

Eixo Temático: Estratégia e Internacionalização de Empresas

**ESTRATÉGIA ENERGÉTICA E SOCIOAMBIENTAL NA GESTÃO PÚBLICA COM
APLICAÇÃO DOS MÉTODOS AHP E PROMETHEE**

**ENERGY AND ENVIRONMENTAL STRATEGY IN PUBLIC MANAGEMENT
WITH APPLICATION OF AHP AND PROMETHEE METHODS**

William Ismael Schmitz, Magdiel Schmitz, Luciane Neves Canha e Daniel Pinheiro Bernardon

RESUMO

Os recursos energéticos do estado localizam-se em sua grande maioria em regiões pouco desenvolvidas e distantes dos grandes centros consumidores. Promover o desenvolvimento econômico dessas regiões, aliado com uma análise socioambiental e suprir a crescente demanda energética das regiões mais desenvolvidas são alguns dos desafios de uma política pública eficiente. Seguindo estes propósitos, o presente artigo apresenta um modelo de tomada de decisão pública para a expansão estratégica da matriz energética do estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de utilizar a implantação de projetos e incentivos para a geração de energia elétrica, como ferramenta de desenvolvimento regional. São levantados os principais critérios impactantes na solução, aplicando a metodologia AHP na definição dos graus de preferência entre eles, para posterior aplicação do método PROMETHEE para a obtenção de um ranking das regiões do RS, que nortearão a implantação de medidas públicas para o setor de geração de energia elétrica. A complexidade e diversidade envolvendo os critérios e objetivos torna obrigatória a aplicação de ferramentas de análise multicriterial, de forma a modelar matematicamente a opinião técnica dos decisores em conjunto com os dados levantados.

Palavras-chave: análise multicriterial, AHP, PROMETHEE, planejamento energético, planejamento socioambiental.

ABSTRACT

The state's energy resources are located mostly in underdeveloped regions and distant from large consumer centers. Promote the economic development of these regions, together with an environmental analysis and supply the growing energy demand of the most developed regions are some of the challenges of an efficient public policy. Following these purposes, this article presents a public decision-making model for the strategic expansion of the energy matrix of the Rio Grande do Sul state, in order to use the implementation of projects and tax incentives for the generation of electricity, as regional development tool. The main impactful criteria in the solution are defined; then, the AHP methodology for defining the preference degrees between them is applied, for subsequent application of PROMETHEE method in order to obtain a ranking with the regions of the RS, which will guide the implementation of public measures for the electricity generation sector. The complexity and diversity involving the criteria and objectives makes mandatory the application of multi-criteria analysis tools in order to mathematically model the technical opinion of the decision makers together with the collected data.

Keywords: multi-criteria analysis, AHP, PROMETHEE, energy planning, environmental planning.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho baseia-se no fato de que a disponibilidade de energia elétrica representa um grande indicativo de desenvolvimento econômico de uma determinada região ou país. Diante do atual panorama energético Brasileiro, no que se refere à recente crise hídrica no ano de 2015 que deixou os órgãos governamentais federais e estaduais em nível de atenção, é de grande importância que se procure propostas e medidas de incentivo à geração de energia, tanto a nível federal quanto estadual. Entretanto, é preciso estar atento também a alternativas que acompanhem metas de desenvolvimento socioeconômico para as regiões menos desenvolvidas e que também priorizem uma matriz energética limpa, com a utilização de fontes renováveis.

A existência de uma oferta energética ampla, segura e diversificada é imprescindível para que se tenha um desenvolvimento socioeconômico das cidades e parques industriais de um determinado local. Diante deste cenário, abordando uma visão estratégica governamental, é necessário definir políticas que garantam a segurança e a qualidade do suprimento energético. O estado do Rio Grande do Sul (RS) atento a estes quesitos aqui levantados, recentemente criou um plano energético estadual onde visa o planejamento energético de médio e longo prazo para o estado, cujo trabalho realizado teve participação dos setores públicos e privados. Este plano estratégico propõe políticas de captação de recursos para o setor energético com o intuito de aproveitar os potenciais existentes e não explorados no estado, assim como criar pólos de empresas ligados ao setor de energia (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016).

O presente trabalho traz como proposta a elaboração de um *ranking* regional estadual de prioridade visando à destinação de investimentos e políticas públicas relacionadas ao setor energético, sendo que os recursos podem ser tantos de nível público quanto de cooperativas, consórcios, parcerias público-privadas ou em forma de incentivos fiscais. Pretende-se com este *ranking*, propiciar o desenvolvimento socioeconômico regional, observando as disponibilidades de recursos energéticos de cada região e priorizando fontes de energias renováveis. Acredita-se que com a inserção destes recursos, criar-se-á empregos e renda para as regiões contempladas, trazendo divisas quanto ao recolhimento de impostos aos municípios aumentando-se assim o desenvolvimento socioeconômico local.

Através da utilização de ferramentas de análise de multicritérios, é possível realizar uma escolha ou uma classificação hierárquica de alternativas disponíveis, considerando não somente fatores quantitativos técnicos e econômicos, como também fatores qualitativos difíceis de serem medidos, como o desenvolvimento social e critérios ambientais. Este trabalho faz o uso conjunto de duas ferramentas de análise multicriterial, o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) com o método *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE), de forma a modelar matematicamente a opinião técnica dos especialistas em conjunto com os dados levantados. Utilizou-se o método AHP na definição dos pesos dos critérios avaliados, os quais foram inseridos no método PROMETHEE para a elaboração do *ranking*. Os critérios analisados levam em conta aspectos técnicos de geração energética assim como aspectos de impacto socioeconômicos e ambientais. As alternativas exploradas são compostas pelas sete mesorregiões estaduais com similaridades econômicas e sociais.

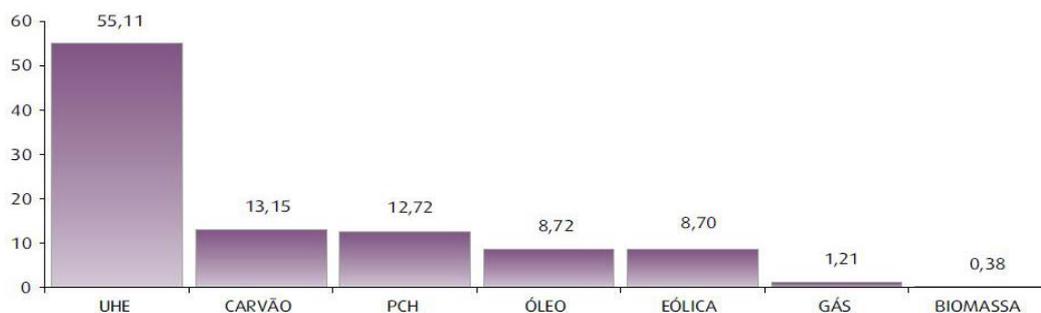
2 CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 OFERTA E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO RIO GRANDE DO SUL

O potencial hidráulico, da força dos ventos, da irradiação solar, da biomassa, biodiesel, etanol e as reservas de carvão são suficientemente abundantes para garantir a autossuficiência energética do Rio grande do Sul. A situação atual do setor elétrico gaúcho – crescimento da

demanda em descompasso com a oferta e restrições socioeconômicas e ambientais à expansão do sistema – indica a necessidade de uma nova estratégia de expansão da matriz energética, de modo a suprir a crescente demanda de energia elétrica com um maior aproveitamento de fontes alternativas. Outro fator importante na oferta de energia é quanto à sua diversidade e distribuição (Figura 1), sendo que quanto mais usinas estiverem disponíveis geograficamente ao longo do sistema elétrico estadual, melhor será para a confiabilidade e robustez deste.

Figura 1 – Geração proporcional por fontes de geração no RS em 2014 - %.

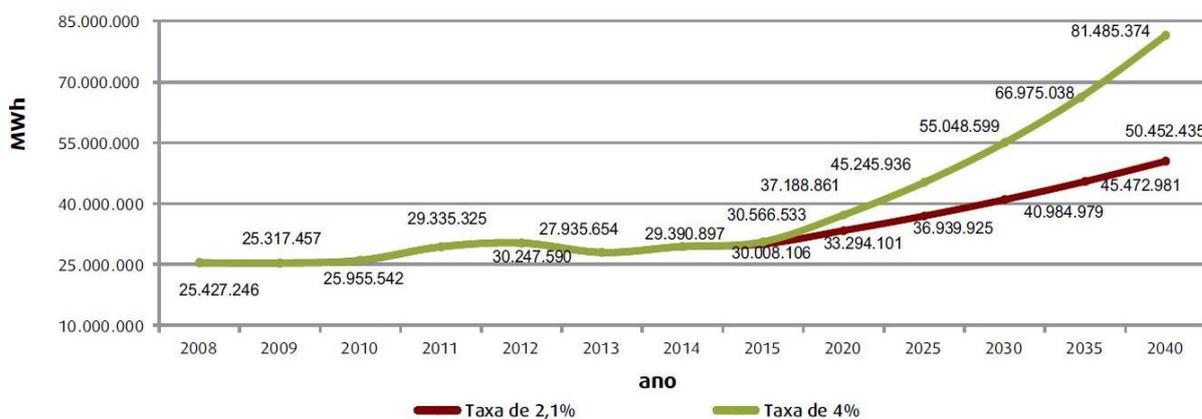


Nota: A Energia das UHE de fronteira é calculada pelo fluxo de energia no Estado e não está somada no valor do gráfico.

Fonte: CAPELETTO (2015).

Em 2014 o consumo de eletricidade no RS foi 29.390.897 MWh, representando um crescimento de 5,21% em relação a 2013. Mesmo considerando o atual período de recessão econômica do estado e do país, ao analisar o histórico percebe-se um crescimento natural no consumo de energia, podendo este crescimento ser retardado pela recessão, mas sendo inevitável, devendo ainda uma estratégia energética ser tomada visando os horizontes de médio e longo prazo no desenvolvimento do estado. A figura 2 apresenta a evolução no consumo final de eletricidade no Rio Grande do Sul no período de 2008 a 2014, com projeções até 2040, onde se pode ver uma crescente demanda de energia prevista.

Figura 2 - Consumo final de eletricidade no RS (2008 a 2014) e projeção até 2040.



Fonte: Adaptado de CAPELETTO (2015).

2.2 INCENTIVOS FISCAIS

Os governos federal e estadual, através de políticas e diretrizes de energia elétrica, podem fomentar e/ou financiar projetos de geração de energia, criando incentivos para

empresas como isenções fiscais, financiamentos, concessões, entre outros artifícios disponíveis. Muitos subsídios disponíveis são financiados por encargos recolhidos pelas distribuidoras por meio da conta de luz de modo a viabilizar a implantação de políticas públicas no setor elétrico, tendo objetivos pré-definidos. Alguns encargos e programas de fomento são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Políticas de fomento para expansão energética.

Encargo	Finalidade
Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)	Propiciar o desenvolvimento energético a partir das fontes alternativas; promover a universalização do serviço de energia, e subsidiar as tarifas da subclasse residencial Baixa Renda (ANEEL, 2016).
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. ANEEL (2016)
Reserva Global de Reversão - RGR	Indenizar ativos vinculados à concessão e fomentar a expansão do setor elétrico (ANEEL, 2016).
Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos (CFURH)	Compensar financeiramente o uso da água e terras produtivas para fins de geração de energia elétrica (ANEEL, 2016).
Encargos de Serviços do Sistema (ESS)	Aumentar a confiabilidade e a segurança da oferta de energia no país (ANEEL, 2016).
Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (P&D)	Estimular pesquisas científicas e tecnológicas relacionadas à energia elétrica e ao uso sustentável dos recursos naturais (ANEEL, 2016).
Programa/órgão	Finalidade
Energia Região Sul - SIGPLAN	Ampliar a capacidade de oferta de geração e transmissão de energia elétrica na região sul (MME, 2016)
COREDES-RS – Conselhos Regionais de Desenvolvimento do RS	Elaborar programas e projetos regionais, em diversos setores, dentre eles, o de energia elétrica do estado do RS (COREDES, 2010).
BRDE Energia – Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul	O Banco apoia investimentos no segmento de geração de energia limpa e renovável, com o incremento das fontes alternativas de energia como eólica, solar, biomassa e microgeração distribuída (BRDE, 2016).

Fonte: autores.

2.3 SOCIAL

A utilização dos recursos energéticos deve ser estrategicamente aproveitado visando à maximização dos benefícios proporcionados à sociedade. Um eficiente suprimento energético em regiões estratégicas e pouco desenvolvidas pode trazer inúmeros benefícios socioeconômicos diretos, como aumento da riqueza pela geração de empregos com implantação e operação da usina, assim como pelo fornecimento da infraestrutura necessária para atrair novas empresas para a região; e indiretos, tais como melhoras nos indicadores da situação da saúde (como mortalidade infantil e longevidade), da situação de segurança pública (índice de homicídio e de roubo), da situação da escolaridade (analfabetismo, qualidade do ensino, taxa de cobertura, de reprovação e de evasão escolar), conforme índices apresentados no estudo feito por (CAPELETTO, 2015). Estes proveitos são alcançados tanto pela geração de empregos, e consequente aumento na qualidade de vida, como também pelo pagamento de royalties para as prefeituras, se convertendo em benefícios para a sociedade.

Visando ao preenchimento dessa lacuna, este trabalho apresenta uma análise estratégica para a gestão pública, no que se refere à expansão da matriz energética, visando ainda um desenvolvimento socioambiental abordando os fatos apresentados.

3 METODOLOGIA

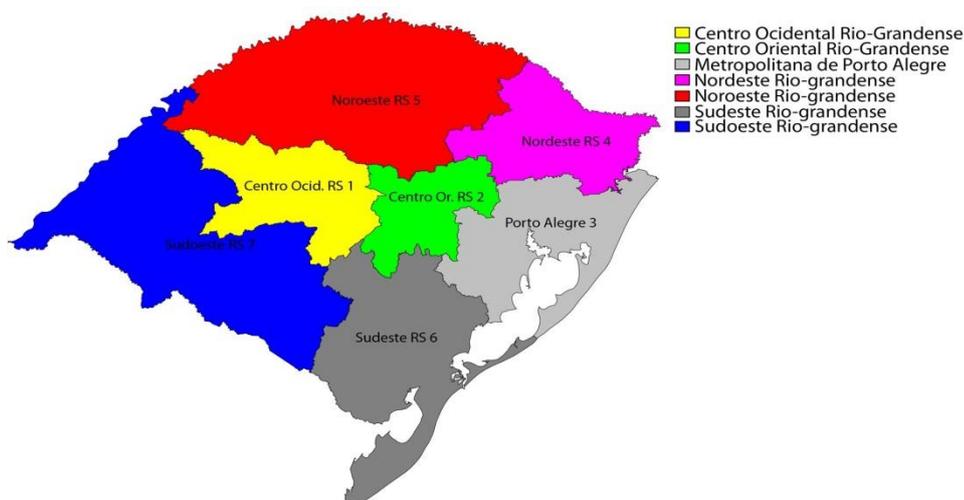
O presente trabalho tem por objetivo realizar uma classificação hierárquica das regiões do RS de acordo com alguns critérios, de maneira que a escolha não se realize somente abordando aspectos técnicos, mas também incluindo aspectos ambientais e socioeconômicos. Este *ranking* norteará futuras alocações de investimentos e políticas públicas de incentivos fiscais na área energética, visando fomentar o desenvolvimento de regiões que se encontram com baixo índice de desenvolvimento socioeconômico. Também são levados em consideração os aspectos ambientais, dando prioridade às energias renováveis disponíveis em cada região, de modo a aproveitar as cadeias produtivas existentes e os potenciais energéticos disponíveis.

Para a realização deste ranking regional, utilizaram-se dois métodos de análise multicritério em conjunto, o AHP e o PROMETHEE II. Com a utilização do método AHP foi possível realizar a definição dos pesos dos critérios, traduzindo matematicamente as informações e opiniões dos envolvidos no estudo, os quais foram inseridos posteriormente na metodologia PROMETHEE II para a realização do *ranking* estadual, com o auxílio do software *Visual Promethee*. O PROMETHEE foi escolhido devido de a questão proposta tratar-se de uma problemática de ordenação, chamada também de hierarquia ou *ranking*.

3.1 MESORREGIÕES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Para a realização do estudo, se utilizou a divisão por mesorregião, esta classificação divide o Rio Grande do Sul em sete regiões geográficas com similaridades econômicas e sociais. Estas regiões, apresentadas na figura 3, compõem o grupo de alternativas em estudo.

Figura 3 - Mesorregiões do RS.



Fonte: Imagem gerada no sistema TabWin (Datusus).

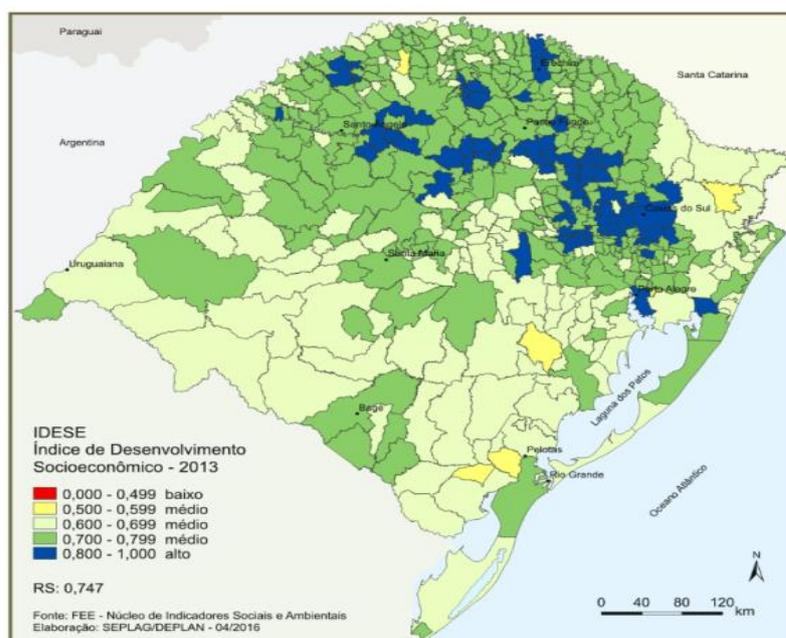
3.2 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS

De acordo com Belton e Steward (2012), métodos de decisão multicritério naturalmente demandam por critérios através dos quais a avaliação das alternativas será realizada. A seguir, são apresentados os critérios definidos para a realização do estudo.

3.2.1 Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE)

O Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE) realizado pela Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser (FEE), avalia a situação socioeconômica do estado do Rio Grande do Sul quanto aos critérios de educação, renda e saúde, reunindo um total de 12 indicadores. Este índice tem por objetivo medir o grau de desenvolvimentos dos municípios do Rio Grande do Sul, no qual o índice varia entre 0 (nenhum desenvolvimento) e 1 (desenvolvimento total) (FEE, 2016). Os valores apresentados pelo departamento FEE são individualizados por município e referentes ao ano de 2013, no presente trabalho eles foram agrupados pelas regiões do estado, nas quais foram feitas as médias dos municípios integrantes. Através da figura 4, é possível ver o mapa deste indicador individualizado por município para o ano de 2013.

Figura 4 - Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE).



Fonte: SEPLAN.

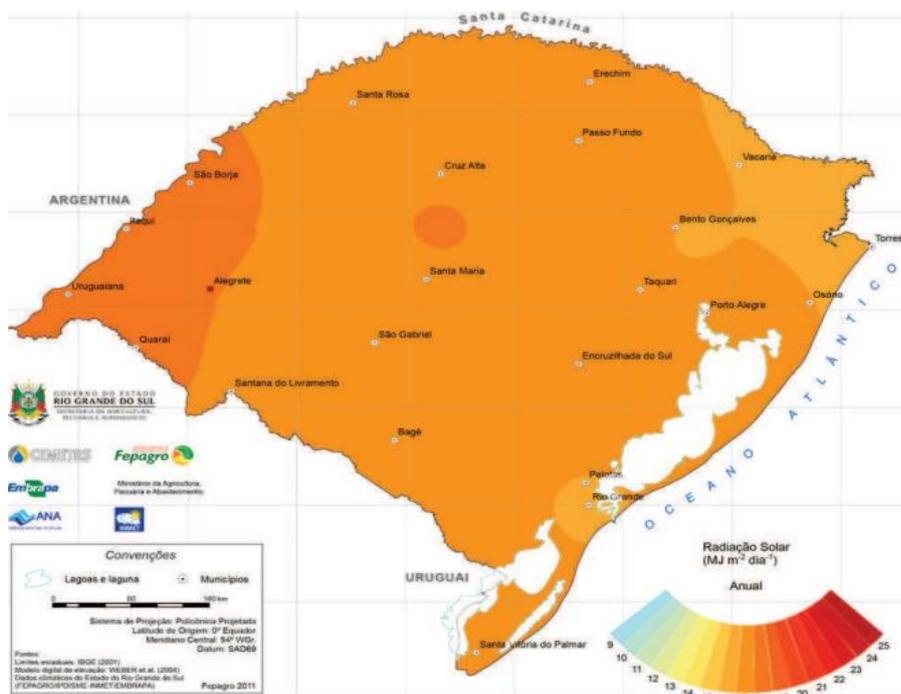
3.2.2 Número de Habitantes

Através deste critério, se pretende beneficiar o maior número de habitantes (Nº Habitantes) do estado através dos incentivos e políticas governamentais visando a geração de energia, estes valores foram retirados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados são baseados na estimativa de crescimento da população que o órgão fez para a data de referência de 01 de julho de 2015 (IBGE, 2016). Estes dados foram analisados e separados pelas regiões de estudo do estado do RS.

3.2.3 Radiação Solar

O índice de radiação solar permite identificar as melhores regiões para a instalação de geração fotovoltaica no RS. Portanto, a região que apresentar o melhor índice terá prioridade sobre a que apresentar um valor inferior. Os valores foram retirados do Atlas climático do Rio Grande do Sul (CEMET, 2016). A unidade de medida é dada em megajoule por m² por dia [MJ/m²/dia] e os valores utilizados são referentes às cidades de cada região que possuem estação de medição. Na figura 5 é apresentado o mapa de radiação solar anual.

Figura 5 – Radiação solar.



Fonte: CEMET.

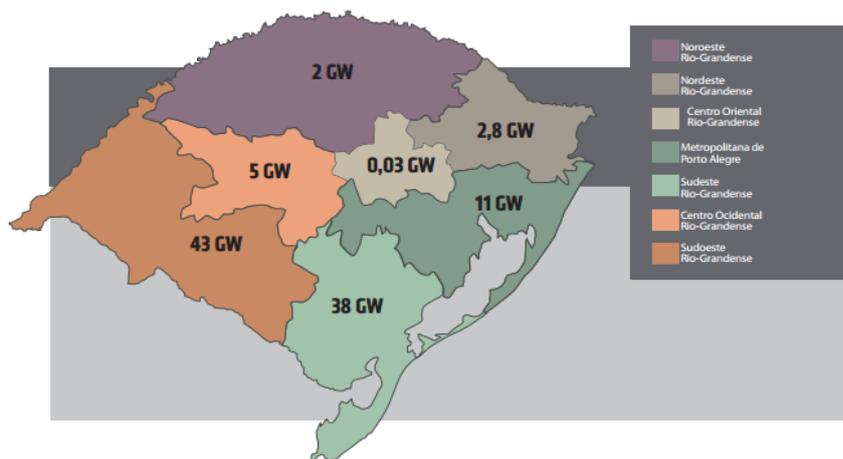
3.2.5 Carvão

Para este critério, realizou-se um levantamento dos estoques de carvão existentes no RS e posteriormente dividiu-se por regiões, os dados levantados foram retirados do balanço energético do Rio Grande do Sul 2015 ano base 2014 (CAPELETTO, 2015), os dados são apresentados em toneladas de carvão disponíveis. Pretende-se com este critério, priorizar a implantação de geração de energia em regiões com grandes disponibilidades deste recurso, porém, como se trata de uma fonte poluente, terá uma menor preferência na em relação aos outros critérios na avaliação.

3.2.4 Potencial Eólico

O potencial eólico permite identificar quais as regiões do RS que possuem as melhores condições de geração provenientes deste tipo de recurso. Os valores coletados do Plano Energético do Rio Grande do Sul (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016), baseiam-se em medições realizadas a 100 metros de altura, cujos valores são dados em gigawatts e podem ser identificados na figura 6.

Figura 6 – Potencial eólico.



Fonte: Secretaria de Minas e Energias.

3.2.6 Biodiesel & Etanol

Biodiesel e etanol são grandes fontes de energia renováveis, com o intuito de indicar as regiões de produção deste tipo de matéria prima, utilizou-se o sistema WEBMAP EPE da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (EPE, 2016), no qual se elencou as cidades produtoras de tais fontes, separando-as por regiões, os valores são apresentados em m³ anuais. Pretende-se com este levantamento identificar os locais que possuem uma cadeia produtiva instalada para produção de etanol e em sua maioria de biodiesel, reduzindo possíveis investimentos em infraestrutura. Caso o *ranking* indique uma região produtora de um destes produtos, será possível fomentar as empresas existentes visando a produção de energia elétrica, trazendo desenvolvimento para a determinada região. Quanto maior a produção em m³ de biodiesel e etanol uma determinada região possuir, maior será a prioridade neste critério, indicando que lá existe uma cadeia produtiva sólida para gerar este tipo de energia.

Na figura 7, pode-se observar que a produção de biodiesel se concentra majoritariamente na região noroeste e nordeste do estado, grande parte proveniente do cultivo da soja. Devido ao fato deste tipo de matéria prima ser utilizada para outros fins, como em automóveis, por exemplo, ela apresenta um peso menor que a biomassa, já que esta geralmente é resultado da sobra de algum processo produtivo.

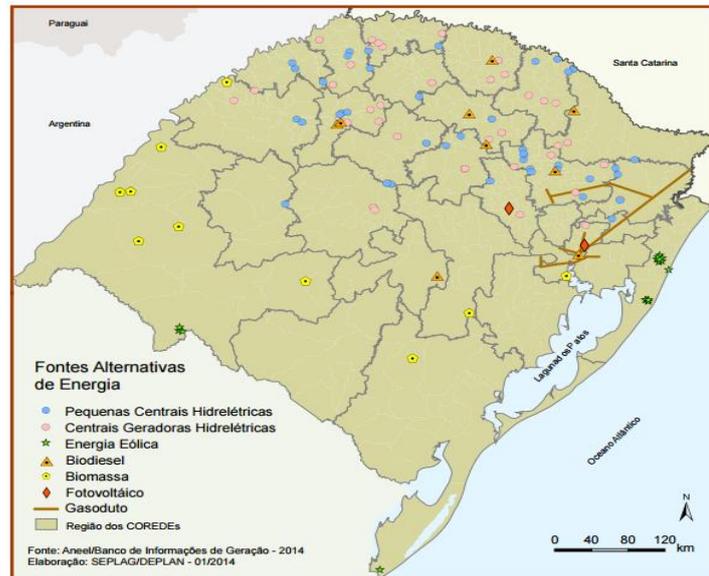
3.2.7 Biomassa

Pretende-se com este critério, identificar as regiões com grandes disponibilidades deste tipo de matéria prima. Contudo, encontrou-se uma grande dificuldade para realizar o levantamento deste tipo de insumo, devido a isso, utilizou-se a potência instalada de geração de energia elétrica com biomassa, sendo o valor dado em gigawatts por região. Entende-se que através deste artifício, foi possível localizar as regiões produtoras deste material e caso venha ser contemplada no *ranking*, deverá ser realizado um estudo mais detalhado sobre este assunto, realizando um levantamento da matéria prima existente, que servirá também como um indicativo de custo/benefício para possíveis investimentos de terceiros.

Entende-se por biomassa, materiais de origem animal ou vegetal que podem ser utilizados na produção de energia, eles podem ser tanto de origem florestal, como restos de madeira, quanto de origem agrícola, como cascas de arroz, bagaço de cana entre outros. Quando queimados em termoelétricas a vapor, geram energia elétrica. Na figura 7 é possível ver que a produção de energia proveniente da biomassa é predominante nas regiões sudeste e sudoeste

do RS, grande parte proveniente da casca de arroz que é a cultura predominante na região, sendo o RS o maior produtor de arroz do Brasil (cerca de 55%). Os dados adquiridos são provenientes do sistema WEBMAP EPE (EPE, 2016).

Figura 7 – Fontes alternativas de energia.



Fonte: SEPLAN.

3.3 FUNÇÃO OBJETIVO

A função objetivo considerada neste trabalho pretende maximizar (1) os critérios de N° habitantes, índice de radiação solar, potencial eólico, biodiesel & etanol, biomassa, reservas de carvão e minimizar (2) o critério IDESE. Deste modo, pretende-se priorizar a região com o menor índice de desenvolvimento socioeconômico, maximizando as reservas de energias disponíveis em cada região dando maior peso para energias renováveis e abrangendo a maior quantidade de habitantes do estado.

A estimativa do tomador de decisão é de identificar a otimização das alternativas apresentadas para os critérios elencados. A função objetivo é composta da seguinte maneira,

$$\max\{g_{N^\circ \text{ Habitantes}}(R_i), g_{\text{Radiação Solar}}(R_i), g_{\text{Potencial Eólico}}(R_i), g_{\text{Carvão}}(R_i), g_{\text{Biodiesel \& Etanol}}(R_i), g_{\text{Biomassa}}(R_i)\}; \quad (1)$$

$$\min\{g_{\text{IDESE}}(R_i)\}; \quad (2)$$

Onde R são as regiões do estado que compõem um conjunto finito de alternativas $R_i = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7\}$ e g_i é o conjunto de critérios de avaliação; $g_i = \{g_{N^\circ \text{ Habitantes}}, g_{\text{Radiação Solar}}, g_{\text{Potencial Eólico}}, g_{\text{Carvão}}, g_{\text{Biodiesel \& Etanol}}, g_{\text{Biomassa}}, g_{\text{IDESE}}\}$.

3.4 ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

De acordo com Belton e Stewart (2002), a análise de decisão de multicritério é um conjunto de ferramentas de auxílio à tomada de decisões, ajudando a organizar e sintetizar as informações e dados disponíveis. Macharis (2004) sugere que as características favoráveis do método AHP poderiam aprimorar o método PROMETHEE, em especial em relação à

estruturação hierárquica do problema de decisão (objetivos, critérios, subcritérios, alternativas, entre outros) e na determinação de pesos. Foi buscando alcançar essa sinergia operacional entre os métodos que optou-se trabalhar com ambos os métodos integrados, de forma a modelar mais fielmente o problema, atender da melhor forma possível os objetivos e respeitando ainda um conjunto de restrições.

3.4.1 Método AHP

Ao analisar o problema, percebe-se a diversidade de critérios a serem analisados, e ainda com diferentes graus de importância, tornando a avaliação de preferências entre eles um processo não trivial. De forma a atender tais características do problema, o a proposta é utilizar o método de análise hierárquica (Analytic Hierarchic Process - AHP), desenvolvido por Saaty (1980). O método permite, além de utilizar dados disponíveis sobre o sistema, traduzir matematicamente a experiência de especialistas na área, através da comparação par a par utilizando a matriz de prioridades (Tabela 2) fornecida pelo autor, transformando as variáveis em critérios de decisão através da atribuição de pesos para então aplicá-los na função objetivo desejada, apresentando, dentre as diversas alternativas possíveis (mesorregiões), qual melhor contempla os objetivos definidos.

Tabela 2 – Escala de valores para a comparação par a par.

Escala	Grau de importância
1	Mesma importância
3	Importância pequena de uma sobre a outra
5	Importância grande ou essencial
7	Importância muito grande ou demonstrada
9	Importância absoluta
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes

Fonte: Saaty (1980).

O AHP tem como abordagem a divisão de critérios em hierarquias para então fazer uma comparação par a par de cada elemento em dado nível hierárquico considerando o grau de importância entre os critérios, criando-se uma matriz de decisão quadrada (Equação 3).

$$M = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Sendo:

n – número de critérios da FO;

a_{ij} – grau de importância do critério C_i em relação ao critério C_j .

Define-se que a avaliação do critério C_i em relação a si próprio esteja no mesmo nível hierárquico, de modo que $a_{ii} = 1$, e ainda, fica definido $a_{ji} = 1/a_{ij}$ como a avaliação do critério C_j em relação ao C_i .

O peso de cada critério é determinado pelo vetor de prioridades da equação 4, que pode ser determinada por um processo iterativo computacional, demonstrando a importância que tem cada critério.

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}} \quad (4)$$

Sendo:

i, j – índices dos critérios;

w_i – peso do critério i;

n – número de critérios;

a_{ij} – grau de importância do critério i em relação a j.

3.4.1 Método PROMETHEE

A Família de métodos PHROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) pertence a escola europeia do apoio multicritério a decisões e pertence à classe de métodos de sobreclassificação. Gomes (2007) aborda que o método apresenta maior resistência para variações nos parâmetros se comparado com ao método ELECTRE, propiciando assim uma maior solidez nos resultados. O PROMETHEE trabalha na solução de problemáticas de ordenamento, ou *ranking*, utilizando o sistema de relações de preferência nebulosas (*fuzzy*) e comparações par-a-par (binárias) entre as alternativas comparando seus desempenhos a cada um dos critérios.

O método começa com a definição de um peso para cada critério, o peso aumenta de conforme a importância do critério. Conforme o decisor aumenta a preferência para uma alternativa, considerando a diferença de desempenho das mesmas em cada critério, define uma função *fuzzy* com valores entre zero e um. A vantagem de uma alternativa em relação à outra aumenta juntamente com o valor, ficando zero caso o desempenho da alternativa fique menor ao da outra. Através desta metodologia, é criado um grau de superação entre os pares de alternativas ordenadas, levando em consideração a diferença de pontuação das alternativas em cada critério. Posteriormente, é definido um índice de preferência multicritério onde é possível obter a avaliação da relação de preferência (MUSSOI, 2013).

De acordo com Brans e Mareschal (2005), o método PROMETHEE é projetado para tratar de problemas de multicritério, mas para isso ele necessita de informações adicionais entre os critérios e sobre cada critério individual. No método PROMETHEE, é identificado seis tipos particulares de função de preferência que devem ser definidas para cada critério individualmente conforme o quadro 1. Para algumas funções, devem-se definir os parâmetros seguintes:

q - limite para indiferença;

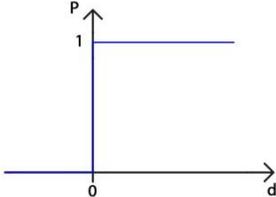
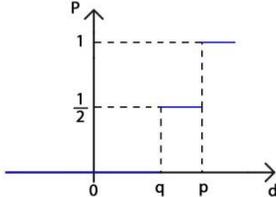
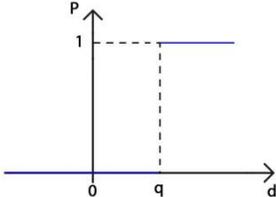
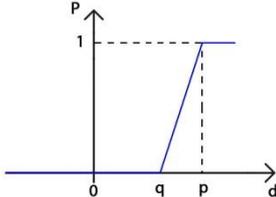
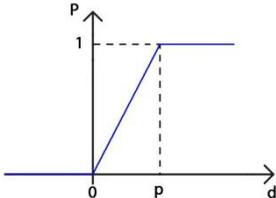
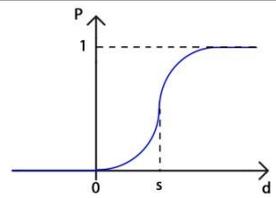
p - limite para uma preferência rígida, rigorosa;

s - valor intermediário entre q e p.

Dentre as variações do método, o PROMETHEE I e PROMETHEE II são os mais utilizados e se diferenciam apenas na maneira como exploram as sobre classificações das alternativas, o PROMETHEE I trabalha com classificação parcial de alternativas e o PROMETHEE II trabalha com classificação completa das alternativas. Segundo Brans e Mareschal (2005), quando o método for aplicado em uma situação real, é recomendado utilizar ambos os métodos PROMETHEE I e PROMETHEE II, pois, o ranking completo ou ordenamento completo é mais fácil de usar e analisar os dados, porém, a análise de incomparabilidades do PROMETHEE I pode ser útil para finalizar a tomada de decisão.

Quadro 1 – Funções de preferência.

Função de preferência	Definição	Função de preferência	Definição
-----------------------	-----------	-----------------------	-----------

	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$
	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$
	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$

Fonte: Adaptado de Brans e Mareschal (2005).

4 ESTUDO DE CASO DO RIO GRANDE DO SUL

Neste capítulo será feita a parametrização dos métodos de análise multicriterial AHP e PROMETHEE, seguindo os critérios e a função objetivo já definidos. Primeiramente é realizada a obtenção dos pesos dos critérios com o método AHP para então ser inserido no *software Visual Promethee* juntamente com os dados das alternativas para cada critério.

4.1 DEFINIÇÕES DOS PESOS COM MÉTODO AHP

O quadro 2 um apresenta a comparação par a par dos critérios, mostrando a preferência de um sobre o outro. Neste quadro, as opiniões dos envolvidos no estudo foram modelados matematicamente dando origem a tabela 3 de pesos para os critérios.

Quadro 2 – Matriz comparação par a par.

	IDESE	Radiação Solar	Potencial Eólico	Biomassa	Biodiesel & Etanol	Carvão	Nº Habitantes
IDESE	1	2	2	3	4	5	6
Radiação Solar	1/2	1	1	2	3	4	5
Potencial Eólico	1/2	1	1	2	3	4	5
Biomassa	1/3	1/2	1/2	1	2	3	4
Biodiesel & Etanol	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	3
Carvão	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	2
Nº Habitantes	1/6	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Fonte: autores.

Tabela 3 – Pesos dos critérios.

Crítérios	IDESE	Radiação Solar	Potencial Eólico	Biomassa	Biodiesel & Etanol	Carvão	Nº Habitantes
Pesos	34,0%	18,9%	18,9%	11,2%	7,5%	5,4%	4,1%

Fonte: autores.

4.2 PARAMETRIZAÇÕES DO MÉTODO PROMETHEE

As informações para obter o desempenho das alternativas em relação aos critérios foram obtidas conforme mencionado na metodologia, estes dados foram inseridos no *software Visual Promethee* conforme a figura 8. A parametrização dos critérios seguiu a seguinte ordem. Para o critério IDESE ficou definida a função usual, não sendo necessária parametrização. Os critérios (Nº Habitantes, Carvão, Biodiesel & Etanol) forma definidos como função linear, para os quais foram configurados os valores de indiferença (Q) e preferência (P). Os critérios (Radiação Solar, Potencial Eólico, Biomassa) foram definidos com a função *V-Shape*, sendo necessária a configuração de valores de preferência (P).

Figura 8 – Parametrização do *software Visual Promethee*.

Scenario1	Idese	Nº Habitantes	Radiação Solar	Potencial Eólico	Carvão	Biodiesel e E...	Biomassa
Unit	unit	unit	Mj m-2 dia-1	GW	Toneadas	m ³ /ano	GW
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences							
Min/Max	min	max	max	max	max	max	max
Weight	34.00	4.10	18.90	18.90	5.40	7.50	11.20
Preference Fn.	Usual	Linear	V-shape	V-shape	Linear	Linear	V-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	100000.00	n/a	n/a	10000000.00	20000.00	n/a
- P: Preference	n/a	4000000.00	1.00	35.00	2500000000.0	500000.00	200.00
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics							
Minimum	0.654183	560031.00	15.90	0.03	0.00	0.00	0.00
Maximum	0.769870	5023002.00	17.10	43.00	2754646441.0	558000.00	286.82
Average	0.716721	1606853.14	16.27	14.55	736811318.86	247791.14	46.37
Standard Dev.	0.035182	1461365.92	0.38	16.77	919861148.99	228737.24	98.62
Evaluations							
<input checked="" type="checkbox"/> Centro Ocidental	0.711645	560031.00	16.10	5.00	16664000.00	0.00	0.00
<input checked="" type="checkbox"/> Centro Oriental	0.730199	821875.00	16.00	0.03	566287741.00	335998.00	0.00
<input checked="" type="checkbox"/> Metropolitana	0.717511	5023002.00	16.40	11.00	2754646441.0	324000.00	286.82
<input checked="" type="checkbox"/> Nordeste	0.769870	1133757.00	16.00	2.80	0.00	558000.00	0.00
<input checked="" type="checkbox"/> Noroeste	0.746149	2015220.00	16.40	2.00	0.00	516540.00	0.00
<input checked="" type="checkbox"/> Sudeste	0.654183	951512.00	15.90	38.00	1190989050.0	0.00	10.00
<input checked="" type="checkbox"/> Sudoeste	0.687487	742575.00	17.10	43.00	629092000.00	0.00	27.75

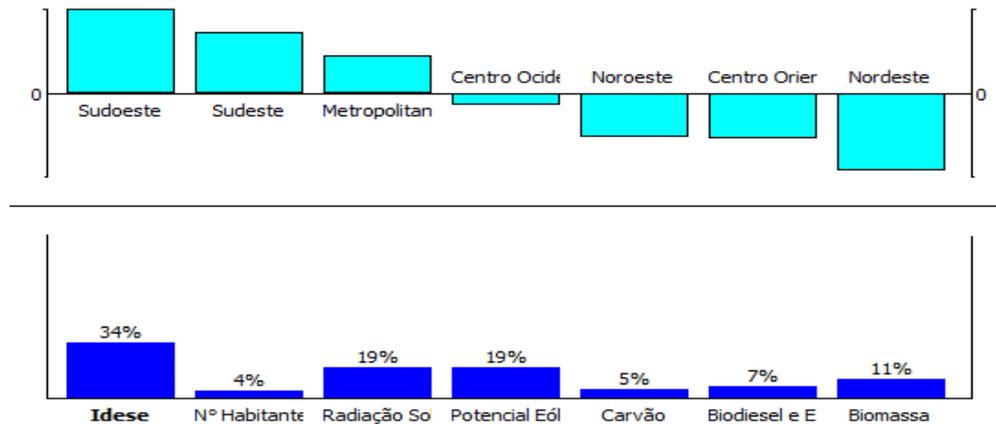
Fonte: Imagem gerada a partir do software *Visual Promethee*.

5 ANÁLISES E RESULTADOS

As regiões em análise foram avaliadas pelos decisores envolvidos no estudo e repassadas para o software *Visual Promethee* que, juntamente com os dados, gerou-se o *ranking* da figura 9. Através deste *ranking* é possível ver que as prioridades para realocação de

investimentos e políticas de fomento visando o setor de energia e o desenvolvimento socioeconômico, começariam pela região sudoeste e posteriormente para a região sudeste. As regiões sudeste, sudoeste e metropolitanas aparecem com um fluxo de preferência positivo, indicando que possuem mais vantagens quando comparadas as demais regiões que apresentem fluxo negativo, ou seja, mais desvantagens. Na mesma figura 9 é apresentado o peso dos critérios envolvidos na análise.

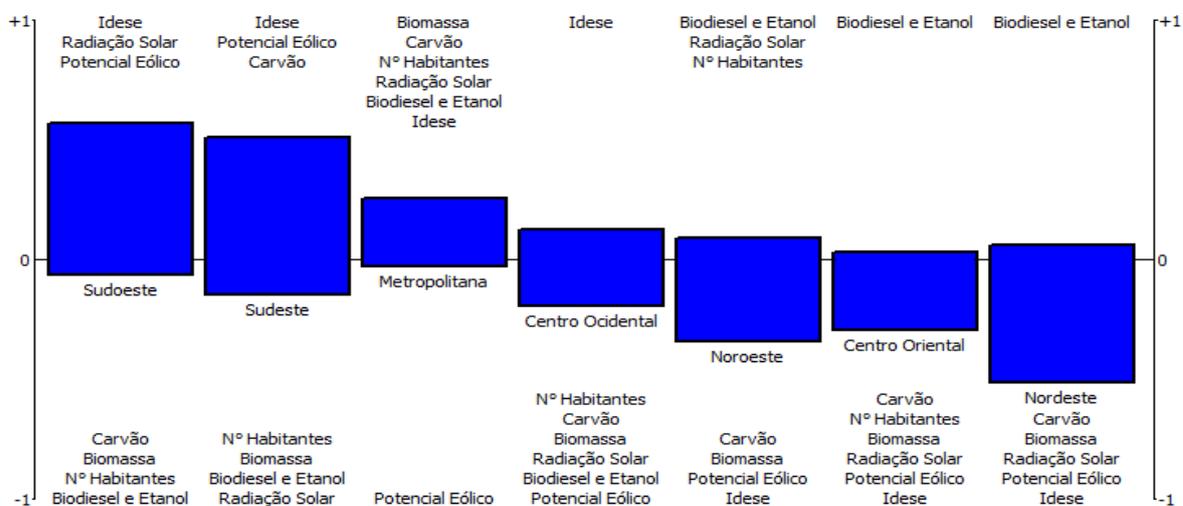
Figura 9 – Ranking das regiões prioritárias.



Fonte: Imagem gerada a partir do software *Visual Promethee*.

Na figura 10 é possível identificar quais foram os critérios que contribuíram positivamente e negativamente com os fluxos líquidos do método. Verifica-se que a região sudoeste teve grande contribuição dos critérios IDESE, radiação solar e potencial eólico, o que acabaram por favorecer a sua escolha, quanto aos critérios que contribuíram negativamente para a escolha, ou seja, critérios que a região perdeu quando comparadas com as outras, foram carvão, biomassa, Nº habitantes e produção de biodiesel.

Figura 10 – Análise de contribuição dos critérios.



Fonte: Imagem gerada a partir do software *Visual Promethee*.

Ao comparar a região vencedora com a segunda colocada, observa-se que um fator determinante na escolha foi geração através de energias renováveis, onde a região vencedora sudoeste apresentou a alternativa de geração solar, sendo que a região sudeste se apresentou mais propícia à instalação de geração de energia à carvão.

3 CONCLUSÃO

O resultado da aplicação do modelo apresentado é dependente do tomador de decisão, pois, é ele quem determina quais os critérios a serem avaliados e as prioridades entre eles, assim como o tipo de função de preferência a ser utilizado para cada critério aplicada ao desvio entre as avaliações de duas alternativas. Com os resultados deste estudo é possível analisar qual é a ordem de prioridade regional para o estado do RS, além de oferecer a contribuição sobre a importância e o impacto de cada critério no desempenho geral das regiões analisadas. Quanto à utilização dos métodos AHP e PROMETHEE em conjunto, observou-se uma boa sinergia operacional entre ambos, com o AHP contribuindo na obtenção dos pesos dos critérios e o PROMETHEE na criação do ranking, ficando aqui a recomendação de aplicação conjunta dos métodos para estudos futuros.

O modelo proposto desconsiderou a geração hidrelétrica por não ter dados suficientes relacionados ao potencial hidrelétrico inexplorados delimitados pelas regiões em estudo, devendo ser abordado em trabalhos futuros, juntamente com a biomassa, a qual se observou uma carência de dados referentes à produção da matéria prima separada por região no RS.

Observou-se no estudo que a região escolhida no *ranking*, assim como a subsequente, possuem um baixo índice de desenvolvimento socioeconômico e um grande potencial de geração elétrica, alcançando os objetivos propostos de forma satisfatória. Desta forma, o método cumpre com seu objetivo de usar os benefícios da expansão no setor energético como uma forma de contribuir com o desenvolvimento da região em que for inserido, focando na produção de energias renováveis que é o caso da região sudoeste e sudeste. Destaca-se ainda que a metodologia deste trabalho pode ser aplicada a outras regiões ou países, podendo ser atualizado os critérios e alternativas.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Encargos**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/espaco-do-empendedor/-/asset_publisher/uPv0Vn1PiOn9/content/encargos/654800>. Acesso em: 12 jun. 2016.

BELTON, V. ; STEWART, T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis: Na Integrated Approach**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002. 372f.

BRDE. **Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul**. Disponível em: <<http://www.brde.com.br/infraestrutura/energia-eletrica>>. Acesso em: 09 jun. 2016.

CAPELETTO, G. J.. **Balço Energético do Rio Grande do Sul 2015: ano base 2014**. Grupo CEEE, Secretaria de Minas e Energia do Rio Grande do Sul. `Porto Alegre. 2015. 200f.

CEMET. **Centro Estadual de Meteorologia: Radiação Solar Global** Disponível em:<http://www.cemet.rs.gov.br/upload/201308161447268_radiacaosolar.pdf> Acesso em 9 Jun. 2016.

COREDES. **Propostas estratégicas para o desenvolvimento regional do Estado do Rio Grande do Sul (2011-2014)**. 2010. Disponível em: <http://www2.al.rs.gov.br/forumdemo_cratico/LinkClick.aspx?fileticket=ZLSG7-e8ceE%3d&tabid=5363&mid=7972>. Acesso em: 10 jun. 2016.

EPE. **WEBMAP EPE - Sistema de Informações Geográficas dos Estudos do Planejamento Energético Brasileiro**. Empresa de Pesquisa Energética: Disponível em: <<https://gisepe.epe.gov.br/WebMapEPE/>> Acesso em 8 Jun. 2016.

FEE. **Fundação de Economia e Estatística**. : Disponível em: <<http://www.fee.rs.gov.br/>> Acesso em 8 Jun. 2016.

GOMES L. F. A. M. . **Coleção Debates em Administração: Teoria da Decisão**. Thomson Learning, São Paulo. 2007. 116f.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_tcu.shtm> Acesso em 9 Jun. 2016.

MACHARIS, C.; SPRINGAEL, J.; BRUCKER, K.; VERBEKE, A. **PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriterial analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP**. Elsevier, 2004.

MME. **Energia elétrica**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/pagina-inicial>>. Acesso em: 11 jun. 2016.

MUSSOI F. L. R. . **Modelo de Decisão Integrado para a Priorização Multiestágio de Projetos de Distribuição Considerando a Qualidade da Energia Elétrica**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil. 2013.

SAATY, T. L., **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA. **Plano Energético do Rio Grande do Sul 2016/2025**. 2016. 513f.

SEPLAN. **Secretaria do Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento Regional - Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br>>. Acesso em 9 Jun. 2016.

TABWIN. **Portal da Saúde**. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=060805&item=3>>. Acesso em: 12 jun. 2016.