> critérios	128
Tabela 9 - Matriz de decisão <i>fuzzy</i> normalizada	129
Tabela 10 - Matriz de decisão normalizada e ponderada pelo método AHP	130
Tabela 11 - Matriz de distâncias positivas e negativas	131
Tabela 12 - Matriz de distância total positiva e negativa	132
Tabela 13 - Hierarquização das políticas considerando pesos iguais	133
Tabela 14 - Hierarquização das políticas excluindo critérios de baixo peso	134

Lista de Quadros

Quadro 1 - Sistemas Isolados por estado	29
Quadro 2 - Soluções alternativas para suprimento de energia em Sistemas Isolados	64
Quadro 3 - Quadro-resumo dos métodos multicritério de apoio à decisão	94
Quadro 4 - Referências de avaliação de alternativas de geração com base em métodos multicritério	96
Quadro 5 - Referências de avaliação de políticas públicas com base em métodos multicritério	97
Quadro 6 - Critérios adotados em trabalhos relevantes na literatura	99
Quadro 7 - Revisão da literatura sobre dimensões e critérios	100
Quadro 8 - Dimensões e critérios propostos com base na literatura	103
Quadro 9 - Escala de Saaty	113
Quadro 10 - Termos linguísticos e correspondentes números <i>fuzzy</i> triangulares para avaliação quantitativa dos indicadores	116
Quadro 11 - Estrutura hierárquica do instrumento de pesquisa	121
Quadro 12 - Julgamento relativo de grau de importância entre dimensões	122
Quadro 13 - Julgamento relativo de grau de importância entre critérios	123
Quadro 15 - Critérios excluídos na análise de sensibilidade	133

Lista de Figuras

Figura 1 – Sistema Elétrico Brasileiro	28
Figura 2 - Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos	35
Figura 3 - Mapa conceitual da pesquisa	37
Figura 4 - Evolução dos gastos da CCC	49
Figura 5 - Mapa das principais hidrovias da Bacia Amazônica	52
Figura 6 - Mapa da rede rodoviária da região Norte do Brasil	53
Figura 7 - Sistema fotovoltaico-diesel em Cobija, Bolívia (SMA, 2015)	67
Figura 8 - Variação do LCOE em função do preço do diesel	74
Figura 9 - Preço médio do diesel na região Norte e variação do IPCA	75
Figura 10 - Conjunto <i>fuzzy</i>	107
Figura 11 - Número <i>fuzzy</i> triangular $A=[a_1, a_2, a_3]$	108
Figura 12 - Modelo AHP- <i>fuzzy</i> -TOPSIS para avaliação e seleção de tecnologias de políticas públicas	110
Figura 13 - Exemplo de estrutura hierárquica de problemas de decisão (em três níveis)	112
Figura 14 - Exemplo didático de matriz de julgamentos AHP	113
Figura 15 - Estrutura hierárquica do modelo para avaliação e seleção políticas públicas para inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados	122
Figura 16 - Localização de Careiro da Várzea em relação a Manaus	152
Figura 17 - Imagem área de Careiro da Várzea-AM (usina em destaque)	154
Figura 18 - Casas próximas à usina de Careiro da Várzea - AM	154
Figura 19 - Marcas do alagamento no muro da UTE Careiro da Várzea	155
Figura 20 - Imagem área de Careiro da Várzea-AM durante a cheia	155

Lista de abreviaturas e siglas

SIGLA	NOME COMPLETO
ACR	Ambiente de contratação regulada
ACRmed	Custo médio da energia e potência comercializadas pelos agentes de distribuição no ACR
AHP	Analytic Hierarchy Process
AME	Eletrobras Amazonas Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i> (Investimentos)
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCESI	Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Sistema Isolado
CCSIVAM	Comissão para Coordenação do Projeto do Sistema de Vigilância da Amazônia
CDE	Conta de desenvolvimento energético
CEA	Companhia de Eletricidade do Amapá
CEAM	Companhia Energética do Amazonas
CELPA	Centrais Elétricas do Pará
CELPE	Companhia Energética de Pernambuco
CEMAT	Centrais Elétricas do Mato Grosso
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CERON	Centrais Elétricas de Rondônia
CERR	Companhia Energética de Roraima
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONESP	Comissão de Nacionalização das Empresas Concessionárias de Serviços Públicos
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
CVU	Custo variável unitário
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EDRR	Eletrobras Distribuição Roraima
EETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la REalité
ELETROACRE	Companhia de Eletricidade do Acre

ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil
ENDE	Empresa Nacional de Eletricidade (Bolívia)
ENERAM	Comitê Coordenador dos Estudos da Amazônia
EOL	Usina eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEE	Gases de Efeito Estufa
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GTON	Grupo Técnico Operacional da Região Norte
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços.
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IRENA	Agência Internacional para as Energias Renováveis
LCOE	<i>Levelized Cost of Electricity</i> (Custo Nivelado de Eletricidade)
LT	Linha de Transmissão
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MIGDI	Microssistema isolado de geração e distribuição de energia elétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i> (Rastreador de Máxima Potência)
O&M	Operação e manutenção
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ONS	Operador Nacional do Sistema
OPEX	<i>Operational Expenditure</i> (Custos de Operação)
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PIE	Produtor Independente de Energia Elétrica
Pref	Preço de Referência
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PROMETHEE	Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation
PV	Sistema Fotovoltaico
RAF	Receita Anual Fixa

SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SIGFI	Sistema individual de geração de energia elétrica com fonte intermitente
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINDICOM	Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
UFV	Usina fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
VPL	Valor presente líquido

Políticas públicas são em última instância sobre pessoas, o que elas querem e o que é melhor para elas. Toda questão envolvendo políticas públicas implica pressuposições acerca da natureza humana, em particular sobre as escolhas que as pessoas podem fazer e as consequências de suas escolhas para si mesmas e para a sociedade.

Daniel Kahneman

1. Introdução

No setor de energia elétrica, denominam-se Sistemas Isolados as localidades que não são conectadas à rede nacional de transmissão (Sistema Interligado Nacional – SIN), por razões técnicas ou econômicas (Brasil, 2010), como ausência de escala. Assim, a maioria desses sistemas é suprida eletricamente por geração local, normalmente baseada em geradores a óleo diesel. Os estados que compõem tal sistema são: Acre, Amazonas, Amapá, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e ilha de Fernando de Noronha pertencente ao estado de Pernambuco (CCEE, 2017).

No Brasil, existe atualmente cerca de 250 Sistemas Isolados, concentrados na região Norte, que somam apenas 1% do consumo total de energia elétrica do país, mas representam cerca de 40% do território nacional, como se nota na Figura 1. Pode-se observar ainda a ausência de linhas de transmissão de energia elétrica em grande parte da região Norte, o que é característico dos Sistemas Isolados. Esses sistemas atendem a cerca de 3 milhões de consumidores (EPE, 2018b).



Figura 1 – Sistema Elétrico Brasileiro
Fonte: EPE (2018a)

O Quadro 1 apresenta a distribuição dos Sistemas Isolados do Brasil, por unidade da federação e por distribuidora de energia elétrica, mostrando que a maioria encontra-se em estados com ampla área florestal, como Amazonas e Pará.

Quadro 1 - Sistemas Isolados por estado

UF	Distribuidora	Quantidade de Sistemas em 2017
AC	Eletrobras Distribuição Acre	9
AM	Eletrobras Distribuição Amazonas	94
AP	CEA	2
MT	ENERGISA	2
PA	CELPA	24
PA	Petrobras Alcoa Beneficiamento	1
PA	Petrobras Alcoa Porto	1
PE	CELPE	1
RO	Eletrobras Distribuição Rondônia	26
RR	Eletrobras Distribuição Roraima - Interior	85
	TOTAL	245

Fonte: Adaptado de ONS (2017)

Tais sistemas podem ser desde pequenas comunidades, com algumas dezenas de habitantes, como cidades de porte como Parintins-AM, com mais de 100.000 habitantes (IBGE, 2017).

Uma característica marcante dos Sistemas Isolados é a pequena concentração de carga de seus mercados, devido à grande dimensão territorial abrangida, resultando em mercados dispersos. Como exemplo, pode-se citar o caso do interior amazonense, que tem em média 0,1 consumidor por km², tendo em um extremo o município de Japurá, com 0,001 consumidor/km² e, em outro, o município de Parintins, onde esse número sobe para 2,2 consumidor/km².

A logística adotada para o atendimento deste mercado não tem similar no mundo: uma área de 1,6 milhão de km² de extensão que, em muitos casos, não dispõe de infraestrutura de porto e aeroporto apropriada, assim como serviços de transporte e comunicação satisfatórios (Frota, 2004).

Embora existam alguns poucos exemplos de geração a partir de fontes alternativas em sistemas isolados, como pequenas centrais hidrelétricas (PCH) ou termelétricas a gás natural, historicamente, os motores a diesel têm se mostrado como uma solução de fácil instalação, manutenção e operação. Apesar dos impactos ambientais e da complexa logística de fornecimento de combustível,

geralmente por via fluvial, a geração de energia nesses sistemas tem funcionado razoavelmente bem nas últimas décadas.

No entanto, os custos de operação dessas plantas são bastante elevados, sobretudo em função do preço do diesel nas localidades mais afastadas. Em alguns locais, a depender da estação do ano e da condição de navegabilidade dos rios da Amazônia, esse combustível chega a custar até R\$ 10 por litro, encarecendo a geração de energia elétrica.

De acordo com o Operador Nacional do Sistema – ONS (2017), o consumo total de energia elétrica nos Sistemas Isolados previsto para o ano de 2018 é da ordem de 3.000 MWh, sendo 1% provenientes da queima de biomassa, 2% de usinas a gás natural e 97% de geração térmica a diesel, o que corresponde a um consumo de mais de 800 mil m³ desse combustível. Para fins de comparação, em 2017, 82% da energia consumida no Sistema Interligado Nacional - SIN foi gerada a partir de fontes renováveis, sobretudo em usinas hidrelétricas e eólicas (EPE, 2017c).

Enquanto nos leilões dos SIN, compra-se energia elétrica a valores da ordem de R\$ 200/MWh (ANEEL, 2016), nos Sistemas Isolados esse valor chega a atingir R\$ 1.600/MWh (EPE, 2017b). Boa parte desse custo é compartilhada por todos os consumidores de energia elétrica do país, por meio da Conta de Consumo de Combustíveis (Brasil, 2010), que em 2017 totalizou um gasto superior a R\$ 6,8 bilhões (Eletrobras, 2016b).

Outro problema relacionado à geração termelétrica à diesel diz respeito às emissões de gases poluentes (material particulado) e causadores do efeito estufa, o que se torna ainda mais relevante em razão da localização, desses sistemas isolados, concentrados no meio da floresta amazônica. Alguns esforços têm sido feitos para conectar os sistemas isolados ao SIN, de forma a reduzir a necessidade de geração local e, conseqüentemente, as emissões. No entanto, a extensão de redes elétricas apresenta elevado custo de investimento, e em alguns casos, restrições técnicas e econômicas (Ribeiro, *et al.*, 2012).

A redução de custos das fontes solar fotovoltaica e eólica, associada ao declínio acentuado recente dos custos de armazenamento em baterias, tornam essas opções atrativas para residências e pequenas comunidades desconectadas da rede elétrica (IRENA, 2015). Apesar disso, as soluções a diesel persistem, mesmo

nos recentes leilões para aquisição de potência e energia elétrica em sistemas isolados.

Se, por uma lado, diversas publicações (Hafez e Bhattacharya, 2012; EPE, 2014; EPE, 2016b; EPE, 2018c; RIM & CWB, 2015; Frankfurt School, 2015; IRENA, 2015; e IRENA, 2017) apontam a viabilidade de soluções renováveis em sistemas isolados, no Brasil e em outros países, por outro lado, há de se considerar diversas outras variáveis que afetam a escolha das fontes energéticas nessas localidades, tais como questões ambientais, sociais e políticas, o que é pouco abordado nos trabalhos supracitados, que focam em avaliações técnico-econômicas de determinadas fontes ou tecnologias.

Dentre os trabalhos dessa ordem, de seleção de tecnologias de geração, é comum encontrar o uso de ferramentas multicritério de apoio à decisão, conforme Afgan e Carvalho (2002), Cavallaro e Ciraolo (2005), Papadopoulos e Karagiannidis (2008), Tsoutsos, *et al.* (2009), Wang, *et al.* (2009), Haurant, Oberti e Muselli (2011), Perera, *et al.* (2013), Mourmouris e Potolias (2013), Wimpler, *et al.* (2015), Lombardi, *et al.* (2016) e Martins (2017).

Já no que diz respeito às políticas públicas no setor de energia, embora abordadas em parte dos trabalhos, foram identificados apenas dois estudos que fizeram o uso de ferramentas de multicritério para a definição destas, sendo que um trata de políticas para eficiência energética em construções (Melo, Jannuzzi e Tripodi, 2013) e o outro aborda a segurança na exportação de energia (Alipour, *et al.*, 2018), portanto, com pouca correlação com a presente dissertação.

Se no setor de energia faz-se pouco uso de ferramentas multicritério para a definição de políticas públicas, o mesmo não ocorre em outros setores, como agricultura (Riesgo e Gómez-Limón, 2006), ambiental (Nagel e Nagel, 1989), industrial (Rivera-Lirio e Muñoz-Torres, 2010), saúde (Defechereux, *et al.*, 2012), social (Malta *et al.*, 2017), têxtil (Castro, 2013) e turismo (Liu *et al.*, 2012). Portanto, no que diz respeito aos métodos multicritérios, há diversos trabalhos para escolhas de tecnologias de geração de energia, mas poucos para proposição de políticas no setor de energia, sobretudo visando à inserção de fontes renováveis e, ainda menos para sistemas isolados. Fica evidenciada, assim, a lacuna a ser preenchida por esta dissertação, que é unir o uso de ferramentas multicritério para apoio à decisão sobre políticas públicas com vistas à inserção de fontes renováveis em sistemas isolados, sendo esta a principal contribuição deste trabalho, que vai

além da definição das políticas em sistemas isolados, mas que mostra a contribuição dos métodos multicritério para escolha de políticas energéticas de qualquer natureza.

Nesse contexto, a presente dissertação busca identificar as barreiras para a inserção de fontes renováveis nos Sistemas Isolados brasileiros e apontar propostas de políticas públicas que possibilitem reduzir tais barreiras.

Para subsidiar a seleção e hierarquização dessas propostas, indo além das habituais avaliações técnico-econômicas, faz-se uso de métodos multicritério de apoio à decisão, por serem ferramentas reconhecidas como ideais para a modelagem de problemas em que subjetividade, incerteza e ambiguidades estejam presentes (Martins, 2017), em particular dos métodos *Analytical Hierarchy Process* – AHP e *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* - TOPSIS.

Destaca-se que nos trabalhos tomados como referência, que versam sobre definição de políticas públicas em diversos setores, diferentes métodos multicritérios de apoio à decisão foram utilizados, com predominância do AHP. Porém, nenhum destes estudos baseou-se na lógica dos conjuntos *fuzzy*, que possibilita o tratamento das incertezas presentes nos processos decisórios. Na presente dissertação faz-se uso do método proposto por Martins (2017), que combinou a lógica *fuzzy* com o método multicritério TOPSIS (*fuzzy*-TOPSIS), considerando, assim, as incertezas envolvidas na escolha das alternativas.

1.1. Definição do problema de pesquisa

Convém destacar a distinção entre Sistemas Isolados e Regiões Remotas. Os primeiros, por definição, referem-se aos sistemas elétricos de serviço público de distribuição de energia elétrica que, em sua configuração normal, não estejam eletricamente conectados ao Sistema Interligado Nacional - SIN, por razões técnicas ou econômicas. As regiões remotas, por sua vez, tratam-se de pequenos grupamentos de consumidores situados em Sistema Isolado, afastados das sedes municipais, e caracterizados pela ausência de economia de escala ou de densidade (Brasil, 2010). Muitas vezes, as regiões remotas sequer contam com suprimento de energia elétrica ou são atendidas com limitações, em termos de disponibilidade

energética mensal, a exemplo dos projetos do Programa Luz Para Todos. Uma vez que a maior parte desses projetos já considera o uso de fontes renováveis, por meio de SIGFI (Sistema individual de geração de energia elétrica com fonte intermitente) ou MIGDI (Microssistema isolado de geração e distribuição de energia elétrica) (ANEEL, 2012b), o foco desta dissertação recai sobre os Sistemas Isolados, ou seja, localidades de maior porte que já contam com fornecimento de energia elétrica, normalmente produzida por moto geradores a diesel.

Delimitados os sistemas contemplados na pesquisa e, considerando o desafio de ofertar energia de modo mais sustentável nessas localidades, definiu-se a seguinte questão principal a ser respondida ao longo da pesquisa:

“Quais razões impedem ou limitam a inserção de fontes renováveis nos Sistemas Isolados Brasileiros e como hierarquizar políticas públicas que induzam a uma matriz elétrica mais sustentável nessas localidades?”

1.2.

Objetivos: geral e específicos

O principal objetivo desta dissertação é hierarquizar políticas públicas, visando à inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados do Brasil, por meio de uma ferramenta de análise multicritério.

Em termos específicos, a dissertação busca:

- Caracterizar historicamente o suprimento aos sistemas isolados, identificando os motivos que levaram à predominância da geração a diesel;
- Identificar as dificuldades, impactos e subsídios relacionados a essa tecnologia;
- Definir políticas públicas para o desenvolvimento, nos Sistemas Isolados, de soluções alternativas baseadas em fontes renováveis;
- Definir as dimensões e os critérios para avaliar e selecionar essas políticas públicas, por meio de pesquisa na literatura;
- Propor um modelo para seleção e hierarquização de políticas públicas com o auxílio de ferramentas multicritério de apoio à decisão sob incerteza;

- Demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto no planejamento políticas para o atendimento elétrico aos sistemas isolados, analisar os resultados e sugerir recomendações;
- Propor alterações regulatórias e de metodologia de planejamento visando isonomia entre fontes e a redução de impactos sociais e ambientais na geração de energia elétrica nos sistemas isolados.

1.3. Metodologia

De acordo com Vergara (2002), a pesquisa pode ser considerada aplicada, descritiva e metodológica (quanto aos fins). Quanto aos meios de investigação, a metodologia compreende:

- Pesquisa bibliográfica e documental sobre os temas centrais da pesquisa, como indicado na fase exploratória e descritiva da Figura 2;
- Análise do contexto atual de geração nos Sistemas Isolados, com a definição de políticas públicas;
- Desenvolvimento do modelo conceitual para avaliação e seleção de políticas públicas;
- Aplicação de métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão para hierarquização de alternativas políticas para promoção de fontes renováveis nos Sistemas Isolados.

A Figura 2 apresenta o desenho da pesquisa, destacando-se seus componentes e métodos, de acordo com três fases principais: (i) exploratória e descritiva; (ii) pesquisa aplicada; e (iii) conclusiva.

Detalham-se, a seguir, o desenvolvimento de cada fase e os resultados esperados em cada bloco da Figura 2. Destaca-se que o desenho da pesquisa foi desenvolvido em total alinhamento com os objetivos enunciados na seção 1.2 deste capítulo.

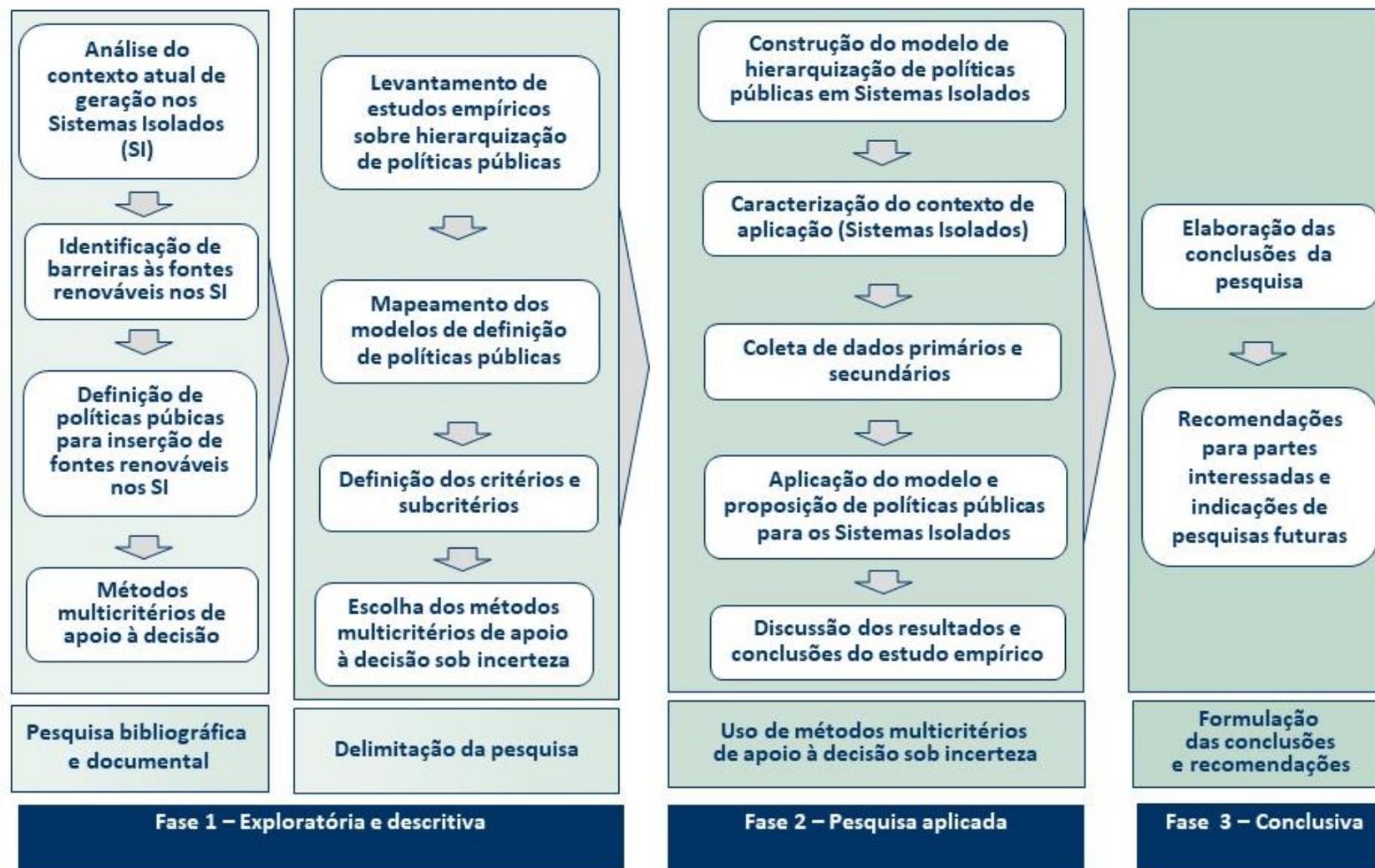


Figura 2 - Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos

1.3.1.

Fase exploratória e descritiva

A fase exploratória e descritiva foi iniciada com pesquisa bibliográfica e documental, com o objetivo de levantar trabalhos conceituais e documentos de referência para delimitação do tema central da pesquisa – avaliação de políticas públicas para inserção de fontes renováveis nos Sistemas Isolados.

Em seguida, aprofundou-se a revisão bibliográfica, buscando identificar estudos empíricos sobre esse tema, focalizando-se os métodos de apoio à decisão que estavam sendo adotados com propósito e os objetos similares.

Foi constatado que os métodos multicritério de apoio à decisão, combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*, eram frequentemente adotados para seleção de tecnologias para geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, mas pouco utilizados para a avaliação de políticas públicas no setor elétrico. Por outro lado, verificou-se o uso dessa ferramenta para avaliação de políticas em outros setores (agricultura, social, turismo, etc.). Identificou-se, assim, uma lacuna na literatura sobre a avaliação de políticas públicas para o setor de energia, com base em análise multicritérios, o que foi explorado na etapa de pesquisa aplicada.

Apresenta-se na Figura 3 uma visão geral e esquemática dos resultados desta primeira fase.

1.3.2.

Fase de pesquisa aplicada

A partir dos resultados da revisão bibliográfica e documental que nortearam a definição dos objetivos da pesquisa e a construção do modelo de avaliação de políticas públicas, com foco na promoção de fontes renováveis em Sistemas Isolados, desenvolveu-se a fase da pesquisa aplicada propriamente dita, conforme mostrado na Figura 2 (Fase 2 – Pesquisa Aplicada).

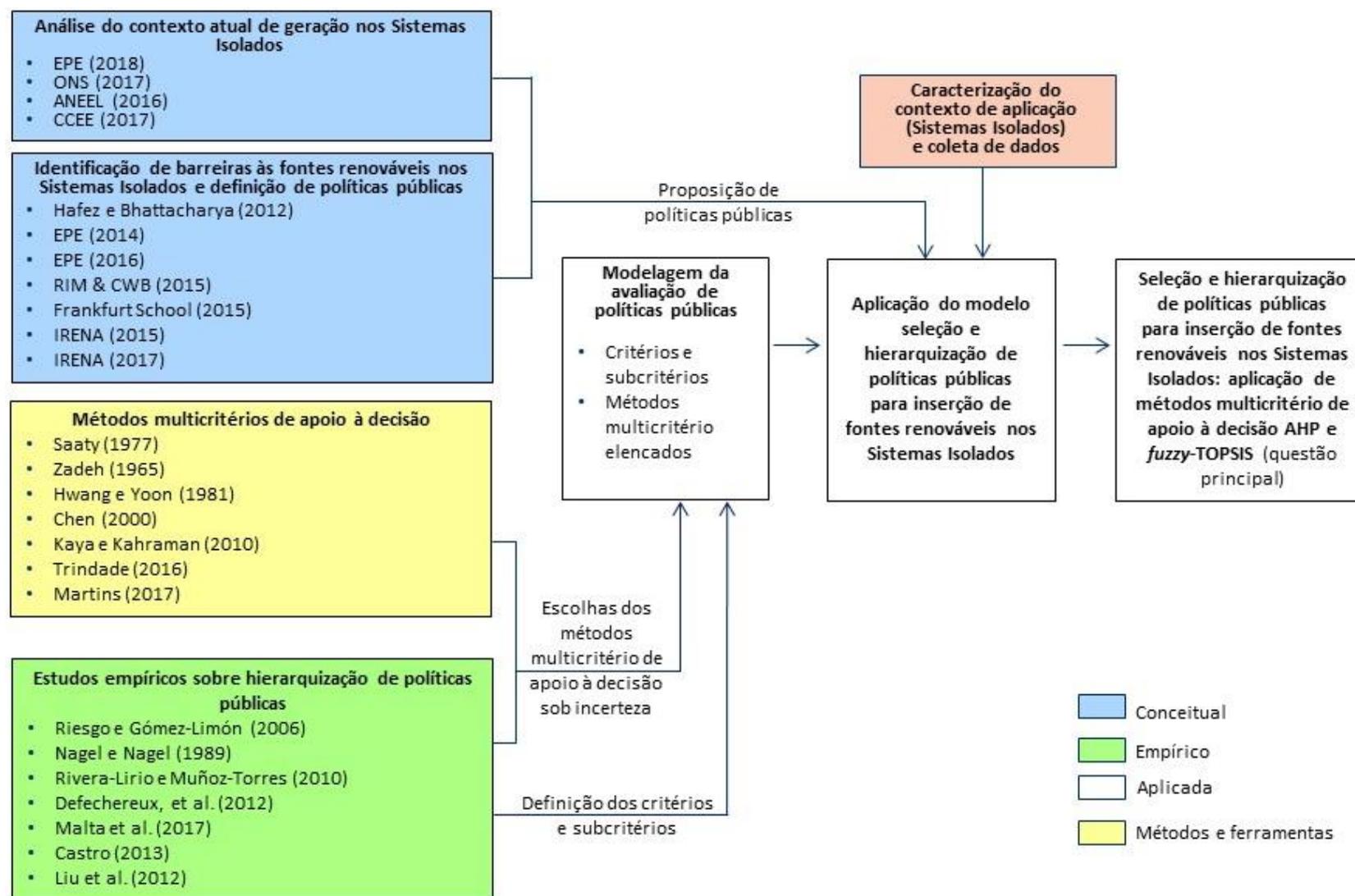


Figura 3 - Mapa conceitual da pesquisa

1.3.3. Fase conclusiva

Na terceira fase, elaboraram-se a conclusão geral e as específicas em relação a cada um dos objetivos enunciados na seção 1.2, formularam-se um conjunto de recomendações aos diversos atores interessados na aplicação do modelo de avaliação e seleção de políticas públicas para a inserção de fontes renováveis nos Sistemas Isolados brasileiros.

1.4. Organização do trabalho

O trabalho está estruturado em sete capítulos (incluindo esta introdução e a conclusão). Ao final de cada um deles são apresentadas considerações finais.

O capítulo 2 apresenta uma análise histórica do planejamento energético dos sistemas isolados, servindo como pano de fundo à conjuntura atual do fornecimento de energia elétrica nessas localidades, abordando os impactos socioambientais da geração à diesel, as dificuldades logísticas associadas a esse combustível, bem como os custos impostos e subsídios associados à geração. Por fim, são apresentadas soluções tecnológicas alternativas, com base experiências em sistemas isolados no Brasil e em outros países. Nesse capítulo são apresentados exemplos de usinas fotovoltaicas, hidrelétricas e a biomassa na região Norte, substituindo ou deslocando o consumo de óleo diesel, além das soluções híbridas, que se mostram uma alternativa transitória ao conciliar, por exemplo, geração fotovoltaica e armazenamento em baterias com motores a diesel.

A partir do contexto apresentado no capítulo 2, o capítulo 3 evidencia as barreiras às soluções alternativas e renováveis nos sistemas isolados brasileiros, passando por questões culturais e de disseminação do conhecimento acerca de novas tecnologias; condições regulatórias e contratuais, que foram desenhadas para o tipo predominante de geração; custos de investimento e financeiros associados às fontes renováveis; e modelos de planejamento do suprimento de energia elétrica. Também se discute em maior profundidade como os subsídios, os tributos e o licenciamento ambiental favorecem a geração a partir do óleo diesel. Com base nas barreiras apontadas são propostas seis políticas públicas que

poderiam contribuir para um tratamento mais isonômico entre as diferentes fontes e para o desenvolvimento de soluções de suprimento baseadas em fontes renováveis, visando à redução de custos e minimização de impactos socioambientais.

O capítulo 4 apresenta o referencial teórico que fundamentou a proposição de um modelo de avaliação e seleção de políticas públicas. Apresentam-se, de maneira ampla, os diferentes métodos multicritério de apoio à decisão sob incerteza, e mais especificamente, os métodos encontrados na literatura para avaliação e seleção de políticas públicas em diferentes setores. A partir destes, são apresentadas as dimensões e os critérios propostos para a avaliação de políticas públicas com vistas à inserção de fontes renováveis em sistemas isolados.

No capítulo 5, é apresentado o modelo desenvolvido para avaliação e seleção de políticas públicas, que foi baseado nos métodos multicritérios de apoio à decisão AHP e *fuzzy*-TOPSIS.

O capítulo 6 aborda a aplicação do modelo proposto para seleção de políticas públicas nos sistemas isolados brasileiros, demonstrando sua aplicabilidade para esse caso. A partir dos critérios definidos anteriormente, foram coletados, com especialistas do setor, os dados utilizados no modelo, também discutidos nesse capítulo. Na seção seguinte, apresentam-se os principais resultados da simulação, destacando-se os pesos atribuídos às dimensões e aos critérios, a matriz de decisão e o resultado da hierarquização das políticas propostas.

Por fim, esta dissertação encerra-se com o capítulo conclusivo que traz uma síntese dos assuntos tratados no decorrer dos capítulos anteriores, apresentando recomendações estratégicas ao desenvolvimento de fontes renováveis nos sistemas isolados brasileiros, demonstrando que a questão de pesquisa foi devidamente respondida.

2. Sistemas Isolados: situação, dificuldades, impactos e subsídios

O suprimento de eletricidade para os sistemas isolados na região Norte do Brasil constitui um problema de difícil solução. Os sistemas de pequena escala apresentam custos elevados e inúmeras dificuldades logísticas para o suprimento do óleo diesel (Nascimento, *et al.*, 1999).

Os sistemas de geração de energia elétrica contendo grupos geradores a diesel têm sido empregados no atendimento a sistemas isolados e regiões remotas ao redor do mundo durante muitas décadas. Na região amazônica este tipo de gerador é bastante difundido, havendo diversos sistemas deste tipo para o atendimento de pequenas demandas (algumas dezenas de quilowatts) a grandes demandas (na ordem de alguns megawatts).

Grupos geradores térmicos a diesel podem ser instalados rapidamente e têm um custo de instalação pequeno, quando comparado a outras tecnologias, além de ter rápida instalação. Esses sistemas requerem uma pequena quantidade de operadores, podendo até ser integralmente automatizadas, sendo controladas remotamente. Possuem flexibilidade para acompanhar as variações das cargas, pois podem operar por longos períodos de tempo continuamente. A manutenção desses sistemas é dominada na região Norte do país e existem fabricantes no Brasil. Isso tem por consequência disponibilidade de peças de reposição e pessoal qualificado para executar os serviços. A principal desvantagem da geração com combustível fóssil reside no custo da geração, que pode atingir 1.300 R\$/MWh (Barreto, 2008).

Tais máquinas desempenham um bom papel ao acompanhar a demanda instantaneamente, porém costumam apresentar limitações quanto ao carregamento mínimo dos geradores, o que pode acarretar em situações de perda de eficiência ou desperdício de energia.

Como o combustível não é produzido na mesma localidade em que é utilizado, os sistemas geradores baseados apenas em grupos geradores a diesel

apresentam, entre outras, uma particularidade importante: a logística de abastecimento e armazenamento do combustível. Especialmente na região amazônica, o transporte do combustível necessita utilizar, por vezes, dois modais diferentes (fluvial e rodoviário), estando sujeito às condições climáticas sazonais de cheias e secas dos rios. Por esta razão, em algumas localidades, há a necessidade de se armazenar combustível por longos períodos, podendo chegar até seis meses (EPE, 2016a).

2.1. Histórico do suprimento de energia elétrica nos Sistemas Isolados

Historicamente, o atendimento aos Sistemas Isolados brasileiros foi objeto de diversas políticas públicas, que refletiam as transformações econômicas e institucionais de cada época. Apresenta-se a seguir, de forma resumida, os ciclos observados e as transformações socioeconômicas que produziram impactos diretos na expansão do setor elétrico na região norte.

Segundo Souza (2000) e Cavaliero (2003), com o primeiro ciclo da borracha, iniciado em meados do século XIX, várias vilas e cidades foram criadas no interior do Pará e Amazonas. O fornecimento de energia nessas pequenas aglomerações era garantido inicialmente por pequenas máquinas a vapor, utilizando lenha com combustível, que foram sendo sucessivamente substituídas por motores a óleo diesel.

Domingues (2003) registrou o histórico de criação e modificação de diversas empresas estatais de geração e distribuição na região Norte ao longo do século XX. Destaca-se a inauguração da Refinaria Isaac Sabbá em Manaus em 1957, que reforçou o fornecimento de óleo diesel na região e a criação da Eletronorte, que interligou diversos sistemas e construiu usinas hidrelétricas: Tucuruí (PA), Coaracy Nunes (AP), Balbina (AM) e Samuel (RO). Na mesma década, também foi criada a Zona Franca de Manaus e iniciada a construção da rodovia Transamazônica (BR-230), que contribuíram para o desenvolvimento da região Norte, incrementando o consumo de energia elétrica.

Em 1973 foi criada Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), para subsidiar a geração térmica a partir de combustíveis fósseis, um importante mecanismo ainda hoje, que é discutido em maior profundidade na seção 2.4.

Na década de 1990 o setor elétrico passou por diversas mudanças legais que, apesar de provocarem alterações estruturais, não tiveram impacto significativo na geração de energia nos sistemas isolados, que continuaram sendo atendidos por geração a diesel, operada por empresas estatais. Datam dessa década os estudos para aproveitamento de gás natural da bacia do Solimões; a interligação elétrica da hidrelétrica de Guri na Venezuela até Manaus¹; interligação da UHE Tucuruí até Macapá, passando por Manaus; além de alternativas convencionais de geração local.

Mesmo quando da regulamentação do setor elétrico realizada em 2004, os Sistemas Isolados não receberam tratamento específico, coexistindo relações institucionais modernas e obsoletas, que seguiam diferentes leis.

2.2. Leilões para atendimento aos Sistemas Isolados

Com a promulgação da Lei nº 12.111, de 09/12/2009, e posteriormente, com o Decreto nº 7.246, de 28/07/2010, pode-se dizer finamente que foram estabelecidos um conjunto de medidas consolidadas de política setorial para os Sistemas Isolados, por meio de uma regulamentação específica, observando suas particularidades. Essas normas estabeleceram que as distribuidoras deveriam atender a totalidade de seus mercados por meio de leilões, a serem realizados direta ou indiretamente pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, segundo diretrizes do Ministério de Minas e Energia – MME. Esse arcabouço legal e normativo passou por revisões nos últimos anos e ainda vigora, regendo a forma de suprimento de energia elétrica nos Sistemas Isolados.

Tais licitações poderiam ter por objeto a aquisição (ou aluguel) de unidades geradoras, para operação pela própria distribuidora, ou a contratação de Produtores Independentes de Energia Elétrica (PIEs). No caso de PIE, este fica responsável pelo atendimento integral da demanda elétrica, devendo garantir requisitos tanto de potência quanto de energia, o que pode vir a favorecer projetos híbridos, como discutido no capítulo 3. O regramento dessas normas ficou ainda mais detalhado com a Portaria nº 600/2010, do MME.

¹ Essa interligação foi feita somente até Boa Vista – RR, que passou a ser atendida quase que integralmente pela Venezuela.

Segundo esses atos normativos, as distribuidoras deveriam elaborar Projetos de Referência, descrevendo uma solução de suprimento de energia elétrica para atendimento aos consumidores de cada Sistema Isolado. Esses projetos eram então analisados e habilitados tecnicamente pela EPE, para em seguida comporem a instrução do processo licitatório, na modalidade leilão.

O Decreto nº 7.246/2010 também estabeleceu que o suprimento em áreas isoladas deveria buscar a eficiência econômica e energética, a mitigação de impactos ao meio ambiente e a utilização de recursos energéticos locais, visando atingir a sustentabilidade econômica da geração de energia elétrica.

Apesar disso, quase todos os projetos ainda eram baseados em usinas termelétricas a diesel. De forma a contornar essa questão, o mesmo Decreto previa a submissão, por outras empresas interessadas, de Projetos Alternativos. Assim, ainda que o projeto original, elaborado pela distribuidora, considerasse uma usina a diesel, os participantes dos leilões podiam apresentar propostas baseadas em outras tecnologias ou combustíveis, desde que os valores de potência e energia requeridos fossem atendidos, visando à segurança energética.

Desde a publicação desse conjunto de regras, em 2010, alguns leilões foram realizados, com a participação crescente de Projetos Alternativos. Mas em um universo de 130 sistemas isolados contemplados nessas licitações (até o fim de 2017), apenas dois tiveram como resultado a contratação de soluções alternativas, como mostra a Tabela 1. Um desses projetos vencedores se baseava na queima de gás natural, no município de Coari - AM, enquanto o segundo previa uma Pequena Central Hidrelétrica – PCH, em Oiapoque – AP, associada a uma usina termelétrica a diesel.

Tabela 1 - Leilões de Sistemas Isolados realizados (2014 a 2017)

Ano	Estado	Sistemas Isolados	Projetos Alternativos submetidos	Projeto Alternativo Vencedor
2014	Rondônia	16	0	-
	Amapá	1	1	1
2015	Acre	9	1	-
	Rondônia	10	1	-
2016	Pará	23	1	-
	Amazonas	32	3	-
2017	Amazonas	55	36	1

Outra conclusão que se observa do Quadro acima é que, embora a regulamentação dos Projetos de Referência e Alternativos tenha se dado em 2010, somente em 2014 foi realizado o primeiro leilão de sistemas isolados seguindo a Lei nº 12.111/2009. Tal fato pode ser explicado, ao menos em parte, pelas dificuldades enfrentadas pelas distribuidoras para se adequarem às novas regras e elaborarem seus Projetos de Referência. Somente a partir da aprovação desses projetos pela EPE, foi possível que a ANEEL iniciasse os processos de leilão para contratação de energia. A falta de aderência dos primeiros projetos aos normativos legais e infralegais, além da baixa qualidade técnica de suas especificações, levaram a uma excessiva demora para a habilitação dos mesmos.

De toda forma, apesar dessa dificuldade inicial, pode-se dizer que aproximadamente metade dos sistemas isolados já teve seu atendimento contratado pela modalidade leilão.

Em 2018, com a edição da Portaria MME nº 67, houve mais uma modificação infralegal, eliminando a figura dos Projetos de Referência. Pela nova regra, para participar da disputa, cada agente interessado deve apresentar seu próprio projeto, independente da fonte ou tecnologia. Essa mudança visou dar mais agilidade às contratações, que não dependeriam tanto das distribuidoras como anteriormente.

Adicionalmente, como as distribuidoras quase sempre elaboram suas propostas considerando a solução convencional a diesel, pelas razões já expostas, os proponentes para essa solução tinham a facilidade de não precisar elaborar projetos e nem submetê-los à habilitação técnica da EPE, ao contrário dos Projetos Alternativos. Desde de 2018, portanto, todas as soluções devem ser habilitadas tecnicamente para participar de um leilão, tornando mais isonômicas as condições para competição. Por essa razão, é de se esperar que o volume de projetos candidatos aumente, já que todas as propostas deverão ser analisadas antes do leilão.

Mesmo que o resultado dessas medidas ainda não possa ser devidamente avaliado, uma vez que até o momento não foram realizados novos leilões para sistemas isolados, sabe-se que ainda há diversas dificuldades para a maior participação das renováveis nesses leilões, tema que será tratado ao longo desta dissertação.

2.3. Impactos socioambientais da geração nos Sistemas Isolados

A produção de energia elétrica nos Sistemas Isolados representa uma atividade econômica de grande relevância para essas localidades, razão pela qual muitas vezes as cidades cresceram em torno das usinas, tornando-se fonte de impactos socioambientais como, por exemplo, ruído e emissões de gases de efeito estufa, posto que mais de 95% das plantas se baseiam na queima de combustíveis fósseis.

Segundo Barreto (2008), um motor a óleo diesel lança 220 kgC/MWh (220 quilogramas de carbono por hora de operação para cada MW gerado) na atmosfera e o seu lubrificante, como possui altos teores de metais, é um contaminante cujo manuseio é regulado pelo CONAMA. Finalmente, o suprimento de diesel é transportado na região amazônica por rios e estradas, e acidentes nos transportes acontecem, provocando vazamento de combustível que contamina rios e florestas.

2.3.1. Emissões relacionadas à geração com óleo diesel

A queima do óleo diesel, como qualquer combustível fóssil, implica em emissões de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de enxofre (SO₂ ou SO₃), além de outros gases causadores de efeito estufa, como CH₄ e NO_x.

O teor de enxofre é adotado e reconhecido mundialmente como indicador do tipo de óleo diesel e da boa qualidade do produto (quanto menor o teor de enxofre, melhor). A presença de enxofre no combustível reduz a vida útil do motor e aumenta as emissões de óxidos de enxofre. Estes gases podem promover a formação das “chuvas ácidas”, quando combinados com a água da atmosfera. Além disso, o enxofre pode contribuir para elevar as emissões de material particulado, devido à presença de sulfatos (ANP, 2018a).

A Resolução ANP nº 65, de 09/12/2011 determina que os óleos diesel para uso rodoviário (veículos automotivos, máquinas agrícolas, de construção e industriais) podem ser do tipo S10 ou S500, quando utilizado para geração de energia elétrica, o diesel pode ser do tipo S1800, ou seja, com teor de enxofre máximo de 1.800 mg/kg. Portanto, o combustível utilizado na geração de energia

elétrica nos Sistemas Isolados tem um potencial poluidor maior do que seu similar utilizado em veículos automotores.

Por outro lado, há a possibilidade de adição de biodiesel ao diesel fóssil. Essa mistura teve início no Brasil em 2004, em caráter experimental e, entre 2005 e 2007, no teor de 2%, a comercialização passou a ser voluntária. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional. Com o amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi sucessivamente ampliado pelo CNPE até o atual percentual de 10% (ANP, 2018d) e (MME, 2018a).

A Lei nº 13.033/2014 estabelece percentuais obrigatórios, mas quando destinado à geração de energia elétrica (e outros fins), é facultada a adição voluntária de biodiesel ao óleo diesel em quantidade superior ao percentual obrigatório e o uso voluntário da mistura. Assim, apesar do maior teor de enxofre, o diesel utilizado nas usinas dos Sistemas Isolados pode ter um maior teor de biodiesel, o que o torna mais renovável e sustentável do que o combustível de origem puramente fóssil.

No que diz respeito às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), segundo o IPCC (2011), a geração de energia elétrica a partir de óleo (diesel ou combustível) representa a segunda tecnologia em termos de maiores emissões de gases de efeito estufa, perdendo apenas para o carvão.

De acordo com a EPE (2018b), a elevada participação do diesel faz com que a geração nos Sistemas Isolados seja altamente intensiva em emissões. A título de comparação, as emissões do SIN no ano de 2017 foram de 44,5 MtCO₂eq (milhões de toneladas de CO₂ equivalente). Para os Sistemas Isolados, em 2019, são estimados cerca de 2,94 MtCO₂eq. Com isso, a intensidade de emissões, medida em tCO₂eq/MWh, dos Sistemas Isolados é 7,4 vezes superior à do SIN. Por outro lado, em termos absolutos, as emissões nos sistemas isolados representam somente 0,5% daquela decorrente da queima de combustíveis, contemplando os diversos setores econômicos (não apenas geração de energia elétrica) no país.

2.3.2. Relação da população com as usinas

Como descrito, a carga total dos 250 Sistemas Isolados representam apenas 1% do consumo total de energia elétrica do país, ainda que estejam espalhados por uma área que compreende cerca de 40% do território nacional. A baixa densidade populacional dessas localidades, cerca de 3 milhões de consumidores apenas, explica em boa parte tais números.

Considerando o tamanho dessas localidades, geralmente pequenas vilas e cidades, e a ordem de grandeza dos custos de geração de energia elétrica nas mesmas, essa atividade gera elevada movimentação da economia local, sendo por vezes a principal fonte de emprego e renda nessas cidades.

Dada sua facilidade de construção, operação e manutenção, os geradores a óleo diesel se mostraram uma solução adequada para suprimento de energia aos Sistemas Isolados nas últimas décadas, apesar das emissões causadas por essa tecnologia e da complexa logística de suprimento de combustível, como será abordado na seção 2.5.

Notadamente, o acesso à energia elétrica atua como um vetor de desenvolvimento de uma sociedade. O macrovetor técnico determinante da produtividade média do trabalho humano é a disponibilidade de energia por habitante. A disponibilidade de energia tem o poder de veto ao crescimento de investimentos produtivos e à ampliação dos suportes materiais do bem-estar. (Lessa, 2005)

Nas pequenas comunidades do interior da região norte, a geração de energia elétrica é determinante para a economia local, sendo fonte de renda e emprego para boa parte da população. Por essa razão, nas últimas décadas muitas vilas cresceram ao redor das usinas termelétricas, o que trouxe problemas frequentes relacionados à poluição sonora e ambiental. Para ilustrar essa problemática, o Apêndice 1 apresenta um estudo de caso, com base em uma visita técnica à cidade de Careiro da Várzea (AM), onde há diversas residências próximas à termelétrica, sujeitando a população ao ruído e poluição da usina. Também relata-se o impacto dos frequentes alagamentos, comum em cidades ribeirinhas, que comprometem a geração de energia elétrica.

No município de Parintins, um dos maiores sistemas isolados do estado do Amazonas, atendido por uma usina termelétrica a diesel com potência instalada de 27,3 MW, foi conduzida uma série de entrevistas com a população local a respeito do serviço de energia elétrica. A pesquisa apontou que apenas 6% das pessoas consideravam o diesel como uma fonte limpa, enquanto para a energia solar esse número chegou a 56%. Constatou-se uma percepção generalizada de que a atual geração de eletricidade era cara, poluente e dependia de máquinas sucateadas. Muitas pessoas também reclamaram dos furtos e vazamentos de combustível, sugerindo o uso de fontes renováveis para minimizar esses problemas (IE-PUC, 2011).

Wüstenhagen et al. (2007) analisou a aceitação social da inovação das fontes renováveis, apontando aspectos ligados à confiança pública nos agentes envolvidos como um importante fator para a aceitação de um determinado projeto. O estudo menciona o efeito conhecido como “not in my backyard” (NIMBY), que acontece quando as pessoas demonstram aceitação pelas renováveis, desde que não estejam próximas delas. Tomando o caso de Parintins como exemplo, entretanto, seria razoável admitir que a população seria simpática à implementação de usinas de geração renovável, uma vez que a opinião geral sobre a geração atual se mostra negativa.

2.4. Conta de Consumo de Combustíveis (CCC)

Dado o elevado custo da geração nos Sistemas Isolado e o baixo poder aquisitivo da população, o fornecimento de energia elétrica nessas localidades depende de subsídios diretos, custeados pelos demais consumidores do restante do país. Assim, foi criada a Conta de Consumo de Combustíveis – CCC, que é um encargo do setor elétrico brasileiro, pago por todas as concessionárias de distribuição e de transmissão de energia elétrica, para subsidiar os custos de geração nos Sistemas Isolados.

A CCC foi criada inicialmente com o objetivo de ratear os custos com combustíveis utilizados no SIN, mas desde 1992 é utilizada para abarcar os custos de combustíveis dos Sistemas Isolados. Esse subsídio visa garantir o acesso à energia elétrica a preços acessíveis para a população dessas áreas. Esse fundo é

custeado por todos os demais consumidores de energia elétrica do país, por meio de encargos incidentes nas contas de eletricidade. Destaca-se que desde 2012 a CCC foi incorporada à Conta de Desenvolvimento Energético – CDE.

De maneira geral, para a geração de energia elétrica, as distribuidoras com sistemas isolados pagam apenas o custo médio do mercado regulado (ACRmed). A diferença entre o custo total e o ACRmed é subsidiado pela CCC. Em 2018, por exemplo, o valor do ACRmed foi de R\$ 213,00/MWh (ANEEL, 2017a), enquanto o preço da energia nos sistemas isolados chegou a R\$ 2.000/MWh (ANEEL, 2016c).

Para acessar a CCC, as usinas operadas pelas distribuidoras devem cumprir os limites de consumo específico de combustível definidos pela ANEEL. Além desses limites, não há outros mecanismos de incentivo à redução de consumo ou mesmo para o uso de fontes alternativas. De acordo com a Eletrobras (2016b), em 2017, cerca de 507 mil m³ de diesel foram consumidos na geração de energia elétrica nas usinas dos sistemas isolados, o que resultou em mais de R\$ 6,8 bilhões gastos pela CCC. Destaca-se que cerca de 18% desse montante foi gasto com impostos, representando outro ponto importante a ser analisado, o que é discutido na seção 2.6.

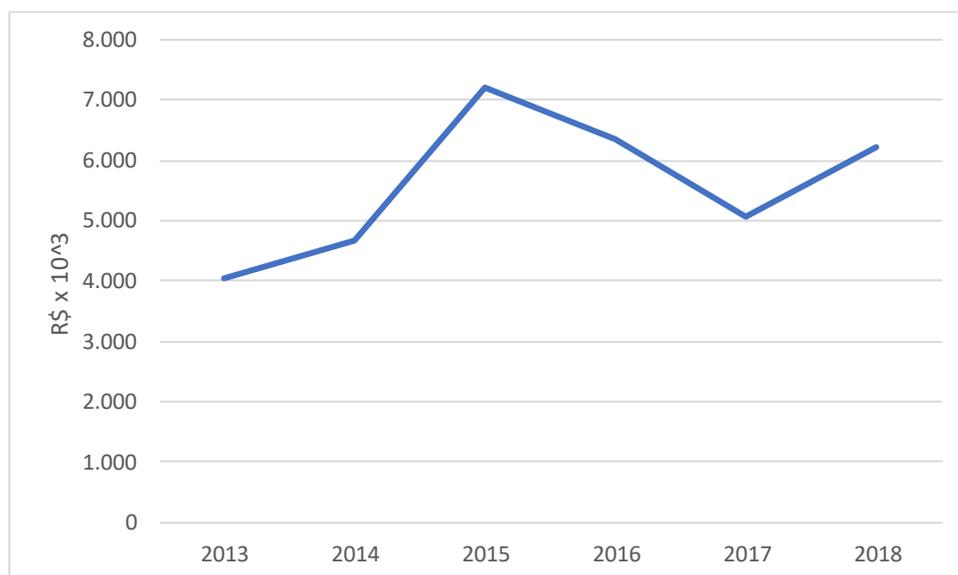


Figura 4 - Evolução dos gastos da CCC
Fonte: Elaboração própria a partir de CCEE (2017)

As reduções de gastos em 2016 e 2017 se deram em função da interligação de algumas localidades isoladas ao SIN, dispensando a geração termelétrica local.

No entanto, o crescimento da demanda nas localidades ainda isoladas fez com que o desembolso total da CCC voltasse a crescer em 2018.

Este panorama, reforçado pela apuração de altos índices de perdas elétricas (técnicas e comerciais) nos sistemas isolados e pelo acirramento do debate em torno do aquecimento global, tem motivado a busca por fontes alternativas de energia que permitam, por um lado, reduzir a dependência regional por combustíveis fósseis e, por outro, diminuir o subsídio da CCC, considerado o maior encargo incidente na tarifa de energia do SIN (Santos, 2008).

Bajay & Frota (2004) consideram que a CCC é o principal mecanismo de subsídio explícito ao atendimento elétrico às localidades isoladas, reduzindo os preços a serem pagos pelos consumidores locais e, de certo modo, redistribuindo as vantagens do potencial hidrelétrico brasileiro por todo o território nacional. Adicionalmente, esse subsídio auxilia na fixação das comunidades, algumas delas situadas em regiões de fronteira, como a ocupação autossustentada do espaço amazônico. Os autores argumentam, contudo, que a CCC representa um mecanismo ineficiente de redistribuição de renda.

Nesse contexto, é oportuno mencionar que os atuais Contratos de Comercialização de Energia nos Sistemas Isolados (CCESI), fruto da licitação, possuem ao menos dois dispositivos que induzem a redução da CCC: a sub-rogação da CCC, para investimentos que reduzam os dispêndios futuros dessa conta; e a faculdade do vencedor da licitação de adicionar unidades geradoras de fonte renovável após o leilão, com possível compartilhamento dos benefícios econômicos com os consumidores. Além desses mecanismos, destaca-se que o preço-teto do leilão e a competição entre agentes também induzem à eficiência econômica nas contratações nos Sistemas Isolados, levando os competidores a buscarem soluções de menor custo.

Com relação aos tributos, a regulamentação estabelece que os agentes beneficiários da CCC têm direito ao reembolso do custo decorrente dos créditos não compensados de ICMS e de PIS/PASEP e COFINS, relativo aos gastos mensais com combustíveis e contratos, apurados com base na energia efetivamente gerada. Portanto, na geração de energia elétrica com óleo diesel nos Sistemas Isolados, há uma transferência de recursos da CCC para pagamento de impostos e tributos aos estados, o que é abordado em maior profundidade na seção 2.6.

2.5. Logística do óleo diesel na região Norte

O acesso à energia elétrica na região Norte do Brasil possui inúmeras barreiras e desafios logísticos. Isso se dá, principalmente, pela limitada infraestrutura rodoviária existente e da necessidade de utilização do modal de transporte hidroviário que, naturalmente, possui grande variabilidade de condições operacionais.

A logística de distribuição do óleo diesel opera, principalmente, através dos modais de transporte rodoviário e hidroviário. Nesse último se concentram os maiores volumes transportados, especialmente pela presença da maior rede hidroviária do país na Bacia Amazônica, tornando esse modal tão importante e estratégico nessa região. Entretanto, o modal hidroviário é fortemente influenciado pelo regime hidrológico, sendo que os rios do Brasil possuem regimes predominantemente pluviais, ou seja, as variações têm origem nas chuvas. Com isso, a navegação nessa bacia sofre restrições de profundidade (calado das embarcações), em maior ou menor grau, durante períodos de seca, tornando necessário o conhecimento sobre o regime hidrológico dos rios da região para a realização de um planejamento eficiente do transporte deste combustível.

O sistema hidroviário da Bacia Amazônica (Figura 5), maior bacia fluvial do mundo em área, destaca-se como o maior do Brasil. Com extensão total superior a 15.000 km, representando cerca de 60% de toda a rede hidroviária nacional.

Pacheco (2007) consolidou as condições de navegabilidade anual, de acordo as profundidades de calhas dos principais rios da região amazônica, mostrando que a navegação em alguns rios é impraticável durante os períodos de estiagem.

Tsuchida (2008) mapeou a cadeia a logística de distribuição de óleo diesel na região Norte, desde a produção nas refinarias até o uso final, ressaltando a complexidade envolvida e a necessidade de transbordos, algumas vezes com carregamentos parciais, para atingir destinos finais, encarecendo o valor do combustível.

Quanto à frequência de atendimento, os carregamentos podem ocorrer normalmente em 1, 2, 3 até 4 viagens por mês, dependendo de fatores como a distância entre a base de distribuição e a calha do rio, distância entre os sistemas

isolados, capacidade de transporte das balsas-tanque, capacidade de armazenagem, consumo de combustível entre outros.

A inerente complexidade de distribuição de combustível numa região tão vasta, aliada às condições de navegação prejudicadas durante os períodos de estiagem faz com que em algumas localidades seja necessário armazenar combustível por longos períodos, podendo chegar até seis meses (EPE, 2016a).

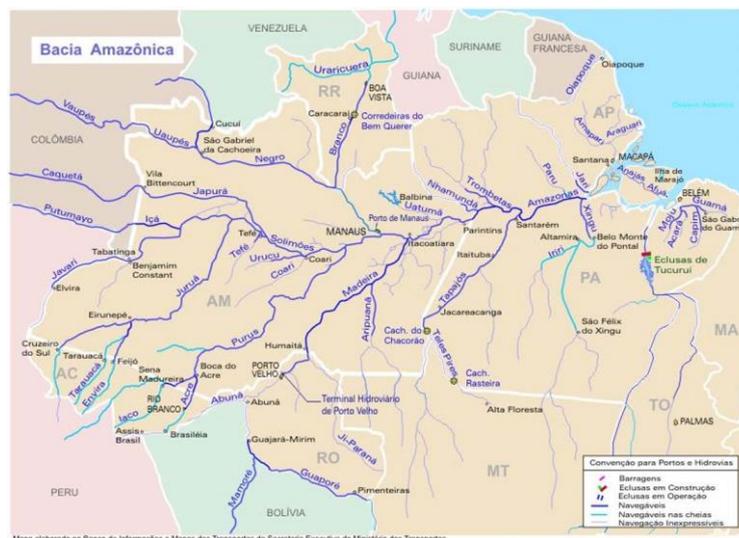


Figura 5 - Mapa das principais hidroviáveis da Bacia Amazônica

Fonte: Me guia Brasil (2017b)

O sistema rodoviário da região Norte apresenta características específicas devido à grande dispersão populacional, longas distâncias, densa vegetação e grande quantidade de rios. Assim, este foi concebido para ter papel complementar ao sistema hidroviário da região. Apesar disso, o sistema rodoviário desempenha a importante função de permitir o acesso a algumas regiões em épocas de seca e cheias excessivas nos diversos rios existentes. A Figura 6 apresenta um mapa com a localização geográfica das principais rodovias da região Norte.

Um grande problema referente ao modal rodoviário da região Norte diz respeito às condições das rodovias, cujo estado de conservação se mostra bastante inferior ao de rodovias em outras regiões do país. Em pesquisa no ano de 2014, a Confederação Nacional dos Transportes identificou que o estado das rodovias é, em sua maior parte, precário (CNT, 2014).

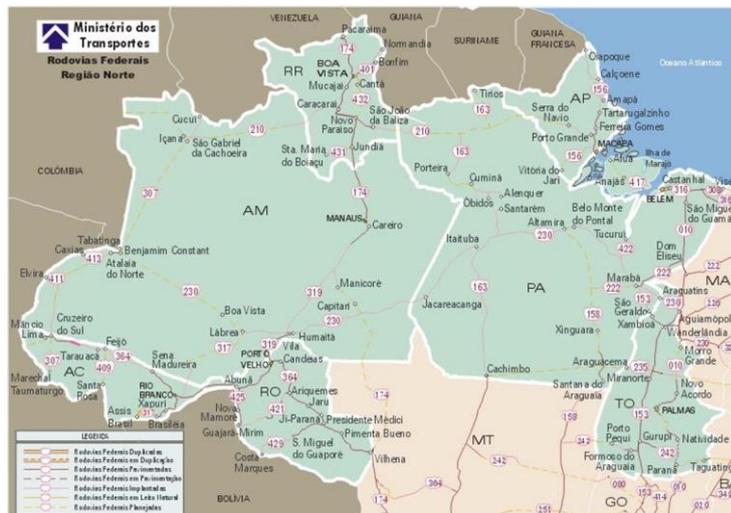


Figura 6 - Mapa da rede rodoviária da região Norte do Brasil
Fonte: Me guia Brasil (2017a)

2.5.1. Custos do transporte de combustível

Os custos de transporte do óleo diesel estão ligados a fatores logísticos e comerciais. Do ponto de vista logístico, a localização do sistema isolado e a frequência de atendimento ao mesmo são apontados como os principais fatores de influência, enquanto o volume de combustível transportado não apresenta impacto significativo.

Segundo a EPE (2016b), o custo do óleo diesel em sistemas isolados na região Norte representa a maior parte do custo total de geração de energia. Em leilões realizados com distribuidoras da região, esses valores chegaram a aproximadamente 70% do custo total em alguns casos.

Na maioria dos Sistemas Isolados, devido às dificuldades de transporte, o preço do diesel é muito elevado. Em Jordão (AC), por exemplo, onde o acesso fluvial prejudicado durante os meses de estiagem, o preço do diesel pode chegar a quase R\$ 10/litro nessa época (Eletrobras Distribuição Acre, 2013). A título de comparação, o preço médio do óleo diesel nas distribuidoras do Acre na mesma época, registrado pela ANP (2018b), era de R\$ 2,286/litro. Essa diferença de mais de 300% pode ser explicada pelo custo de frete até a localidade².

² O combustível sai de Manaus até Cruzeiro do Sul por via fluvial (rio Juruá), seguindo por rodovia até Tarauacá, de onde segue novamente por via fluvial (rio Tarauacá) até Jordão, totalizando 15 dias de deslocamento. A navegação no rio Tarauacá é impraticável durante metade do ano e parcial durante três meses, e por isso, há necessidade de tancagem local suficiente para até nove meses de geração.

Conforme abordado na seção 2.3.1, o diesel utilizado para geração termelétrica possui maior teor de enxofre que aquele para uso rodoviário, o que deveria levar a um menor custo do primeiro. No entanto, a complexa logística da região Norte faz com que o preço final para uma usina termelétrica isolada seja superior ao de um posto de combustível urbano, ainda que os produtos tenham qualidades distintas.

De acordo com estudo da Eletrobras Amazonas Energia (2012), principal distribuidora de energia elétrica da região Norte, o preço de transporte do combustível cai de maneira exponencial quanto maior a distância do sistema isolado em relação à cidade de Manaus. Isso ocorre devido à crescente diluição dos custos em viagens de maior distância, visto que mais sistemas serão abastecidos ao longo do trajeto escolhido pela distribuidora. Já em relação aos volumes consumidos pelos sistemas isolados, não foi possível, inicialmente, estabelecer uma relação com o valor do transporte do diesel. Ou seja, nem sempre o maior consumo de determinado sistema isolado acarretou em menores preços.

Levantamento feito pela ANP (2006) concluiu que os valores cobrados pela Petrobras Distribuidora (BR), principal responsável pelo fornecimento de diesel na região estavam em um patamar elevado. O valor de venda às termelétricas era similar ao cobrado pelos postos de combustíveis. Era de se esperar que o preço para as usinas fosse menor, dado o volume negociado e a menor quantidade de elos na cadeia logística, o que sugere indícios de poder de mercado³ por parte da BR Distribuidora.

Resultados similares foram encontrados pelo Tribunal de Contas da União (TCU, 2007), que concluiu haver má gestão da CCC ao apontar que o valor dos combustíveis utilizados no sistema térmico da Manaus Energia S.A., sobretudo óleo diesel, estava acima daquele encontrado nos postos revendedores da BR Distribuidora para a área compreendida no estado do Amazonas.

Outra constatação do estudo da ANP (2006) foi que os volumes de combustíveis consumidos pelas termelétricas dos sistemas isolados, segundo a Eletrobras, não coincidem com os informados pela Petrobras à ANP. Embora esse levantamento não aponte as causas dessa divergência, ela vai de encontro aos relatos de diversos agentes do setor (distribuidoras, geradores, etc.), que apontam

³ Poder de mercado é a capacidade que um agente econômico detém de manter seus preços acima do nível competitivo, de forma a aumentar seus lucros, sem com isso perder clientes.

frequente desvio de combustível, sobretudo na etapa de descarregamento das balsas para as usinas.

Observações dessa ordem foram registradas pelo Instituto de Energia da PUC-Rio (IE-PUC, 2011) em entrevistas com moradores do município de Parintins, que relataram desvios e comércio clandestino do diesel fornecido à usina local.

Como acontece em delitos dessa ordem, há poucas provas de furtos ou desvios de combustíveis nos Sistemas Isolados, embora essas práticas sejam relatadas com frequência. Como o combustível é subsidiado pela CCC, há pouco interesse dos geradores ou distribuidoras em combater tais práticas. Já na geração por PIES, em que esses são responsáveis pela administração do combustível, entende-se que há mais incentivos para esse combate, dado que sua remuneração se dá em função da energia gerada (já contemplando os custos com combustíveis), logo, os ganhos ou prejuízos da atividade são repassados diretamente ao empreendedor.

2.6.

Tributos: como eles beneficiam a geração a diesel

O custo da geração de energia elétrica inclui tributos estaduais e federais, que elevam o preço ao consumidor. Embora isso ocorra não apenas nos Sistemas Isolados, nestes, a maior parte desses impostos não é paga pelas distribuidoras locais ou por seus consumidores, mas por todos os consumidores de energia elétrica do país, em função do subsídio da CCC, explicado na seção 2.4. De acordo com o Plano Anual de Custos 2017 (Eletrobras, 2016b), dos R\$ 6,8 bilhões previstos para o fundo setorial da CCC, R\$ 1,2 bilhão corresponde a gastos com tributos.

Dentre esses tributos, destaca-se o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS, o Programa de Integração Social – PIS (alíquota de 0,65%), a Contribuição para Financiamento da Seguridade Social – COFINS (3,00%), imposto de renda (25,0 %) e a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico – CIDE, tributo cobrado na comercialização de combustíveis, no valor de R\$ 50,00/m³ de diesel (Receita Federal, 2016). Parte desses tributos incide na aquisição de combustível, enquanto outros são cobrados na venda de energia

elétrica. Há também casos de incidência nessas duas etapas, com possibilidade de creditação e posterior diferimento.

Portanto, na geração de energia elétrica com óleo diesel nos Sistemas Isolados, há uma transferência de recursos da CCC para os estados. Como essa arrecadação é proporcional ao consumo do combustível para geração de energia elétrica, não é de se esperar, por parte dos estados, incentivos para redução do consumo de diesel e, conseqüentemente, dos gastos pela CCC.

Segundo a ANP (2006), durante o ano de 2004, o ICMS recolhido em decorrência da compra de combustíveis pelas geradoras de energia dos sistemas isolados, correspondeu a 7,8% do valor total de ICMS recolhido pelos estados da região Norte, o que mostra a relevância dessa arrecadação e dificulta iniciativas de redução desse gasto pela CCC.

Exemplo desse impacto é o estado do Amapá, que após sua interligação ao SIN, em 2015, experimentou uma significativa queda na arrecadação de ICMS, em função da redução no consumo de combustível, como mostra a Tabela 2. Percebe-se o impacto significativo que a arrecadação de ICMS sobre a cadeia produtiva de energia elétrica tinha para o estado antes da interligação.

Tabela 2 - Arrecadação anual de ICMS no Amapá.

Ano	Arrecadação Específica Energia Elétrica (R\$)	Variação (%)	Total da Arrecadação ICMS (R\$)	Variação (%)
2014	46.721.696	-	861.451.308	-
2015	47.776.661	2%	785.714.970	-9%
2016	5.052.770	-89%	700.311.920	-11%
2017	1.953.449	-61%	753.646.871	8%

Fonte: Elaboração própria, a partir de SEFAZ-AP (2018)

A questão da perda temporária de receita dos estados, em virtude da interligação ao SIN e conseqüente redução de geração local, foi tratada na Lei nº 12.111, de 2009⁴, que destaca o possível desequilíbrio fiscal dos Estados e Municípios, decorrente da queda de arrecadação do ICMS sobre o consumo de combustíveis fósseis utilizados na geração de energia elétrica. Para evitar esse efeito, foi proposto um período de transição, de 24 meses a partir da data de

⁴ Para melhor entendimento dessa questão, ver Exposição de Motivos Interministerial nº 00033 - MME/MF, que tratou da proposta de Medida Provisória nº 466 de 29 de julho de 2009, posteriormente convertida na Lei nº 12.111/2009.

interligação, no qual essa perda de receita deve ser compensada por recursos adicionais, proveniente das verbas de Pesquisa e Desenvolvimento do setor (Lei nº 9.991/2000).

Do R\$ 1,2 bilhão previsto para pagamento de tributos pela CCC em 2017, 44% são para o recolhimento de ICMS e 56% para PIS/PASEP e COFINS. Destaca-se que 76% desse gasto total com tributos foi destinado à Eletrobras Amazonas Energia. Com isso, somente o estado do Amazonas deveria receber da CCC cerca de R\$ 459 milhões em ICMS no ano de 2017, o que corresponde a 6% do total apurado (R\$ 8,09 bilhões), considerando todas as atividades econômicas do estado em ICMS (SERINS-AM, 2018).

A Lei nº 10.833, de 29 de dezembro de 2003, alterou a legislação tributária (Lei nº 8.631/1993), prevendo que o rateio do custo de consumo de combustíveis, incluindo o de biodiesel, para geração de energia elétrica nos sistemas isolados, deveria incorporar os encargos e tributos incidentes, com percentuais decrescentes ao longo do tempo, iniciando em 100% para o ano de 2004 e chegando a zero por cento a partir de 2009. Com isso, era de se esperar que os impostos que tanto oneram a CCC deixassem de ser custeados por esse fundo. No entanto, com a promulgação da Lei nº 12.111, de 2009, essa redução gradual foi eliminada, sob o argumento de perda de receita dos estados, conforme consta no texto de Exposição de Motivos da Medida Provisória nº 466/2009. Com isso, os impostos continuam representando uma considerável parte dos gastos da CCC.

Bajay & Frota (2004) identificaram que impostos e taxas, particularmente o ICMS, afetam os custos ao consumidor e requerem um estudo cuidadoso dos efeitos sobre a eletricidade produzida e sobre seus insumos energéticos. Estes impostos são fontes significativas de recursos estaduais, mas um delicado balanceamento de seus efeitos deve ser também discutido ao se estruturar subsídios ao sistema elétrico local, tendo em vista reajustes adequados de suas alíquotas. Sugerem ainda que algum nível de renúncia fiscal pelos governos estaduais, principalmente de parcelas do ICMS cobradas em cascata, sem possibilidade de recuperação, seja necessário, como contribuição local para a solução do problema e evitando mecanismos de transferência de rendas dos consumidores em geral aos governos estaduais. Outra recomendação dos autores seria o diferimento de toda a cadeia produtiva do processo de energia elétrica, de maneira que o ICMS incidisse apenas na operação final, ou seja, na venda da

energia das distribuidoras aos seus consumidores, como já ocorre nos outros estados que são atendidos pelo Sistema Interligado Nacional.

Essa complexa questão tributária que envolve a cadeia produtiva de energia elétrica torna-se um pouco mais simples, e menos onerosa, no caso de geração a partir de recursos naturais, como sol e vento, por exemplo, sobre os quais obviamente não há incidência de impostos. Com isso, na geração fotovoltaica ou eólica, por não haver a aquisição de combustível, naturalmente deixa de haver também a arrecadação de uma série de impostos sobre esta etapa, ainda que ocorra tributação na venda final de energia elétrica.

Por outro lado, há que se considerar que, de acordo com o Convênio ICMS nº 101/2017, a aquisição de equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica é isenta de ICMS, o que não ocorre com motores para geração a diesel.

Considerando a importância da arrecadação de impostos sobre a comercialização de combustíveis, e dado o peso dessa atividade econômica nos estados da região Norte, a substituição da geração a diesel por outras fontes pode representar uma significativa perda de arrecadação pelas unidades federativas, razão pela qual não é de se esperar algum tipo de incentivo dos estados para a mudança de suas matrizes energéticas.

2.6.1. Particularidades do ICMS

Com o advento da Lei Complementar nº 87, de 13/09/1996 (Lei Kandir), e consequentes regulamentos do ICMS de alguns estados da região Norte, a energia elétrica passou a ser submetida ao regime ordinário de tributação, em que na saída da energia elétrica do estabelecimento gerador para o distribuidor há obrigatoriedade do lançamento do ICMS na nota fiscal e o posterior recolhimento do imposto. Destaca-se que a alíquota de ICMS sobre o óleo diesel para geração de energia elétrica pode variar de 17% a 25%, a depender do estado da região Norte.

Todavia, em decorrência do princípio constitucional da não-cumulatividade, segundo o qual o ICMS pago nas operações anteriores pode ser abatido do valor do imposto a ser pago nas operações posteriores, quando tributadas, as empresas

de energia elétrica possuem o direito de se creditar do ICMS incidente sobre matérias-primas e insumos utilizados no processo de industrialização, o que está condicionado apenas ao fato de o produto final sair tributado do seu estabelecimento.

Assim, diante dessas normas constitucionais e ordinárias, as empresas de energia elétrica possuem o direito de se creditar do ICMS pago em todas as operações anteriores tributadas, tais como a aquisição de combustível, no caso de empresas geradoras e/ou verticalizadas (empresa geradora e distribuidora), e na compra de energia elétrica das geradoras, no caso de empresas distribuidoras. (Frota, 2004).

No entanto, em função dos elevados custos de combustível e, em alguns casos, das diferenças de alíquotas de ICMS sobre combustível e sobre a energia elétrica, nem sempre as empresas conseguem fazer uso de todo o crédito acumulado, que acaba por se transformar em custo adicional, que é repassado ao consumidor ou, no caso dos Sistemas Isolados à CCC.

Como previsto na Resolução Normativa nº 801/2017 (ANEEL, 2017c), os agentes beneficiários da CCC têm direito ao reembolso do custo decorrente dos créditos não compensados de ICMS e de PIS/PASEP e COFINS, relativo aos gastos mensais com combustíveis e contratos. Portanto, ainda que o ICMS recolhido na aquisição de combustível possa se transformar em crédito para posterior compensação, na prática não é possível aproveitar todos os créditos, o que acaba sendo custeado, mais uma vez pela CCC.

Destaca-se que no estado do Amazonas, que detém a maior quantidade de Sistemas Isolados, a questão tributária é ainda mais complexa, pois o ICMS incide não apenas sobre a aquisição de combustível (alíquota de 17%), como também na geração de energia elétrica (25%), quando feita por PIE, onerando ainda mais a CCC e acentuando o efeito de transferência de recursos.

As regras tributárias do Amazonas (SEFAZ/AM, 1999) preveem a possibilidade de creditamento do ICMS pago na aquisição de combustível, por se tratar de insumo na produção de energia elétrica. Na geração a diesel, como a aquisição do combustível representa até 80% do custo total, há um creditamento de ICMS significativo, que é diferido posteriormente na tributação sobre a energia elétrica. Destaca-se que a incidência de ICMS sobre a geração de energia elétrica ocorre somente quando a atividade é feita por PIE, havendo isenção para usinas da

distribuidora local. Essa peculiaridade tributária amazonense leva a duas situações contraditórias:

a. Geração pela distribuidora x PIE

Quando a distribuidora é responsável pela geração de energia elétrica, não há cobrança de ICMS sobre a geração. Em função dessa diferenciação tributária, estima-se que o custo de geração pelo PIE seria cerca de 33% (incidência de 25% “por dentro”) superior que o da distribuidora, se mantidas as demais condições.

Na contratação de PIE via leilão, um dos parâmetros de formação do preço de referência (utilizado na comparação de propostas) é o chamado fator “ i_m ”, que traduz, principalmente, o consumo específico da(s) usina(s). Assim, quanto maior sua eficiência, mais competitivo é o PIE. Mesmo depois de ganhar o leilão, a eventual redução de consumo se traduz em ganho econômico ao gerador, uma vez que ele é o responsável pela gestão do combustível. Portanto, ao contrário da distribuidora, o PIE tem incentivos para gastar menos diesel.

Com isso, se configura a primeira contradição: embora a geração por PIE tenda a ser mais eficiente, ela pode sair mais cara que a da distribuidora, por questões tributárias do estado do Amazonas.

b. Geração a diesel x renovável

Quando a geração de energia elétrica é feita a partir de fonte renovável, obviamente não há aquisição de insumo (combustível) e, conseqüentemente, deixa de haver a primeira etapa tributária. À primeira vista, isso pode parecer vantajoso para a geração renovável, por haver menos cobrança de impostos. No entanto, pelo mesmo motivo, essas fontes também geram menos crédito de ICMS para abatimento na venda de energia (caso gerada por PIE) e, com isso, acabam pagando mais impostos do que a geração a diesel. Portanto, na produção de energia elétrica por PIE no Amazonas, a geração a partir de fontes renováveis tende a ser menos competitiva por ter menos abatimento de impostos do que as usinas a diesel.

Assim, a peculiaridade de cobrança de ICMS, no estado do Amazonas, sobre a geração de energia elétrica proveniente de PIE encarece o custo da geração, e tende a favorecer a geração baseada no óleo diesel.

Destaca-se que o Amazonas é o estado com maior quantidade de Sistemas Isolados, maior demanda de diesel e conseqüentemente, o que mais recebe recursos da CCC.

Possíveis mudanças desse cenário passam por alteração da legislação estadual, mais especificamente do Decreto nº 20.686/1999, que regulamenta esse imposto no estado. No entanto, medidas dessa ordem poderiam provocar redução da arrecadação estadual, algo bastante sensível.

2.7. Soluções alternativas ao óleo diesel

Como abordado no capítulo 1, mais de 95% da potência instalada nas usinas dos Sistemas Isolados corresponde à geração termelétrica a partir de combustíveis fósseis, com alguns poucos exemplos de plantas a gás natural, biomassa ou hidrelétricas. Na busca pela quebra do paradigma da matriz baseada no óleo diesel, uma possível abordagem seria analisar os casos de sucesso de geração a partir de fontes renováveis, identificando as razões que levaram a essa opção e replicando os exemplos às demais localidades.

Existem vários exemplos de sistemas fotovoltaicos com armazenamento em áreas rurais ao redor do mundo. O Relatório do programa Luz para Todos (MME, 2015) registra que cerca de cem mil famílias em regiões remotas do Brasil serão atendidas por essa tecnologia.

A ilha de Fernando de Noronha, importante área turística e de proteção ambiental, já era atendida por uma usina termelétrica a diesel e, mais recentemente, também por dois sistemas fotovoltaicos, instalados em 2014 e 2015. A redução de consumo de diesel provocada pela operação das usinas solares gera uma economia anual da ordem de R\$ 1,5 milhão (Freitas, Mascarenhas e Almeida, 2016).

A cidade de Itacoatiara, no estado do Amazonas, conta com duas usinas termelétricas: uma com capacidade instalada de 23,8 MW, com motores a diesel; e a segunda que gera energia elétrica a partir da queima de biomassa (cavaco de madeira) oriunda do resíduo da extração legal de madeira, com capacidade instalada de 9 MW, dos quais 3 MW são utilizados no consumo interno da usina e da madeireira. Destaca-se que essa usina se viabilizou em função da atividade de extração legal de madeira na região que gerava como resíduo o cavaco de madeira, cuja destinação até então era a queima a céu aberto, proibida a partir de 1998 com o Decreto nº 2.661 desse ano. Desde então, a empresa responsável pelo manejo florestal passou a estocar os resíduos em pilhas, resultando na acumulação

de material e emissão de metano. Para dar melhor destino a essa biomassa, em 2002 foi inaugurada a usina, reduzindo o impacto da atividade de exploração madeireira e o consumo de óleo diesel. Trate-se, portanto, de um exemplo pontual, criado em resposta a um problema maior, causado por outro setor e, por isso, de limitada replicação, restringindo-se a locais onde haja a exploração legal de madeira, algo bastante sensível na região Norte.

No extremo norte do Brasil, o sistema isolado de Oiapoque tem sido atendido historicamente por usina termelétrica a diesel, até que um projeto alternativo baseado em uma pequena central hidrelétrica (PCH Salto Cafesoca) de 7,5 MW de capacidade venceu o leilão realizado em 2014. Durante a construção da hidrelétrica, a localidade está sendo atendida por uma nova termelétrica, mais eficiente, e por um sistema fotovoltaico de 4,3 MWp que ajuda a reduzir o consumo de combustível (ANEEL, 2017b).

Embora haja atualmente poucos exemplos de hidrelétricas em Sistemas Isolados, convém mencionar algumas UHEs que supriam localidades que já foram interligadas ao SIN: Balbina (55 MW, rio Uatumã – AM, Manaus), Coaracy Nunes (78 MW, rio Araguari – AP, Macapá) e Samuel (216 MW, rio Jamari – RO, sistema Acre-Rondônia).

Apesar dos exemplos de uso de fontes renováveis em sistemas isolados e de estudos demonstrando sua viabilidade, a maioria dessas localidades ainda é atendida por termelétricas convencionais, reforçando a importância de se identificar os motivos que levam a essa opção e os desafios para o desenvolvimento das fontes alternativas de geração de energia elétrica nessas áreas.

Tendo por base os resultados dos leilões de energia do Sistema Interligado Nacional, conclui-se que as fontes renováveis, sobretudo eólica e solar fotovoltaica, já são competitivas e muitas vezes correspondem às soluções de menor custo. Essa condição, porém, não se refletiu ainda nos leilões dos Sistemas Isolados, nos quais prevaleceu quase sempre a geração a diesel, ainda que diversos estudos, mencionados adiante, apontem a viabilidade de soluções renováveis em sistemas isolados.

Ressalta-se que as gerações eólica e solar fotovoltaica são de caráter variável e não controlável, inviabilizando seu uso individualmente no atendimento

à demanda em Sistemas Isolados. Porém, podem ser associadas a soluções de armazenamento ou geradores controláveis, como motores a diesel.

Nesse sentido, pode-se citar estudos da EPE de avaliação da atratividade econômica de soluções híbridas em sistemas isolados do Amazonas e Acre. Com base em premissas conservadoras, sobretudo no que diz respeito aos custos de investimento, estimou-se a possibilidade de redução do custo da energia em até 9% e do consumo de diesel em até 26% caso as usinas fossem adotadas soluções híbridas (diesel, solar e baterias). Os estudos tomam por base o preço do óleo diesel à época e apontam que o seu aumento favorece ainda mais a viabilidade econômica dessas soluções alternativas no Acre (EPE, 2014) e no Amazonas (EPE, 2016b).

Ressalta-se que ainda que sejam identificadas potenciais recursos renováveis em Sistemas Isolados, em última instância prevalece a solução de menor custo global, resultante da competição em leilão, dado que o modelo de planejamento setorial adotado no Brasil é de caráter orientativo, e não determinativo.

Na geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, há que se considerar os benefícios indiretos, como a redução de emissões de gases de efeito estufa, o reaproveitamento energético de resíduos e a reversão da energia para processos produtivos (como em serrarias, por exemplo, no caso da biomassa), a criação de emprego e renda e diminuição da dependência aos combustíveis fósseis.

De toda forma, o uso de fontes renováveis depende da viabilidade econômica dos projetos, que deve ser avaliada caso-a-caso a partir de métricas como o *payback*, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de retorno (TIR) e Custo Nivelado de Energia (do Inglês, LCOE). Adicionalmente, pode ser considerado nessa análise o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), por meio do qual podem ser comercializados créditos de carbono.

O Quadro 2 resume as oportunidades e barreiras para aproveitamento de cada fonte ou tecnologia de geração de energia elétrica nos sistemas Isolados no Brasil.

Quadro 2 - Soluções alternativas para suprimento de energia em Sistemas Isolados

Fonte / Tecnologia	Oportunidades de aproveitamento	Barreiras para aproveitamento	Exemplos em Sistemas Isolados
Hidrelétrica	<ul style="list-style-type: none"> · Algumas corredeiras ou cachoeiras · Hidrocinética 	<ul style="list-style-type: none"> · Relevo plano na região Norte · Rios com baixa velocidade de escoamento · Sensibilidade ambiental da região amazônica · Unidades de conservação e Terras Indígenas 	<ul style="list-style-type: none"> · PCH Alto Jatapú (RR): 10 MW · PCH São Gabriel da Cachoeira (AM); 4,8 MW – em estudo · PCH Salto Cafesoca; 7,5 MW; rio Oiapoque (AP) – em estudo
Eólica	<ul style="list-style-type: none"> · Potencial no norte de Roraima e costa do Amapá 	<ul style="list-style-type: none"> · Potencial limitado na região Norte · Roraima: maior potencial em Terra Indígena · Amapá: sistemas com baixa demanda · Falta de medições anemométricas · Geração variável e não controlável 	<ul style="list-style-type: none"> · Fernando de Noronha: 225 kW - Desativada
Solar fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none"> · Irradiação da região Norte inferior à do Nordeste, mas ainda razoável e homogênea · Redução acentuada de custos nos últimos anos 	<ul style="list-style-type: none"> · Geração variável e não controlável 	<ul style="list-style-type: none"> · Fernando de Noronha: 1 MWp · Oiapoque 4,3 MWp · Diversos SIGFIs e MIGDIs em regiões remotas
Híbrida Diesel + FV Diesel + FV + Bateria	<ul style="list-style-type: none"> · Possibilita aproveitamento de fontes não controláveis, sem comprometer o suprimento · Redução acentuada de custos nos últimos anos (fotovoltaica e baterias) · Reduz consumo de diesel 	<ul style="list-style-type: none"> · Requer coordenação de geração combinada para acompanhar a carga · Sistema mais complexo, que exige mão de obra especializada 	UTE diesel + UFV: <ul style="list-style-type: none"> · Fernando de Noronha · Oiapoque
Biomassa e biocombustíveis	<ul style="list-style-type: none"> · Impacto positivo (emissões evitadas de carbono) · Políticas existentes: PNPB (2005), ZAE-Dendê (2010), RenovaBio (2017)⁵ · Empresa dedicada à produção de biodiesel de óleo de palma na região Norte (Brasil Bio Fuels) · Potencial de 2,5 GW (ou 17,5 TWh/ano) a partir de biomassa lenhosa residual (EPE, 2018c) 	<ul style="list-style-type: none"> · Restrita a áreas degradadas ou antropizadas · Potencial indutor de desmatamento na região amazônica · Cavaco: depende da exploração legal de madeira, em áreas restritas 	<ul style="list-style-type: none"> · UTE Itacoatiara (9 MW) a biomassa oriunda do resíduo da extração legal de madeira · UTEs à biodiesel (mistura parcial): 4 no Acre, 10 em Rondônia e 32 no Amazonas · Biomassa de Acácia disponível para uso (26.500 ha) em Roraima (Herzog, 2007). Potencial entre 35 e 55 MW (EPE, 2017e).
Gás natural	<ul style="list-style-type: none"> · Emissões de GEE e custos menores que o diesel · Gasoduto Coari-Manaus · Disponibilidade na Bacia do Solimões e no Campo de Azulão (AM) · Possibilidade de uso de GNL, por via fluvial 	<ul style="list-style-type: none"> · Fonte não renovável · Falta de infraestrutura de transporte na região Norte · Custo do gasoduto, subsidiado pela CCC, foi muito maior que o previsto 	UTES no Amazonas: <ul style="list-style-type: none"> · Anamá (2,1 MW); Anori (4,6 MW); Caapiranga (2,1 MW); Codajás (5,5 MW); · Coari (37 MW) – prevista para 2019

⁵ PNPB: Programa Nacional de Uso e Produção do Biodiesel; ZAE-Dendê: Zoneamento Agroecológico do Dendzeiro; RenovaBio: Política Nacional de Biocombustíveis

2.7.1. Experiências internacionais de geração a partir de fontes renováveis em sistemas isolados.

Praticamente todos os países têm seus sistemas isolados, em diferentes condições e tamanhos, podendo ser ilhas, áreas rurais ou regiões longínquas, mas que tenham atividades econômicas fortes, como mineração ou exploração de petróleo e gás. Quase sempre tais sistemas dispõem de geração local de eletricidade para suprir tais demandas. Nessas áreas distantes das redes elétricas principais, os sistemas isolados regionais geralmente dependem da onerosa geração a partir de óleo diesel, que normalmente é a principal fonte de energia elétrica para a indústria e residências (Frankfurt School, 2015). Outra situação comum nesses sistemas é que o combustível é normalmente subsidiado pelos governos de seus respectivos países.

Por exemplo, nas regiões distantes do leste e norte da Rússia, que estão fora do sistema elétrico unificado, os custos de geração são elevados e os geradores são antigos e ineficientes. Nesses locais, cerca de 10 milhões de pessoas são atendidas por sistemas de geração local que utilizam diesel ou gasolina (OECD/IEA, 2003), e somente uma pequena parte (dezenas de kW) da capacidade instalada é baseada em fontes renováveis. Essas regiões representam um grande mercado potencial para introdução de tecnologias de energia renováveis, tais como turbinas eólicas, módulos fotovoltaicos, geradores termelétricos a biomassa ou biogás e usinas geotérmicas (Lombardi, *et al.*, 2016).

No sudeste do Japão há cerca de 40 ilhas isoladas, sendo a maioria dependente de geradores a diesel para suprimento elétrico, uma vez que estão distantes da ilha principal de Okinawa e têm áreas muito pequenas. Em função dessa distância, o custo de fornecimento de combustível a essas ilhas é elevado e, conseqüentemente, o preço por kWh da geração a diesel em ilhas isoladas é bastante caro quando comparado à geração convencional (Senjyu, *et al.*, 2007).

De acordo com estudo da Frankfurt School (2015), o custo de geração em redes isoladas pode ser reduzido por meio da hibridização desses sistemas a diesel com a geração fotovoltaica. Baseado em sete estudos de caso em diferentes países, concluiu-se que a hibridização pode reduzir o custo de geração em até 16%, dependendo das condições e cenários de preços de combustível. Os melhores resultados foram encontrados para os locais com maior população, preço de diesel

mais elevado e melhor radiação solar, representando um significativo potencial de redução do custo de energia elétrica em áreas rurais e ilhas, sobretudo em países em desenvolvimento. Os resultados foram obtidos a partir de simulações econômico-energéticas com o software Homer, seguindo uma metodologia similar a dos estudos da EPE para sistemas isolados do Acre e Amazonas, já citados.

Um estudo similar (Das e Claudio, 2017), conduzido em cinco comunidades da região ártica do Canadá, onde a queima de diesel é a única forma de geração de eletricidade, avaliou o uso de geradores (a diesel) de velocidade variável, permitindo aumentar a penetração das fontes eólica e solar, concluindo que o desenvolvimento de sistemas híbridos é sempre economicamente interessante, reduzindo o consumo de combustível (de 60% a 83%), as emissões de gases de efeito estufa (em até 89%) e o custo total de atendimento a essas localidades (de 39% a 67%).

Outro exemplo de geração híbrida em sistema isolado, em operação, é o das Ilhas Faroe, na Dinamarca (Quitmann, 2018), que conta com 13 turbinas eólicas (11,7 MW) e sistema de armazenamento em bateria de íons de lítio (2,3 MW, 707 kWh), associados a geradores a diesel, para atender a uma demanda máxima de 45 MW. Nessa configuração, a geração eólica chega a atender até 80% da carga, auxiliada pela bateria, que reduz o *curtailment* (excedente de produção), reduzindo o consumo de combustível.

No médio e longo prazo, espera-se um crescimento de energias renováveis em sistemas desconectados da rede por meio da hibridização dos geradores a diesel existentes com a geração eólica, solar fotovoltaica, gaseificação de biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH), especialmente em ilhas ou áreas rurais. Na maioria dos casos, as renováveis já se mostram uma solução economicamente viável para substituição dos geradores a diesel, criando um importante mercado para as renováveis em sistemas *off-grid* (IRENA, 2015).

Exemplo da atratividade econômica dessas soluções é o sistema que atende a cidade de Cobija, na Bolívia, na fronteira com o Acre, comissionado no final de 2014 pela empresa ENDE Guaracachi (Guaracachi, 2016). Trata-se do maior sistema híbrido diesel-solar com baterias para geração isolada, atingindo 40% de penetração de geração fotovoltaica. Trata-se de instalação em região com condições climáticas adversas (SMA, 2015), a exemplo dos sistemas isolados

brasileiros, onde as elevadas umidade e temperatura podem dificultar a operação das baterias, uma vez que seu desempenho é reduzido nessas condições.



Figura 7 - Sistema fotovoltaico-diesel em Cobija, Bolívia (SMA, 2015)

De acordo com a iniciativa *SIDS (Small Island Developing States) lighthouses* (IRENA, 2017), a eletricidade na maioria das pequenas ilhas é gerada utilizando derivados de petróleo importados e caros. Essa dependência, associada a cadeias de suprimento complexas e à limitação de compra de energia elétrica fazem com que esses sistemas tenham os maiores custos de energia elétrica do mundo, variando em 0,30 até 1,00 dólares por kWh. Dado esse elevado custo, as fontes renováveis normalmente oferecem opções de menor custo, representando uma trajetória para geração mais barata e de desenvolvimento sustentável.

Hafez e Bhattacharya (2012) avaliaram o dimensionamento ótimo e o planejamento de uma microrrede baseada em energias renováveis, considerando diversas tecnologias para o atendimento a uma área rural hipotética. Para tanto, foram realizadas simulações de otimização com o software Homer, similares às verificadas em (EPE, 2014; EPE, 2016b), de forma a encontrar a configuração ótima que levasse à minimização do custo total a valor presente líquido (VPL) de suprimento ao sistema. Foram avaliadas configurações totalmente baseadas no diesel, combinações de renováveis (solar, eólica e PCH) com diesel, além da extensão de rede para interligação. O estudo concluiu que a combinação de fontes levou ao menor custo e ligeiramente menor “pegada de carbono”.

Um estudo do Rocky Mountain Institute (2016), avaliou o suprimento de energia elétrica à ilha de Santa Lucia, na região do Caribe, atendida por geração a diesel importado, de custo elevado (0,38 USD/kWh em 2014) e volátil, dependente as oscilações dos preços internacionais do combustível. Foram avaliadas diferentes fontes e capacidade, pontos de conexão, modalidades de

contrato e estruturas financeiras, visando a transição energética na ilha em um período de cinco anos. O estudo concluiu que a configuração ótima, sob o ponto de vista econômico, resulta no *portfolio* de geração solar, eólica, armazenamento, ações de eficiência energética, além da geração a diesel existente. Esses investimentos reduziram em 42% os gastos com diesel e em 40% as emissões até 2025. Outra conclusão importante é sobre a necessidade de manutenção da geração a diesel para garantir os requisitos de reserva e confiabilidade.

Outro estudo similar, da mesma instituição (2015), avaliou a geração renovável em minirredes em dez ilhas e comunidades remotas ao redor do mundo, concluindo que a transição para renováveis pode reduzir custos e aumentar a estabilidade e resiliência da rede. O relatório pontua ainda que ações de eficiência energética são um importante componente para a transição, assim como sistemas de armazenamento de energia, que possibilitam maior penetração de renováveis.

A indústria de mineração, por ser eletrointensiva e normalmente localizada em regiões sem conexão à rede e com dificuldades de fornecimento de combustível, representam um potencial mercado de soluções híbridas. Nesses casos a energia solar pode ser uma solução competitiva, especialmente em regiões com boa insolação, como os desertos na Austrália e no Chile. Por exemplo, na mina australiana DeGrussa, da empresa Sandfire, a empresa Juwi está desenvolvendo um sistema solar de 10,6 MW aliado a 6 MW de baterias, substituindo parte da geração diesel no local (PSR, 2015).

Embora os diversos estudos citados apontem a viabilidade econômica de soluções renováveis em locais isolados, a complexidade logística de atendimento dificulta a atração de investimentos. Por essa razão, a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2016), publicou um estudo sobre políticas públicas e regulação visando atrair o setor privado a investir em minirredes renováveis e acelerar o desenvolvimento de novas tecnologias. O estudo aponta que os governantes exercem papel fundamental para facilitar a atração de investimentos, dado que tradicionalmente os sistemas elétricos são baseados em modelos centralizados, enquanto as soluções renováveis em minirredes podem ser distribuídas e diversas. Para tanto, se faz necessária agilidade da formulação de políticas e regulação, de forma a remover barreiras e acompanhar a dinâmica de desenvolvimento das tecnologias. O relatório traz ainda exemplos de medidas adotadas em diferentes países que contribuíram para a promoção das renováveis

em localidades isoladas, tais como: isenção de licenças e aprovação de tarifas para sistemas menores que 50 kW e simplificação dos processos para capacidades maiores (Ruanda), cobertura de custos (subsídio, ou *feed-in tariff*) às tarifas de geração (Tanzânia), concessão de geração com exclusividade (Mali), criação de fundo de apoio, administrado por bancos locais, para financiar projetos renováveis (Nepal) e redução ou isenção de impostos para essas soluções (diversos países).

2.8. Considerações finais sobre o capítulo

No capítulo 2 foram discutidas as dificuldades, impactos e subsídios da geração a diesel nos Sistemas Isolados brasileiros. Discutiu-se como questões logísticas (transporte de diesel até as localidades), tributárias (ICMS) e subsídios (CCC) incentivam a geração a partir de óleo diesel nesses sistemas, apesar dos impactos, principalmente ambiental, dessa fonte.

Por outro lado, foi identificado na literatura que sistemas híbridos, conjugando geradores termelétricos com fontes mais limpas, são economicamente viáveis em Sistemas Isolados, representando um caminho mais sustentável. Há que se considerar, no entanto, que a redução no consumo de diesel pode provocar a queda da arrecadação de tributos estaduais.

Diante dessas constatações, cabe aos governos estaduais e federal definir políticas públicas que promovam o uso de fontes renováveis nos Sistemas Isolados visando a mitigação de impactos ao meio ambiente, a utilização de recursos energéticos locais e a redução de custos e subsídios.

Em função da relevância da atividade de geração de energia elétrica nas economias locais, é importante que a sociedade faça parte desta transição energética, não sendo coadjuvantes do processo, e que sejam consideradas medidas para minimizar os impactos da queda da arrecadação decorrente da substituição da geração a diesel por tecnologias renováveis.

3. Identificação de barreiras às fontes renováveis e propostas para mudança

Como discutido nos capítulos anteriores, fontes renováveis já são utilizadas em alguns sistemas isolados do Brasil e de outros países. Adicionalmente, diversos estudos apontam a viabilidade econômica de sistemas híbridos que reduzem o consumo de diesel.

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2011), algumas políticas se mostraram efetivas e eficientes ao possibilitarem a rápida expansão de fontes renováveis. No entanto, não há uma solução padrão. Experiências mostram que diferentes políticas ou combinações de políticas energéticas podem ser mais efetivas a depender de fatores como maturidade tecnológica, disponibilidade de capital, facilidade de integração com sistemas existentes e a base de recursos renováveis locais e nacionais.

Nesse sentido, o presente capítulo busca apresentar as barreiras para o uso extensivo dessas fontes nas localidades isoladas da região Norte do Brasil e propor sugestões de políticas públicas para maior inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados brasileiros.

3.1. Barreiras culturais e de conhecimento

O capítulo 2 mostrou que as soluções a diesel tem funcionado razoavelmente bem há mais de um século nos sistemas isolados, o que explica em parte a preferência das distribuidoras, sobretudo ao se considerar locais afastados e com uma complexa logística. Assim, é razoável entender a aversão a novas tecnologias nessas regiões: em localidades em que se leva mais de um mês para se chegar desde um centro urbano, como mostrado na seção 2.5, a demora na substituição de equipamentos defeituosos poderia provocar o desabastecimento de energia elétrica, trazendo consequências sociais e financeiras.

Ainda no aspecto cultural, os operadores bem estabelecidos na região Norte são, na maioria dos casos, empresas especializadas na geração térmica a diesel.

Para estes, investir em soluções alternativas representaria um afastamento do seu negócio principal. Já as empresas focadas em energias renováveis, ainda que atuem com sucesso nos leilões do sistema interligado, normalmente não conhecem os desafios logísticos da região amazônica, aumentando o risco percebido.

O rápido avanço tecnológico de determinadas fontes, associado à recente queda de custos não tem se traduzido em mudanças nos sistemas isolados, muito em função das barreiras culturais (moto geradores a diesel funcionam bem e são de fácil operação e manutenção) e mesmo de desconhecimento acerca das fontes não convencionais.

Para reverter esse quadro, **propõe-se o desenvolvimento de projetos piloto de usinas híbridas em sistemas isolados de maior porte**. Nas localidades menores, as regiões remotas, já há mini usinas fotovoltaicas com baterias em operação, atendendo pequenas vilas. Porém, são poucas as soluções similares para sistemas maiores, ao menos no Brasil, ainda que existam em outros países, como mostrado na seção 2.7.1.

Ainda que tais projetos pilotos possam ter um custo elevado, eles auxiliariam a vencer a barreira cultural supracitada e facilitariam a disseminação do conhecimento acerca das novas tecnologias. Com isso, os projetos seguintes se beneficiariam do conhecimento gerado, tornando-se autossustentáveis e economicamente viáveis.

Para fazer face ao possível sobre custo inicial, propõe-se o uso de recursos de pesquisa e desenvolvimento e do programa de eficiência energética das distribuidoras locais de energia elétrica. Tal recurso, que já é regulado por normas bem definidas da ANEEL, traria o benefício adicional de formação de mão-de-obra local nas novas tecnologias.

3.2. Questões regulatórias e contratuais

O arcabouço regulatório que disciplina o atendimento aos sistemas isolados mostra-se adequado à situação atual, uma vez que busca reconhecer e subsidiar os custos da geração termelétrica a diesel. Exemplo disso é a Resolução Normativa nº 801/2017 (ANEEL, 2017c) que traz valores limite de consumo específico de combustíveis, em litros/kWh, para fins de reembolso da CCC. O mesmo

documento chega a tratar de outras fontes, como biomassa, biogás e fotovoltaica, mas apenas informa que, nesses casos, o produtor independente será ressarcido da diferença entre o preço da energia elétrica contratada e o valor do ACR_{méd}. Não há, portanto, previsão de geração renovável em usinas pertencentes à própria distribuidora, caso que ainda é realidade em diversas localidades. Com isso, não há incentivo para que a distribuidora local busque fontes alternativas.

De maneira análoga, verifica-se que o Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Sistema Isolado – CCESI, aprovado pela Resolução Homologatória ANEEL nº 1.733/2014, também foi desenhado para usinas termelétricas a diesel, como pode ser visto na fórmula de remuneração pela energia prevista nesse instrumento:

$$P_{REF} = \frac{RAF}{E} + CVU_{O\&M} + i_m \cdot \{ [x \cdot P_m + (1 - x) \cdot P_{bio}] + P_{log} + P_{trib} \} \quad 3.1$$

Onde:

P_{ref} = Preço de Referência, em R\$/MWh;

RAF = Receita Anual Fixa, em R\$/ano;

E: Energia Anual gerada, em MWh/ano;

CVU_{O&M} = Custo variável de operação e manutenção, em R\$/MWh;

i_m = consumo específico⁶, em L/MWh;

x = Percentual de diesel após a adição de biodiesel;

P_m = Preço médio do combustível na refinaria, publicado pela ANP, em R\$/L;

P_{bio} = Preço médio do biodiesel, publicado pela ANP, em R\$/L;

P_{log} = Custo de logística de suprimento do combustível, em R\$/L;

P_{trib} = Tributos sobre o combustível, em R\$/L.

Percebe-se que dos termos da equação 3.1 que, à exceção da parcela RAF, todos os demais termos destinam-se a remunerar os custos intrínsecos à geração a diesel. Assim, fontes de capital intensivo e custo variável nulo (ou próximo de zero), como fotovoltaica e eólica, contam apenas com a parcela RAF para remuneração e amortização do investimento, sem reconhecer as particularidades de cada tecnologia. Há, portanto, uma assimetria de tratamento das tecnologias.

⁶ O fator “i_m” também se destina a apropriar todos os demais custos incorridos na aquisição e uso dos combustíveis

Essa mesma fórmula é utilizada para fins de comparação de preços ofertados nos leilões, sendo considerados na competição os valores referenciados (data-base) ao mês anterior ao de publicação do edital. Porém, ao longo do horizonte contratual, cada um dos termos é reajustado por diferentes índices. Enquanto a parcela RAF é atualizada anualmente pelo Índice de Preços ao Consumidor (IPCA), as parcelas P_m e P_{bio} correspondem aos valores mensais levantados e publicados pela ANP. O termo P_{trib} depende do ICMS, sendo automaticamente reajustado em caso de mudança da alíquota estadual.

Com isso, em uma usina a diesel, cujo maior custo corresponde ao combustível, praticamente não há riscos financeiros ao produtor, posto que sua remuneração é mensalmente atualizada a preços de mercado. No caso de usinas com remuneração dependente majoritariamente da receita fixa, pode haver risco de descolamento entre custos financeiros assumidos pelo empreendedor (custo de capital próprio e de terceiros) e o índice de inflação ao longo do horizonte contratual, o que se torna ainda mais relevante em tecnologias de capital intensivo, como fotovoltaica ou baterias. No entanto, esse risco é mitigado por meio de financiamento em moeda local. Em usinas a diesel, por outro lado, o custo de investimento corresponde somente a cerca de 20% do total, sendo os 80% restantes associados ao custo do combustível.

Dada a preponderância do custo de combustível no valor final da energia elétrica nas usinas a diesel, já se observa a associação de empresas geradoras a distribuidoras de combustível, em geral de menor porte. Exemplo disso foi o resultado dos leilões para atendimento aos Sistemas Isolados do Pará (abril de 2016) e do Acre (maio de 2015, lote I) nos quais o consórcio vencedor foi formado pelas empresas Guascor do Brasil Ltda. (tradicional geradora da região) e Distribuidora Equador de Produtos de Petróleo Ltda. (distribuidora de diesel), esta com participação majoritária (82%) no consórcio.

Como o custo de combustível representa a maior parcela, o *core-business* passa a ser a distribuição de diesel, e não a geração de energia elétrica. Essas empresas de distribuição, que dominam a complexa cadeia logística de suprimento de combustível, acabam sendo majoritárias nos consórcios e deliberando sobre a forma de geração. Assim, a introdução de fontes renováveis, que levaria a redução de consumo de diesel, vai contra os interesses dos investidores e tomadores de decisão no negócio de geração de energia elétrica.

A questão dos reajustes automáticos e frequentes das parcelas associadas ao custo de combustível leva ainda a uma segunda desvantagem às fontes renováveis: é possível que no longo prazo haja um descolamento do preço do diesel em reação à inflação. Assim, ainda que no momento inicial um projeto puramente termelétrico apresente custo de geração similar ao de uma usina híbrida, é possível que após alguns anos o primeiro resulte um maior custo de energia, dados os diferentes parâmetros de reajuste. Essa questão foi abordada no estudo “Energia Solar para Suprimento de Sistemas Isolados do Amazonas” (EPE, 2016b), que apresentou uma análise de sensibilidade do custo nivelado da energia (LCOE) para diferentes preços de diesel, conforme Figura 8, para sistemas a diesel e híbridos (fotovoltaico com opção de armazenamento em baterias), considerando o atendimento ao sistema isolado de Boca do Acre - AM.

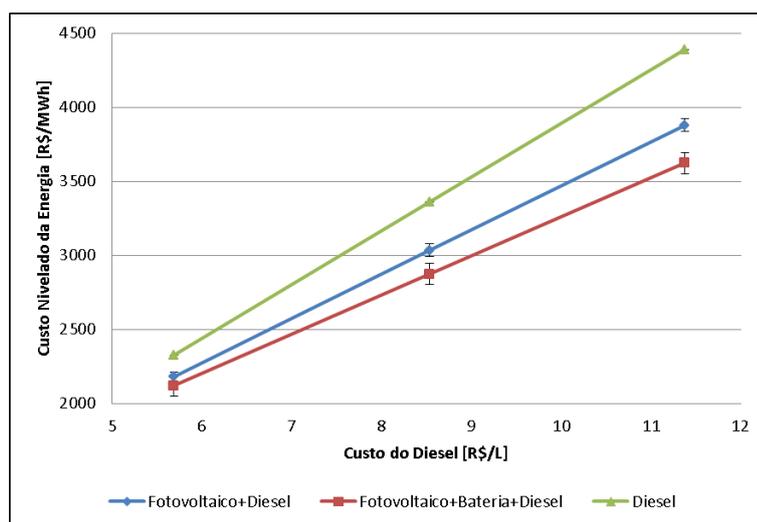


Figura 8 - Variação do LCOE em função do preço do diesel
Fonte: EPE (2016b)

Para o preço corrente de diesel, os custos das diferentes soluções são próximos, com ligeira vantagem das soluções híbridas (-6,3% do LCOE), mas em um cenário de elevação do preço do combustível, as soluções alternativas passam a ser ainda mais competitivas, proporcionando uma redução da ordem de 11% do LCOE, ou seja, a hibridização torna o custo da energia elétrica menos vulnerável a elevações de preço, o que não é reconhecido na formulação do preço de referência nos editais para contratação do atendimento a sistemas isolados.

Vale destacar também que o preço de sistemas fotovoltaicos e baterias tem caído rapidamente no mercado internacional e interno. Este fato mostra mais uma

vantagem de sistemas híbridos, que tende a ser ainda maior no longo prazo, em comparação à energia gerada por usinas a diesel.

Para melhor avaliar essa questão, o gráfico da Figura 9 apresenta a evolução do preço médio de distribuição do diesel na região Norte, comparado à variação do IPCA no mesmo período. Percebe-se que o valor de revenda do combustível sofreu um descolamento positivo em relação à inflação em 2002. A partir de então, as linhas seguem quase que paralelas. Destaca-se, porém, que esse fato pode ser creditado à política de controle de preços de combustíveis praticada pelo governo federal no período, que embora tenha visado minimizar os impactos no setor de transporte, acabou por subsidiar indiretamente a geração termelétrica. De toda forma, fica evidente o descolamento entre a variação histórica dessas duas variáveis, ou seja, o custo do combustível subiu mais que a inflação no período.

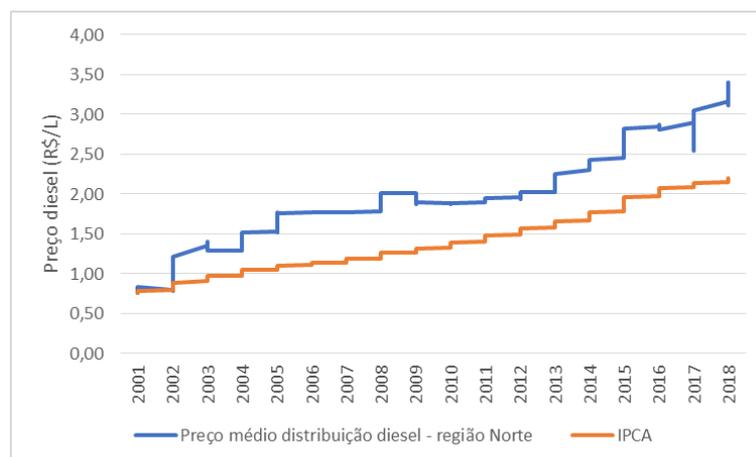


Figura 9 - Preço médio do diesel na região Norte e variação do IPCA
Fontes: Elaboração própria a partir de ANP (2018c) e IBGE (2018)

Uma possível solução pra minimizar o impacto da alta nos preços de combustível no custo futuro da energia, seria **atualizar todo preço de referência pelo IPCA**, por exemplo. Não haveria, assim, reajustes automáticos em função dos preços do diesel. Pela proposta, qualquer usina, mesmo aquelas a diesel, seguiriam essa forma de remuneração, dando um tratamento isonômico para as diferentes tecnologias. **Com isso, o risco associado à variação futura do preço do combustível seria alocado ao gerador**, que faria suas projeções para o período contratual e precificaria o risco no preço ofertado, possivelmente elevando o custo presente da geração a diesel.

O eventual descolamento entre o preço futuro do combustível e o índice de inflação, se por um lado tende a beneficiar o consumidor, pode levar o gerador a um desequilíbrio econômico, colocando em risco seu negócio, e conseqüentemente, a geração de energia local, muitas vezes dependente de uma única usina. O empreendedor, por outro lado, para se proteger desse risco, tenderia a investir em soluções de menor custo variável, como solar fotovoltaica e baterias para “hedgear” o seu negócio.

Destaca-se que essas tecnologias, além de apresentarem elevado custo de capital, tem parte do seu investimento atrelado a moeda estrangeira, por necessitarem de equipamentos importados. Assim, ao propor uma usina solar, o empreendedor precisa considerar em seu lance um *hedge* cambial, que não é reconhecido em nenhuma das parcelas da equação 3.1. Entende-se que esse risco é inerente ao negócio e sua redução passa pelo fortalecimento da moeda local, o que foge ao controle dos agentes do setor elétrico.

Há que se considerar, no entanto que a precificação do risco associado à volatilidade do preço do diesel pode ser elevada, tornando-se impagável ou, se não for adequadamente estimada, pode inviabilizar a continuidade do negócio, expondo os consumidores ao risco de falta de energia elétrica. Por outro lado, em mercado pouco competitivos este prêmio de risco pode levar ao chamado “windfall profit”, ou seja, ganhos expressivos, inesperados e repentinos.

O prazo contratual também é uma variável importante na definição de um leilão, na medida em que prazos curtos dificultam a viabilização de tecnologias com elevado custo de investimento, que demandam maior horizonte temporal para amortização dos ativos. Por outro lado, ao se definir um prazo mais longo, corre-se o risco de ainda assim, soluções a diesel sagrarem-se vencedoras nos certames, perpetuando a queima de combustível fóssil por todo esse período.

Mesmo contratos de 15 anos podem se mostrar insuficientes para o melhor aproveitamento econômico de sistemas fotovoltaicos, cuja vida útil é estimada em 25 anos. Logo, a proposta do empreendedor deve considerar a amortização do investimento em um prazo menor que o possível, onerando a tarifa.

Porém, em sistemas isolados com previsão de interligação ao SIN, torna-se ainda mais difícil estabelecer horizontes contratuais extensos, visto que quase sempre a compra de energia no sistema interligado é mais barata. Nesses casos de

atendimento por prazos curtos, ao invés de contratar um PIE, as distribuidoras podem alugar geradores até a data de interligação.

Uma solução intermediária adotada nos leilões de Rondônia, Acre, Amapá e Amazonas, em 2015 e 2016, foi estabelecer contratos de 15 anos, mas visando o atendimento à demanda prevista para o quinto ano de operação. Assim, o incremento de carga a partir do sexto ano deve ser objeto de nova licitação, minimizando o impacto da geração a diesel no longo prazo. Considerando que quase todas as propostas resultantes nesses certames baseavam-se em usinas a diesel, percebe-se que essa solução se mostrou adequada, evitando contratos de maior prazo atrelados ao preço do diesel.

Uma segunda vantagem dessa medida é que, se no momento do leilão as fontes renováveis ainda não se mostraram competitivas, é de se esperar que em um futuro próximo isso venha a ocorrer, em função da queda de custos de equipamentos fotovoltaicos, por exemplo. Assim, em uma segunda contratação, a partir do sexto ano, a carga adicional possa vir a ser atendida por fontes renováveis.

Importante destacar que os editais dos leilões supracitados trouxeram um avanço para inserção futura de renováveis: foi facultado ao empreendedor vencedor do certame alterar seu projeto após a licitação, inserindo fontes renováveis. Porém, os ganhos financeiros dessa alteração serão compartilhados na proporção 70/30%, ou seja, o desenvolvedor faria jus 70% do benefício proporcionado pela mudança, sendo os 30% restantes revertidos aos consumidores na forma de redução de tarifa. Esse mecanismo foi adotado no leilão do sistema isolado de Oiapoque-AP, onde o empreendedor optou pela instalação de um sistema fotovoltaico, não previsto inicialmente, para reduzir o consumo de diesel na termelétrica, até que se conclua a construção da PCH originalmente prevista.

Ainda que tal medida de compartilhamento de ganhos se mostre justa, tende a afastar potenciais investidores em renováveis, pois sujeita os investimentos à aprovação do órgão regulador, sem que haja critérios pré-estabelecidos para a avaliação da ANEEL, representando um risco ao desenvolvedor. Uma forma de se incentivar a maior inserção de fontes renováveis seria permitir ao proprietário das usinas auferir completamente os ganhos econômicos da mudança, até mesmo em função da inovação e riscos envolvidos. Os consumidores e a sociedade ainda se

beneficiariam pela menor emissão de gases de efeito estufa e pela menor exposição às variações do preço do combustível.

Esse posicionamento é reforçado pela Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2016), que sustenta que desenvolvedores, operadores e investidores em micro redes privadas devem poder recuperar os custos de uma operação sustentável em um tempo razoável, considerando margens de lucros compatíveis os riscos envolvidos.

3.3. Custos financeiros e de investimento

Como já exposto, fontes renováveis tendem a requerer maior custo de investimento em equipamentos, porém menor custo operacional. A maior necessidade de capital leva conseqüentemente a um maior custo financeiro, seja em função da necessidade financiamento, seja pelo custo do capital próprio do investidor.

Num cenário de taxas de juros elevadas, como historicamente se verifica no Brasil, essa questão se torna ainda mais relevante, pois leva o investidor a exigir maiores taxas internas de retorno nos projetos, favorecendo tecnologias de menor custo de investimento, como usinas a diesel.

Junta-se a isso a escassez de linhas de crédito competitivas ou diferenciadas para fontes renováveis. Destaca-se que no leilão do Amazonas, de 2016, o BNDES chegou a anunciar uma linha com juros menores, com recursos do Fundo Clima, porém somente para projetos exclusivamente renováveis. Assim, projetos híbridos, com potencial de redução de emissões e de consumo de combustível, não foram contemplados, ao passo que soluções totalmente limpas exigiriam investimentos ainda mais elevados, como em baterias de grande porte, capazes de atender os picos de demanda, ainda que pouco frequentes. Portanto, tal linha de financiamento se mostrou inócua, na medida em que não beneficiou nenhuma proposta.

Na medida em que sistemas híbridos se mostram como uma alternativa de transição para matrizes mais limpas, **recomenda-se que linhas de crédito como a supracitada sejam estendidas a soluções híbridas, desde que promovam maior sustentabilidade se comparadas à solução tradicional.**

Ainda não que diz respeito aos custos de projetos renováveis, uma alternativa para recuperação dos mesmos seria a venda de créditos de carbono. Porém, a burocracia requerida para tanto, atrelada ao baixo valor do mercado de carbono, faz este mecanismo pouco atrativo aos investidores.

3.4. Modelos de planejamento: orientativo versus determinativo

O modelo concorrencial de leilões, no qual diferentes tecnologias competem pela oferta de energia ao menor preço, embora tenha funcionado bem nos leilões do SIN, resultando em contratações expressivas de fontes renováveis, não tem tido o mesmo alcance nos leilões de Sistemas Isolados, que no período de 2014 a 2017 resultaram na contratação majoritária de usinas a diesel, a despeito do número crescente de soluções alternativas ofertadas e da redução de custo de determinadas tecnologias.

Cabe ressaltar que o processo concorrencial pressupõe mercados maduros, com ampla oferta e atores bem consolidados, o que ainda não se verifica nos Sistemas Isolados. Segundo a teoria da microeconomia, o modelo de concorrência perfeita, pressupõe (a) mercados em que nenhum participante tem tamanho suficiente para ter o poder de mercado para definir o preço de um produto homogêneo; (b) a presença de muitos produtores e muitos consumidores; (c) que todos os agentes têm toda a informação relevante e igual acesso à tecnologia e aos fatores de produção; (d) e que não existem barreiras à entrada ou saída do mercado (Stoft, 2002). Tais pressupostos não se aplicam perfeitamente ao mercado de geração de energia elétrica nos Sistemas Isolados brasileiros, uma vez que há poucas empresas atuando nesse setor, exercendo poder de mercado, e que novos entrantes enfrentam dificuldades logísticas e peculiaridades regionais, o que explica em parte a predominância das tradicionais empresas de geração a diesel na região Norte e a dificuldade de entrada de investidores em energias renováveis, ainda que com experiência em outros locais.

O planejamento energético de caráter orientativo tem se mostrado exitoso no SIN⁷, posto que as contratações nos leilões do ACR têm guardado certa

⁷ Os Planos Decenais de Expansão de Energia (PDE), elaborados pela EPE, indicam uma matriz futura de referência. Porém, a efetiva contratação de novas usinas depende dos resultados dos leilões, podendo levar a resultados distintos daqueles planejados.

aderência com as indicações dos Planos Decenais de Energia. Já nos Sistemas Isolados, embora as publicações da própria EPE sugiram a competitividade de sistemas híbridos, associando geração a diesel com solar fotovoltaica, por exemplo, tais proposições não se refletiram nos resultados dos leilões, mostrando um descasamento entre planejamento proposto e realidade contratada.

Dessa forma, considerando a relação entre maturidade de mercado e expansão de novas tecnologias, entende-se que o planejamento do atendimento elétrico a sistemas isolados possa assumir um caráter menos orientativo e mais determinativo, estabelecendo metas claras de penetração de fontes renováveis nos futuros leilões. Nesse sentido, as próprias geradoras a diesel já instaladas poderiam ter metas de redução de emissão de gases de efeito estufa, que provocariam obrigatoriamente o investimento em geração híbrida dos seus investidores.

De fato, é o que ocorre em outros mercados, como aqueles discutidos na seção 2.7.1, em que foram exemplificados casos de sucesso de uso de fontes renováveis em sistemas isolados em outros países. Naqueles exemplos, tais resultados derivaram de parâmetros pré-determinados, tais como tecnologia a ser adotada ou nível máximo de emissões.

Assim, embora se reconheça que o planejamento orientativo busca a modicidade tarifária a partir da inteligência do mercado, entende-se tal consideração não se adequa aos sistemas isolados, onde a baixa oferta e concorrência dificultam a mudança de paradigma na matriz elétrica.

Outro ponto que reforça esse argumento é o caráter locacional dos leilões de sistemas isolados. Enquanto nos leilões do SIN há competição entre projetos em diferentes regiões (desde que haja capacidade de conexão à rede), sem mérito quanto sua contribuição locacional, o mesmo não é possível nos sistemas isolados, por definição. Dada a inexistência, nesses locais, de uma ampla rede de transmissão que conecta geração e carga, como há no SIN, a contratação da geração em mercados isolados pressupõe uma localização pré-determinada dentro da região a ser atendida. A pouca margem de manobra dos proponentes se refere à linha de interesse restrito de suas instalações, que conectarão as usinas propostas à rede de distribuição local, com custo intrínseco ao projeto. Logo, quanto mais distante da subestação de conexão, menos competitiva tende a ser uma solução,

restringindo as possibilidades de localização da mesma, levando conseqüentemente à menor oferta de projetos competindo em um leilão.

Portanto, os sistemas isolados estão distantes das características de um mercado de concorrência perfeita, limitando a entrada de novos atores e o aumento de competição entre os mesmos, o que por sua vez, dificulta mudanças no status quo do predomínio da geração a diesel.

Por tais razões, em sendo desejada a substituição da geração convencional por outras tecnologias mais sustentáveis ambientalmente, **propõe-se que o planejamento a esses sistemas passe a adotar um caráter determinativo, exigindo que as propostas de solução considerem, por exemplo, uma penetração mínima de fontes renováveis**, o que pode ser verificado pela contribuição (percentual da energia total) de cada fonte, por meio de simulações. Tal proposta tem a vantagem de não restringir a participação de tecnologias específicas, ao mesmo tempo em que reconhece a dificuldade em prescindir da geração convencional, se associada a outras fontes que promovam, no mínimo, menor consumo de combustíveis fósseis.

Uma abordagem semelhante foi aplicada às diretrizes do Leilão de Boa Vista e localidades conectadas, de 2019, objeto da Portaria MME nº 512/2018, tendo sido prevista a contratação diferenciada por produtos, sendo um deles exclusivo para fontes renováveis, com prazo contratual maior. Dado que o leilão deverá ocorrer em maio de 2019, data posterior à conclusão desta dissertação, ainda não é possível avaliar os resultados desta medida.

Por outro lado, há que se reconhecer que o planejamento determinativo fica mais suscetível a interferências políticas, na medida em que o formulador de diretrizes deverá deliberar sobre quais fontes, e os respectivos montantes, poderão participar de determinado leilão, restringindo a competição a determinados agentes. Para minimizar essas possíveis interferências, pode-se cogitar a possibilidade de implantação de leilões multiatributos, nos quais se valoram os benefícios desejados. Consultas à sociedade (audiências ou consultas públicas) também se mostram como um mecanismo em prol da transparência e menor dependência de decisões unilaterais de governo.

3.4.1. Leilões adicionais de energia renovável

Desde a publicação do Decreto nº 7.246/2010, as distribuidoras com Sistemas Isolados devem contratar, por meio de leilões, o atendimento a seus mercados. Dentre as possíveis modalidades de contratação, a mais procurada por essas empresas tem sido a “aquisição de energia elétrica e potência de agente vendedor”. Na prática, trata-se da terceirização do serviço de geração de energia elétrica a uma empresa especializada, ficando a distribuidora responsável somente pela sua atividade fim, a distribuição da energia.

Por esse mecanismo, as distribuidoras esperam poder desativar suas usinas antigas, muitas obsoletas e localizadas em áreas urbanas, deixando a cargo do produtor independente a instalação de novas usinas, em locais adequados e aptos ao licenciamento ambiental.

Outra modificação introduzida nesse novo modelo de contratação foi a da gestão do combustível. Antes as distribuidoras eram responsáveis por adquirir, de forma subsidiada, o óleo diesel, não havendo incentivos para o consumo eficiente, o que se reflete nos relatos de desvios de combustível, apontados frequentemente pela população, como abordado anteriormente. Nos contratos resultantes dos leilões recentes, o produtor independente ficará responsável pelo suprimento do diesel, sendo remunerado pela geração de energia. Assim, eventual redução de consumo se traduz em ganhos ao gerador, incentivando-o a gerir bem o fornecimento e gasto de combustível.

Destaca-se que, apesar dessas modificações, continuou prevalecendo nos resultados dos leilões a geração baseada em óleo diesel, mesmo com a participação de projetos de fontes renováveis, que ainda não se mostraram competitivos frente à solução tradicional. Resta, portanto, avaliar possíveis mecanismos de promoção de geração limpa nos sistemas isolados, visando reduzir o impacto ambiental e social da geração a partir de combustíveis fósseis.

Ainda assim, se comparado ao cenário anterior, em que as usinas pertenciam às distribuidoras, a geração por PIEs contratadas via leilão, mesmo quando a óleo diesel, apresenta como vantagem a administração do combustível pelo empreendedor. Assim, há um incentivo natural ao menor consumo e boa gestão da logística de distribuição de combustível, evitando perdas, vazamentos e furtos.

De toda forma, uma possível solução para estimular a inserção de renováveis em locais isolados onde tenha sido contratada geração a diesel seria a **realização de leilões adicionais, exclusivos para renováveis, visando ao atendimento a esses mesmos Sistemas Isolados**, com o objetivo fundamental de reduzir o consumo de óleo diesel nas localidades, deslocando a geração termelétrica por meio de recursos com custo variável muito baixo ou nulo. Destaca-se que essa proposta é um desdobramento da anterior (planejamento determinativo), funcionando como instrumento de operacionalização daquela.

As usinas contratadas nesse segundo leilão teriam a função exclusiva de economizar combustível das usinas principais, reduzindo o custo total de atendimento ao SI, não sendo responsáveis por garantir a segurança do suprimento de energia elétrica, que continuaria dependendo das usinas a diesel.

Justamente por essa razão, entende-se que a contratação adicional não necessariamente precisaria ser feita em lotes, e poderia ser utilizada somente nos sistemas isolados de maior porte, mais atrativas para investimentos, que geralmente são as localidades de maior demanda, e conseqüentemente, as que causam mais impacto nos gastos da CCC. Porém, essa proposta só faz sentido caso o custo total dessa geração renovável seja inferior ao custo variável da usina termelétrica já contratada, o que deverá ser avaliado previamente.

Adicionalmente, seria necessário avaliar o impacto dessa medida na operação das usinas de base, sobretudo considerando que o gerador a diesel poderá ficar sujeito a uma maior modulação de carga e operação em carga parcial, para compensar a variabilidade da produção de fontes intermitentes, como a solar fotovoltaica, por exemplo. Nessas condições, os motores podem trabalhar em um ponto de menor eficiência (e maior consumo específico), possivelmente aumentando também o custo de manutenção, condições estas que podem não ter sido levadas em considerações pelo PIE ao participar do leilão.

Para os futuros leilões de Sistemas Isolados, propõe-se o estabelecimento de metas de penetração de fontes renováveis ou mesmo de limites de emissões, a serem seguidas pelos proponentes participantes desde a etapa da habilitação técnica das propostas de solução de suprimento.

Convém reafirmar que soluções determinativas, tipo *top-down* apresentam como desvantagem a maior suscetibilidade a interferências políticas, ficando menos abertas à inovação, pois partem do princípio de que o planejador conheça a

melhor solução, enquanto os agentes de mercado, com sua agilidade, poderiam propor soluções diferenciadas.

3.5. Tributos e subsídios

Com relação ao subsídio da geração nos Sistemas Isolados, custeado pela Conta de Consumo de Combustíveis- CCC, entende-se que se deve buscar sua racionalização, avaliando as obras (de interligação ou de geração por fontes renováveis) que possam reduzir a utilização de usinas de geração de elevado custo. De toda forma, como não há incentivos para que os agentes de distribuição busquem medidas nesse sentido, **sugere-se que parte do ganho promovido por tais obras se reverta como contrapartida à distribuidora**. Haveria, portanto, um compartilhamento do benefício auferido, entre distribuidoras e consumidores de energia elétrica, que contribuem compulsoriamente com a CCC/CDE.

No que diz respeito ao mecanismo de sub-rogação da CCC, por meio do qual esse fundo pode ser utilizado para pagamento de obras que promovam redução dos seus gastos, há ainda uma dificuldade de acesso a esse recurso, que são liberados somente após a comprovação dos dispêndios e realização das obras. Com isso, na prática, as distribuidoras precisam recorrer a empréstimos bancários para viabilização de seus projetos, para posteriormente, solicitar acesso à CCC por meio da sub-rogação, o que gera um custo financeiro e uma dificuldade adicional às empresas, que acabam por não realizar tais obras. Assim, **propõe-se a liberação antecipada de recursos para a realização de obras que contribuam para a redução dos gastos da CCC**. Espera-se com isso estimular o desenvolvimento de projetos de fontes renováveis ou de extensão de linhas de transmissão, promovendo redução do consumo de óleo diesel. Ressalta-se que tal medida traz uma dificuldade relacionada à fiscalização da execução das obras e cumprimento dos cronogramas e orçamentos aprovados antecipadamente.

Outra possível abordagem para a questão do subsídio provido pela CCC seria a **fixação de uma quantidade máxima de energia elétrica a ser subsidiada ou de um valor teto**. Tal proposta esbarra inicialmente no montante: se um valor absoluto, se por unidade consumidora, ou se calculado a partir de uma média histórica, por exemplo. Nesse arranjo, qualquer consumo de energia elétrica

acima do limite previamente estabelecido não seria arcado pela CCC. Isso poderia abrir espaço para que os consumidores buscassem medidas de eficiência energética e também incentivaria a produção própria de energia elétrica. No entanto, uma calibração equivocada desse limite poderia elevar significativamente a tarifa. Portanto, uma trava de aumento tarifário teria que ser adotada.

Ainda que seja uma possibilidade, a fixação de um limite pode ser contestada diante da natureza do subsídio, que é reduzir o custo de fornecimento de energia elétrica para os consumidores dos Sistemas Isolados.

Por outro lado, em se tratando de uma energia subsidiada, da qual se beneficiam inclusive os grandes consumidores, como indústrias eletro-intensivas, pode-se pensar em estimular a autoprodução por estes, reduzindo os gastos da CCC.

Uma segunda abordagem semelhante seria **a fixação de um valor teto para a CCC**, o que certamente daria maior previsibilidade aos gastos dos Sistemas Isolados. Ademais, poderia ser um estímulo para que os consumidores dos Sistemas Isolados sejam mais parcimoniosos no consumo de energia elétrica. Entretanto, como o custo da geração não coberto pela CCC teria que ser alocado nas tarifas dos consumidores dos Sistemas Isolados, poderia haver elevado impacto tarifário nesses mercados diante de um vigoroso crescimento da demanda.

Tal medida vai de encontro à deliberação do governo federal, por meio do Decreto nº 9.642/2018, de eliminar subsídios da CDE a partir de 2019 com a redução gradual de alguns descontos cobertos por essa conta. Embora a CCC também seja custeada pela CDE, o referido Decreto não tratou dos subsídios aos Sistemas Isolados, a despeito da recomendação do grupo de trabalho que originou essa discussão (MME, 2018b).

Conforme explicado na seção 2.4, uma parte dos desembolsos da CCC destina-se ao recolhimento de tributos incidentes o sobre o custo de aquisição de combustíveis e, em alguns casos, sobre a venda de energia elétrica. Destaca-se entre tais tributos o ICMS, cuja alíquota varia a cada estado. **Assim, uma medida de racionalização dos gastos da CCC seria considerar, no custo de geração nos Sistemas Isolados, para fins de cálculo da CCC, a unificação da alíquota de ICMS, nos diferentes estados, para os combustíveis utilizados na geração termelétrica.** Poderia ser adotado, por exemplo, a menor alíquota atualmente

praticada na região Norte: 17%, caso do Acre e Amazonas, enquanto no Pará esse percentual chega a 25%. Isso porque, atualmente, há um incentivo para que os estados em que estão localizados os Sistemas Isolados pratiquem alíquotas elevadas de ICMS. Essa alteração afetaria diretamente o termo P_{trib} da equação 3.1, reduzindo-o. A diferença entre o montante reembolsado e o custo efetivo, considerando a alíquota praticada, poderia ser custeado pelos estados, forçando-os a reduzir o percentual cobrado, ou alocada pelos geradores nas parcelas i_m ou RAF, por sua conta e risco, estimulando-os a buscar alternativas menos dependentes do diesel.

Uma vantagem dessa proposta reside no fato de que pode ser implementada pelo Poder Executivo e pelo regulador (ANEEL), por meio de ajustes em Decretos e Resoluções Normativas, sem depender diretamente de decisões do Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ, que naturalmente deve se mostrar avesso a reduções de arrecadação.

Uma medida mais extrema seria exigir, como contrapartida dos estados, para que tenham acesso aos recursos da CCC, a renúncia da arrecadação de ICMS, seja sobre o combustível ou geração de energia elétrica (caso do Amazonas), quando gerada a partir de fontes renováveis. Todavia, tais medidas levariam a uma redução de arrecadação, devendo ser discutida no âmbito do CONFAZ.

3.6. Licenciamento ambiental

Apesar dos impactos ambientais de uma usina a diesel, os órgãos licenciadores estaduais e municipais da região Norte já as conhecem bem, assim como seus operadores, facilitando o processo de licenciamento e de eventuais solicitações de condicionantes para emissão de licenças de instalação e operação.

Ainda assim, convém destacar que algumas usinas operam em estado precário, com elevados níveis de emissões e ruído, algumas vezes até mesmo sem licença válida ou sob Termos de Ajustamento de Conduta, firmados junto aos Ministérios Públicos.

Em que pese a simplicidade de um projeto fotovoltaico, a grande área requerida para sua construção (da ordem de 1 hectare para cada MWp) pode se mostrar impeditiva, sobretudo na região da floresta amazônica, onde não faria sentido desmatar para instalar módulos fotovoltaicos.

No caso de aproveitamento de biomassa, por exemplo, a maior dificuldade recai sobre a disponibilidade do insumo energético, cuja atividade de extração deve ser licenciada, como por exemplo, serrarias e extração de madeira, atividades potencialmente impactantes dos pontos de vista social e ambiental.

Aproveitamentos hidrelétricos também podem requerer processos complexos de licenciamento, a exemplo da PCH Salto Cafesoca, em implantação no rio Oiapoque, no Amapá, divisa com a Guiana Francesa. A dificuldade no licenciamento dessa usina provocou atraso no cronograma de implantação, levando ao maior acionamento da termelétrica a diesel. Apesar da simplicidade do arranjo dessa PCH, que dispensa o barramento do rio (faz-se um pequeno desvio na margem direita para turbinamento da água, que é restituída à calha natural logo adiante), o empreendedor enfrentou diversas dificuldades com seu licenciamento, que precisou ser feito pelo IBAMA, por se tratar de rio de fronteira nacional.

Ainda que o IBAMA tenha experiência no licenciamento de usinas hidrelétricas, esse conhecimento é resultado da análise de grandes empreendimentos. Com isso, verifica-se que as exigências do órgão para a pequena central hidrelétrica são similares às feitas para usinas maiores, apesar da simplicidade construtiva e do baixo impacto no curso natural do rio. Dentre as recomendações apontadas pelo instituto para a PCH no Oiapoque, destacam-se a instalação da Linha de Transmissão (LT) subterrânea, o que é usual apenas em ambientes urbanos; a construção de um sistema transposição dos barcos no lado brasileiro, ainda que a estrutura da usina ocupe uma pequena porção da margem do rio, deixando livre a maior parte da calha natural; e a elaboração de um Plano de Mobilidade Urbana e de Transporte, apesar da PCH estar distante da área urbana (IBAMA, 2016).

Convém mencionar que esta usina já dispunha de licença de instalação, que perdeu sua validade antes do início das obras. Como a mesma já havia sido prorrogada uma vez, coube ao empreendedor iniciar um novo processo de licenciamento, desde o início. Assim, apesar de ter sido licenciada anteriormente, o primeiro processo foi desconsiderado, sendo aberto um novo, com exigências muito mais restritivas.

O rigor excessivo do órgão licenciador levou ao atraso da geração hidrelétrica e à consequente maior queima de combustível fóssil para garantir o

suprimento à localidade. Destaca-se que uma usina a diesel foi licenciada na mesma época, rapidamente e sem maiores dificuldades pelo órgão estadual, revelando o contrassenso daqueles que deveriam zelar por menores impactos ao meio ambiente.

Portanto, fica explícita mais uma barreira ao aproveitamento de fontes renováveis nos sistemas isolados: o licenciamento ambiental. Para minimizar essa questão, é importante que os órgãos licenciadores considerem não somente o impacto localizado e isolado de determinada tecnologia de geração, mas também o de sua substituta, favorecendo aquela de menor impacto.

A agilidade e o custo também se mostram fatores críticos, dado que a demora do licenciamento de novas tecnologias pode levar ao maior uso de outras, ao passo que exigências ou contrapartidas onerosas podem inviabilizar novas fontes.

Assim, propõe-se a simplificação do licenciamento ambiental de usinas com geração renovável (ainda que parcialmente, no caso de projetos híbridos), de forma a facilitar a transição para uma matriz mais limpa. Essa simplificação, na prática, se traduz em requisitos de Relatório Ambiental Simplificado (RAS), ao invés de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA). Também deve-se buscar minimizar as condicionantes para tais projetos, tornando-as mais rigorosas quanto maior for o impacto global da solução proposta, levando em consideração, por exemplo, não só os impactos localizados mas também aqueles associados à cadeia logística de suprimento de óleo diesel.

3.7. Considerações finais sobre o capítulo

Tendo sido identificadas as dificuldades e impactos da geração a diesel, bem como as oportunidades para fontes renováveis, o capítulo 3 buscou apontar as barreiras para a maior penetração das renováveis nos Sistemas Isolados e propor mudanças, por meio da proposição de políticas públicas, para que esta transição possa acontecer.

A primeira barreira está ligada a questões culturais e de conhecimento. A solução a diesel funciona há bastante tempo nos sistemas isolados, de forma que

há resistência à mudança tecnologia, sobretudo por parte das distribuidoras, que já dominam a operação das usinas convencionais e a logística associada à distribuição de combustível. Para reverter esse quadro, propõe-se o desenvolvimento de **projetos piloto de usinas híbridas em sistemas isolados de maior porte** (3.1), visando à disseminação do conhecimento acerca das novas tecnologias.

A regulação atual e modelos de contrato de comercialização de energia elétrica nos sistemas isolados também se mostram como um empecilho ao desenvolvimento das fontes renováveis. O arcabouço regulatório dos sistemas isolados foi construído de forma a contemplar as peculiaridades desses locais, refletindo a predominância da geração a diesel. Até mesmo a fórmula de cálculo de preço de energia, utilizada nos leilões, destina-se à remuneração das usinas convencionais, não sendo adequada à remuneração de outras fontes. Além disso, na competição entre soluções, essa fórmula considera o custo atual do diesel, sem levar em consideração os aumentos futuros do mesmo. Uma usina híbrida (solar com diesel, por exemplo) que tenha um maior custo de investimento e financeiro, possivelmente levará a um menor custo futuro, por reduzir o consumo de combustível, o que não é levado em consideração na competição entre soluções nos leilões. Para mudar tal situação, propõe-se que o **risco de elevação do custo do diesel seja repassado ao gerador** (3.2), estimulando-o a buscar soluções menos dependentes dos combustíveis fósseis.

Dado que sistemas híbridos se mostram como uma alternativa de transição, combinando fontes renováveis com geração convencional, e que há linhas de crédito específicas para projetos totalmente renováveis, sugere-se que tais **linhas de crédito sejam estendidas a soluções híbridas** (3.3).

Outra possível abordagem para a maior inserção de fontes renováveis seria a adoção de um **planejamento determinativo** (3.4), ao invés de orientativo como é atualmente. Hoje, os leilões de geração objetivam a contratação das soluções de menor custo, independente da fonte. Esse modelo, no entanto, tem levado à contratação quase que exclusiva de usinas a diesel. Considerando o baixo amadurecimento do mercado de geração nos sistemas isolados, uma forma de promover tecnologias mais sustentáveis ambientalmente seria exigir nos leilões uma penetração mínima de fontes renováveis ou, no caso de localidades cujo suprimento já tenha sido objeto de leilão, realizar um novo certame, exclusivo

para fontes renováveis, visando deslocar a geração a diesel contratada anteriormente.

No que diz respeito à CCC, entende-se que se deve buscar sua racionalização, avaliando as obras (de interligação ou de geração por fontes renováveis) que possam reduzir a utilização de usinas de geração de elevado custo. Propõe-se a **fixação de uma quantidade máxima de energia elétrica a ser subsidiada ou de um valor teto do subsídio** (3.5), estimulando os consumidores a buscar medidas de eficiência energética e de geração distribuída, de modo a reduzir sua exposição ao elevado custo de geração a diesel.

Com relação aos tributos, sugere-se que, **para fins de ressarcimento pela CCC**, seja considerada uma **alíquota única de ICMS** (3.5.1), preferencialmente a menor dentre os estados da região Norte. Outra possibilidade seria a isenção de impostos sobre a geração a partir de fontes renováveis. Todavia, tais medidas levariam a uma redução de arrecadação, devendo ser discutida de maneira mais ampla.

Por fim, propõe-se a **simplificação do licenciamento ambiental de usinas com geração renovável** (3.6). Percebe-se que as poucas iniciativas existentes esbarram em exigências absurdas dos órgãos licenciadores, enquanto as termelétricas continuam operando normalmente, apesar dos impactos ambientais. É importante que sejam avaliados não somente o impacto localizado e isolado de determinada tecnologia de geração, mas também o de sua substituta, favorecendo aquela de menor impacto.

Destaca-se que duas das propostas elencadas ao longo deste capítulo não foram levadas para a avaliação multicritério: (i) dar ao gerador 100% do benefício auferido com a instalação de fontes renováveis posterior ao leilão, como discutido na seção 3.2; e (ii) a extensão de linhas de crédito mais atrativas, até então disponíveis para projetos baseados exclusivamente em fontes renováveis, para soluções híbridas, mesmo que ainda contem com uma parcela de geração a diesel, desde que promovam maior sustentabilidade se comparadas à solução tradicional .

No primeiro caso, entende-se que a mudança depende de uma simples deliberação da agência reguladora, não chegando a representar uma política pública. A segunda proposta não foi contemplada na avaliação multicritério por ter sido elaborada após o término das análises. De toda forma, pode ser contemplada em trabalhos futuros.

Portanto, foram propostas neste capítulo seis políticas públicas que visam aumentar a participação das fontes renováveis nos Sistemas Isolados brasileiros. De forma a subsidiar a decisão sobre qual destas é mais relevante, ou ordená-las em função de sua eficácia, faz-se necessária uma avaliação multicritério. Para tanto, foi desenvolvida uma ferramenta própria, descrita no capítulo 5, cuja aplicabilidade é demonstrada no capítulo 6.

4. Métodos Multicritério para avaliação e seleção de políticas públicas

A tomada de decisão representa um dos grandes desafios, sobretudo no que se refere às políticas públicas, dado o impacto que determinadas medidas podem ter na sociedade. Esse desafio torna-se ainda mais complexo quando se observa a existência de variáveis subjetivas e julgamentos de valor. Os métodos multicritério de apoio à decisão buscam proporcionar a modelagem para a solução de problemas dessa ordem, caracterizando-se como um instrumental importante e de uso crescente nos ambientes organizacionais (Mello, 2015).

No setor de energia é comum encontrar o uso de ferramentas multicritério de apoio à decisão para a seleção de tecnologias de geração. No que diz respeito a políticas públicas, há poucos estudos aplicados nesse setor, embora a literatura esteja farta de aplicações em setores como ambiental, industrial e turismo.

Como não foi encontrado na literatura nenhum método para avaliação e seleção de políticas públicas visando à inserção de fontes renováveis, especialmente em Sistemas Isolados, este capítulo, dividido em quatro seções, busca preencher esta lacuna. A seção 4.1 apresenta uma visão geral sobre métodos multicritério de apoio à decisão sob incerteza, enquanto a seção seguinte trata da aplicação desses métodos para avaliação e seleção de políticas públicas, de forma geral, contemplando diversos setores. A seção 4.3 apresenta as dimensões e os critérios a serem considerados nessa avaliação, visando à inserção de fontes renováveis em sistemas isolados. Por fim, na seção 4.4, são apresentadas as considerações finais sobre o capítulo.

4.1. Métodos multicritério de apoio à decisão sob incerteza

Segundo Martins (2017), os métodos multicritério de apoio à tomada de decisão são ferramentas reconhecidas como ideais para a modelagem de

problemas em que subjetividade, incerteza e ambiguidades estejam presentes.

Dentre estes métodos, destacam-se:

- *AHP (Analytic Hierarchy Process)*: desenvolvido por Saaty (1991) para auxiliar a tomada de decisões complexas, com base na decomposição e síntese das relações entre os critérios selecionados, de forma a priorizar os indicadores e oferecer a melhor resposta;
- *ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité)*: proposto inicialmente por Roy (1968) para avaliar, utilizando soma ponderada, problemas concretos da vida real em que empresas devem decidir sobre novas atividades. Este método já foi aprimorado por diversos autores, conforme a aplicação, e há atualmente diversas variantes (*ELECTRE II*, *ELECTRE III*, *ELECTRE IV*, *ELECTRE IS* e *ELECTRE TRI*);
- *PROMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation)*: trata-se de uma família de métodos, que foi sendo refinada com o tempo. Ao invés de apontar uma decisão correta, auxilia os tomadores de decisão a encontrar a alternativa que melhor se adequa ao objetivo e ao entendimento do problema;
- *TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)*: técnica para avaliar o desempenho de alternativas pela similaridade com a solução ideal, introduzida por Hwang e Yoon (1981).
- *MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique)*: desenvolvido por Bana Costa e Vasnick (1994), oferece uma abordagem baseada unicamente em julgamentos qualitativos sobre diferenças para auxiliar o tomador de decisão a quantificar a atratividade relativa entre as opções disponíveis.

Mello (2015) avaliou as vantagens e desvantagens de diversos métodos, resumindo os resultados encontrados em um quadro.

Quadro 3 – Quadro-resumo dos métodos multicritério de apoio à decisão

Ferramenta	Vantagens	Desvantagens
AHP (Saaty, 1977; 1990; 1991; 2000)	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo simples para construir; - Processo lógico; - Eficiente em lidar com atributos qualitativos e quantitativos; - Resultados de fácil entendimento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dúvidas têm sido levantadas sobre a fundamentação dessa teoria. Existe uma forte visão de que os axiomas em que o AHP se baseia não são suficientemente claros para serem empiricamente testados.
TOPSIS (Hwang e Yoon, 1981)	<ul style="list-style-type: none"> - A consistência interna e solidez lógica; - Fácil de seguir; - Intuitivamente atraente; - Não há cálculos complicados; - Facilmente configurado em MS Excel; - Os resultados são de fácil entendimento; - Valor do índice simples dado; - Os resultados podem ser facilmente demonstrados graficamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Grande número de procedimentos; - Grande número de cálculos; - Fornece um resultado geral.
PROMETHEE (Brans e Vincke, 1984)	<ul style="list-style-type: none"> - Incentiva mais interação entre o decisor e o modelo na procura de boas opções; - Os defensores argumentam que o seu conceito <i>outranking</i> é mais relevante para situações práticas do que o conceito de dominação restritiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Muito conhecimento necessário.
ELECTRE (Roy e Bouyssou, 1993)	<ul style="list-style-type: none"> - Os defensores argumentam que o seu conceito <i>outranking</i> é mais relevante a situações práticas do que o conceito de dominação restritiva; - Pode ser usado para escolher, classificar, e ordenar alternativas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Muito conhecimento necessário. - Não é transparente; - Muito provavelmente será necessário um especialista em métodos multicritérios para ajudar e realizar a análise.
MACBETH (Bana e Costa e Vasnick, 1994)	<ul style="list-style-type: none"> - Julgamento comparativo dos decisores entre os diversos critérios e ações; - É utilizado um software especializado que fornece os pesos dos critérios de acordo com os julgamentos feitos; - A principal vantagem desta técnica é maneira como os decisores expressam suas preferências, de forma qualitativa. 	<ul style="list-style-type: none"> - O <i>software</i> pode não conseguir gerar resultados compatíveis com as comparações realizadas e sugere variações de julgamentos que permitam a aproximação de um resultado; - A possibilidade de se tornar um método cansativo caso haja necessidade de um grande número de comparações.

Fonte: Adaptado de Mello (2015)

Tais métodos podem ainda ser combinados à teoria dos conjuntos *fuzzy* (Zadeh, 1965), possibilitando o tratamento das incertezas presentes nos processos decisórios que envolvam fatores complexos e dinâmicos inerentes ao julgamento humano nas análises, a fim de auxiliar os tomadores de decisão (Cowan, *et al.*, 2009).

Chang (1996), por exemplo, combinou a lógica *fuzzy* com o AHP, para a seleção de professores universitários. Chen (2000) estendeu a lógica *fuzzy* ao TOPSIS, de forma a minimizar a incerteza na modelagem de situações da vida

real. Kaya e Kahraman (2010) desenvolveram um método multicritério, integrando as metodologias *fuzzy* VIKOR e AHP, para o planejamento de fontes renováveis em Istambul. Liu (2014) utilizou o método *fuzzy*-AHP para avaliar fontes renováveis a partir de um índice sustentabilidade. Trindade (2016) propôs um modelo que integra os métodos *fuzzy*-AHP e *fuzzy*-TOPSIS para monitorar e avaliar a capacidade inovativa de empresas. Martins (2017) desenvolveu um modelo *fuzzy* AHP-TOPSIS para avaliação e seleção de tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

A partir dessas experiências, percebe-se que o uso de ferramentas multicritério, sobretudo se combinadas à lógica *fuzzy*, pode auxiliar a tomada de decisão sobre quais políticas públicas seriam mais eficazes para aumentar o uso de fontes renováveis nos Sistemas Isolados. Esta dissertação adota o modelo AHP *fuzzy*-TOPSIS proposto por Martins (2017), segundo o qual combina os benefícios da lógica dos conjuntos *fuzzy* em considerar as incertezas associadas aos processos decisórios com os potenciais dos métodos AHP e TOPSIS. O método AHP é capaz de reduzir decisões complexas em uma série de comparações pareadas e sintetizar os resultados, capturando os aspectos subjetivos e objetivos de uma decisão; o método TOPSIS é utilizado como alternativa à etapa de classificação do AHP para hierarquizar as alternativas, identificando a melhor solução que está mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa (Trindade, 2016).

4.2. Métodos multicritério para avaliação e seleção de políticas públicas

Inicialmente pesquisou-se na bibliografia artigos, dissertações e teses que utilizassem métodos multicritério de apoio à decisão com foco em planejamento energético e políticas públicas, de forma a embasar o desenvolvimento de um modelo capaz de avaliar as opções de políticas públicas. Para tanto, foram consideradas na pesquisa as palavras-chave: “*multicriteria*”; “*MCDM*”; “*public policy*”; “*renewables*” e “*isolated systems*”, sendo selecionados trabalhos em língua portuguesa e inglesa e, preferencialmente os mais recentes, sendo admitidos alguns anteriores a 2013 quando considerados relevantes ou com afinidade ao tema aqui avaliado. Os artigos encontrados foram divididos entre os

que versam sobre alternativas de geração de energia elétrica (11 no total), sendo alguns aplicados a em Sistemas Isolados, e aqueles que tratam de políticas públicas, considerando diferentes setores (9 trabalhos). Os objetivos e métodos utilizados por estes trabalhos estão apresentados no Quadro 4 e no Quadro 5 a seguir.

Quadro 4 – Referências de avaliação de alternativas de geração com base em métodos multicritério

Autores	Objetivo	Método
Lombardi et al. (2016)	Modelagem de diferentes configurações de microgrids para sistemas isolados da Sibéria	AHP
Cavallaro & Ciraolo (2005)	Avaliar a viabilidade de diferentes soluções de turbinas eólicas na ilha de Salina (Itália)	NAIADE
Tsoutsos et al. (2009)	Subsidiar as autoridades regionais de Creta (Grécia) na análise de composições de fontes renováveis para atender a demanda crescente de energia	PROMETHEE I e II
Afgan & Carvalho (2002)	Definir indicadores para avaliação de sistemas energéticos que atendam critérios de sustentabilidade	(revisão bibliográfica)
Mourmouris & Potolias (2013)	Analisar e desenvolver uma estrutura multinível para o planejamento energético e a exploração de fontes de energia renováveis na ilha de Tassos (Grécia)	REGIME
Papadopoulos & Karagiannidis (2008)	Determinar uma penetração atingível fontes de renováveis nas ilhas de Karpathos e Kassos (Grécia)	Electre III
Perera et al. (2013)	Otimizar o processo de concepção de sistemas híbridos de energia	Fuzzy TOPSIS
Haurant et al. (2010)	Selecionar projetos fotovoltaicos mais relevantes dentre os vários propostas para a ilha de Córsega (França)	ELECTRE IS
Martins (2017)	Avaliação e seleção de tecnologias para geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis no Estado do Rio de Janeiro	AHP-TOPSIS
Wimmler et al. (2015)	Destacar a diversidade de métodos disponíveis para apoio à decisão de energias renováveis em ilhas	(revisão bibliográfica)
Wang at al. (2009)	Revisão bibliográfica de diversos métodos e critérios para decisão sobre energias sustentáveis	WSM, WPM, AHP, TOPSIS, Grey relation, MCDA fuzzy, ELECTRE, PROMETHEE

Quadro 5 – Referências de avaliação de políticas públicas com base em métodos multicritério

Autores	Objetivo	Método
Liu et al. (2012)	Avaliar a relação de dependência entre várias dimensões e critérios de políticas para o turismo e sugerir melhorias para o turismo em Taiwan	DEMATEL
Melo et al. (2013)	Avaliar políticas públicas que promovam a disseminação da eficiência energética e fontes renováveis locais no setor de construção civil no Brasil	PROMETHEE
Lirio & Muñoz-Torres (2010)	Desenvolver uma metodologia baseada em lógica <i>fuzzy</i> aplicada à avaliação de subsídios para a indústria europeia	<i>fuzzy</i> -AHP
Nagel & Nagel (1989)	Escolher ou explicar a melhor alternativa, combinação, alocação ou regra de decisão visando à proteção ambiental	TOPSIS
Riesgo & Gómez-Limón (2006)	Analisar várias combinações de políticas para a agricultura e irrigação (alternativas de cobranças pela água)	AHP
Castro (2013)	Escolha da melhor política pública de incentivo à redução da informalidade no Polo de Confecção do Agreste Pernambucano	AHP
Malta et al. (2017)	Identificar, caracterizar e analisar populações em situação de vulnerabilidade socioambiental no município do Rio de Janeiro	AHP e SIG
Defechereux et al. (2012)	Comparar os valores dos responsáveis pelas políticas de saúde na Noruega	Discrete choice survey
Alipour et al. (2018)	Avaliar políticas energéticas de longo prazo sob incerteza no Irã	IFAHP e CBD

Destaca-se a importância em se avaliar essas duas linhas de pesquisa (alternativas de geração e políticas públicas), de forma a preencher a lacuna existente na bibliografia e desenvolver um método de avaliação de políticas públicas votado para o setor de energia.

Como se nota no Quadro 4 e no Quadro 5, as referências adotadas aplicaram diversos métodos multicritério de apoio a decisão, mostrando a presença de fatores subjetivos nas avaliações propostas, além de parâmetros mensuráveis e não mensuráveis analiticamente, fazendo necessário o uso de tais métodos como ferramenta de avaliação.

O método multicritérios de apoio à decisão AHP figura entre os mais frequentes, estando presente em oito dos vinte estudos, enquanto o TOPSIS foi adotado em três destes. Ainda, três trabalhos combinaram a teoria dos conjuntos *fuzzy* para considerar as incertezas. Dado que estes são os métodos comumente adotados na literatura, estes foram conjugados em um modelo híbrido multicritério empregando estas três ferramentas para escolha de políticas públicas em Sistemas Isolados de energia. Modelo este que será descrito no capítulo 5 desta dissertação.

4.3. Dimensões e critérios para avaliação de políticas públicas com vistas à inserção de fontes renováveis em Sistemas Isolados

A adequada avaliação de alternativas de políticas públicas deve levar em consideração todas as dimensões e critérios relevantes à decisão. Segundo Martins (2017), alguns cuidados devem ser observados na definição dos critérios e subcritérios para garantir que todas as dimensões e fatores envolvidos estejam representados de modo apropriado. Por outro lado, no que diz respeito à energia sustentável, Wang *et al.* (2009) afirmam que aumentar a quantidade de critérios não torna a tomada de decisão necessariamente mais útil e que a adoção de menos critérios é benéfica. Portanto, os critérios selecionados devem ser relevantes, mas sem repetitividade.

Liu *et al.* (2012) apontam para a importância de que os critérios levem em consideração as percepções dos formuladores de políticas (tanto dos governos quanto das comunidades) e que esses critérios possam ser tratados de forma individual e interdependente (critério a critério e um critério em relação ao outro).

Rivera-Lirio e Muñoz-Torres (2010), ao avaliarem os subsídios para a indústria europeia por meio de métodos multicritérios, chamaram a atenção para que o desenvolvimento sustentável seja considerado na definição de políticas públicas, de forma a criar um ambiente favorável ao desenvolvimento de práticas socialmente responsáveis.

De maneira similar, Georgopoulou *et al.* (1997), avaliaram opções de fontes renováveis para uma ilha grega e apontaram que o planejamento energético é um problema multicritério e que de múltiplos personagens, levando a pontos de vista conflitantes. Por essa razão, os tomadores de decisão devem propor soluções que minimizem os impactos negativos sobre as dimensões ambientais, sociais e econômicas.

Alipour, *et al.* (2018), ao avaliar políticas energéticas de longo prazo, sugerem que sejam consideradas as dimensões política, econômica, social, tecnológica, legal e ambiental, além de critérios que avaliem a robustez das alternativas. Trata-se, portanto, de um problema multidimensional, com muitos critérios qualitativos de difícil previsão e elevada incerteza. Nessas circunstâncias, os especialistas podem não dispor de conhecimento suficiente ou hesitar em escolher determinadas alternativas.

O Quadro 6 apresenta o mapeamento dos critérios adotados nos estudos selecionados, sendo os mais frequentes: econômico, social, robustez, político, técnico e ambiental.

Quadro 6 – Critérios adotados em trabalhos relevantes na literatura

Autores	Dimensões / critérios
Liu et al. (2012)	Recursos turísticos, Ambiente industrial, Ambiente socioeconômico, Segurança
Melo et al. (2013)	Experiência prévia, Impactos demonstrados, Facilidade de implementação, Potencial de transformação do mercado, Custo para a sociedade, Custo para o consumidor, Compatibilidade com os objetivos estratégicos do governo
Nagel & Nagel (1989)	Aumento de benefícios de decisões corretas, Redução de custos de decisões corretas, Aumento de custos de decisões erradas, Redução de benefícios de decisões erradas, Aumento da probabilidade de benefícios e custos
Riesgo & Gómez-Limón (2006)	Econômico, Social, Ambiental
Castro (2013)	Expansão do Microcrédito, Redução de Impostos, Aumento da Fiscalização
Malta et al. (2017)	Socioeconômica, Infraestrutura, Ambiental, Saúde e Segurança
Defechereux et al. (2012)	Custo-efetividade, Benefícios individuais, Severidade, Grupo-alvo, Propensão ao subsídio, Número de beneficiários
Alipour et al. (2018)	Político, Econômico, Social, Legal, Ambiental, Tecnológico, Robustez
Martins (2017)	Técnico, Ambiental, Econômico, Social, Político
Wimmler et al. (2015)	Técnico, Econômico, Ambiental, Social

Segundo Martins (2017), a escolha dos critérios deve ser em função dos princípios: Sistêmico, Consistência, Independência, Mensurabilidade e Comparabilidade.

No que diz respeito às políticas públicas para atendimento das cargas elétricas dos sistemas isolados, considera-se relevante a confiabilidade do suprimento a sustentabilidade da geração por meio de fontes mais limpas. Para tanto, torna-se necessário desenvolver métodos e critérios de avaliação confiáveis para os processos decisórios de seleção de políticas públicas. A revisão da literatura revela que as avaliações de políticas públicas baseiam-se principalmente nos aspectos econômico, social, robustez, político, técnico e ambiental, conforme apresentado no Quadro 6.

De forma a delimitar as dimensões e os critérios do modelo para avaliação de políticas públicas com vistas à inserção de fontes renováveis em Sistemas Isolados, desenvolvido nesta dissertação, compilou-se no Quadro 7 os diversos critérios adotados nos trabalhos de referência.

Quadro 7 – Revisão da literatura sobre dimensões e critérios

Dimensão	Critério	Literatura	Quantidade
Econômica	Custo de investimento	Lombardi et al. (2016), Cavallaro & Ciraolo (2005), Tsoutsos et al. (2009), Mourmouris & Potolias (2013), Wimpler et al. (2015), Wang at al. (2009)	6
	Custo (de energia) para o consumidor	Lombardi et al. (2016), Martins (2017), Wimpler et al. (2015), Wang at al. (2009), Alipour et al. (2018), Perera et al. (2013), Melo et al. (2013), Troldborg et al. (2014); Štreimikienė et al. (2015); Arce et al. (2015); Al Garmi et al. (2016); Shmelev e Bergh (2016)	12
	Custos de operação e manutenção	Cavallaro & Ciraolo (2005), Tsoutsos et al. (2009), Tsoutsos et al. (2009), Mourmouris & Potolias (2013), Wimpler et al. (2015), Wang at al. (2009)	6
	Economia de energia	Cavallaro & Ciraolo (2005)	1
	Economia/custo de combustível	Cavallaro & Ciraolo (2005), Tsoutsos et al. (2009), Mourmouris & Potolias (2013), Wimpler et al. (2015), Wang at al. (2009), Perera et al. (2013)	6
	Valor presente líquido (VPL)	Mourmouris & Potolias (2013), Papadopoulos & Karagiannidis (2008), Wimpler et al. (2015), Wang at al. (2009)	4
	Tempo de retorno do investimento (<i>payback</i>)	Mourmouris & Potolias (2013), Martins (2017), Wimpler et al. (2015), Wang at al. (2009), Sengül et al. (2014); Shmelev e Bergh (2016)	6
	Risco do investimento	Haurant et al. (2010), Martins (2017), Alipour et al. (2018), Baris e Kucukali (2011); Štreimikienė et al. (2015)	5
	Tempo de vida	Wang at al. (2009), Mourmouris & Potolias (2013), Wimpler et al. (2015)	3
	Custo para a sociedade	Melo et al. (2013)	1
	Rentabilidade	Lirio & Muñoz-Torres (2010)	1
	Lucro	Nagel & Nagel (1989), Riesgo & Gómez-Limón (2006)	2
	Subsídios	Nagel & Nagel (1989), Riesgo & Gómez-Limón (2006), Lirio & Muñoz-Torres (2010), Defechereux et al. (2012)	4
	Crédito	Castro (2013)	1
	Redução de Impostos	Nagel & Nagel (1989)	1
	Custo-efetividade	Defechereux et al. (2012)	1
Poder de barganha	Alipour et al. (2018)	1	
Social	Criação de empregos	Lombardi et al. (2016), Mourmouris & Potolias (2013), Martins (2017), Wimpler et al. (2015), Wang at al. (2009), Lirio & Muñoz-Torres (2010), Riesgo & Gómez-Limón (2006), Kaya e Kahraman (2010), Baris e Kucukali (2011), Sengül et al. (2014), Štreimikienė et al. (2015), Al Garmi et al. (2016), Shmelev e Bergh (2016)	13
	Desenvolvimento local	Tsoutsos et al. (2009), Martins (2017), Liu et al. (2012), Štreimikienė et al. (2015)	4
	Aceitação social	Tsoutsos et al. (2009), Mourmouris & Potolias (2013), Martins (2017), Alipour et al. (2018), Kaya e Kahraman (2010), Baris e Kucukali (2011), Troldborg et al. (2014), Štreimikienė et al. (2015), Arce et al. (2015), Al Garmi et al. (2016)	10
	Benefícios sociais	Mourmouris & Potolias (2013), Wimpler et al. (2015), Wang at al. (2009), Nagel & Nagel (1989), Defechereux et al. (2012), Alipour et al. (2018)	6
	Segurança	Liu et al. (2012), Nagel & Nagel (1989), Malta et al. (2017)	3

Quadro 7 – Revisão da literatura sobre dimensões e critérios (continuação)

Dimensão	Critério	Literatura	Quantidade
Robustez	Experiência prévia	Melo et al. (2013)	1
	Impactos demonstrados	Melo et al. (2013)	1
	Facilidade de implementação	Melo et al. (2013), Martins (2017)	2
	Potencial de transformação do mercado	Melo et al. (2013)	1
	Compatibilidade com os objetivos estratégicos do governo	Melo et al. (2013)	1
	Possibilidade de fiscalização/monitoramento	Castro (2013), Nagel & Nagel (1989)	2
	Vulnerabilidade	Malta et al. (2017)	1
			1
	Viabilidade e operabilidade	Alipour et al. (2018)	1
	Flexibilidade	Alipour et al. (2018)	1
	Resiliência	Alipour et al. (2018)	1
Política	Alinhamento com os acordos internacionais	Martins (2017), Melo et al. (2013), Štreimikienė et al. (2015)	3
	Alinhamento às políticas nacionais	Martins (2017), Melo et al. (2013)	2
	Conformidade com os requisitos legais	Martins (2017)	1
	Novos contratos governamentais	Nagel & Nagel (1989)	1
	Exposição de tomadores de decisões erradas	Nagel & Nagel (1989)	1
	Mudanças na política energética nacional	Alipour et al. (2018)	1
	Dependência externa	Alipour et al. (2018)	1
	Riscos políticos	Alipour et al. (2018)	1
Oportunidades de exportação e riscos	Alipour et al. (2018)	1	

Quadro 7 – Revisão da literatura sobre dimensões e critérios (continuação)

Dimensão	Critério	Literatura	Quantidade
Técnica	Capacidade de produção de energia	Cavallaro & Ciraolo (2005)	1
	Maturidade da tecnologia	Cavallaro & Ciraolo (2005), Tsoutsos et al. (2009), Martins (2017), Wimpler et al. (2015), Wang et al. (2009), Alipour et al. (2018), Troldborg et al. (2014), Arce et al. (2015), Al Garni et al. (2016)	9
	Tempo de implementação	Cavallaro & Ciraolo (2005), Martins (2017), Baris e Kucukali (2011)	3
	Segurança do suprimento	Tsoutsos et al. (2009), Mourmouris & Potolias (2013), Wimpler et al. (2015), Wang et al. (2009)	4
	Eficiência	Mourmouris & Potolias (2013), Wimpler et al. (2015), Wang et al. (2009)	3
	Disponibilidade	Mourmouris & Potolias (2013), Perera et al. (2013), Martins (2017), Alipour et al. (2018), Troldborg et al. (2014), Sengül et al. (2014), Al Garni et al. (2016)	7
	Confiabilidade	Mourmouris & Potolias (2013), Martins (2017), Wimpler et al. (2015), Wang et al. (2009), Baris e Kucukali (2011), Troldborg et al. (2014), Štreimikienė et al. (2015), Al Garni et al. (2016)	8
	Estabilidade da rede	Papadopoulos & Karagiannidis (2008)	1
Ambiental	Emissões de GEE	Lombardi et al. (2016), Tsoutsos et al. (2009), Mourmouris & Potolias (2013), Papadopoulos & Karagiannidis (2008), Martins (2017), Wimpler et al. (2015), Wang et al. (2009), Alipour et al. (2018), Kaya e Kahraman (2010), Baris e Kucukali (2011), Troldborg et al. (2014), Santoyo-Castelazo e Azapagic (2014), Hadian e Madani (2015), Sengül et al. (2014), Štreimikienė et al. (2015), Arce et al. (2015), Al Garni et al. (2016), Shmelev e Bergh (2016)	18
	Material particulado	Lombardi et al. (2016), Wimpler et al. (2015), Wang et al. (2009)	3
	Impacto visual	Cavallaro & Ciraolo (2005), Mourmouris & Potolias (2013), Haurant et al. (2010)	3
	Ruído	Cavallaro & Ciraolo (2005), Wimpler et al. (2015), Wang et al. (2009)	3
	Impacto no ecossistema	Cavallaro & Ciraolo (2005), Haurant et al. (2010), Wimpler et al. (2015), Liu et al. (2012), Nagel & Nagel (1989), Alipour et al. (2018)	6
	Uso da terra	Mourmouris & Potolias (2013), Martins (2017), Wimpler et al. (2015), Wang et al. (2009), Riesgo & Gómez-Limón (2006), Kaya e Kahraman (2010), Troldborg et al. (2014), Hadian e Madani (2015), Sengül et al. (2014), Al Garni et al. (2016), Shmelev e Bergh (2016)	11
	Conformidade com as condições naturais	Martins (2017)	1
	Consumo de água	Martins (2017), Riesgo & Gómez-Limón (2006), Hadian e Madani (2015), Shmelev e Bergh (2016)	4
	Geração e tratamento de resíduos	Martins (2017), Štreimikienė et al. (2015)	2
	Poluição	Nagel & Nagel (1989)	1
	Diversidade genética	Riesgo & Gómez-Limón (2006)	1
Vulnerabilidade ambiental	Malta et al. (2017)	1	

A análise dessas informações, em reunião entre o autor e o orientador desta dissertação, possibilitou a definição das dimensões e critérios adotados na presente avaliação.

Com o intuito de propor um modelo representativo e abrangente para a avaliação e seleção de políticas públicas visando a inserção de fontes renováveis em Sistemas Isolados, considerando as premissas para a definição das dimensões e critérios, foram adotadas nesta pesquisa seis dimensões: (i) econômica; (ii) social; (iii) robustez; (iv) política; (v) técnica e; (vi) ambiental. Além disso, 18 critérios foram propostos e agrupados conforme Quadro 8, a seguir.

Quadro 8 – Dimensões e critérios propostos com base na literatura

Dimensões	Critérios
Econômica	Potencial de transformação do mercado
	Custo para sociedade
	Aumento de subsídios/encargos
	Arrecadação de impostos
Social	Aceitação social
	Acesso à energia elétrica
	Desenvolvimento local
Robustez	Experiência prévia
	Dificuldade de implementação
	“Possibilidade/Facilidade” de monitorar e avaliar as políticas
	Impactos previstos
Política	Alinhamento com os acordos internacionais
	Alinhamento às políticas nacionais
	Riscos políticos
	Governança pública e sustentabilidade do setor
	Dependência externa
Técnica	Confiabilidade do fornecimento de energia
Ambiental	Impacto ambiental

A descrição de todos os critérios que fazem parte desta avaliação encontra no “Instrumento de coleta de dados” submetido aos especialistas e que pode ser encontrado no Apêndice 2.

4.4. Considerações finais sobre o capítulo

O capítulo 4 inicialmente aborda os aspectos gerais dos métodos multicritérios de apoio à decisão, apresentando alguns dos mais utilizados na literatura, algumas vezes combinado à lógica *fuzzy*, de forma tratar as incertezas inerentes a processos decisórios complexos.

Foram encontradas referências de utilização desses métodos em avaliações de alternativas tecnológicas de geração, sendo alguns estudos aplicados a sistemas isolados, e aplicações em avaliação de políticas públicas, porém com maior frequência para outros setores que não o energético. Assim, de forma a desenvolver um modelo adequado ao objetivo desta dissertação (propor políticas públicas visando à inserção de fontes renováveis nos Sistemas Isolados brasileiros), foram combinadas as dimensões e os critérios das referências adotadas, selecionando aqueles mais adequados à avaliação em pauta.

Resta assim selecionar um método adequado e desenvolver o modelo proposto, aplicando essas dimensões e critérios, o que será apresentado nos capítulos seguintes.

5. Modelo AHP-*fuzzy*-TOPSIS para avaliação e seleção de políticas públicas

Este capítulo apresenta um modelo para avaliação e seleção de políticas públicas, com base na integração dos métodos multicritério de apoio à decisão – AHP-TOPSIS, sendo que na fase TOPSIS se faz uso da teoria dos conjuntos *fuzzy*. Este modelo foi desenvolvido a partir do proposto por Martins (2017), de avaliação e seleção de tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, com base em um modelo *fuzzy* AHP-TOPSIS, e também foram adotados alguns conceitos apresentados por Liu et al. (2012), que desenvolveram um modelo para avaliação de políticas públicas visando aumentar o turismo em Taiwan.

Trata-se, portanto, de um modelo conceitual genérico para seleção de políticas públicas, ou seja, não somente aquelas que visem à inserção de fontes renováveis em sistemas isolados, o que será objeto de aplicação do modelo no capítulo seguinte, a partir dos métodos aqui apresentados e dos critérios discutido na seção 4.3.

Dentre os métodos discutidos na seção 4.1, os métodos AHP (*Analytical Hierarchical Process*) e TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*), combinado à lógica *fuzzy*, foram escolhidos para o modelo conceitual ora proposto. Na primeira fase (AHP) são estabelecidos os pesos para as dimensões e critérios para a avaliação de políticas públicas, enquanto na segunda fase (*fuzzy* TOPSIS) essas políticas são hierarquizadas, em função de sua contribuição para a inserção de fontes renováveis em sistemas isolados. Para tanto, são apresentados os conceitos fundamentais de cada método, bem como da teoria dos conjuntos *fuzzy*, que permite a consideração das incertezas e imprecisões associadas aos processos decisórios.

5.1. Lógica Fuzzy

Para o modelo AHP-*fuzzy*-TOPSIS desenvolvido, o número *fuzzy* triangular foi adotado como variável de quantificação e operações aritméticas. A seguir são apresentados os conceitos básicos da teoria de conjuntos *fuzzy*, utilizando-se as notações matemáticas contidas na dissertação de Martins (2017).

5.1.1. Teoria de conjuntos fuzzy

Segundo Zadeh (1965), a noção de um conjunto *fuzzy* fornece um ponto de partida conveniente para a construção de uma estrutura de trabalho conceitual que se assemelha em muitos aspectos do modelo utilizado no caso de conjuntos comuns, mas é mais geral que este e pode vir a ter um alcance muito maior de aplicabilidade, particularmente nos domínios da classificação de padrões e processamento de informações. Essencialmente, a teoria de conjuntos *fuzzy* e a lógica *fuzzy* fornecem um ferramental matemático para lidar com os problemas em que há imprecisão e a ausência de critérios bem definidos.

De acordo com Muller (2016), o termo “imprecisão”, na descrição acima, não deve ser entendido como falta de precisão em algo, e sim com a falta de conhecimento sobre um determinado parâmetro, modelando, desta forma, as incertezas inerentes ao processo decisório. Assim, a teoria dos conjuntos *fuzzy* e a lógica *fuzzy* fornecem uma estrutura matemática em que fenômenos conceituais vagos podem ser rigorosamente estudados.

5.1.2. Conjunto *fuzzy* e números *fuzzy*

Os conjuntos convencionais são definidos pela enumeração de seus elementos ou por uma condição que defina se o elemento pertence ou não ao conjunto. Já os conjuntos *fuzzy* podem ser vistos como uma generalização da teoria dos conjuntos convencionais, na qual a função de pertinência dos elementos do conjunto pode variar entre 0 e 1, para conjuntos normalizados. Neste caso, não é possível dizer que um determinado elemento não pertence ao conjunto, e sim que o elemento pertence ao conjunto com certo grau de pertinência. Um conjunto

fuzzy é definido por uma função chamada de função de pertinência, podendo ser interpretado como a ponte que liga o conceito impreciso à sua modelagem numérica, atribuindo-se a cada indivíduo no universo um valor entre 0 e 1, que representa o grau de pertinência deste indivíduo ao conjunto *fuzzy* (Muller, 2016). Dito de outra forma, nem todos os problemas reais podem ser tratados de modo binário (sim ou não, tudo ou nada), podendo haver situações intermediárias.

Segundo Martins (2017), números *fuzzy* são resultado de operações matemáticas a partir de conjuntos *fuzzy*. Um conjunto *fuzzy* F atribui a cada elemento do universo um valor entre 0 e 1, que representa o grau de pertinência de um conceito impreciso ao conjunto *fuzzy*. Este valor de pertinência é definido pela equação 5.1.

$$F = \{(x, \mu(x)) / x \in U\} \quad 5.1$$

A Figura 10 ilustra um conjunto *fuzzy* trapezoidal, cujo domínio é constituído pelos números reais; o eixo y representa o grau de pertinência ao conjunto, contém valores entre 0 e 1, a curva representa a função de pertinência do conjunto.

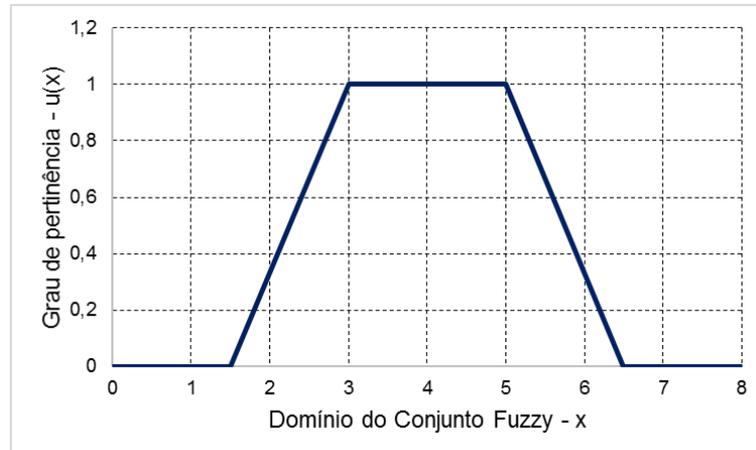


Figura 10 – Conjunto *fuzzy* trapezoidal
Fonte: Martins (2017)

Algumas condições são necessárias para que um conjunto *fuzzy* represente um número *fuzzy*:

- Definido no conjunto dos números reais;
- Função de pertinência contínua;
- Conjunto *fuzzy* deve ser normalizado e;
- O conjunto *fuzzy* deve ser convexo.

Segundo Souza (2010), os números *fuzzy* mais comuns são os triangulares, gaussianos e trapezoidais (como na Figura 10). Um número *fuzzy* triangular, como mostrado na Figura 11, deve ter função de pertinência da seguinte forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x \geq a_3 \end{cases} \quad 5.2$$

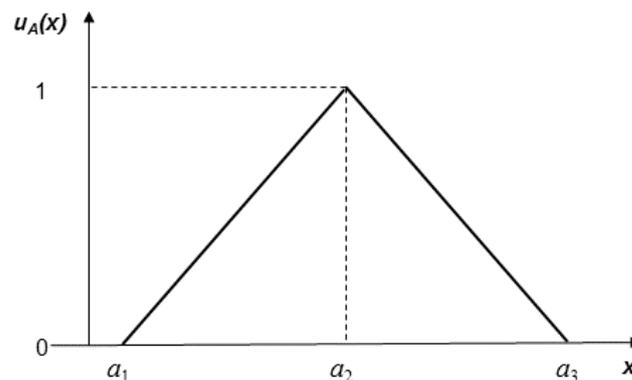


Figura 11 – Número *fuzzy* triangular $A=[a_1, a_2, a_3]$
Fonte: Martins (2017)

Na figura acima, o eixo x contém os parâmetros que definem o triângulo (a_1, a_2, a_3) e o eixo y representa o grau de pertinência para cada valor de x .

O número *fuzzy* triangular foi escolhido por representar de modo adequado os dados utilizados neste trabalho, assim como feito por Rivera-Lirio e Muñoz-Torres (2010), Perera, *et al.* (2013), Martins (2017), Trindade (2017) e Alipour, *et al.* (2018).

5.2. Visão geral do modelo

A Figura 12, a seguir, mostra a representação gráfica do modelo de avaliação e seleção de políticas públicas, dividido em duas fases. A primeira, AHP, possui quatro etapas, a saber:

- Construção e organização da estrutura hierárquica, por meio da identificação do foco principal, das dimensões e dos critérios, refletindo as relações existentes entre eles;
- Aquisição dos dados e coleta de julgamentos de valor, comparando os elementos dois a dois e estabelecendo as matrizes de comparações;
- Análise de consistência das matrizes de comparação pareadas geradas na fase anterior;
- Análise dos indicadores de desempenho derivados, por meio do índice de consistência por exemplo.
- Obtenção dos pesos das dimensões e dos critérios de AHP.

Após a avaliação dos pesos de cada dimensão e critério gerados na etapa anterior, inicia-se a segunda fase – *fuzzy*-TOPSIS. Esta fase consiste das seguintes etapas:

- Constituição das matrizes de avaliação das alternativas, agregando os valores linguísticos fornecidos pelos tomadores de decisão;
- Definição da solução ideal positiva e negativa (FPIS e FNIS) e definição da distância para FPIS (D+) e para FNIS (D-);
- Determinação da proximidade relativa do valor ideal e definição do *ranking* a partir da ordenação decrescente dos valores obtidos por cada alternativa.

As etapas do modelo, apresentadas na Figura 12, são descritas nas seções seguintes.

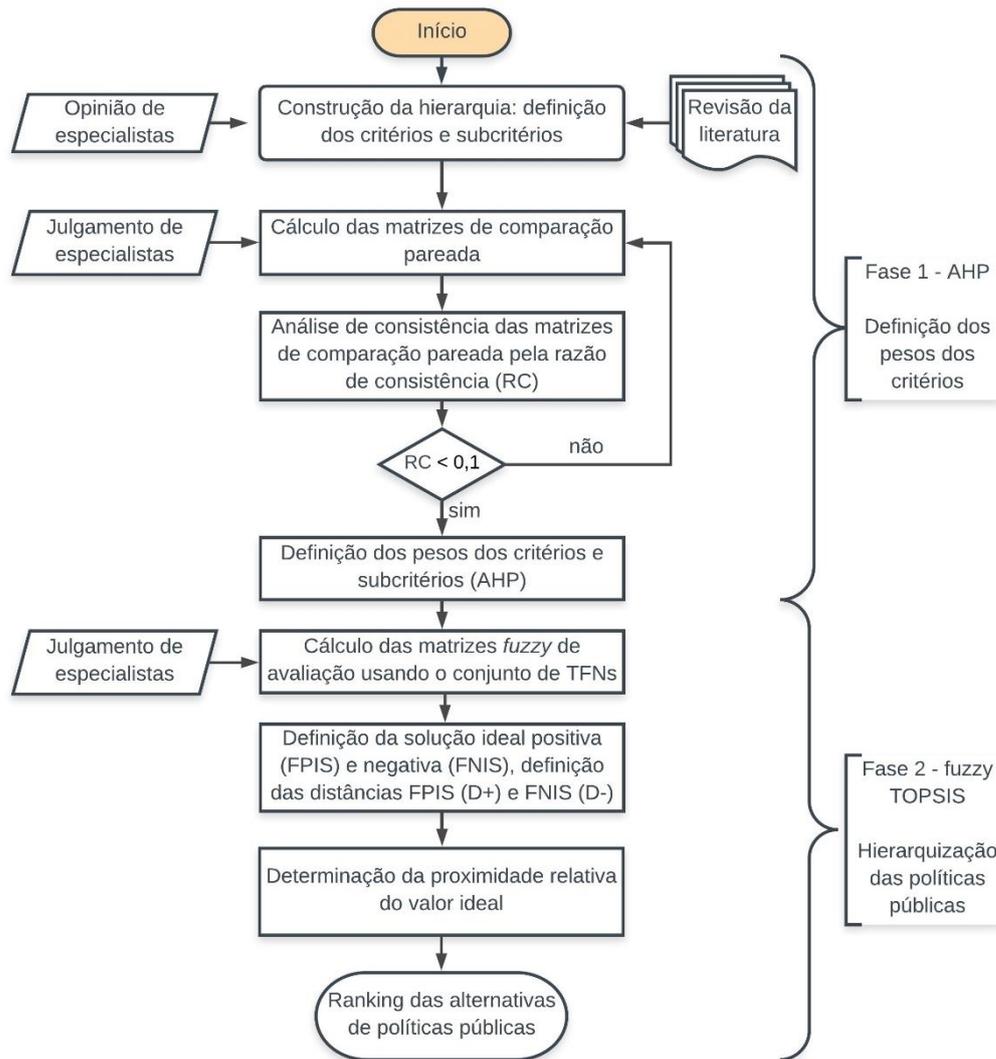


Figura 12 – Modelo AHP-fuzzy-TOPSIS para avaliação e seleção de políticas públicas

5.3. Descrição da fase I – AHP

Desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), é um dos métodos de apoio à decisão mais disseminado, podendo ser aplicado tanto para decisões simples quanto em problemas complexos, em diferentes áreas para solucionar problemas relacionados à seleção e avaliação subjetiva de alternativas.

O fundamento do método AHP é a decomposição e a síntese das relações entre critérios. Dessa forma, é possível chegar a uma priorização que estará mais próxima da melhor resposta de medição única (Saaty, 1977; 1990; 1991; 2000). Resumidamente, a ideia central da teoria é o estudo de sistemas a partir de uma sequência de comparações aos pares, transformando um problema maior em

avaliações mais simples e de menor importância, ou seja, o problema complexo é dividido em outros menores e, quando eles forem solucionados um a um e posteriormente somados, devem representar a decisão a ser tomada para a resolução do problema inicial.

Saaty ressalta que este é o método natural de funcionamento da mente humana: frente a um grande número de elementos, ela executa comparações e os agrupa de acordo com determinada propriedade, repetindo esse processo para outros níveis, atingindo seu máximo quando a repetição representa o objetivo do processo decisório, revelando então uma hierarquia (Mello, 2015).

De acordo com Saaty (1991), a comparações por pares é a forma mais racional para realizar os julgamentos, já que dessa forma captura-se tanto as medidas objetivas quanto as subjetivas, indicando a intensidade de domínio de um dada alternativa em relação a outra, bem como permite a avaliação de aspectos quantitativos e qualitativos do problema, minimizando as falhas nas tomadas de decisões.

Há que se considerar, no entanto, que estudos na área da economia comportamental mostram que frequentemente são observados vieses sistemáticos no julgamento de decisões, levando a preferências intuitivas que violam consistentemente as regras da escolha racional. De maneira geral, as pessoas se apoiam em um número limitado de princípios heurísticos que reduzem as tarefas complexas de avaliar probabilidades e prever valores a operações mais simples de juízo (Kahneman, 2012).

Calili (2018) resumiu 3 princípios básicos do método AHP, e suas etapas, estabelecidos por Saaty (1991):

Princípios básicos do AHP:

- **Construção de hierarquias**, colocadas em camadas específicas;
- **Definição de prioridades**, comparando pares à luz de um foco ou critério (julgamentos paritários);
- **Consistência lógica**, com vistas a avaliar o modelo de priorização.

As etapas do AHP podem ser resumidas:

1. Identificação das alternativas e atributos significantes.
2. Indicação da significância relativa entre os atributos (pesos).
3. Especificação das preferências para cada atributo e par de alternativas.

4. Registro das comparações entre os atributos e as alternativas em matrizes na forma de frações entre 1/9 e 9. Cada matriz é avaliada pelo seu autovalor para verificar a coerência dos julgamentos. Este procedimento gera uma “razão de coerência” que será igual a 1 se todos os julgamentos forem coerentes entre si.
5. Cálculo dos valores globais de preferência para cada alternativa.

A Figura 13 ilustra os elementos hierárquicos da resolução de problemas de decisão por meio do AHP, quais sejam:

1. Meta (ou foco principal): objetivo global, o que a resolução do problema trará;
2. Conjunto de critérios: características ou propriedades a partir das quais as alternativas devem ser avaliadas; e
3. Conjunto de alternativas viáveis: possibilidades de escolha dentro do problema para que a decisão seja tomada.

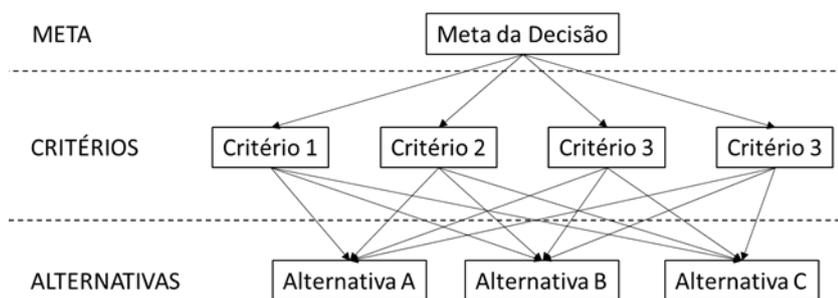


Figura 13 – Exemplo de estrutura hierárquica de problemas de decisão (em três níveis)

Fonte: Saaty (1991)

Cabe ressaltar que no modelo proposto na presente dissertação, a etapa de escolha das alternativas está baseada na teoria *fuzzy-TOPSIS*, sendo abordada na seção 5.4.

Após a hierarquização, o método aponta para os julgamentos de valor, em que o avaliador deve comparar os elementos dois a dois à luz de um determinado critério. O julgamento é então a representação numérica dessa relação e o grupo de todos os julgamentos, considerando a comparação de todos os elementos em relação a um critério específico, podendo ser representado através de uma matriz quadrada (Saaty, 1991).

Para avaliar o nível de importância de cada critério e subcritério nas comparações pareadas, Saaty (1991) definiu uma escala, de 1 a 9, mostrada no

Quadro 9, que busca capturar os a subjetividade do julgamentos dos especialistas. Assim, no julgamento por comparação pareada, os especialistas devem indicar, por meio desta escala, qual dos dois elementos é o mais importante e com qual intensidade ele é mais importante, à luz do objetivo pretendido.

Ao critério mais importante atribui-se um valor inteiro e ao menos importante o valor inverso, obtendo-se uma matriz quadrada, recíproca e positiva, como mostra a Figura 14.

Quadro 9 – Escala de Saaty

Nível de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um atributo é muito fortemente favorecido em relação ao outro; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre as duas definições

Fonte: Saaty (1991)

Matriz A

	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Figura 14 – Exemplo didático de matriz de julgamentos AHP
Fonte: Saaty (1991)

No exemplo da matriz da Figura 14, o critério A é preferível ao critério C, sendo atribuídos ao primeiro o grau de importância 6 sobre o segundo. Logo, C em relação a A recebe o valor inverso, 1/6, nessa comparação pareada. A partir desta matriz obtém-se o vetor de prioridades, ou pesos, a partir do cálculo do autovetor normalizado do máximo autovalor.

Em seguida, faz-se a análise de consistência das matrizes de comparação pareadas, por meio da razão consistência (RC), para se medir o quanto os julgamentos foram consistentes em relação a grandes amostras de juízos aleatórios. A Razão de Consistência (RC) é uma medida para avaliar a probabilidade dos julgamentos terem sido realizados puramente ao acaso. Por exemplo, um $RC = 0,3$ diz que há 30% de chance do especialista responder as perguntas aleatoriamente (Mello, 2015).

Para calcular a RC é necessário, primeiramente, obter λ_{max} , que representa o maior autovalor da matriz A, obtido a partir da equação 5.3.

$$Aw = \lambda_{max}w \quad 5.3$$

Onde:

A é a matriz de prioridades; e

w é o vetor de prioridades.

Após calcular λ_{max} , deve-se obter o Índice de Consistência (IC), conforme equação 5.4. em que “n” é o número de critérios ou alternativas.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad 5.4$$

Em seguida, determina-se o Índice Randômico (IR), que é um valor tabelado de consistência aleatória, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Índice de consistência aleatória (IR)

Tamanho n	1	2	3	4	5	6	7	8
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40

Fonte: Martins (2017)

Por fim, calcula-se a Razão de Consistência (RC), dada por:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad 5.5$$

Segundo Saaty (1991), a inconsistência é um fato inerente ao ser humano e, portanto, deve existir uma tolerância para a sua aceitação, sendo proposta a aceitação de julgamentos que gerem uma inconsistência com $RC < 0,1$.

Mello (2015) resumiu que um julgamento pode ser considerado coerente quando $RC \leq 0,1$. Se $0,1 < RC < 0,2$, tem-se um julgamento questionável, devendo ser revisto, buscando melhorar alguma(s) comparação(ões) que tenha(m) sido inconsistente(s). Porém, se $RC \geq 0,2$, considera-se o julgamento incoerente, ou seja, as comparações pareadas daquela etapa geraram um alto índice de

inconsistência e o especialista deve refazer seus julgamentos. Como mostrado na Figura 12, nesta dissertação foram aceitos valores de $RC \leq 0,1$.

Finalmente, tendo sido obtidos valores de Razão de Consistência aceitáveis, deve-se calcular os pesos relativos de cada dimensão e critério, por meio da multiplicação das matrizes de prioridades, conforme equação 5.6.

$$F(a) = \sum_{j=1}^n w_j v_j(a) \quad 5.6$$

Onde:

$F(a)$ é o valor final de alternativa a ;

w_j é o peso do j -ésimo critério;

v_j é o desempenho da alternativa em relação ao j -ésimo critério.

5.4.

Descrição da fase II – Fuzzy TOPSIS

A partir dos pesos calculados na Fase I, pode-se iniciar a Fase II – *fuzzy* TOPSIS, na qual os valores de cada dimensão e critério são fornecidos pelos especialistas, no processo de avaliação de cada política pública. Propõe-se que a método *fuzzy* TOPSIS seja utilizado, em função da incerteza inerente ao ambiente de decisão, conforme descrição de Chen (2000). Para esta classificação vaga e subjetiva, é comumente usada a escala Likert de cinco pontos, mostrada na Tabela 4, na qual cada ponto representa um nível de maturidade, e conseqüentemente, cada nível recebe um valor numérico triangular *fuzzy*, como proposto por Martins (2017), cuja dissertação serviu de base para o equacionamento do método híbrido *fuzzy* TOPSIS aqui utilizado.

Tabela 4 – Termos linguísticos e respectivos valores numéricos para os critérios qualitativos

Descrição	Grau de aplicação da política pública
Muito baixa (MB)	1
Baixa (B)	2
Média (M)	3
Alta (A)	4
Muito alta (MA)	5
Não aplicável (NA)	-

A exemplo da aplicação do método AHP, descrito na seção 5.3, para definição dos pesos dos critérios de decisão, o emprego do método *fuzzy* TOPSIS

também requer a participação de especialistas (decisores) para julgar o grau de atendimento de cada indicador aos critérios de decisão previamente ponderados pelo método AHP.

A literatura não define uma quantidade mínima de especialistas a serem consultados, sendo desejável o maior número possível, de forma a se obter avaliações mais robustas. Deve-se porém concentrar as consultas naqueles que realmente entendam do assunto estudado e que tenham disponibilidade de responder à consulta adequadamente, para não comprometer a qualidade dos julgamentos.

Na fase de aplicação do modelo, deverá ser adotada a escala concebida por Chen (2000) para emprego do método *fuzzy* TOPSIS em ambientes de incerteza.

Assim, a Fase II do modelo divide-se nas seguintes etapas, a saber:

- Cálculo das matrizes de avaliação, utilizando o conjunto de termos linguísticos *fuzzy*;
- Definição da solução ideal *fuzzy* positiva e negativa (FPIS e FNIS) e definição da distância para FPIS (D+) e para FNIS (D-) e;
- Determinação da proximidade relativa do valor ideal, tendo como resultado a ordenação final.

Registradas as notas atribuída pelos especialistas, converte-se os valores para números triangulares *fuzzy*, como mostra o Quadro 10, proposto de Chen (2000), porém com outra escala *fuzzy* triangular.

Quadro 10 – Termos linguísticos e correspondentes números *fuzzy* triangulares para avaliação quantitativa dos indicadores

Grau de atendimento ao critério	Termo linguístico	Escala <i>fuzzy</i> triangular
1	Muito baixa (MB)	(1, 1, 1)
2	Baixa (B)	(1, 2, 3)
3	Média (M)	(1, 3, 2)
4	Alta (A)	(2, 4, 3)
5	Muito alta (MA)	(5, 5, 5)

Fonte: Adaptação de Chen (2000).

Aos termos linguísticos fornecidos pelos especialistas (DM_r), agregam-se números *fuzzy* triangulares, conforme escala apresentada no quadro 4.6.

A equação 5.7 deve ser usada para agregar as pontuações atribuídas às alternativas (A_i). Nesta equação, \check{X}_{ij} refere-se ao grau de atendimento ao critério

C_j ($j = 1, \dots, m$), atribuído à alternativa A_i ($i = 1, \dots, n$), avaliado pelo decisor DM_r ($r = 1, \dots, k$).

As avaliações dos pesos dos critérios são agregadas usando a equação 5.8, na qual \tilde{W}_j corresponde ao peso do critério, dado por DM_r .

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^r + \dots + \tilde{x}_{ij}^k] \quad 5.7$$

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \dots + \tilde{w}_j^k] \quad 5.8$$

A partir dos termos linguísticos e respectivos valores *fuzzy*, a matriz de decisão *fuzzy* \tilde{D} é construída, conforme equação 5.9.

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1j} & \dots & \tilde{x}_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \dots & \tilde{x}_{ij} & \dots & \tilde{x}_{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nj} & \dots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad 5.9$$

Onde A_n são as alternativas e x_{mn} são os valores apontados pelos especialistas.

Em seguida, a matriz \tilde{D} deve ser normalizada, utilizando-se uma escala de transformação linear. A matriz normalizada \tilde{R} é dada pela equação 5.10, sendo \tilde{r}_{ij} obtido por meio das equações 5.11 ou 5.12 (correspondentes aos casos de critérios de benefício ou de custo).

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad 5.10$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right) \quad 5.11$$

sendo $u_j^+ = \max_i u_{ij}$ (critérios de benefício)

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right) \quad 5.12$$

sendo $l_j^- = \min_i l_{ij}$ (critérios de custo)

Para a obtenção da matriz normalizada e ponderada \tilde{V} , utiliza-se a equação 5.13, por meio da multiplicação dos pesos \tilde{w}_j pelos elementos \tilde{r}_{ij} da matriz normalizada, de acordo com a equação 5.14.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad 5.13$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{w}_j \quad 5.14$$

O próximo passo da aplicação do método *fuzzy* TOPSIS é calcular a solução ideal positiva *fuzzy* (*Fuzzy Positive Ideal Solution*, FPIS, A^+) e a solução ideal negativa (*Fuzzy Negative Ideal Solution*, FNIS, A^-), conforme as equações 5.15 e 5.16, nas quais $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$ e $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$.

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_j^+, \dots, \tilde{v}_m^+\} \quad 5.15$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_j^-, \dots, \tilde{v}_m^-\} \quad 5.16$$

Para o cálculo da distância D_i^+ entre os valores de FPIS e as pontuações das alternativas da matriz \tilde{V} , deve-se usar a equação 5.17. Analogamente, o cálculo da distância D_i^- entre os valores FNIS e as pontuações das alternativas deve ser realizado conforme equação 13.

Nas equações 5.17 e 5.18, $d(\tilde{x}, \tilde{z})$ representa a distância entre dois números *fuzzy*, que pode ser obtida utilizando-se a equação 5.19 (para o caso de números *fuzzy* triangulares).

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad 5.17$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad 5.18$$

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_x - l_z)^2 + (m_x - m_z)^2 + (u_x - u_z)^2]} \quad 5.19$$

Para cada um dos indicadores avaliados, deve-se calcular o coeficiente de aproximação CC_i com a FPSIS e a FNIS, de acordo com a equação 5.20

$$CC_i = \frac{D_i^-}{(D_i^+ + D_i^-)} \quad 5.20$$

Finalmente, obtém-se a hierarquização das alternativas para cada um dos critérios do modelo, pela ordem decrescente dos valores de CC_i . Quanto mais próximo de 1,0 for este valor, melhor é o grau de atendimento do indicador aos critérios de decisão.

6. Aplicação do modelo proposto para seleção de políticas públicas nos Sistemas Isolados brasileiros

Este capítulo visa demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto em um caso específico: seleção de políticas públicas nos sistemas isolados brasileiros, visando a inserção de fontes renováveis, de forma a validação do modelo conceitual apresentado no capítulo 5. Para tanto, descreve-se a coleta de dados, realizada por meio do instrumento submetido a especialistas, a análise e formatação destes dados em cada etapa do modelo e, por fim, discutem-se os resultados encontrados.

6.1 Coleta dos dados

A coleta de dados se deu por meio de consulta aos especialistas no setor de energia elétrica, de diferentes instituições (academia, empresas privadas e instituições públicas), tendo sido feita em duas etapas, sendo a primeira para definir os pesos das dimensões e critérios adotados; e a segunda com o objetivo de definir os atributos de cada uma das seis alternativas de políticas públicas, considerando as 6 dimensões e os 18 critérios discutidos na seção 4.3.

A primeira etapa – definição dos pesos das dimensões e critérios – foi realizada inicialmente pelo autor e, em seguida, discutida em reunião com dois especialistas, oportunidade em que os pesos atribuídos no primeiro momento foram revistos.

Os critérios discutidos foram agrupados em seis dimensões: (i) econômica; (ii) social; (iii) robustez; (iv) política; (v) técnico e; (vi) ambiental, cujas definições adotadas são descritas a seguir:

- Econômica: nesta dimensão, avaliam-se os impactos econômicos, diretos e indiretos que a adoção de determinada política pública pode causar à sociedade.

- Social: nesta dimensão, analisa-se a contribuição das políticas públicas no desenvolvimento social associado à implementação destas, ou seja, o quanto a sociedade, sobretudo a local, se beneficiaria com a aplicação de tal política.
- Robustez: esta dimensão avalia robustez da política proposta, ou seja, se sua aplicação é factível e razoável e se seus efeitos podem ser mensurados, de forma a garantir os resultados desejados.
- Política: nesta dimensão, avalia-se o alinhamento das propostas com o cenário político global e setorial, o nível de exposição às influências políticas que possam distorcê-las ou prejudicar sua aplicação.
- Técnica: dado que a implantação das políticas públicas propostas deve levar à adoção de novas tecnologias de geração, nesta dimensão avalia-se o impacto dessa mudança no fornecimento de energia elétrica.
- Ambiental: nesta dimensão, analisam-se as interações de cada uma das alternativas com o meio ambiente e os principais impactos decorrentes de sua adoção.

O Quadro 11 apresenta a estrutura hierárquica adotada nas duas etapas, evidenciando as dimensões e critérios discutidos nesta etapa do trabalho.

Para a definição dos atributos das dimensões, na segunda etapa, elaborou-se e aplicou-se um instrumento de pesquisa, submetido a dezenove especialistas, dos quais dez responderam a consulta, avaliando as seis políticas públicas sugeridas à luz dos 18 critérios apresentados no Quadro 11. O Apêndice 2 apresenta esse instrumento e as descrições de cada critério.

No instrumento de coleta de dados, utilizou-se uma escala *Likert* de cinco pontos, visando obter a opinião dos especialistas quanto ao grau de uso ou aplicação de cada dimensão em relação a cada um dos critérios, tendo sido considerados os níveis: muito baixo; baixo; moderado; alto; muito alto. Foi dada ainda a opção “não aplicável” (NA), caso o especialista consultado entendesse que a política avaliada não se aplica a determinado critério ou que não guarda relação com o mesmo.

Quadro 11 - Estrutura hierárquica do instrumento de pesquisa

Dimensões	Crítérios
Econômica	E ₁ Potencial de transformação do mercado
	E ₂ Custo para sociedade
	E ₃ Aumento de subsídios/encargos
	E ₄ Arrecadação de impostos
Social	S ₁ Aceitação social
	S ₂ Acesso à energia elétrica
	S ₃ Desenvolvimento local
Robustez	R ₁ Experiência prévia
	R ₂ Dificuldade de implementação
	R ₃ "Possibilidade/Facilidade" de monitorar e avaliar as políticas
	R ₄ Impactos previstos
Política	P ₁ Alinhamento com os acordos internacionais
	P ₂ Alinhamento às políticas nacionais
	P ₃ Riscos políticos
	P ₄ Governança pública e sustentabilidade do setor
	P ₅ Dependência externa
Técnica	T ₁ Confiabilidade do fornecimento de energia
Ambiental	A ₁ Impacto ambiental

6.2

Formatação, análise e apresentação dos resultados

Os resultados da etapa de coleta (primeira e segunda etapas) deram origem a uma série de dados a respeito das políticas públicas visando a inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados brasileiros, a serem hierarquizadas com a aplicação do modelo proposto no capítulo 5.

A partir desses dados, procedeu-se a uma análise preliminar dos julgamentos dos especialistas, considerando-se as razões de consistência resultantes das comparações pareadas dos critérios (primeira etapa) e, no caso da segunda etapa, foram analisadas a frequência e a dispersão das notas atribuídas pelos especialistas a cada política considerando cada critério. Dessa forma, foi possível compor os indicadores dos pesos das dimensões avaliadas. Na sequência, os resultados desta análise preliminar foram formatados para aplicação propriamente dita do modelo em duas fases considerando: (i) AHP; e (ii) *fuzzy-TOPSIS*.

6.2.1

Fase I – AHP: definição de pesos dos critérios

Como descrito na seção 5.3, inicialmente é necessário atribuir pesos aos critérios previamente estabelecidos. Para tanto, fez-se a comparação pareada entre as dimensões e entre os critérios de uma mesma dimensão. Os critérios referem-se às seis dimensões adotadas, conforme a estrutura hierárquica apresentada na Figura 15.

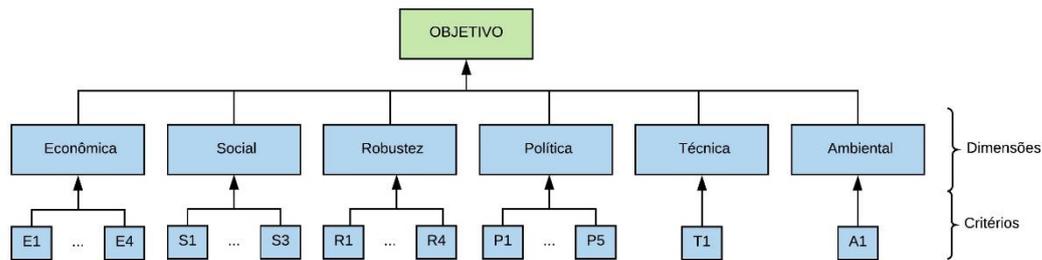


Figura 15 - Estrutura hierárquica do modelo para avaliação e seleção de políticas públicas para inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados

O Quadro 12 e o Quadro 13 mostram os resultados da comparação pareada, entre dimensões e entre critérios, respectivamente, já considerando a opinião dos especialistas consultados.

Quadro 12 - Julgamento relativo de grau de importância entre dimensões

Preferência		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Econômica	X Social			X						
Econômica	Robustez	X		X						
Econômica	Política	X	X							
Econômica	X Técnica		X							
Econômica	X Ambiental				X					
Social	Robustez	X			X					
Social	Política	X		X						
Social	Técnica	X		X						
Social	Ambiental	X	X							
Robustez	X Política			X						
Robustez	X Técnica		X							
Robustez	X Ambiental		X							
Política	Técnica	X	X							
Política	X Ambiental		X							
Técnica	X Ambiental			X						

Quadro 13 - Julgamento relativo de grau de importância entre critérios

Dimensões		Critérios / Preferência		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Econômica		E ₁ Potencial de transformação do mercado	X	E ₂ Custo para sociedade		X						
		E ₁ Potencial de transformação do mercado	X	E ₃ Aumento de subsídios/encargos				X				
		E ₁ Potencial de transformação do mercado	X	E ₃ Aumento de subsídios/encargos			X					
		E ₂ Custo para sociedade	X	E ₃ Aumento de subsídios/encargos					X			
		E ₂ Custo para sociedade	X	E ₄ Arrecadação de impostos			X					
		E ₃ Aumento de subsídios/encargos	X	E ₄ Arrecadação de impostos		X						
Social	X	S ₁ Aceitação social		S ₂ Acesso à energia elétrica		X						
		S ₁ Aceitação social	X	S ₃ Desenvolvimento local				X				
		S ₂ Acesso à energia elétrica	X	S ₃ Desenvolvimento local				X				
Robustez	X	R ₁ Experiência prévia		R ₂ Dificuldade de implementação			X					
	X	R ₁ Experiência prévia		R ₃ "Possibilidade/Facilidade" de monitorar e avaliar				X				
	X	R ₁ Experiência prévia		R ₄ Impactos previstos		X						
	X	R ₂ Dificuldade de implementação		R ₃ "Possibilidade/Facilidade" de monitorar e avaliar			X					
		R ₂ Dificuldade de implementação	X	R ₄ Impactos previstos		X						
	X	R ₃ "Possibilidade/Facilidade" de monitorar e avaliar		R ₄ Impactos previstos	X							
Política		P ₁ Alinhamento com os acordos internacionais	X	P ₂ Alinhamento às políticas nacionais	X							
		P ₁ Alinhamento com os acordos internacionais	X	P ₃ Riscos políticos				X				
		P ₁ Alinhamento com os acordos internacionais	X	P ₄ Governança pública e sustentabilidade do setor			X					
	X	P ₁ Alinhamento com os acordos internacionais		P ₅ Dependência externa		X						
		P ₂ Alinhamento às políticas nacionais	X	P ₃ Riscos políticos				X				
		P ₂ Alinhamento às políticas nacionais	X	P ₄ Governança pública e sustentabilidade do setor			X					
	X	P ₂ Alinhamento às políticas nacionais		P ₅ Dependência externa		X						
	X	P ₃ Riscos políticos		P ₄ Governança pública e sustentabilidade do setor		X						
	X	P ₃ Riscos políticos		P ₅ Dependência externa			X					
	X	P ₄ Governança pública e sustentabilidade do setor		P ₅ Dependência externa				X				
Técnica		T ₁ Confiabilidade do fornecimento de energia		-								
Ambiental		A ₁ Impacto ambiental		-								

Percebe-se no Quadro 12 e no Quadro 13 que nenhuma comparação pareada resultou em grau de importância maior que 5, o que equivaleria a uma importância muito grande ou absoluta. Dessa forma, percebe-se certa equivalência de importâncias, dificultando a comparação e requerendo o uso de ferramentas adequadas para a avaliação.

Após o registro das comparações pareadas, verifica-se a coerência dos julgamentos dos especialistas, por meio da Razão de Consistência (RC), permitindo verificar se as matrizes são consistentes. Para tanto, foi utilizado o software IPÊ, versão 1.0, desenvolvido pela Universidade Federal Fluminense (UFF), com o objetivo de implementar o algoritmo do AHP. O uso desse software facilitou a análise, dado que em um primeiro momento algumas matrizes de comparação não se mostraram consistentes ($RC > 0,10$), levando à reavaliação dos julgamentos pelos especialistas, de modo rápido. A Tabela 5 mostra as razões de consistência encontradas, todas com $RC \leq 0,1$. Destaca-se que as dimensões Técnica e Ambiental têm apenas um critério cada, e por isso, não se calcula o RC das mesmas.

Tabela 5 - Razão de consistência das matrizes de dimensões e critérios

Dimensões	Razão de Consistência (RC)
Hierarquização de políticas públicas	0,064
Econômica	0,092
Social	0,082
Robustez	0,109
Política	0,033
Técnica	-
Ambiental	-

No passo seguinte, após o cálculo das razões de consistência, são obtidos os pesos das dimensões e critérios pelo método AHP, calculados pelo método descrito na seção 5.3 e apresentados na Tabela 6. Os pesos finais, resultantes da multiplicação dos pesos dos critérios pelos pesos das respectivas dimensões serão utilizados na fase *fuzzy*-TOPSIS hierarquizar as alternativas de políticas públicas.

Tabela 6 - Pesos das dimensões e critérios calculados pelo método AHP

Dimensão	Peso dimensão	Critério	Peso Critério	Peso Final
Econômica	0,173	E ₁	0,089	0,02
		E ₂	0,125	0,02
		E ₃	0,376	0,07
		E ₄	0,41	0,07
Social	0,065	S ₁	0,192	0,01
		S ₂	0,131	0,01
		S ₃	0,677	0,04
Robustez	0,339	R ₁	0,461	0,16
		R ₂	0,191	0,06
		R ₃	0,126	0,04
		R ₄	0,222	0,08
Política	0,148	P ₁	0,114	0,02
		P ₂	0,114	0,02
		P ₃	0,406	0,06
		P ₄	0,287	0,04
		P ₅	0,079	0,01
Técnica	0,187	T ₁	1	0,19
Ambiental	0,088	A ₁	1	0,09

Entre as dimensões, a de maior peso foi a “Robustez”, o que mostra a importância atribuída pelos especialistas aos fatores como razoabilidade da política pública, experiência prévia e dificuldade de implementação, de forma a garantir o sucesso da inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados de maneira sustentável. Dentre os critérios desta dimensão, o R₁ (“Experiência prévia”) destaca-se pelo elevado grau de preferência pelos especialistas consultados.

A dimensão com segundo maior peso foi a Técnica, seguida pela Econômica, com valores próximos, mostrando a importância de que as políticas avaliadas não representem custos adicionais à sociedade e não prejudiquem o fornecimento de energia elétrica aos sistemas isolados. Na dimensão Econômica, chama a atenção o peso do critério E₃ (“Aumento de subsídios/encargos”), resultado dos elevados subsídios atuais na geração nos sistemas isolados, o que se mostra um ponto sensível na avaliação das políticas propostas.

O quarto maior peso foi atribuído à dimensão Política, com destaque para o critério P₃ (“Riscos políticos”), demonstrando a preocupação dos especialistas com o nível de exposição das políticas às influências e/ou ingerências externas (como sanções regionais, interferências individuais ou de grupos

econômicos/empresarias que detenham poder político, a exemplo das poucas e tradicionais empresas de locação de máquinas a diesel, que dominam o mercado da região Norte) que possam prejudicar a sua efetividade.

Por fim, as dimensões Ambiental e Social tiveram os menores pesos, se mostrando menos relevantes no julgamento. Há que se mencionar, no entanto, que o critério S_3 (“Desenvolvimento local”) teve elevado peso dentre os de mesma dimensão.

Com relação aos pesos finais, destacam-se os critérios T_1 (“Confiabilidade do fornecimento de energia”) e R_1 (“Experiência prévia”), mostrando uma preocupação dos julgadores quanto aos riscos associados à adoção de novas tecnologias de geração pouco confiáveis e quanto ao registro de ações ou políticas públicas já experimentadas.

6.2.2

Fase II – *Fuzzy* TOPSIS: hierarquização das políticas públicas

Tendo sido obtidos os pesos, foi possível passar à segunda fase, *fuzzy*-TOPSIS. Esses pesos serão multiplicados pelos elementos da matriz de decisão *fuzzy*, elaborada a partir dos valores apontados pelos especialistas nesta segunda fase.

Para tanto, as respostas dos dez especialistas consultados, por meio do Instrumento de Coleta de Dados, foram consolidadas, contabilizando a quantidade de votos para cada opção, utilizando a escala *Crisp* apresentada na Tabela 4 da seção 5.4, que correspondente ao grau de importância de cada uma das políticas públicas avaliadas (apresentadas no capítulo 3), à luz de determinado critério, conforme exemplo mostrado na Tabela 7.

Ao responderem o Instrumento, alguns especialistas também sugeriram outras políticas públicas, descritas a seguir, embora não as tenham avaliado com base nos critérios propostos.

- “Política pública sugerida: Faixas de consumo

Descrição: O subsídio dos sistemas isolados é incondicional, pelo menos para o segmento residencial. Poderia ser reduzido se as tarifas cobradas destes consumidores variassem com a faixa de consumo. Assim, para consumos pequenos (ex. até 100 kWh) o mecanismo atual estaria válido.

Para consumos adicionais, a tarifa por kWh aumentaria, para estimular maior racionalidade do consumo."

- "Política pública sugerida: Privatização das empresas de distribuição da Eletrobras

Descrição: As perdas e ineficiências nos sistemas isolados são elevadas. A ANEEL tem menor "poder de fogo" para atuar na redução das perdas nas empresas do grupo Eletrobras, que são menos "sensíveis" a multas, sanções, etc. A privatização destas empresas é o único remédio, inclusive como forma de reduzir o poder de caciques políticos locais."

Tabela 7 - Exemplo de consolidação das respostas dos especialistas

S ₃ Desenvolvimento local						
Política Pública	Muito baixa (1)	Baixa (2)	Moderada (3)	Alta (4)	Muito alta (5)	NA
Híbridas	0	1	3	3	3	0
Risco gerador	1	3	2	2	0	2
Planejamento determinativo	0	1	1	6	2	0
Teto para subsídios	1	0	5	3	0	1
ICMS	1	2	5	1	0	1
Licença	1	1	2	3	1	2

No exemplo acima, os 10 (dez) especialistas julgaram as seis políticas à luz do critério S₃ ("Desenvolvimento local"). Um especialista entendeu que a implantação da política de projetos-piloto de usinas híbridas ("híbridas") tem baixa importância (grau 2) para o desenvolvimento local. Três entrevistados julgaram que essa importância seria alta (grau 4) e outros três entenderam que a importância é muito alta (grau 5). Já a adoção de alíquota única de ICMS, quando julgada pelo mesmo critério, foi considerada de muito baixa importância (grau 1) por um especialista, moderada (grau 3) por cinco deles e alta (grau 4) por outro.

Nesse exemplo, para cada política pública, os campos marcados de amarelo correspondem aos de maior frequência, ou seja, que mais votos tiveram, sendo considerados no modelo. Os campos de cor laranja representam os menores e maiores valores registrados na escala Likert adotada. Para cada um dos dezoito critérios avaliados foi elaborada um quadro como o do exemplo apresentado na Tabela 7.

A ordenação dos graus de importância foi ajustada para cada critério de forma a sempre representar uma ordem de benefício. No exemplo acima, o grau 1

significa pouca contribuição, enquanto o grau 5 representa elevado benefício. Nesse caso, três especialistas julgaram como elevada a contribuição de usinas híbridas para o desenvolvimento local. Porém, para outros critérios foi necessário inverter essa escala, dado que o grau muito baixo podia representar um elevado benefício (ou baixo custo), ao contrário do exemplo anterior.

Para definir os parâmetros a_1 , a_2 e a_3 do número *fuzzy* triangular, mostrado na Figura 11, adotou-se com valor de a_1 aquele com menor importância, a_2 o mais frequente e a_3 o de maior importância. Ainda com base no exemplo da Tabela 7, no caso da política “híbridas”, o valor de a_1 seria igual a 2 (correspondente à importância baixa), a_2 igual a 4 (alta importância, com mais votos) e a_3 igual a 5 (muito alta, com 3 votos).

A partir dessa definição foram formados os números *fuzzy* triangulares para cada alternativa/critério, resultando na matriz de decisão *fuzzy*, mostrada na Tabela 8.

Tabela 8 - Matriz de decisão *fuzzy* das políticas públicas *versus* critérios

\tilde{D}	Híbridas			Risco gerador			Planejamento determinativo			Teto para subsídios			ICMS			Licença		
	a_1	a_2	a_3	a_1	a_2	a_3	a_1	a_2	a_3	a_1	a_2	a_3	a_1	a_2	a_3	a_1	a_2	a_3
E1	2	4	5	2	4	4	3	4	5	1	4	5	2	3	5	1	3	4
E2	1	3	4	2	3	4	2	3	5	1	3	5	2	2	5	1	3	4
E3	4	3	1	5	2	1	4	3	1	5	2	1	4	3	1	5	3	2
E4	4	3	2	4	3	2	3	3	1	3	2	1	4	2	1	5	3	2
S1	3	4	5	1	4	4	3	4	4	1	4	5	2	4	5	1	3	4
S2	1	4	5	2	3	4	2	3	4	1	4	4	1	2	5	1	4	4
S3	2	4	5	1	2	4	2	4	5	1	3	4	1	3	4	1	4	5
R1	3	4	5	2	3	4	2	4	5	2	3	5	1	3	3	1	4	5
R2	5	2	1	3	2	1	4	3	2	3	2	1	4	2	1	5	3	2
R3	3	4	5	2	4	4	2	3	4	3	3	5	2	3	4	1	4	5
R4	2	4	4	2	4	5	2	4	5	2	3	5	2	3	4	1	3	4
P1	3	4	5	2	3	4	2	4	5	2	4	5	2	3	4	1	4	5
P2	2	4	5	2	3	5	2	4	5	2	2	5	2	2	5	2	3	5
P3	5	2	1	3	1	1	3	2	1	3	2	1	4	2	1	5	2	1
P4	2	4	5	2	3	5	3	4	5	3	4	5	1	4	5	1	4	5
P5	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	4	1
T1	1	4	5	2	4	4	1	3	4	1	3	4	3	3	4	1	3	4
A1	2	4	5	3	3	5	3	4	5	3	3	5	3	3	5	1	4	5

Conforme explicado na seção 5.4, em seguida, a matriz \tilde{D} deve ser normalizada, utilizando-se uma escala de transformação linear (equações 5.11 e 5.12). A matriz normalizada é mostrada na Tabela 9.

Tabela 9 - Matriz de decisão *fuzzy* normalizada

D	Híbridas			Risco gerador			Planejamento determinativo			Teto para subsídios			ICMS			Licença		
	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3	a1	a2	a3
E1	0,4	0,8	1,0	0,4	0,8	0,8	0,6	0,8	1,0	0,2	0,8	1,0	0,4	0,6	1,0	0,2	0,6	0,8
E2	0,2	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	1,0	0,2	0,6	1,0	0,4	0,4	1,0	0,2	0,6	0,8
E3	2,0	1,5	0,5	2,5	1,0	0,5	2,0	1,5	0,5	2,5	1,0	0,5	2,0	1,5	0,5	2,5	1,5	1,0
E4	2,0	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	1,5	1,5	0,5	1,5	1,0	0,5	2,0	1,0	0,5	2,5	1,5	1,0
S1	0,6	0,8	1,0	0,2	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,2	0,8	1,0	0,4	0,8	1,0	0,2	0,6	0,8
S2	0,2	0,8	1,0	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	0,2	0,8	0,8	0,2	0,4	1,0	0,2	0,8	0,8
S3	0,4	0,8	1,0	0,2	0,4	0,8	0,4	0,8	1,0	0,2	0,6	0,8	0,2	0,6	0,8	0,2	0,8	1,0
R1	0,6	0,8	1,0	0,4	0,6	0,8	0,4	0,8	1,0	0,4	0,6	1,0	0,2	0,6	0,6	0,2	0,8	1,0
R2	2,5	1,0	0,5	1,5	1,0	0,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	0,5	2,0	1,0	0,5	2,5	1,5	1,0
R3	0,6	0,8	1,0	0,4	0,8	0,8	0,4	0,6	0,8	0,6	0,6	1,0	0,4	0,6	0,8	0,2	0,8	1,0
R4	0,4	0,8	0,8	0,4	0,8	1,0	0,4	0,8	1,0	0,4	0,6	1,0	0,4	0,6	0,8	0,2	0,6	0,8
P1	0,6	0,8	1,0	0,4	0,6	0,8	0,4	0,8	1,0	0,4	0,8	1,0	0,4	0,6	0,8	0,2	0,8	1,0
P2	0,4	0,8	1,0	0,4	0,6	1,0	0,4	0,8	1,0	0,4	0,4	1,0	0,4	0,4	1,0	0,4	0,6	1,0
P3	5,0	2,0	1,0	3,0	1,0	1,0	3,0	2,0	1,0	3,0	2,0	1,0	4,0	2,0	1,0	5,0	2,0	1,0
P4	0,4	0,8	1,0	0,4	0,6	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,2	0,8	1,0	0,2	0,8	1,0
P5	5,0	3,0	1,0	5,0	3,0	1,0	5,0	3,0	1,0	5,0	3,0	1,0	5,0	3,0	1,0	5,0	4,0	1,0
T1	0,2	0,8	1,0	0,4	0,8	0,8	0,2	0,6	0,8	0,2	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,2	0,6	0,8
A1	0,4	0,8	1,0	0,6	0,6	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,6	1,0	0,6	0,6	1,0	0,2	0,8	1,0

A matriz normalizada e ponderada, mostrada na Tabela 10, é obtida por meio da multiplicação dos pesos (apresentados na Tabela 6) pelos elementos da matriz normalizada, de acordo com a equação 5.14. Assim, a matriz de decisão está pronta para o cálculo das distâncias positiva e negativas.

O passo seguinte consiste no cálculo da distância para FPIS (D+) e para FNIS (D-) para determinação da solução ideal *fuzzy* positiva e negativa (FPIS e FNIS), seguindo os cálculos apresentados na seção 5.4. Foram calculadas as distâncias entre os valores padronizados e calibrados *fuzzy* e as soluções ideal *fuzzy* positiva e negativa, que correspondem, respectivamente, aos valores máximos e mínimos de cada critério. Em seguida foram geradas as matrizes de distâncias A^+ e A^- , conforme equações 5.15 e 5.16, apresentadas na Tabela 11.

Tabela 10 - Matriz de decisão normalizada e ponderada pelo método AHP

ṽ	Híbridas			Risco gerador			Planejamento determinativo			Teto para subsídios			ICMS			Licença		
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁	a ₂	a ₃
E1	0,006	0,012	0,015	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01
E2	0,004	0,013	0,017	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02
E3	0,130	0,098	0,033	0,16	0,07	0,03	0,13	0,10	0,03	0,16	0,07	0,03	0,13	0,10	0,03	0,16	0,10	0,07
E4	0,142	0,106	0,071	0,14	0,11	0,07	0,11	0,11	0,04	0,11	0,07	0,04	0,14	0,07	0,04	0,18	0,11	0,07
S1	0,007	0,010	0,012	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
S2	0,002	0,007	0,009	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
S3	0,018	0,035	0,044	0,01	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,01	0,03	0,04	0,01	0,03	0,04	0,01	0,04	0,04
R1	0,094	0,125	0,156	0,06	0,09	0,13	0,06	0,13	0,16	0,06	0,09	0,16	0,03	0,09	0,09	0,03	0,13	0,16
R2	0,162	0,065	0,032	0,10	0,06	0,03	0,13	0,10	0,06	0,10	0,06	0,03	0,13	0,06	0,03	0,16	0,10	0,06
R3	0,026	0,034	0,043	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01	0,03	0,04
R4	0,030	0,060	0,060	0,03	0,06	0,08	0,03	0,06	0,08	0,03	0,05	0,08	0,03	0,05	0,06	0,02	0,05	0,06
P1	0,010	0,013	0,017	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02
P2	0,007	0,013	0,017	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
P3	0,300	0,120	0,060	0,18	0,06	0,06	0,18	0,12	0,06	0,18	0,12	0,06	0,24	0,12	0,06	0,30	0,12	0,06
P4	0,017	0,034	0,042	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,01	0,03	0,04	0,01	0,03	0,04
P5	0,058	0,035	0,012	0,06	0,04	0,01	0,06	0,04	0,01	0,06	0,04	0,01	0,06	0,04	0,01	0,06	0,05	0,01
T1	0,037	0,150	0,187	0,07	0,15	0,15	0,04	0,11	0,15	0,04	0,11	0,15	0,11	0,11	0,15	0,04	0,11	0,15
A1	0,035	0,070	0,088	0,05	0,05	0,09	0,05	0,07	0,09	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	0,09	0,02	0,07	0,09

Tabela 11 - Matriz de distâncias positivas e negativas

Políticas Públicas												
Critérios	Distância total positiva (A ⁺)						Distância total negativa (A ⁻)					
	Híbridas	Risco gerador	Planejamento determinativo	Teto para subsídios	ICMS	Licença	Híbridas	Risco gerador	Planejamento determinativo	Teto para subsídios	ICMS	Licença
E1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
E2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
E3	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,89	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12
E4	0,89	0,89	0,92	0,93	0,92	0,88	0,11	0,11	0,09	0,08	0,09	0,13
S1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S2	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S3	0,97	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
R1	0,88	0,91	0,89	0,90	0,93	0,90	0,13	0,10	0,12	0,11	0,08	0,12
R2	0,92	0,94	0,90	0,94	0,93	0,89	0,10	0,07	0,10	0,07	0,09	0,12
R3	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
R4	0,95	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04
P1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P3	0,85	0,90	0,88	0,88	0,86	0,85	0,19	0,12	0,13	0,13	0,16	0,19
P4	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
P5	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
T1	0,88	0,88	0,90	0,90	0,88	0,90	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13	0,11
A1	0,94	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

Por fim, determina-se a proximidade relativa do valor ideal *fuzzy*, por meio das distâncias totais positivas (D^+) e negativas (D^-). O resultado desse cálculo, denominado de coeficiente de proximidade (CC_i), é apresentado na Tabela 12 e representa o índice de desempenho de cada política pública à luz das seis dimensões.

Tabela 12 - Matriz de distância total positiva e negativa

Políticas Públicas	Distâncias		CC_i
	D^+	D^-	
Híbridas	17,0115	1,09611	0,0605
Risco gerador	17,1403	0,93301	0,0516
Planejamento determinativo	17,0866	0,98065	0,0543
Teto para subsídios	17,1624	0,91916	0,0508
ICMS	17,1452	0,93844	0,0519
Licença	17,0366	1,08428	0,0598

A ordenação final das políticas públicas se dá por meio do Coeficiente de Proximidade (CC_i). A política de maior de CC_i é considerada a primeira do processo de hierarquização e, assim, sucessivamente, resultando na seguinte ordem:

- (i) Implantação de projetos-piloto de usinas híbridas (0,0605);
- (ii) Simplificação do licenciamento ambiental (0,0598);
- (iii) Planejamento determinativo (0,0543);
- (iv) Alíquota única de ICMS (0,0519);
- (v) Transferir ao gerador o risco da volatilidade do preço do diesel (0,0516); e
- (vi) Teto para subsídios (0,0508)

6.2.3 Análises de sensibilidade

De forma a avaliar a contribuição das principais variáveis no resultado final da hierarquização das políticas públicas, foram realizadas as análises de sensibilidade a seguir descritas.

a) Igualando os pesos

Assumindo que os pesos dos critérios, definidos na fase I (AHP), fossem iguais, somente as opiniões dos especialistas consultados na segunda fase definiriam a ordenação final das políticas públicas, levando ao resultado apresentado na Tabela 13, já ordenado do maior para o menor Coeficiente de Proximidade (*CCi*).

Tabela 13 - Hierarquização das políticas considerando pesos iguais

Políticas Públicas	CCi
Híbridas	0,0647
Licença	0,0645
Planejamento determinativo	0,0598
ICMS	0,0576
Teto para subsídios	0,0569
Risco gerador	0,0561

Comparando esse resultado com o caso base (Tabela 12), verifica-se que houve simplesmente a inversão das duas últimas políticas, que tiveram coeficientes de proximidade muito próximos, mostrando que a importância dada aos critérios pelos especialistas da primeira fase está coerente com o julgamento dos especialistas consultados na segunda fase.

b) Excluindo os critérios com baixo peso

Na fase I alguns critérios tiveram pesos mais baixos, como verificado na Tabela 6. Nesta análise foram excluídos (atribuído valor zero) os critérios com peso menor que 2%, listados no Quadro 14, resultando na hierarquização apresentada na

Tabela 14, já ordenada.

Quadro 14 - Critérios excluídos na análise de sensibilidade

E ₁ Potencial de transformação do mercado
S ₁ Aceitação social
S ₂ Acesso à energia elétrica
P ₁ Alinhamento com os acordos internacionais
P ₂ Alinhamento às políticas nacionais
P ₅ Dependência externa

Tabela 14 - Hierarquização das políticas excluindo critérios de baixo peso

Políticas Públicas	CCi
Híbridas	0,0602
Licença	0,0597
Planejamento determinativo	0,0535
ICMS	0,0512
Risco gerador	0,0510
Teto para subsídios	0,0499

Embora os coeficientes de proximidade tenham se alterado, o resultado não mudou, mostrando que os critérios com baixo peso pouco impactam. A baixa relevância destes critérios leva à conclusão de que os mesmos poderiam ter sido desconsiderados, simplificando a avaliação. Outra possível conclusão é que o na fase I tenha sido dada muita importância para certos critérios. O uso de lógica *fuzzy* nesta fase poderia contribuir para minimizar esse efeito, por permitir a consideração das incertezas e imprecisões associadas aos processos decisórios.

c) Sem utilizar números *fuzzy*

Caso não se utilizasse a lógica *fuzzy* na fase II, seriam consideradas somente as escolhas mais frequentes dos especialistas, ou seja, os valores extremos (menores e maiores), apontados no Instrumento de coleta de dados, seriam desconsiderados. A hierarquização resultante seria: (i) Híbridas; (ii) Planejamento determinativo; (iii) Licença; (iv) ICMS; (v) Risco gerador; e (vi) Teto para subsídios. Comparando com o caso base, há apenas a inversão de priorização entre a segunda e a terceira políticas, mostrando que algum especialista pode ter dado maior importância a determinado critério que tenha alto peso, ou seja, não foi a escolha mais frequente entre os julgadores, mas que acabou impactando o resultado, o que é possível capturar com o uso da lógica *fuzzy*, por considerar a distribuição das respostas.

6.3 Discussão dos resultados

Conforme apresentado nas seções anteriores, a modelagem proposta nesta dissertação foi aplicada para a seleção de políticas públicas que visam aumentar a participação das fontes renováveis na geração de energia elétrica nos sistemas

isolados brasileiros, de forma a reduzir o elevado consumo de óleo diesel e os respectivos impactos econômicos, ambientais e sociais nestas localidades.

Na primeira fase da aplicação do modelo, na qual foram atribuídos pesos às dimensões e aos critérios selecionados para a avaliação, observou-se uma clara preferência pela dimensão Robustez, seguida pelas dimensões Técnica e Econômica. Os critérios considerados mais importantes, já considerando a ponderação pelos pesos das respectivas dimensões, foram Experiência prévia (R₁) e Confiabilidade do fornecimento de energia (T₁), denotando que devem ser buscados exemplos de políticas públicas similares já aplicadas em outros setores ou locais e que a mudança da matriz elétrica não deve prejudicar o suprimento ao consumidor final.

Com relação à hierarquização das políticas públicas propostas, realizada na fase II, a partir das respostas dadas por 10 (dez) especialistas, a Implantação de projetos-piloto de usinas híbridas foi a política de maior pontuação dentre as seis avaliadas para os sistemas isolados brasileiros. Estas soluções híbridas se mostram como uma alternativa de transição para matrizes mais limpas e de menor custo ao combinarem usinas a diesel com geração fotovoltaica, por exemplo. Ao passo que a geração solar contribui para redução do consumo de combustível fóssil, a manutenção dos geradores termelétricos provê confiabilidade ao suprimento de energia elétrica, dado que a contratação de sistemas híbridos pode contemplar requisitos de potência e energia ao mesmo tempo. Essa política contribui para a inserção gradual de fontes renováveis, reduzindo também barreiras culturais e de conhecimento técnico sobre tecnologias ainda pouco exploradas nos sistemas isolados.

Percebe-se que os especialistas, ao julgarem essa política, atribuíram alta importância (valor mais frequente igual a 4 na escala de 1 a 5) a doze dos dezoito critérios. Também verifica-se uma considerável frequência de notas 5 (muito alta) a esses critérios, sobretudo na dimensão “Social”. Mesmo os critérios considerados menos relevantes (R₂ - Dificuldade de implementação e P₃ - Riscos políticos), por terem um peso moderado, contribuíram para o elevado Coeficiente de Proximidade (*CCi*) da política de “implantação de usinas híbridas”, levando-a ao primeiro lugar no ranking geral.

A segunda política mais bem avaliada foi a Simplificação do licenciamento ambiental para projetos baseados em fontes renováveis, de forma a facilitar a

substituição da geração a diesel por estas novas soluções. As dimensões consideradas como mais relevantes na avaliação dessa política foram “Social”, “Robustez” e, como era de esperar, “Ambiental”. Ao critério R_1 (Experiência prévia) foram atribuídas as maiores notas e, como este tem elevado peso, contribuiu para levar essa política ao segundo lugar, mostrando coerência dos resultados do modelo. Destaca-se que o coeficiente de proximidade desta política foi 1,2% menor que o de “usinas híbridas”, representando graus de importância muito similares.

O planejamento setorial de caráter determinativo, assim como a política de usinas híbridas, também recebeu nota alta em vários critérios, porém muitos destes possuem baixo peso, como P_1 (Alinhamento com os acordos internacionais), P_2 (Alinhamento às políticas nacionais) e E_1 (Potencial de transformação do mercado). Com isso, o “planejamento determinativo” foi apontado como terceira política pública mais importante. Os especialistas entenderam que as regras dos leilões para sistemas isolados devem prever uma penetração mínima de fontes renováveis, de forma a promover tecnologias que desloquem a geração a diesel.

A adoção de uma Alíquota única de ICMS, para fins de ressarcimento do custo de geração pela CCC teve o quarto maior coeficiente de proximidade, refletindo o julgamento dos especialistas que entendem que a Aceitação social (S_1) e Governança pública e sustentabilidade do setor (P_4) são os critérios mais relevantes na análise desta política. Porém, como esses critérios têm baixo peso, e como aos critérios de maior peso (R_1 e T_1) foram atribuídas notas medianas, o coeficiente de proximidade da política “ICMS” resultou menor que o das anteriores.

Com um *CCi* ligeiramente menor (0,5%), a Transferência do risco da volatilidade do preço do diesel para o gerador, ficou em penúltima colocação. Os critérios considerados como mais relevantes para esta política (E_1 , S_1 , R_3 e R_4) têm pesos medianos ou baixos. Por outro lado, o critério T_1 (Confiabilidade do fornecimento de energia), de elevado peso, também teve nota alta, fazendo com esta política se sobressaísse em relação à última do ranking. Entende-se que a preocupação dos especialistas com esse critério se deve ao elevado risco imputado ao gerador, que em última instância, pode afetar a o suprimento de energia elétrica, como abordado na seção 3.2.

A definição de um valor Teto para subsídios, de maneira a racionalizar os dispêndios da CCC, foi considerada pelos especialistas como a política de menor impacto para inserção de renováveis nos Sistemas Isolados, isso porque embora tenha tido algumas notas altas em critérios de baixo peso, recebeu pontuação baixa ou mediana em todos os demais, inclusive naqueles de maior peso.

Portanto, fica evidenciada a coerência dos resultados obtidos do modelo com os julgamentos dos especialistas, restando validada a aplicação do modelo desenvolvido para avaliação de políticas públicas.

Ao final do capítulo foram apresentadas análises de sensibilidade, variando os pesos atribuídos a cada critério e também a metodologia da fase II. Percebeu-se que os resultados foram pouco afetados, com pequenas alterações de ordenamento no *ranking* final das alternativas de políticas públicas, o que reforça a validade do modelo.

7. Conclusões e recomendações

Como descrito ao longo desta dissertação, a geração de energia elétrica nos Sistemas Isolados representa, ao mesmo tempo, benefícios e problemas para a população que vive ao redor das usinas. Se por um lado as cidades cresceram em torno das plantas de geração, justamente por representarem um vetor de desenvolvimento econômico e social, por outro, essa proximidade levou a conflitos, causados pelo ruído e poluição das máquinas, geralmente movidas a óleo diesel. Além disso, os impactos não são apenas locais, dadas as substanciais emissões diretas de gases de efeito estufa nessa atividade (44,5 MtCO₂eq em 2017, conforme discutido na seção 2.3.1).

Nesse sentido, a utilização de fontes renováveis se mostra como potencial redutor dos impactos socioambientais da geração de energia elétrica nos Sistemas Isolados, além de possivelmente contribuir para minimizar os elevados custos de geração nessas localidades, que em sua maioria encontram-se na região amazônica e dependem de uma complexa logística de fornecimento de combustível. Os crescentes custos da geração a diesel tendem a elevar ainda mais os subsídios praticados, reforçando a importância da busca por soluções mais sustentáveis.

Dentre os desafios identificados para a maior penetração das fontes renováveis nos Sistemas Isolados brasileiros, destacam-se questões tributárias, regulatórias, comerciais e culturais, para as quais foram propostas seis políticas públicas no sentido de minimizar tais barreiras, reduzir subsídios e dar maior isonomia entre diferentes tecnologias de geração.

De forma a avaliar tais políticas públicas, foi desenvolvido um modelo conceitual de apoio a decisão, baseado em métodos multicritério combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*, que considera a complexidade, subjetividade e incerteza inerentes à análise pretendida. Este modelo foi aplicado para avaliar e selecionar as alternativas de políticas públicas mais favoráveis à inserção de fontes renováveis, considerando as especificidades dos sistemas isolados brasileiros, permitindo que o objetivo geral da dissertação fosse alcançado.

As abordagens histórica e situacional apresentadas nos capítulos 2 e 3, possibilitaram a caracterização do suprimento de energia elétrica aos Sistemas Isolados e a identificação dos motivos que levaram à predominância da geração a diesel. A partir destes, foi possível definir políticas públicas para o desenvolvimento de soluções alternativas baseadas em fontes renováveis, cumprindo parte dos objetivos específicos.

Os demais objetivos específicos, relacionados na seção 1.2, foram alcançados nos capítulos 4 e 5, nos quais foram discutidos os conceitos e metodologias que fundamentaram o desenvolvimento do referido modelo integrado AHP *fuzzy*-TOPSIS de avaliação de políticas públicas, cuja aplicação foi demonstrada no capítulo 6, no contexto de promoção de fontes renováveis nos Sistemas Isolados brasileiros.

Destaca-se que durante a pesquisa para desenvolvimento do modelo conceitual, foram identificados na literatura diversos trabalhos que utilizaram métodos multicritérios para escolha de tecnologias de geração e para seleção de políticas públicas em outros setores da economia. Porém, não foram encontradas pesquisas que utilizassem tais ferramentas para a proposição de políticas no setor de energia. Ficando, portanto, evidenciada a contribuição da presente pesquisa para o avanço do conhecimento sobre avaliação e seleção políticas energéticas, aqui focadas na inserção de fontes renováveis em sistemas isolados.

Os resultados encontrados evidenciaram ainda alguns benefícios do modelo desenvolvido. Por fazer uso de ferramentas que consideram as incertezas envolvidas nas análises, foi possível avaliar as alternativas de políticas públicas à luz de seis dimensões e dezoito critérios, com base nos julgamentos de especialistas (foram consultados dez especialistas do setor de energia) quanto à importância de cada critério.

Com relação aos resultados finais alcançados, verificou-se que a política pública considerada mais relevante foi a de desenvolvimento de projetos piloto de usinas híbridas, de forma a disseminar o conhecimento sobre tecnologias ainda pouco usuais nos sistemas isolados, mostrando a contribuição desse tipo de sistema para redução do consumo de diesel, sem comprometer a confiabilidade do suprimento. Ainda que tais projetos dependam de subsídios, entende-se que a transposição de barreiras culturais, associadas à redução de custos de equipamentos fotovoltaicos contribuirão para que os projetos seguintes se tornem

autossustentáveis economicamente, como se verifica em algumas experiências apresentadas na seção 2.7.

No ranking final das alternativas de políticas públicas, a proposta de simplificação do licenciamento ambiental para projetos baseados em fontes renováveis ficou em segundo lugar. A seção 3.6 demonstrou haver uma assimetria no atual processo de licenciamento ambiental das usinas dos sistemas isolados: apesar dos impactos das usinas a diesel, há mais de 200 delas operando nessas localidades, enquanto as poucas tentativas de desenvolvimento de fontes renováveis tem esbarrado em falta de conhecimento dos órgãos licenciadores, resultando em exigências por vezes desproporcionais. Deve-se atentar, porém, à localização dos sistemas isolados brasileiros, a maioria na floresta Amazônica, onde a adequada avaliação de impactos ambientais se mostra ainda mais relevante.

A terceira política pública mais bem avaliada foi o planejamento determinativo, ou seja, que as futuras contratações de geração nos sistemas isolados exijam uma participação compulsória de fontes renováveis. Assim como no primeiro caso, essa medida pode eventualmente levar a um maior custo inicial, porém com potencial benefício financeiro futuro.

A adoção de uma alíquota única de ICMS, para fins de subsídios, ficou em quarta colocação. Dado que parte do custo pago pela CCC destina-se ao recolhimento de tributos incidentes sobre o combustível utilizado nas usinas, ocorre que os estados se beneficiam da geração a diesel. Essa medida, embora possa levar a uma queda de arrecadação por alguns entes federativos, induziria à adoção de tecnologias menos dependentes de combustíveis fósseis e à redução dos custos subsidiados pelos consumidores de energia elétrica de outras partes do país.

Ainda no que diz respeito à CCC, a penúltima política na hierarquização foi a de definição de um valor teto para subsídios, levando os agentes a buscarem tecnologias de geração com custos menos voláteis, como aquelas de custo variável nulo ou próximo de zero (por exemplo, fotovoltaica e eólica).

Com propósito similar, embora apontada pelos especialistas como menos importante, a política de transferência de risco para o gerador, também visa reduzir a exposição dos consumidores aos preços futuros do óleo diesel, que historicamente tem superado o IPCA, como mostrado na seção 3.2. Assim, a tarifa de geração seria atualizada somente por um índice de inflação, e não mais em

função do preço do diesel, levando os geradores a buscarem outras fontes para mitigar os riscos relacionados à variação do preço do diesel.

Durante a avaliação pelos especialistas, alguns critérios foram apontados como mais relevantes, merecendo maior atenção quando da implementação das políticas públicas. Destaca-se a robustez e experiência prévia com a(s) medida(s), a confiabilidade técnica da solução de geração e a economicidade da proposta.

Os resultados indicam que o uso de ferramentas multicritério de apoio à decisão, como o modelo AHP *fuzzy*-TOPSIS desenvolvido nesta dissertação, leva a resultados consistentes (vide as análises de sensibilidade apresentadas na seção 6.2.3), com a capacidade de processar informações de diferentes dimensões e sob vários critérios, a partir dos julgamentos de diversos especialistas, levando em consideração a complexidade, subjetividade e incerteza inerentes ao processo decisório. Reduz-se assim o viés do resultado final, evitando que este se restrinja à opinião do autor sobre o tema.

A partir das questões discutidas e dos resultados encontrados na fase aplicada da pesquisa, entende-se que o modelo de avaliação e seleção de políticas públicas poderá auxiliar a tomada de decisão quando da formulação de política no setor de energia elétrica, além de contribuir para a maior participação de fontes renováveis nos sistemas isolados brasileiros, minimizando os atuais impactos socioambientais e o elevado custo da geração a diesel.

Para estudos futuros recomenda-se:

- Fazer uma nova rodada de coleta de dados e análises, incluindo as propostas não contempladas na análise, por terem sido elaboradas num momento posterior, como discutido na seção 3.7;
- Aplicar o modelo para avaliação de outras políticas públicas no setor de energia, analisando sua aplicabilidade e possíveis melhorias;
- Aplicar o modelo proposto em outros Sistemas Isolados, fora do Brasil, de forma a verificar se os critérios adotados também representam as questões mais relevantes nesses sistemas e suas particularidades;
- Aplicar o “Instrumento de Avaliação de Políticas Públicas para inserção de Fontes Renováveis nos Sistemas Isolados” (Apêndice 2) para o julgamento por especialistas de outros setores, e não apenas da área de energia;

- Desenvolver modelos similares utilizando outros métodos multicritérios como ELECTRE, PROMETHEE, MACBETH, etc., verificando como cada ferramenta pode impactar os resultados encontrados;
- Avaliar números *fuzzy* com outras funções de pertinência como trapezoidal e gaussiana, ao invés de Triangular (TFN), utilizado na fase II (*fuzzy* TOPSIS);
- Ao desenvolver modelos similares ou ajustar os critérios, recomenda-se realizar um teste preliminar do instrumento de coleta de dados com alguns especialistas, de forma a assegurar que o mesmo é inteligível e que os objetivos propostos estão claros.
- Identificar as alterações legais e infralegais necessárias para implantação de cada política pública proposta, propondo nova redação para as leis, decretos, resoluções normativas, etc.
- Monitorar e avaliar as políticas públicas quando da sua implementação e, a depender dos resultados, reavaliar os critérios utilizados no modelo aqui apresentado.

8. Referências

AFGAN, N. H.; CARVALHO, M. G. Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. **Energy**, n. 27, p. 739–755, 2002.

AL GARNI, H. et al. A multicriteria decision making approach for evaluating renewable. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 2016. 137-150.

ALGARNI, H. et al. A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 16, p. 137-150, out. 2016.

ALIPOUR, M. et al. Long-term policy evaluation: Application of a new robust decision framework for Iran's energy exports security. **Energy**, v. 157, p. 914-931, 2018.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 493**. Brasília: [s.n.], 2012b.

ANEEL. **Despacho nº 2.796**. Brasília: [s.n.], 2016.

ANEEL. **Edital do Leilão nº 02/2016-Aneel (2ª Etapa)**. Brasília: [s.n.], 2016a.

ANEEL. **Despacho nº 2796**. [S.l.]: [s.n.], 2016b.

ANEEL. **Relatório Habilitação Eletroacre - Leilão 10/2015**. [S.l.]: [s.n.], 2016c. Acesso em: 2017.

ANEEL. **Despacho nº 3.440**. Brasília: [s.n.], 2017a.

ANEEL. **Despacho nº 428**. Brasília: [s.n.], 2017b.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 801**. Brasília: [s.n.], 2017c.

ANP. **Nota Técnica 016/2006 - SCM. Conta consumo de combustíveis dos sistemas isolados de geração de energia elétrica. Levantamento dos valores dos combustíveis e fretes pagos pelas empresas geradoras de energia elétrica dos sistemas isolados**. Rio de Janeiro. 2006.

ANP. **Óleo Diesel**, 2018a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>>. Acesso em: 15 fevereiro 2018.

ANP. Síntese dos Preços Praticados - Brasil. Resumo II - Diesel R\$/l. Período : 2013 - Janeiro. **Sistema de Levantamento de Preços**, 2018b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/preco/>>. Acesso em: 15 fevereiro 2018.

ANP. **Série histórica do levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis**, 2018c. Disponível em:

<<http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa/234-precos/levantamento-de-precos/868-serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>>. Acesso em: 27 fevereiro 2018.

ANP. **Biodiesel**, 2018d. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 27 fevereiro 2018.

BAJAY, S. V.; FROTA, W. M. Política energética, planejamento e regulação para os sistemas isolados. **Encontro de energia no meio rural 5**, Campinas, 2004.

BANA E COSTA, C.; VANSNICK, J.-C. MACBETH - An interactive path towards the construction of cardinal value functions. **International Transactions in Operational Research**, v. 1, n. 4, p. 489-500, 1994.

BARRETO, E. J. F. **Combustão e Gaseificação de Biomassa Sólida. Soluções Energéticas para a Amazônia**. 22^a. ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

BRASIL. **Decreto nº 73.102**. Brasília: [s.n.], 1973.

BRASIL. **Decreto nº 7.246**. [S.l.]: [s.n.], 2010.

CALILI, R. F. **Métodos Multicritério de Apoio a Decisão**. PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2018. (Material de aula).

CASTRO, J. C. **Aplicação do método de análise multicritério para selecionar políticas públicas de incentivo à redução da informalidade no polo de confecções do agreste pernambucano**. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru. 2013.

CAVALIERO, C. K. N. **Inserção de Mecanismos Regulatórios de Incentivo ao Uso de Fontes Renováveis Alternativas de Energia no Setor Elétrico Brasileiro eno Caso Especifico da Região Amazônica**. Campinas: Planejamento de Sistemas Energéticos. Tese de doutorado, 2003.

CAVALLARO, F.; Ciruolo, L. A multicriteria approach to evaluate wind energy plants. **Energy Policy**, n. 33, p. 235–244, 2005.

CCEE. **Relatório orçamento das contas setoriais 2018 - CDE/RGR/CCC**. São Paulo. 2017.

CHANG, D.-Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. **European Journal of Operational Research**, 95, 1996. 649-655.

CHEN, C.-T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, n. 1, p. 1-9, 2000.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2014**. Brasília. 2014.

COWAN, K. R. et al. Forecasting the Adoption of Emerging Energy Technologies: Managing Climate Change and Evolving Social Values. **PICMET 2009 Proceedings**, Portland, 2-6 Agosto 2009. 3048-3058.

DAS, I.; CLAUDIO, C. **Feasibility studies of variable speed generators for canadian arctic communities**. [S.l.]. 2017.

DOMINGUES, P. C. M. **A inteconexão elétrica dos sistemas isolados da amazônia ao sistema interligado nacional**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

ELENA ARCE, M. ET AL. The use of grey-based methods in multi-criteria decision analysis for the evaluation of sustainable energy systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47(C), p. 924-932, 2015.

ELETROBRAS. **Plano Anual de Custos 2017**. Rio de Janeiro. 2016b.

ELETROBRAS AMAZONAS ENERGIA. **Nota Técnica XX/12 - Regulação**. Manaus. 2012.

ELETROBRAS AMAZONAS ENERGIA. **Projeto de Referência para atendimento aos Mercados Isolados do Grupo B**. Manaus. 2016.

Eletrobras Distribuição Acre. **Projeto de referência para atendimento aos mercados isolados da eletrobras distribuição Acre. Lote - III**. Rio Branco: [s.n.], 2013.

EPE. **Avaliação de Sistemas Híbridos com energia fotovoltaica para o Lote III do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Acre (EPE-DEE-NT-027/2014-r0)**. Rio de Janeiro. 2014.

EPE. **Instruções para Elaboração e Apresentação de Projetos Alternativos aos Projetos de Referência (EPE-DEE-RE-121/2014-r1)**. Rio de Janeiro. 2016a.

EPE. **Avaliação da atratividade econômica de solução híbrida em sistemas do Grupo B do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Amazonas (EPE-DEE-NT-091/2016-r0)**. Rio de Janeiro. 2016b.

EPE. **Leilão dos Sistemas Isolados do Amazonas**, 2017a. Disponível em: <[http://epe.gov.br/Documents/Resultado%20do%20Leil%C3%A3o%20dos%20Sistemas%20Isolados%20do%20Amazonas%20\(2\)%20\(3\).pdf](http://epe.gov.br/Documents/Resultado%20do%20Leil%C3%A3o%20dos%20Sistemas%20Isolados%20do%20Amazonas%20(2)%20(3).pdf)>. Acesso em: 22 maio 2017.

EPE. **Leilão dos Sistemas Isolados do Amazonas**, 22 maio 2017b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/geracao/Paginas/Sistemas%20Isolados/Leil%C3%A3oDosSistemasIsoladosDoAmazonas.aspx>>. Acesso em: 05 setembro 2017.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2017. Ano base 2016**. Rio de Janeiro. 2017c.

EPE. **GT Roraima – Subgrupo IV. Identificação de alternativas de atendimento - médio e longo prazo (EPE-DEE-NT-032/2017-r0)**. Rio de Janeiro. 2017e.

EPE. Webmap, 2018a. Disponível em: <<https://gisepe.epe.gov.br/WebMapEPE/>>. Acesso em: 14 janeiro 2018.

EPE. **Planejamento do atendimento aos Sistemas Isolados - Horizonte 2023 - Ciclo 2018**. Rio de Janeiro. 2018b.

EPE. **Potencial Energético de Resíduos Florestais do Manejo Sustentável e de Resíduos da Industrialização da Madeira**. Rio de Janeiro. 2018c.

FRANKFURT SCHOOL. **Renewable energy in hybrid mini grids and isolated grids: Economic benefits and business cases**. Frankfurt am Main. 2015.

FREITAS, D. S. D.; MASCARENHAS, A. C. R.; ALMEIDA, M. P. Análise de Impactos na Integração de Usinas Fotovoltaicas ao Sistema Elétrico Isolado da Ilha de Fernando de Noronha. **XXII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI**, Curitiba, Novembro 2016.

FROTA, W. M. **Sistemas isolados de energia elétrica na Amazônia no novo contexto do setor elétrico brasileiro**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica, v. Dissertação de mestrado, 2004.

GEORGOPOULOU, E.; LALAS, D.; PAPAGIANNAKIS, L. A Multicriteria Decision Aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. **European Journal of Operational Research**, p. 38-54, 1997.

GUARACACHI. Planta solar fotovoltaica Cobija. **Empresa Elétrica Guaracachi S.A.**, 2016. Disponível em: <<http://www.guaracachi.com.bo/index.php/2-uncategorised/72-planta-solar-cobija2>>. Acesso em: 28 setembro 2016.

HADIAN, S.; MADANI, K. A system of systems approach to energy sustainability assessment: are all renewables really green? **Ecological Indicators**, Oxford, v. 52, p. 1470-160X, 2015.

HAFEZ, O.; BHATTACHARYA, K. Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids. **Renewable Energy. Volume 45. Pages 7-15**, 2012.

HAURANT, P.; OBERTI, P.; MUSELLI, M. Multicriteria selection aiding related to photovoltaic plants on farming fields on Corsica island: A real case study using the ELECTRE outranking framework. **Energy Policy**, v. 39, p. 676-688, 2011.

HERZOG, F. **Resumo Público do Plano de Manejo Florestal do Projeto Ouro Verde**. Boa Vista: Ouro Verde Agrosilvopastoril, 2007.

HWANG, C.-L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making - Methods and Applications A State-of-the-Art Survey**. 1. ed. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981.

IBAMA. **Relatório de vistoria na área de implantação da PCH Salto Cafesoca**. Brasília. 2016.

IBGE. Cidades, 2017. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=130340&search=amazonas|parintins>>. Acesso em: 05 setembro 2017.

IBGE. **Séries Históricas - IPCA**, 2018. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultseriesHist.shtm>. Acesso em: 14 agosto 2018.

IE-PUC. **Desenvolvimento de Modelo Referência para Empresas de Distribuição, fundamentado na experimentação de aplicações de conjunto de tecnologia SmartGrid, projeto piloto a ser implantado em Parintins-AM. PD-0373-0010/2010.** Rio de Janeiro. 2011.

IPCC. **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.** Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2011.

IRENA. **Off-grid renewable energy systems: status and methodological issues.** Bonn. 2015.

IRENA. **Policies and regulations for private sector renewable energy mini-grids.** Abu Dhabi. 2016.

IRENA. **SIDS Lighthouses Quickscan - Interim Report.** 2017.

Kahneman, D. **Rápido e Devagar - Duas Formas de Pensar.** [S.l.]: Objetiva, 2012.

KAYA, T.; KAHRAMAN, C. Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. **Energy**, 35, junho 2010. 2517-2527.

KAYA, T.; KAHRAMAN, C. Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. **Energy**, v. 35, n. 6, p. 2517-2527, 2010.

KEMAL, B.; SERHAT, K. Availability of renewable energy sources in Turkey: Current situation, potential, government policies and the EU perspective. **Energy Policy**, v. 42, p. 377-391, 2012.

LESSA, C. Energia, vetor fundamental do desenvolvimento. **Valor Econômico**, 28 setembro 2005.

LIU, C.-H.; TZENG, G.-H.; LEE, M.-H. Improving tourism policy implementation – The use of hybrid MCDM models. **Tourism Management**, v. 33, p. 413-426, 2012.

LIU, G. Development of a general sustainability indicator for renewable energy systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 31, 2014. 611-621.

LOMBARDI, P. et al. Isolated power system in Russia: A chance for renewable energies? **Renewable Energy**, 2016. 532 - 541.

MALTA, F. S.; COSTA, E. M. D.; MAGRINI, A. Índice de vulnerabilidade socioambiental: uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, p. 3933-3944, 2017.

MARTINS, G. D. A. **Modelo Fuzzy AHP-TOPSIS para avaliação e seleção de tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.** Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. Metrologia. PUC-Rio, 2017.

ME GUIA BRASIL. **Mapa da rede rodoviária da região Norte do Brasil**, nov. 2017a. Disponível em: <www.meguiabrasil.com/mapadobrasil/mapas-regioes-do-brasil.php>. Acesso em: 20 novembro 2017.

ME guia Brasil. **Mapa das principais hidrovias da Bacia Amazônica**, 2017b. Disponível em: <www.meguiabrasil.com/mapadobrasil/mapa-hidrovia-bacia-amazonica.php>. Acesso em: 20 novembro 2017.

MELLO, A. F. P. Monitoramento e avaliação da regulamentação sobre recolhimento de alimentos no Brasil: proposição de indicadores e métricas. **Dissertação Pós Graduação Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica**, Rio de Janeiro, 2015. 185p.

MELO, C. A. D.; JANNUZZI, G. D. M.; TRIPODI, A. F. Evaluating public policy mechanisms for climate change mitigation in Brazilian buildings sector. **Energy Policy**, v. 61, p. 1200-1211, 2013.

MME. Luz para Todos completa 12 anos com 15,6 milhões de brasileiros beneficiados, 19 novembro 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/luz-para-todos-completa-12-anos-com-15-6-milhoes-de-brasileiros-beneficiados>. Acesso em: 11 novembro 2017.

MME. Percentual obrigatório de biodiesel passa para 10%, 01 março 2018a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/percentual-obrigatorio-de-biodiesel-passa-para-10->. Acesso em: 01 junho 2018.

MME. **Relatório Preliminar do Plano de Redução Estrutural das Despesas da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)**. Brasília. 2018b.

MOURMOURIS, J. C.; POTOLIAS, C. A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: A case study Thassos, Greece. **Energy Policy**, n. 52, p. 522–530, 2013.

MULLER, G. D. M. **Impacto de novas tecnologias e smart grids na demanda de longo prazo do sistema elétrico brasileiro**. Rio de Janeiro: Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE-UFRJ. Tese de doutorado, 2016.

NAGEL, S.; NAGEL, R. Incentives, MCDM, and environmental protection. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 13, p. 225-230, 1989.

NASCIMENTO, M. V. G. et al. **Opções à geração dieselétrica para sistemas isolados na região Norte**: eólica, hidrocínética e biomassa. Foz do Iguaçu: XV SNPTEE, 1999.

OECD/IEA. **Renewables in Russia. From Opportunity to Reality**. Paris: International Energy Agency, 2003.

ONS. **Plano anual da operação energética dos sistemas isolados para 2018**. Rio de Janeiro. 2017.

PACHECO, I. S. **Transporte de Combustíveis nos rios Amazonas e Solimões**. Seminário Internacional sobre Hidrovias Brasil / Flanders-Bélgica. Brasília: ANTAQ, 2007.

PACHECO, M. A. C.; VELLASCO, M. B. R. Métodos de apoio à decisão. In: _____ **Sistemas inteligentes de apoio à decisão: análise econômica de projetos de desenvolvimento de campos de petróleo sob incerteza**. Rio de Janeiro: PUC-Rio; Interciência, 2007. p. 83-93.

PAPADOPOULOS, ; KARAGIANNIDIS, A. Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems. **Omega**, v. 36, p. 766-776, 2008.

PATIL, S. K.; KANT, R. A fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of Knowledge Management adoption in Supply Chain to overcome its barriers. **Expert Systems with Applications**, 41, 2014. 679-693.

PERERA, A. T. D. et al. A hybrid tool to combine multi-objective optimization and multi-criterion decision making in designing standalone hybrid energy systems. **Applied Energy**, v. 107, p. 412-425, 2013.

PSR. **Energy Report. Edição 105**. Rio de Janeiro. 2015.

QUITMANN, E. **Enercon Energy Storage**. Rio de Janeiro: Apresentação em 20 de junho de 2018, 2018.

RECEITA FEDERAL. Cide-combustíveis, 03 outubro 2016. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/acesso-rapido/tributos/cide#aliquotas1>>. Acesso em: 05 agosto 2018.

RIBEIRO, L. A. D. S. et al. Making isolated renewable energy systems more reliable. **Renewable Energy**, v. 45, p. 221 - 231, 2012.

RIESGO, L.; GÓMEZ-LIMÓN, J. A. Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture. **Agricultural Systems**, v. 91, p. 1-28, 2006.

RIM. **Developing the Saint Lucia Energy Roadmap**. Colorado, EUA: Rocky Mountain Institute, 2016.

RIM e CWB. **Renewable microgrids: profiles from islands and remote communities across the globe**. Colorado, EUA: Rocky Mountain Institute and Carbon War Room, 2015.

RIVERA-LIRIO, J. M.; MUÑOZ-TORRES, M. J. The Effectiveness of the Public Support Policies for the European Industry Financing as a Contribution to Sustainable Development. **Journal of Business Ethics**, v. 94, p. 489–515, Julho 2010.

ROY, B. **Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)**. [S.l.]: Lausanne Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1968.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Mc-Graw-Hill, Makron, 1991.

SANTOS, M. A. **Análise do potencial do biodiesel de dendê para geração elétrica em sistemas isolados da Amazônia**. Rio de Janeiro: Dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ, 2008.

SANTOYO-CASTELAZO, E.; AZAPAGIC, A. Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. **Journal of Cleaner Production**, v. 80, p. 119-138, 2014.

SEFAZ/AM. **Decreto nº 20.686/1999 – RICMS/AM**. Manaus. 1999.

SEFAZ-AP. Arrecadação do Estado. **Secretaria de Estado de Fazenda do Amapá**, 2018. Disponível em: <<https://www.sefaz.ap.gov.br/arrecadacao-do-estado>>. Acesso em: 03 abril 2018.

ŞENGÜL, Ü. ET AL. Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. **Renewable Energy**, v. 75(C), p. 617-625, 2015.

SENJYU, T. ET AL. Optimal configuration of power generating systems in isolated island with renewable energy. **Renewable Energy**, v. 32, n. Issue 11, p. 1917–1933, 2007.

SERINS-AM. Governo do Amazonas encerrou 2017 com superávit. **Secretaria de Estado de Relações Institucionais do Amazonas**, 08 janeiro 2018. Disponível em: <<http://www.serins.am.gov.br/governo-do-amazonas-encerrou-2017-com-superavit/>>. Acesso em: 16 março 2018.

SHMELEV, S. E.; Bergh, J. C. J. M. V. D. Optimal diversity of renewable energy alternatives under multiple criteria: An application to the UK. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 679-691, 2016.

SMA. **Hybrid energy supply for the city of Cobija**. [S.l.]. 2015.

SOUZA, O. D. N. **Introdução à Teoria dos Conjuntos Fuzzy**. Universidade Estadual de Londrina. [S.l.]. 2010.

SOUZA, R. C. R. **Planejamento do Suprimento de Eletricidade dos Sistemas Isolados na Região Amazônica: Uma abordagem multiobjetiva**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica/Departamento de Energia. Tese de doutorado. UNICAMP, 2000.

STOFT, S. **Power System Economics: Designing Markets for Electricity**. [S.l.]: Wiley-IEEE Press, 2002.

ŠTREIMIKIENĖ, D.; ŠLIOGERIENĖ, J.; TURSKIS, Z. Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania. **Renewable Energy**, v. 85, p. 148-156, 2016.

TCU. **Acórdão 2344-2007. Processo: 005.252/2007-8**. [S.l.]. 2007.

TRINDADE, J. E. D. O. Mensuração e Avaliação da Capacidade Inovativa de Micro, Pequenas e Médias Empresas: aplicação de métodos multicritério fuzzy de

apoio à decisão. **Dissertação Pós Graduação Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica**, Rio de Janeiro, 2016. 107p.

TROLDBORG, M.; HESLOP, S.; HOUGH, R. L. Assessing the sustainability of renewable energy technologies using multi-criteria analysis: Suitability of approach for national-scale assessments and associated uncertainties. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 1173–1184, 2014.

TSOUTSOS, T. et al. Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. **Energy Policy**, n. 37, p. 1587–1600, 2009.

TSUCHIDA, T. D. C. **Modelagem da Localização de Pólos de Venda de Derivados de Petróleo**. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. Engenharia Industrial. PUC-Rio, 2008.

VERGARA, S. C. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2002.

WANG, J.-J. et al. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 2263-2278, 2009.

WIMMLER, C. et al. Multi-Criteria Decision Support Methods for Renewable Energy Systems on Islands. **Journal of Clean Energy Technologies**, v. 3, n. 3, Maio 2015.

WÜSTENHAGEN, R.; WOLSINK, M.; BÜRER, M. J. Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. **Energy Policy**, 2007. Volume 35, Issue 5, 2683-2691, ISSN 0301-4215.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, 1965. 338-353.

Apêndice 1 - Cidades crescem em torno das usinas - o caso de Careiro da Várzea - AM

Apesar dos grandes avanços da oferta de energia elétrica na Amazônia, principalmente a partir da década de 80, a grande extensão territorial e a baixa densidade demográfica constituem ainda obstáculos para a universalização da energia elétrica da região. Pode-se dizer que a energia elétrica continua a ser um fator de inibição do desenvolvimento regional, e sua falta, em localidades menores e mais isoladas, um fator de marginalização econômica, social e cultural (Domingues, 2003).

Nas comunidades isoladas da região amazônica essa questão ganha ainda mais importância, tendo em vista a relevância das usinas de geração de energia elétrica na economia das cidades, representando fonte de emprego e renda, direta e indiretamente, a uma parcela considerável da população.

Isso pode ser constatado em uma visita técnica realizada à usina termelétrica de Careiro da Várzea – AM, em 2013. Esse município, embora próximo à capital Manaus (dista cerca de 30 km), como mostra a Figura 16, permanece eletricamente isolado em função da inviabilidade técnica de sua interligação. Em função de suas características demográficas e culturais, essa localidade mostra-se como um exemplo representativo de diversas outras cidades isoladas da região.



Figura 16 - Localização de Careiro da Várzea em relação a Manaus
Fonte: Google Maps

O município de Careiro da Várzea está localizado na região do Rio Negro – Solimões, na zona leste do estado Amazonas, região fisiográfica do rio Solimões, é tipicamente de várzea (95%), sendo o restante composto em áreas de terra firme. Faz parte da Região Metropolitana de Manaus. Possui aproximadamente uma população de 26.722 habitantes. Altitude: 41 m, Área Territorial: 2.631,128 km² (ELETROBRAS AMAZONAS ENERGIA, 2016). O acesso se dá por via fluvial, a partir de Manaus.

Na visita, os funcionários empresa distribuidora de energia relataram questões sobre a economia local (baseada na agricultura e pesca) e sobre o perfil de consumo de energia elétrica: 41% residencial e 28% rural. Dada a predominância do consumo residencial, ao longo do ano há dois comportamentos distintos, no inverno e no verão, quando predomina o uso de aparelhos de ar-condicionado nas casas.

Outra questão relatada foi a importância da usina para a economia local, sobretudo para a geração de empregos diretos na cadeia de energia elétrica. Há pessoas dedicadas ao recebimento do combustível no porto da cidade; transporte do porto até a usina; operação das máquinas; limpeza da usina; atendimento à população; e cobrança e faturamento.

De fato, grande parte das pessoas encontradas durante a visita dedicava-se a essas tarefas, havendo ainda alguma atividade de comércio na cidade. O restante da população de encontrava no campo ou nos rios, exercendo seus trabalhos.

Também foram informados os principais problemas encontrados naquela localidade, que de acordo com os funcionários, são semelhantes aos das outras cidades do interior: justamente por representar um vetor de desenvolvimento, a cidade cresceu em torno da usina, com residências próximas às usinas, como mostram a Figura 17 e a Figura 18, gerando insatisfação local devido ao ruído e poluição dos motores.



Figura 17 - Imagem área de Careiro da Várzea-AM (usina em destaque)
Fonte: Google Maps



Figura 18 - Casas próximas à usina de Careiro da Várzea - AM
Fonte: Arquivo pessoal

Alagamentos e interrupção no fornecimento de energia

Devido às características topográficas da região amazônica, de relevo plano, são frequentes os alagamentos nas comunidades ribeirinhas durante as épocas de cheia dos rios. Durante a visita foi possível verificar a marca d'água na parede, a cerca de 1 metro de altura. Após o último alagamento o muro da usina foi pintado de azul até essa marca, conforme Figura 19.



Figura 19 - Marcas do alagamento no muro da UTE Careiro da Várzea
Fonte: Arquivo pessoal

Os alagamentos provocam interrupção da geração de energia, agravando ainda mais os problemas vivenciados pela população. A Figura 20 mostra outra imagem aérea da cidade durante um alagamento.

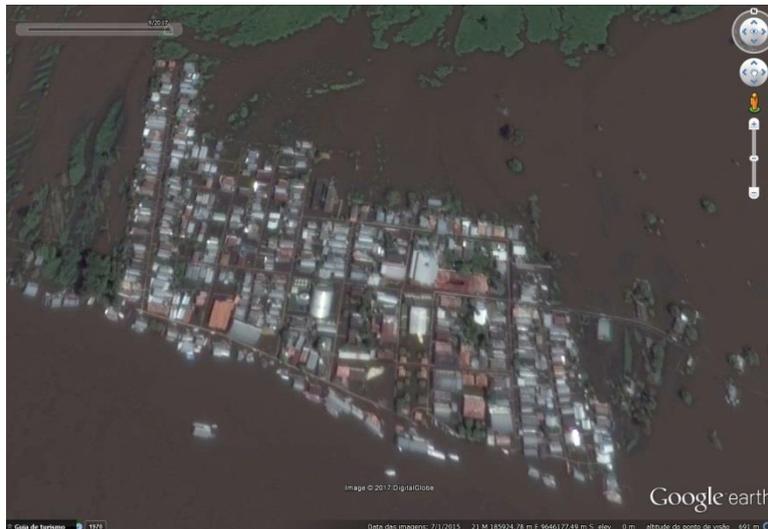


Figura 20 - Imagem aérea de Careiro da Várzea-AM durante a cheia
Fonte: Google Maps

Esses constantes alagamentos, de causa natural, são enfrentados pela população com certa naturalidade, dada a frequência de ocorrências. No entanto, ao provocar desligamento das usinas, provocam ainda mais dificuldades para os habitantes locais. Como forma de se evitar esse agravante, as novas usinas devem ser construídas em locais de maior elevação, além de afastados dos centros urbanos, de forma a minimizar os impactos socioambientais da geração de energia elétrica.

Apêndice 2 - Formulário enviado aos especialistas

Avaliação de Políticas Públicas para inserção de Fontes Renováveis nos Sistemas Isolados

Prezado especialista,

Você está recebendo um questionário cujo objetivo é a avaliação e a seleção de políticas públicas para inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados.

Ficariamos muito agradecidos com sua resposta, uma vez que os resultados empíricos farão parte da dissertação de mestrado desenvolvida no âmbito do curso de Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio e da Technische Universität Braunschweig, contribuindo para o avanço do conhecimento científico neste campo.

Atenciosamente,
Gustavo Ponte / Prof. Rodrigo Calili / Prof. Reinaldo Castro Souza

Objetivo do Instrumento de Coleta de Dados

Este questionário faz parte da pesquisa de dissertação de mestrado que visa identificar **barreiras para a adoção de fontes renováveis nos sistemas isolados**, onde a geração a partir do óleo diesel ainda representa cerca de 95% do total, e propor políticas públicas para reverter esse quadro.

As políticas públicas aqui propostas buscam o alinhamento com a diretriz estabelecida no Decreto nº 7.246/2010, segundo o qual os agentes dos Sistemas Isolados e a ANEEL deverão buscar a eficiência econômica e energética, a mitigação de impactos ao meio ambiente e a utilização de recursos energéticos locais, visando atingir a sustentabilidade econômica da geração de energia elétrica.

O objetivo deste Instrumento de Coleta de Dados é mensurar e avaliar potenciais políticas públicas que favoreçam a **Geração de Energia Elétrica a partir de Fontes Renováveis nos Sistemas Isolados**. A avaliação se dá à luz de seis dimensões: Econômica, Social, Robustez, Política, Técnica e Ambiental.

Políticas públicas avaliadas

1. **Implantação de projetos-piloto de usinas híbridas (híbridas)** - Soluções híbridas, combinando usinas a diesel com geração fotovoltaica e armazenamento, por exemplo, se mostram como uma alternativa de transição para matrizes mais limpas e de menor custo, sem perder a confiabilidade do suprimento. Essa penetração gradual de fontes de renováveis também pode auxiliar a transposição de barreiras culturais e de conhecimento sobre fontes alternativas nos sistemas isolados.
2. **Transferir ao gerador o risco da volatilidade do preço do diesel (risco gerador)** - Os modelos de contrato atuais consideram o reajuste mensal dos contratos com base nos preços de diesel publicados pela ANP. Para fins de competição nos leilões,

considera-se o preço corrente do mês anterior. Assim, o risco de volatilidade do preço do combustível, ao longo do horizonte contratual, é repassado ao consumidor. Ao transferir esse risco ao gerador, haveria um estímulo pela busca de soluções menos dependentes dos combustíveis fósseis. Por outro lado, o gerador deverá precificar esse risco, podendo levar a um maior custo de geração.

3. **Planejamento determinativo** - No modelo atual, orientativo, os leilões de geração objetivam a contratação das soluções de menor custo, independente da fonte, o que tem levado à contratação quase que exclusiva de usinas a diesel. O planejamento determinativo nos sistemas isolados, exigindo nos leilões uma penetração mínima de fontes renováveis, por exemplo, pode representar uma forma de promover tecnologias mais sustentáveis ambientalmente.
4. **Teto para subsídios** - A Cota de Consumo de Combustível (CCC) cobre, atualmente, a diferença entre o custo total de geração no sistema isolado e o valor médio no ACR (há limites de consumo específico de combustível). Uma maneira de racionalizar os gastos da CCC seria por meio da fixação de uma quantidade máxima de energia elétrica a ser subsidiada ou de um valor teto do subsídio, estimulando os consumidores a buscar medidas de eficiência energética e de geração distribuída, de modo a reduzir sua exposição ao elevado custo de geração a diesel. Essa medida, no entanto, pode deixar os consumidores expostos a um maior custo de geração de energia elétrica.
5. **Alíquota única de ICMS (ICMS)** - Dada a incidência de ICMS sobre a comercialização de combustíveis para geração de energia elétrica, o que é custeado em parte pela CCC, sugere-se que, para fins de ressarcimento pela CCC, seja considerada uma alíquota única de ICMS, preferencialmente a menor dentre os estados da região Norte.
6. **Simplificação do licenciamento ambiental (licença)** - Dada a baixa penetração de fontes renováveis em sistemas isolados, percebe-se que as poucas iniciativas existentes esbarram em exigências absurdas dos órgãos licenciadores, enquanto as termelétricas continuam operando normalmente, apesar dos impactos ambientais. Essa proposta visa a simplificação do licenciamento ambiental de usinas com geração renovável.

Destaca-se que todas as propostas partem do pressuposto de que o fornecimento de energia elétrica deve ser confiável e seguro, não sendo admitidas falhas ou interrupções.

Instruções de preenchimento Instrumento de Coleta de Dados

Para cada uma das seis políticas públicas avaliadas, pedimos que marque **apenas uma alternativa** em relação ao grau do uso/aplicação da mesma (por ex.: “muito baixo”, “baixo”, “moderado”, “alto” e “muito alto”) em relação a cada um dos critérios avaliados.

Ex.: No critério fictício “S”, o desenvolvimento de usinas híbridas tem importância “baixa”, a transferência de riscos ao gerador importância “moderada”, o planejamento determinativo tem importância “baixa” e o teto para subsídios importância “muito alta”. Já a adoção de alíquota única de ICMS não se aplica (NA) a esse critério ou mesmo não guarda relação com o mesmo. Por fim, a simplificação do licenciamento ambiental tem importância “alta”.

Política Pública		Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito alta	NA
1	Híbridas		X				
2	Risco gerador			x			
3	Planejamento determinativo		X				
4	Teto para subsídios					x	
5	ICMS						x
6	Licença				x		

Para cada dimensão são apresentados e descritos critérios para os quais deve ser feita essa avaliação. Também há espaço para a sugestão de outras políticas públicas a serem avaliados. Ao final há um espaço para descrição das sugestões apontadas.

Instrumento de Coleta de Dados

Dimensão Econômica: critérios

E1. Potencial de transformação do mercado. Este critério avalia o potencial que uma determinada política tem de promover transformações no mercado de energia elétrica nos sistemas isolados, sobretudo na promoção de fontes renováveis.

Potencial de transformação do mercado							
	Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas						
2	Risco gerador						
3	Planejamento determinativo						
4	Teto para subsídios						
5	ICMS						
6	Licença						
7	Outra (especifique)						
8	Outra (especifique)						

E2. Custo para sociedade. Este critério avalia o Impacto de cada política sobre custo total para a sociedade, contemplando não só o custo de geração de energia elétrica (subsidiado pela CCC), mas também impactos financeiros indiretos. Trata-se de uma análise de impacto (*ex-ante*) que busca avaliar previamente as consequências econômicas de determinada política pública.

Custo para sociedade							
	Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas						
2	Risco gerador						
3	Planejamento determinativo						
4	Teto para subsídios						
5	ICMS						
6	Licença						
7	Outra (especifique)						
8	Outra (especifique)						

E3. Aumento de subsídios/encargos. Este critério avalia o Impacto direto de cada política nos subsídios e encargos destinados ao custeio da geração de energia elétrica nos sistemas isolados, em especial a CCC/CDE.

Aumento de subsídios/encargos							
	Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas						
2	Risco gerador						
3	Planejamento determinativo						
4	Teto para subsídios						
5	ICMS						
6	Licença						
7	Outra (especifique)						
8	Outra (especifique)						

E4. Arrecadação de impostos. Avalia o impacto de cada política na arrecadação de impostos na atividade de geração de energia elétrica nos sistemas isolados. Considera, por exemplo, a queda de arrecadação de ICMS decorrente do menor consumo de óleo diesel na geração termelétrica, quando esta é deslocada ou substituída.

Arrecadação de impostos							
	Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas						
2	Risco gerador						
3	Planejamento determinativo						
4	Teto para subsídios						
5	ICMS						
6	Licença						
7	Outra (especifique)						
8	Outra (especifique)						

Dimensão Social: critérios

S1. Aceitação social. Este critério avalia a aceitação da sociedade em relação a uma dada política pública, considerando os impactos da mesma sobre a geração de energia elétrica nos sistemas isolados.

Aceitação social							
	Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas						
2	Risco gerador						
3	Planejamento determinativo						
4	Teto para subsídios						
5	ICMS						
6	Licença						
7	Outra (especifique)						
8	Outra (especifique)						

S₂. Acesso à energia elétrica. Este critério avalia o quanto a política pública contribui para a garantia de acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos (ODS 7.1).

Acesso à energia elétrica						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas					
2	Risco gerador					
3	Planejamento determinativo					
4	Teto para subsídios					
5	ICMS					
6	Licença					
7	Outra (especifique)					
8	Outra (especifique)					

S₃. Desenvolvimento local. Este critério avalia os impactos potenciais positivos na região na qual um novo projeto de geração de energia será implementado em decorrência das políticas propostas, destacando-se a geração de empregos e renda, a criação de novos negócios e a ampliação de infraestrutura e instalação de instituições de ensino, saúde, cultura e entretenimento.

Desenvolvimento local						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas					
2	Risco gerador					
3	Planejamento determinativo					
4	Teto para subsídios					
5	ICMS					
6	Licença					
7	Outra (especifique)					
8	Outra (especifique)					

Dimensão Robustez: critérios

R₁. Experiência prévia. Este critério avalia se há registro de ações ou políticas públicas já experimentadas, semelhantes à proposta, em nível nacional ou internacional. Quanto maior a quantidade de experiências prévias, mais a pontuação, e vice-versa.

Experiência prévia						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas					
2	Risco gerador					
3	Planejamento determinativo					
4	Teto para subsídios					
5	ICMS					
6	Licença					
7	Outra (especifique)					
8	Outra (especifique)					

R2. Dificuldade de implementação. Este critério avalia a dificuldade esperada para a implementação da política pública planejada. Contempla ajustes legais e regulatórios necessários e a exposição a possíveis acordos políticos para sua aprovação. Também considera a flexibilidade que a proposta apresenta, ou seja, o quanto pode ser modificada durante a discussão, visando sua aprovação, sem comprometer sua eficácia.

Dificuldade de implementação						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas					
2	Risco gerador					
3	Planejamento determinativo					
4	Teto para subsídios					
5	ICMS					
6	Licença					
7	Outra (especifique)					
8	Outra (especifique)					

R3. Possibilidade/Facilidade de monitorar e avaliar as políticas. Este critério mede a possibilidade ou facilidade para que a política pública possa ser monitorada e avaliada após sua implementação, ou seja, o acompanhamento da efetividade da política.

Possibilidade/Facilidade de monitorar e avaliar as políticas						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas					
2	Risco gerador					
3	Planejamento determinativo					
4	Teto para subsídios					
5	ICMS					
6	Licença					
7	Outra (especifique)					
8	Outra (especifique)					

R4. Impactos previstos. Consiste na avaliação prévia das consequências da política, verificando se os benefícios potenciais excedem os custos estimados e se, entre todas as alternativas consideradas para alcançar o objetivo proposto, a ação é a mais benéfica para a sociedade.

Impactos previstos						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas					
2	Risco gerador					
3	Planejamento determinativo					
4	Teto para subsídios					
5	ICMS					
6	Licença					
7	Outra (especifique)					
8	Outra (especifique)					

Dimensão Política: critérios

P1. Alinhamento com os acordos internacionais. Este critério avalia o alinhamento da política aos acordos internacionais voltados para o desenvolvimento sustentável — tratados, convenções, acordos, protocolos, tais como: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e Acordo de Paris (COP-21).

Alinhamento com os acordos internacionais						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1 Híbridas						
2 Risco gerador						
3 Planejamento determinativo						
4 Teto para subsídios						
5 ICMS						
6 Licença						
7 Outra (especifique)						
8 Outra (especifique)						

P2. Alinhamento às políticas nacionais. Este critério avalia o alinhamento do emprego de uma dada política pública às políticas públicas de incentivo às fontes de energias renováveis como Proinfra, PNEf e BNDES Finem - Geração de Energia.

Alinhamento às políticas nacionais						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1 Híbridas						
2 Risco gerador						
3 Planejamento determinativo						
4 Teto para subsídios						
5 ICMS						
6 Licença						
7 Outra (especifique)						
8 Outra (especifique)						

P3. Riscos políticos. Este critério avalia o quão exposta é determinada política a influências externas, como sanções regionais, interferências individuais ou de grupos econômicos/empresarias. Este critério avalia o quanto determinados grupos podem contribuir para a não efetividade da política.

Riscos políticos						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1 Híbridas						
2 Risco gerador						
3 Planejamento determinativo						
4 Teto para subsídios						
5 ICMS						
6 Licença						
7 Outra (especifique)						
8 Outra (especifique)						

P4. Governança pública e sustentabilidade do setor. Afere o conjunto de mecanismos de liderança, estratégia e controle possíveis para avaliar, direcionar e monitorar a gestão da política pública, garantindo sua continuidade, sem depender de ações políticas ou subsídios. Definir órgãos competentes e responsáveis para implementar, avaliar, direcionar e mensurar a política pública adotada.

Governança pública e sustentabilidade do setor						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas					
2	Risco gerador					
3	Planejamento determinativo					
4	Teto para subsídios					
5	ICMS					
6	Licença					
7	Outra (especifique)					
8	Outra (especifique)					

P5. Dependência externa. Avalia o quanto cada política expõe o sistema isolado à dependência externa. E.g.: no caso de Boa Vista-RR, corresponde à dependência do suprimento pela Venezuela, ou seja, o quanto a segurança energética está atrelada ao fornecimento pelo país vizinho.

Dependência externa						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas					
2	Risco gerador					
3	Planejamento determinativo					
4	Teto para subsídios					
5	ICMS					
6	Licença					
7	Outra (especifique)					
8	Outra (especifique)					

Dimensão Técnica: critérios

T1. Confiabilidade do fornecimento de energia. Este critério avalia o impacto que certa política pública pode provocar na confiabilidade do suprimento ao consumidor final, ou seja, na capacidade de um sistema de geração disponibilizar energia elétrica a qualquer momento, sempre que demandado, sem falhas ou interrupções. Contempla inclusive a eventual adoção de novas tecnologias de geração pouco confiáveis, que possam expor os consumidores ao risco de falha no suprimento.

Confiabilidade do fornecimento de energia						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1	Híbridas					
2	Risco gerador					
3	Planejamento determinativo					
4	Teto para subsídios					
5	ICMS					
6	Licença					
7	Outra (especifique)					
8	Outra (especifique)					

Dimensão Ambiental: critérios

A1. Impacto ambiental. Este critério avalia os impactos diretos e indiretos ao meio ambiente em decorrência da implantação das políticas públicas e, conseqüentemente, da implantação e operação dos sistemas de geração de energia elétrica. Contempla as emissões de gases de efeito estufa (sobretudo CO₂) na atmosfera, em decorrência da implantação e operação dos sistemas de geração de energia elétrica.

Impacto ambiental						
Política Pública	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	NA
1 Híbridas						
2 Risco gerador						
3 Planejamento determinativo						
4 Teto para subsídios						
5 ICMS						
6 Licença						
7 Outra (especifique)						
8 Outra (especifique)						

Sugestões de políticas públicas

Caso você tenha sugerido e avaliado outras políticas públicas, além das propostas, pedimos que as descreva a seguir, a exemplo da explicação na seção “Objetivo do Questionário”.

Política pública sugerida:

Descrição:

Política pública sugerida:

Descrição:
