

**MODELAGEM MULTICRITÉRIO DOS INDICADORES
DE DESENVOLVIMENTO DOS MUNICÍPIOS
DO NORTE FLUMINENSE**
*MULTICRITERIA MODELING OF THE DEVELOPMENT INDICATORS OF
THE NORTH FLUMINENSE MUNICIPALITIES*

Karina Terra de Souza¹

Rodrigo Oliveira Zacarias²

Thayná Albernaz Pessanha³

Henrique Rego Monteiro da Hora⁴

Resumo: Este trabalho tem como objetivo a realização do ranqueamento dos municípios da região Norte Fluminense a partir dos índices IDHM e IFDM, assim como suas correspondentes ordenações advindas da modelagem multicritério. São utilizados dados de 2010, uma vez que a última divulgação do IDHM se deu nesse ano. O método PROMETHEE II é utilizado considerando os municípios como as alternativas e as dimensões / áreas de desenvolvimento como os critérios. Verifica-se que a correlação de Spearman existente entre as ordenações do IDHM e do PROMETHEE II apresenta o valor de 0.98, enquanto que entre as ordenações referentes ao IFDM apresenta o valor 0.68. Na análise referente ao IDHM a maior parte dos municípios apresenta ordenações originais e multicritério muito semelhantes, enquanto que na avaliação do IFDM a variação das posições é maior. Constata-se que a alta correlação em relação ao IDHM e o PROMETHEE II é justificada pela utilização da metodologia não compensatória empregada nos cálculos. Por outro lado, a utilização da média aritmética simples no cálculo do IFDM para a ordenação dos municípios permite que um alto desempenho em um critério compense um baixo desempenho em outro, situação esta que não ocorre na ordenação PROMETHEE II referente a este indicador.

Palavras-chave: PROMETHEE II. IDHM. IFDM. Modelagem multicritério.

Abstract: The objective of this work is the ranking of the municipalities of the North Fluminense region from the IDHM and IFDM indices, as well as their corresponding ordinations resulting from multicriteria modeling. Data from 2010 are used, since the last availability of data of the IDHM was given that year. The PROMETHEE II method is used considering the municipalities as the alternatives and the dimensions / areas of development as the criteria. It is verified that the Spearman correlation existing between the ordinations of the IDHM and the PROMETHEE II presents the value of 0.98, while the ordinations referring to the IFDM presents the value 0.68. In the analysis referring to the IDHM, most municipalities present very similar original and

¹ Mestranda em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Instituto Federal Fluminense (IFF), karinasouza162@gmail.com.

² Mestrando em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Instituto Federal Fluminense (IFF), rodrigozacarias.ti@gmail.com.

³ Mestranda em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Instituto Federal Fluminense (IFF), thaynaalbernaz9@gmail.com.

⁴ Doutor em Engenharia de Produção, Instituto Federal Fluminense (IFF), henrique.dahora@iff.edu.br.

multicriteria ordinations, whereas in the evaluation of the IFDM the position variation is higher. It is observed that the high correlation in relation to the IDHM and the PROMETHEE II is justified by the use of the non-compensatory methodology used in the calculations. On the other hand, the use of the simple arithmetic mean in the calculation of the IFDM for the ordination of the municipalities allows that a high performance in one criterion compensates a low performance in another, a situation that does not occur in the order PROMETHEE II referring to this indicator.

Keywords: PROMETHEE II. IDHM. IFDM. Multicriteria modeling.

1 INTRODUÇÃO

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) surgiu na década de 90 como uma alternativa aos tradicionais indicadores de desenvolvimento econômico (PIB e PIB *per capita*). Esse índice foi criado com o intuito de ser um instrumento de avaliação da qualidade de vida e bem-estar da população a partir de três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda (GUIMARÃES; JANNUZZI, 2005).

O IDH mede o desenvolvimento humano em escala nacional, no entanto, a utilização de um valor único para representar todo o país apresenta limitações em relação à avaliação devido as assimetrias de condições de vida de cada região, principalmente quando o país avaliado apresenta dimensões continentais, como é o caso do Brasil. Para contornar essa limitação foi desenvolvido em 2012 o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) em uma ação conjunta entre o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) do Brasil, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e a Fundação João Pinheiro. O IDHM é calculado de forma decenal através da média geométrica dos índices longevidade, educação e renda, que são obtidos do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo disponibilizado no Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ATLAS, 2013).

Outra forma de avaliar o desenvolvimento dos municípios foi desenvolvida em 2008 pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), sendo denominado Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (IFDM), que consiste em um indicador composto que agrega, com igual ponderação, três áreas de desenvolvimento: educação; saúde; emprego e renda (POSTALI; NISHIJIMA, 2011). As áreas mencionadas são integradas por meio da média aritmética simples a fim de gerar um número que varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior o grau de desenvolvimento do município (FIRJAN, 2015).

Pelo fato das diferentes dimensões/áreas de desenvolvimento que compõem os indicadores mencionados possuírem diferentes escalas, a agregação das mesmas deve passar por conversões antes de serem utilizadas

na consolidação do indicador, sendo que a precisão de cada valor analisado pode sofrer alterações nesse processo. Outro fator a ser considerado é a metodologia de agregação, que pode permitir que um baixo desempenho em uma área seja compensado por um maior desempenho em outra. A modelagem multicritério, através do método PROMETHEE II, pode ser utilizada para evitar estes efeitos indesejados devido a sua natureza não-compensatória e a sua capacidade de agregar os critérios sem alterações de escala (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014).

Manhães *et al.* (2014) utilizam o método PROMETHEE II para problema correlato ao deste artigo, onde foi tratado o IQM - Índice de Qualidade dos Municípios. Foi demonstrado que a metodologia empregada é eficaz quando se trata de comparação, pois obtém resultados mais aderentes a realidade devido a incorporação de elementos de precisão e não-compensação, sem mudança de escala, diferente de utilizar-se somente a média aritmética, como é o caso do indicador mencionado acima e do indicador IFDM que faz parte da base deste trabalho.

A modelagem multicritério através do método PROMETHEE II foi empregada por Carvalho *et al.* (2013) para a construção de um índice de sustentabilidade ambiental aplicado aos municípios da Paraíba. Os autores analisaram a sustentabilidade das cidades em relação a questão hidroambiental a partir de 51 indicadores e 7 dimensões. O estudo realiza a comparação das cidades através de diferentes funções de preferência e pesos para os critérios e visa servir como uma ferramenta de gestão pública por meio do redirecionamento de objetivos e reformulação de políticas públicas mais adequadas para cada região.

Assim, o objetivo deste trabalho é agregar a modelagem multicritério aos indicadores IDHM e IFDM em uma aplicação voltada aos municípios da região Norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro através do método PROMETHEE II.

2 METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizado o método multicritério PROMETHEE II para a obtenção dos *rankings* dos municípios da região Norte-fluminense a partir dos

índices IDHM e IFDM. Os *rankings* obtidos foram comparados com as ordenações originais dos indicadores citados através da correlação de *Spearman*.

2.1 Breve descrição do método PROMETHEE II

Os métodos de decisão multicritério são utilizados quando o tomador de decisão lida com problemas que possuem vários objetivos a serem alcançados de forma simultânea (MELO; MEDEIROS; ALMEIDA, 2013). Várias ferramentas foram desenvolvidas para auxiliar na resolução destes problemas, uma vez que objetivos contraditórios podem existir em um mesmo problema (MOTA; DE ALMEIDA; ALENCAR, 2009).

Dentre os diversos métodos multicritério está o PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*), que possui como características a simplicidade, clareza e estabilidade (BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986). A partir de estudos sobre esta metodologia foram desenvolvidas novas versões: PROMETHEE (pré-ordem parcial), PROMETHEE II (pré-ordem completa), PROMETHEE III (preferência baseada em intervalos), PROMETHEE IV (caso contínuo), PROMETHEE V (multicritério incluindo restrições de segmentação), PROMETHEE VI (usado quando os pesos de cada critério não são fixos) e PROMETHEE Gaia (análise geométrica para assistência interativa) (BRANS *et al.*, 2005).

A família do método PROMETHEE tem como objetivo construir uma relação de sobreclassificação, ou seja, adiciona informações entre as alternativas e os critérios e usa essa relação para apoiar a decisão. A preferência do tomador de decisão em favor de uma alternativa *a* sobre outra opção *b* aumenta com uma maior diferença entre o desempenho das alternativas em cada critério *i* (MELO; MEDEIROS; ALMEIDA, 2013). Possui natureza não-compensatória e lida com critérios que podem se apresentar em diferentes escalas, evitando assim, imprecisões ocasionadas no processo de conversão (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014).

No caso do PROMETHEE II é definida uma pré-ordem completa entre as alternativas a fim de ordená-las através da comparação entre pares (BARROS;

SOBRAL, 2015). Esta metodologia permite que um conjunto finito de alternativas comparáveis sejam avaliadas a partir de diferentes critérios. Este método pode ser utilizado para fornecer soluções para problemas da forma da Equação (1) (ANDREOPOULOU *et al.*, 2018).

$$\max\{f_1(a), f_2(a), \dots, f_k(a) \mid a \in A\} \quad (1)$$

onde A é um conjunto finito de alternativas possíveis e $f_1(*), f_2(*), \dots, f_k(*)$ é um conjunto de critérios de avaliação.

A opção preferível entre duas alternativas pode ser obtida através de uma função de preferência que pode assumir valores entre 0 e 1, conforme Equação (2). Se a $P(a, b) = 0$, diz-se que as alternativas a e b são indiferentes, ou não existe uma preferência de a sobre b . Por outro lado, se $P(a, b) = 1$, a alternativa a é preferível a b . Quando a $P(a, b) \sim 0$, tem-se uma preferência fraca de a em relação a b e, por último, se $P(a, b) \sim 1$, há uma forte preferência de a sobre b (Brans *et al.*, 1986).

$$P(a, b) = \mathcal{P}(f(a) - f(b)) \quad (2)$$

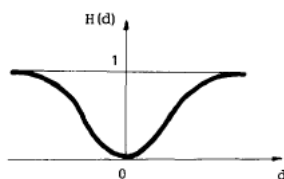
Para cada critério f , é considerado um critério generalizado definido por f e uma correspondente função de preferência. Normalmente são utilizados 6 tipos de critérios generalizados, de acordo com a Tabela 1, onde d é a diferença de performance entre as alternativas ($d = f(a) - f(b)$), e $H(d)$ é uma função diretamente relacionada à função de preferência P , segundo a Equação (3) (Brans *et al.*, 1986).

$$H(d) = \begin{cases} P(a, b), & d \geq 0 \\ P(b, a), & d \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Tabela 1 – Tipos de critério generalizado

| Tipo | Gráfico | Função de Preferência | Descrição |
|--|---------|--|--|
| I: Usual | | $H(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d = 0 \\ 1, & \text{se } d \neq 0 \end{cases}$ | <p>Há indiferença entre as alternativas a e b se, e somente se, $f(a) = f(b)$. Caso contrário, a preferência é estrita.</p> |
| II: Formato U (Quase-Critério) | | $H(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } -q \leq d \leq q \\ 1, & \text{se } d < -q \text{ ou } d > q \end{cases}$ | <p>Duas alternativas são indiferentes enquanto d não ultrapassar o limiar de indiferença q. Acima desse limite q, a preferência é estrita.</p> |
| III: Formato V (Preferência Linear) | | $H(d) = \begin{cases} \frac{d}{p}, & \text{se } -p \leq d \leq p \\ 1, & \text{se } d < -p \text{ ou } d > p \end{cases}$ | <p>A preferência do decisor cresce de forma linear até alcançar o limiar de preferência p. Após este limite, a preferência é estrita.</p> |
| IV: Níveis (Pseudocritério) | | $H(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d \leq q \\ \frac{1}{2}, & \text{se } q < d \leq p \\ 1, & \text{se } p < d \end{cases}$ | <p>As alternativas a e b são indiferentes enquanto d não ultrapassar q; entre q e p a preferência é fraca; caso contrário, a preferência é estrita.</p> |
| V: Linear (Preferência Linear com Zona de Indiferença) | | $H(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d \leq q \\ \frac{ d - q}{p - q}, & \text{se } q < d \leq p \\ 1, & \text{se } p < d \end{cases}$ | <p>As alternativas a e b são indiferentes até que d não ultrapasse q; acima deste limite, a preferência cresce de forma linear até se tornar estrita quando o limite p é atingido.</p> |

VI:
Gaussiana



$$H(d) = 1 - \exp\{-d^2/2\sigma^2\}$$

O desvio padrão σ deve ser determinado, sendo que a preferência aumenta de acordo com uma distribuição normal.

Fonte: Brans *et al.* (1986)

O conjunto finito de alternativas pode ser comparado a partir de vários critérios, que podem ter diferentes níveis de importância. Assim, torna-se necessário atribuir pesos aos critérios de acordo com sua significância. Os pesos normalmente assumem valores positivos, sendo que quanto maior o seu valor, maior será a importância do critério e vice-versa (ANDREOPOULOU *et al.*, 2018).

Uma vez determinados a função de preferência P_i e o peso w_i para cada critério i pode ser definido o grau de sobreclassificação, ou intensidade de preferência da alternativa a em relação a b , quando todos os critérios são considerados de forma simultânea, conforme Equação (4) (BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986).

$$\Pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4)$$

onde w_i é o peso de cada critério e $P_i(a, b)$ é o grau de preferência de a em relação a b .

A relação de sobreclassificação pode ser examinada através dos fluxos de saída (Equação (5)) e de entrada (Equação (6)). O fluxo de saída $\varphi^+(a)$ expressa a preferência que a alternativa a possui sobre todas as demais, enquanto que o fluxo de entrada $\varphi^-(a)$ representa a preferência que todas as alternativas possuem sobre a alternativa a (BRANS; VINCKE; MARESCHAL, 1986). O fluxo de saída permite determinar o quão boa é uma alternativa, enquanto que o fluxo de entrada mede a fraqueza da alternativa (LIMA; OLIVEIRA; ALENCAR, 2014).

$$\varphi^+(a) = \sum_{b \in K} \Pi(a, b) \quad (5)$$

$$\varphi^-(a) = \sum_{b \in K} \Pi(b, a) \quad (6)$$

O PROMETHEE II realiza a ordenação completa das alternativas através do cálculo do fluxo líquido $\varphi(a)$, conforme Equação (7). Quanto maior o valor do $\varphi(a)$ de uma alternativa, melhor será a sua posição no *rank* (MORAIS; ALMEIDA, 2006). A alternativa *a* será preferível a alternativa *b* se $\varphi(a) > \varphi(b)$, e será indiferente a alternativa *b* se $\varphi(a) = \varphi(b)$ (ANDREOPOULOU *et al.*, 2018).

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (7)$$

2.2 Técnica de análise de resultados

A correlação de Spearman é uma técnica não-paramétrica, baseada em *rank*, independente de tamanho e distribuição da amostra que é utilizada para avaliar a relação monotônica entre duas variáveis (ZHANG *et al.*, 2016). Se difere da correlação de Pearson pois utiliza a posição das variáveis e não os dados brutos para o cálculo da correlação (GAUTHIER, 2001).

O primeiro passo para determinar a correlação entre as variáveis é realizar o *rank* dos dados de cada variável em ordem ascendente. Em seguida, a diferença entre os *ranks* de cada par analisado é definida a fim de ser utilizada no cálculo da correlação de acordo com a Equação (8) (GAUTHIER, 2001). Quanto menor a magnitude do somatório das diferenças, maior será a correlação entre as variáveis.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (8)$$

onde d_i é a diferença entre os ranks dos pares de dados x_i e y_i e n é o número de pares de dados. A correlação de Spearman pode assumir valores de -1 a +1. Se $r_s = 1$, então as variáveis têm uma correlação positiva perfeita. Caso contrário, sendo $r_s = -1$, têm-se uma perfeita correlação negativa (ASHOK KUMAR; ABIRAMI, 2018).

2.2 Procedimentos metodológicos

A obtenção do IDHM e IFDM dos municípios da região norte fluminense (Macaé, Campos dos Goytacazes, Carapebus, Conceição de Macabu, Quissamã, São Fidélis, São João da Barra, Cardoso Moreira e São Francisco de Itabapoana) foram extraídos das bases de dados do Atlas (2013) e da FIRJAN (2015), respectivamente. O IDHM é mensurado de forma decenal e o último dado disponível em 2010. Assim, optou-se por utilizar este mesmo ano para a obtenção dos dados referentes ao indicador IFDM. As dimensões / áreas de desenvolvimento avaliadas nesses indicadores estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Composição do IDHM e IFDM

| IDHM | | | IFDM | | | |
|--------------------------------|---|---------------------------|---|--|--|---|
| Longevidade | Educação | Renda | Saúde | Educação | Emprego e Renda | e |
| Expectativa de vida ao nascer. | Escolaridade da população adulta; fluxo escolar da população jovem. | Renda <i>per capita</i> . | Número de consultas pré-natal; taxa de óbitos infantis por causas evitáveis; taxa de óbitos infantis por causas maldefinidas; internações evitáveis por atenção básica. | Taxa de matrícula na Educação Infantil; taxa de distorção idade-série; percentual de docentes com Ensino Superior; média de horas-aula diárias; taxas de abandono; resultados do IDEB. | Taxa de crescimento de emprego formal no ano; taxa de crescimento de emprego formal no último triênio; formalização do mercado de trabalho local; taxa de crescimento de renda média; taxa de crescimento de renda média no último triênio; gini da renda; massa salarial. | |

Fonte: ATLAS (2013); FIRJAN (2015)

O método PROMETHEE II foi utilizado para a realização de uma nova ordenação, com o auxílio do *software Visual PROMETHEE*. Os municípios mencionados acima foram utilizados como alternativas e as dimensões / áreas de desenvolvimento como critérios de avaliação. Foi utilizada a função de

preferência do tipo III – formato V, sendo determinado o limite de preferência p do critério f como 3% da média de todos os valores deste critério. Considerou-se pesos iguais para todos os critérios.

Os novos *rankings* obtidos computacionalmente foram comparados com as ordenações do IDHM e IFDM. A correlação de Spearman foi empregada para avaliar o quão relacionadas estão as ordenações obtidas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da aplicação do método PROMETHEE II foram obtidos dois novos *rankings*: um para o índice IDHM e outro para o IFDM. Na Tabela 2 são apresentados os dados disponibilizados na plataforma ATLAS para o índice IDHM e seus correspondente fluxos líquido do PROMETHEE II, assim como as ordenações obtidas pelos municípios analisados.

Tabela 2 – Ordenação dos municípios segundo o índice IDHM

| Municípios | IDHM | Ordenação | IDHM | Ordenação IDHM |
|-----------------------------|-------|-----------|-----------|----------------|
| | | IDHM | PROMETHEE | PROMETHEE |
| Macaé | 0,764 | 1 | 0,9195 | 1 |
| Campos dos Goytacazes | 0,716 | 2 | 0,5329 | 2 |
| Carapebus | 0,713 | 3 | 0,2724 | 3 |
| Conceição de Macabu | 0,712 | 4 | 0,2663 | 4 |
| Quissamã | 0,704 | 5 | 0,2197 | 5 |
| São Fidélis | 0,691 | 6 | -0,3076 | 6 |
| São João da Barra | 0,671 | 7 | -0,311 | 7 |
| Cardoso Moreira | 0,648 | 8 | -0,798 | 9 |
| São Francisco de Itabapoana | 0,639 | 9 | -0,7952 | 8 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como pode ser visto, a ordenação dos municípios em relação ao indicador IDHM apresentou significativa similaridade com a correspondente ordenação obtida através do método PROMETHEE II. A única diferença observada é em relação aos dois municípios que apresentam as piores colocações na ordenação: Cardoso Moreira e São Francisco de Itabapoana, que apresentam posições invertidas no *ranking*. O mesmo procedimento foi

adotado em relação ao IFDM, utilizando os dados disponibilizados na plataforma FIRJAN, sendo obtidas as ordenações apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Ordenação dos municípios segundo o índice IFDM

| Municípios | IFDM | Ordenação | IFDM | Ordenação IFDM |
|-----------------------------|--------|-----------|-----------|----------------|
| | | IFDM | PROMETHEE | PROMETHEE |
| Macaé | 0,8136 | 1 | 0,8471 | 1 |
| Campos dos Goytacazes | 0,726 | 3 | -0,1752 | 6 |
| Carapebus | 0,7168 | 4 | 0,1505 | 4 |
| Conceição de Macabu | 0,6054 | 9 | -0,5859 | 9 |
| Quissamã | 0,709 | 6 | 0,3285 | 3 |
| São Fidélis | 0,712 | 5 | 0,3506 | 2 |
| São João da Barra | 0,7282 | 2 | 0,0328 | 5 |
| Cardoso Moreira | 0,6524 | 8 | -0,4181 | 7 |
| São Francisco de Itabapoana | 0,6534 | 7 | -0,5303 | 8 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

A ordenação dos municípios de acordo com o IFDM apresenta maior variação de posições quando comparada ao IDHM. A maior variação observada foi de 3 postos para os municípios Campos dos Goytacazes, Quissamã, São Fidélis e São João da Barra. A inversão de posições entre municípios foi detectada em 3 momentos: Campos dos Goytacazes e Quissamã; São Fidélis e São João da Barra; Cardoso Moreira e São Francisco de Itabapoana. Os municípios Macaé, Carapebus e Conceição de Macabu não tiveram alterações nas ordenações, sendo Macaé o único município que apresentou a mesma posição em todas as ordenações.

Foi utilizada a correlação de *Spearman* para avaliar a intensidade da relação entre os *rankings*, sendo obtido o valor de 0,98 (IDHM) e 0,68 (IFDM). Uma das razões para esta diferença é metodologia empregada para o cálculo de cada índice. O IFDM utiliza média aritmética simples, enquanto que o IDHM emprega média geométrica.

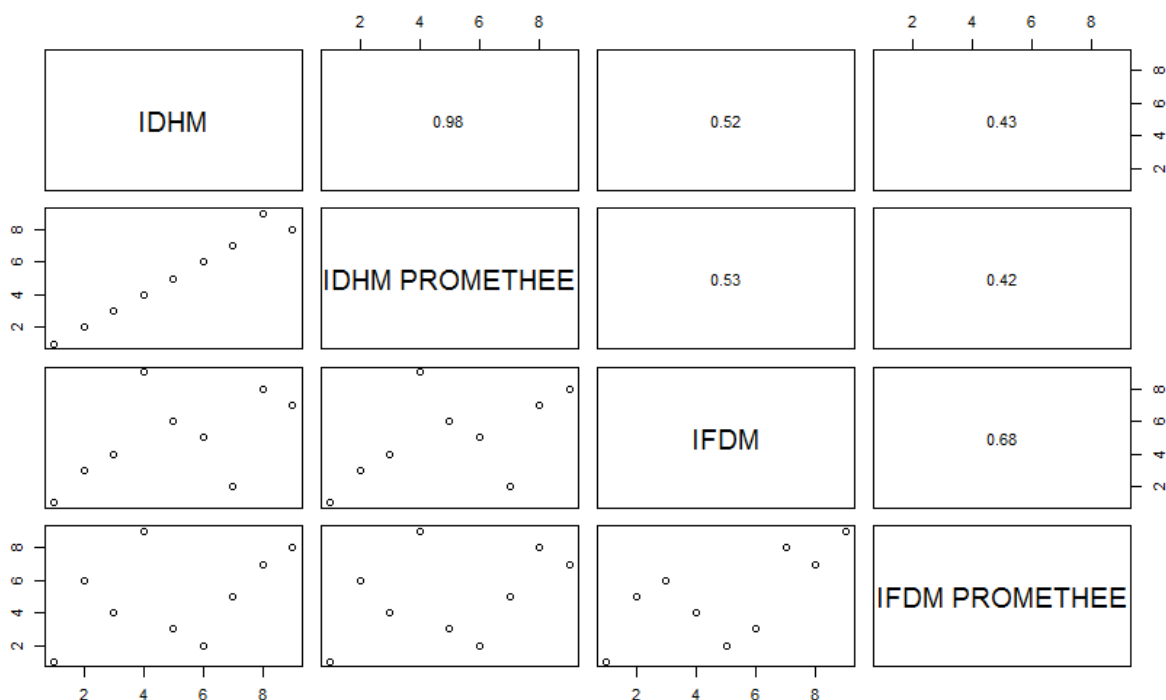
No passado, o IDHM era calculado através da média aritmética simples, no entanto, esta metodologia permite que o baixo desempenho em uma área seja compensado por um melhor desempenho em outra. A fim de evitar que esse efeito ocorra, a agregação das dimensões deste indicador foi substituída

pela média geométrica, que se caracteriza por não possuir natureza compensatória. Assim, a avaliação do desenvolvimento do município levará em consideração a harmonia das dimensões envolvidas - longevidade, educação e renda (ATLAS, 2013).

Pelo fato do método PROMETHEE II ordenar as alternativas de forma não-compensatória, torna-se coerente a alta correlação obtida entre as ordenações referentes a este indicador. Por outro lado, a metodologia adotada no cálculo do IFDM (compensatória) é oposta à do PROMETHEE II, o que explica a menor correlação observada entre as ordenações.

Apesar dos indicadores IDHM e IFDM medirem o desenvolvimento municipal, observa-se que os valores destes índices apresentam significativas diferenças. Isso ocorre porque as metodologias de cálculo das dimensões/áreas de desenvolvimento são distintas, assim como são diferentes os critérios e subcritérios utilizados, conforme Quadro 2. Mesmo com as diferenças já citadas, foi realizada a correlação de *Spearman* entre todos os pares de ordenação, sendo obtidos os valores e gráficos de dispersão que constam na Figura 1.

Figura 1 – Correlação de *Spearman* entre os indicadores



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme pode ser observado na figura acima, a correlação entre os indicadores IDHM e IDHM PROMETHEE é muito forte, situando-se em 0.98, sendo as demais correlações moderadas. As ordenações do IFDM e IFDM PROMETHEE apresentam correlação de 0.68, sendo o segundo maior valor de correlação obtido. Quando é analisada a correlação entre pares de indicadores diferentes, a correlação é menor. Comparando-se a ordenação IFDM com a IDHM obtém-se o valor 0.52, enquanto que quando a comparação é realizada com a ordenação IDHM PROMETHEE encontra-se o valor 0.53, que é bem similar ao valor anteriormente encontrado. Por outro lado, quando se compara a ordenação IFDM PROMETHEE com a IDHM, obtém-se 0.43 de correlação e quando se avalia a relação entre as ordenações obtidas computacionalmente (IFDM PROMETHEE e IDHM PROMETHEE) é observado o menor valor de correlação, situando-se em 0.42, valor este também similar ao obtido na análise anterior.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os índices IFDM e IDHM são utilizados para avaliar o desenvolvimento municipal. As instituições mantenedoras desses índices divulgam periodicamente uma ordenação dos municípios, baseando-se no nível de desenvolvimento. No entanto, um mesmo conjunto de dados pode apresentar diferentes ordenações de acordo com o método utilizado.

Assim, este trabalho teve como objetivo realizar a ordenação dos municípios da região Norte Fluminense a partir dos índices mencionados com o auxílio do método PROMETHEE II, e avaliar a correlação entre os *rankings* obtidos a fim de verificar a consistência dos mesmos. O método PROMETHEE II se mostrou bastante eficiente para a ordenação por ser um método de sobreclassificação não compensatório.

Observou-se que as correlações obtidas entre as ordenações IDHM e IFDM e suas correspondentes ordenações multicritério apresentaram correlações muito forte e moderada, situando-se em 0.98 e 0.68,

respectivamente. Isto ocorreu devido ao fato do IDHM utilizar uma metodologia de cálculo de mesma natureza da modelagem multicritério, situação esta que não ocorre em relação ao IFDM.

Por fim, destaca-se a importância de utilizar a modelagem multicritério através do método PROMETHEE II para a ordenação, uma vez que o mesmo possui natureza não-compensória e é capaz de lidar com critérios que se apresentam em diferentes escalas, sendo desnecessária a conversão dos dados. Esta metodologia não permite que o baixo desempenho em um critério seja compensado por uma ótima performance em outro, sendo adequado para avaliar de forma mais harmônica as alternativas propostas, tornando-se, neste trabalho, um instrumento de avaliação das condições de vida nos municípios analisados a fim de direcionar políticas públicas que visem melhorias nas condições de vida das pessoas.

REFERÊNCIAS

ANDREOPOULOU, Z. *et al.* Renewable energy sources: Using PROMETHEE II for ranking websites to support market opportunities. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 131, p. 31–37, 1 jun. 2018.

ASHOK KUMAR, J.; ABIRAMI, S. Aspect-Based Opinion Ranking Framework for Product Reviews Using A Spearman's Rank Correlation Coefficient Method. **Information Sciences**, v. 460, 1 maio 2018.

ATLAS. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013**. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/>>. Acesso em: 17 jul. 2018.

BARROS, R. G. DE; SOBRAL, M. F. F. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MULTICRITÉRIO NA SELEÇÃO DE PROJETOS EM UMA INCUBADORA DE EMPRESAS DE PERNAMBUCO. **RAI - Revista de Administração e Inovação**, v. 12, n. 2, p. 180–199, 25 jun. 2015.

BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The Promethee method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, n. 2, p. 228–238, fev. 1986.

BRANS, J. P. *et al.* Promethee Methods. In: **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York: Springer-Verlag, 2005. v. 78p. 163–186.

CINELLI, M.; COLES, S. R.; KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. **Ecological Indicators**, v. 46, p. 138–148, 1 nov. 2014.

FIRJAN. **Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal. Notas metodológicas.**, 2015. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/data/files/B7/43/4A/72/CE2615101BF66415F8A809C2/Anexo%20Metodológico%20IFDM.pdf>>. Acesso em: 3 jul. 2018

GAUTHIER, T. Detecting Trends Using Spearman's Rank Correlation Coefficient. **Environmental Forensics**, v. 2, n. 4, p. 359–362, dez. 2001.

GUIMARÃES, J. R. S.; JANNUZZI, P. D. M. IDH, indicadores sintéticos e suas aplicações em políticas públicas: uma análise crítica. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 7, n. 1, p. 73, 31 maio 2005.

LIMA, M. T. DE A. DE; OLIVEIRA, E. C. B. DE; ALENCAR, L. H. Modelo de apoio à decisão para priorização de projetos em uma empresa de saneamento. **Production**, v. 24, n. 2, p. 351–363, jun. 2014.

MANHÃES, E. P. P. S.; HORA, H. R. M. DA; COSTA, H. G. **O método PROMETHEE II como ferramenta para ordenação de municípios: O estudo de caso do Rio de Janeiro.** In: IV CONGRESSO DE ENGENHARIA DE MOÇAMBIQUE INHAMBANE. Moçambique: 15 abr. 2014

MELO, R. M. DE; MEDEIROS, D. D. DE; ALMEIDA, A. T. DE. A multicriteria model for ranking of improvement approaches in construction companies based on the PROMETHÉE II method. **Production**, v. 25, n. 1, p. 69–78, 17 set. 2013.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. DE. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 3, p. 567–584, dez. 2006.

MOTA, C. M. DE M.; DE ALMEIDA, A. T.; ALENCAR, L. H. A multiple criteria decision model for assigning priorities to activities in project management. **International Journal of Project Management**, p. 175–181, fev. 2009.

POSTALI, F. A. S.; NISHIJIMA, M. Distribuição das rendas do petróleo e indicadores de desenvolvimento municipal no Brasil nos anos 2000S. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 41, n. 2, p. 463–485, jun. 2011.

ZHANG, W.-Y. *et al.* Measuring mixing patterns in complex networks by Spearman rank correlation coefficient. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 451, p. 440–450, jun. 2016.

Edição especial - XXI ENMC (Encontro Nacional de Modelagem Computacional) e IX ECTM (Encontro de Ciência e Tecnologia dos Materiais)

Enviado em: 27 mar. 2019

Aceito em: 12 abr. 2019

Editores responsáveis: Bianca Neves Machado/ Mateus das Neves Gomes