



## ABORDAGEM PARA AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE MUNICÍPIOS COM BASE NO MÉTODO PROMETHEE II

### **Helder Nunes**

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - CDSA  
Rua Luiz Grande, S/N - CEP 58.540-000 – Sumé, PB, Brasil.

**e-mail:** [hanunesi@hotmail.com](mailto:hanunesi@hotmail.com)

### **Filipe Terto**

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - CDSA  
Rua Luiz Grande, S/N - CEP 58.540-000 – Sumé, PB, Brasil.

**e-mail:** [terto.filipe@yahoo.com.br](mailto:terto.filipe@yahoo.com.br)

### **Vanessa Silva**

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - CDSA  
Rua Luiz Grande, S/N - CEP 58.540-000 – Sumé, PB, Brasil.

**e-mail:** [vanessa\\_eletrica@yahoo.com.br](mailto:vanessa_eletrica@yahoo.com.br)

### **Fernando Schramm**

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT  
Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário - CEP 58.429-140 – Campina Grande, PB, Brasil.

**e-mail:** [fernandoschramm@globocom](mailto:fernandoschramm@globocom)

### **RESUMO**

Este artigo apresenta uma abordagem para comparação do desenvolvimento sustentável de municípios baseada no método multicritério PROMETHEE II. O PROMETHEE II é aplicado ao conjunto de informações referentes aos desempenhos dos municípios em seis dimensões (social, demográfica, ambiental, econômica, político-institucional e cultural), os quais são calculados com base na metodologia IDSM (Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios). Um dos pontos fortes da abordagem proposta em relação à metodologia convencional é o fato do PROMETHEE eliminar significativamente o efeito da compensação durante a agregação dos resultados individuais nas dimensões. A abordagem foi aplicada a municípios do Cariri Ocidental Paraibano. Com a aplicação, verificou-se que a não compensação implica em resultados mais coerentes com a realidade dos municípios. Sendo assim, a abordagem pode ser utilizada como um instrumento formal para a comparação do desempenho dos municípios no que concerne ao desenvolvimento sustentável.

**PALAVRAS CHAVE.** Apoio à Decisão Multicritério; PROMETHEE II; Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios - IDSM

**Área Principal:** ADM – Apoio à Decisão Multicritério.



### ABSTRACT

This paper presents an approach for comparing the sustainable development of municipalities, based on the multicriteria method PROMETHEE II. The PROMETHEE II is applied to the set of information related to the performance of the municipalities on six dimensions (social, demographic, environmental, economic, institutional political and cultural), which are determined through the approach IDSM (Index of Sustainable Development for Municipalities). An advantage of the proposed approach over the conventional one is due to PROMETHEE reduces significantly the effect of compensation during the aggregation of the individual dimensions' results. The approach was applied to municipalities in the region of Cariri Ocidental Paraibano. With the application, it was verified that the non-compensation effect provides results, which are more coherent with the reality of the municipalities. Therefore, the approach can be used as a formal tool for comparing performance of municipalities concerning sustainable development.

**KEYWORDS.** Multi-Criteria Decision Analysis, PROMETHEE II, Sustainable Development Index for Municipalities - IDSM.

## 1. Introdução

Em uma sociedade baseada no consumo, o uso irracional dos recursos naturais passou a ser tema de diversas discussões na comunidade científica. Neste contexto, o termo desenvolvimento sustentável veio à tona, ficando conhecido como o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO - CMMAD, 1991).

Junto com o isso, veio a necessidade de instrumentos para simplificar, quantificar e analisar informações sobre a sustentabilidade, para que estes dados possam direcionar as tomadas de decisões que irão implicar no desenvolvimento sustentável de países, estados e municípios. Para avaliar a sustentabilidade de municípios, Martins e Cândido (2008) propuseram uma ferramenta denominada IDSM – Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios, que consiste em um sistema de indicadores capaz de medir o nível de sustentabilidade de um município, através do cálculo do índice de sustentabilidade do mesmo. Este índice surgiu da carência de instrumentos para a avaliação de municípios, uma vez que os demais instrumentos existentes são destinados à avaliação da sustentabilidade de unidades da federação ou de países.

O IDSM contempla seis dimensões de avaliação: social, demográfica, ambiental, econômica, político-institucional e cultural. Cada dimensão é composta por um conjunto de indicadores: a dimensão social é composta por treze indicadores, a dimensão demográfica por cinco, a dimensão ambiental por seis, a dimensão econômica sete, a dimensão político-institucional por seis e a dimensão cultural é composta por sete indicadores. Em cada uma das dimensões, os indicadores são agregados em um único índice; a agregação consiste no cálculo da média desses valores. Em seguida, as dimensões são agregadas de forma similar, o que implicará no IDSM. Assim, a cada Município é associado um valor entre 0 e 1, que irá representar uma medida de desenvolvimento sustentável com base em diferentes indicadores de desempenho.

Este artigo tem o objetivo de propor uma nova abordagem para avaliação e comparação do desenvolvimento sustentável de Municípios. Para isso, é proposta a agregação das dimensões de avaliação, contempladas pelo IDSM, por meio do método multicritério PROMETHEE II. A proposta foi aplicada para comparar o desenvolvimento sustentável de municípios do Cariri paraibano, utilizando, para isso, os dados disponibilizados na página do SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas) (SEBRAE, 2014).

O artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica para o estudo; a Seção 3 apresenta a proposta da nova abordagem para avaliação e comparação do desenvolvimento sustentável de municípios; a Seção 4 traz uma aplicação; e, finalmente, na Seção 5 são apresentadas as conclusões do estudo.

## 2. Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica está dividida da seguinte forma: a Seção 2.1. apresenta um estudo da análise multicritério, com ênfase para o estudo do método de apoio a decisão multicritério PROMETHEE II; a Seção 2.2. apresenta uma breve descrição da metodologia proposta por Martins e Cândido (2008) para cálculo do índice de desenvolvimento sustentável de municípios.

### 2.1. PROMETHEE II

Vincke (1992) define um problema multicritério como sendo a situação na qual, existindo um conjunto de ações A e uma família de critérios F, o decisor deseja: determinar um subconjunto de ações, consideradas, por ele, como sendo as melhores de A (problemática de escolha); alocar as ações a diferentes categorias definidas *a priori* a partir de um conjunto de regras aplicáveis ao conjunto A (problemática de classificação); ordenar as alternativas de A da melhor para a pior (problemática de ordenação). Roy (1996) *apud* Almeida (2011) acrescenta a problemática de descrição, cujo objetivo é apoiar a decisão por meio da descrição das ações e de suas consequências. Além destas problemáticas, existe o problema de seleção de portfólio, que

incorpora restrições ao problema de decisão multicritério (Vetschera e Almeida, 2012).

Muitos métodos foram desenvolvidos para apoiar problemas de decisão multicritério. Roy (1985) classifica esses métodos da seguinte forma: (i) métodos de critério único de síntese; (ii) métodos de sobreclassificação; e (iii) métodos interativos, que contemplam etapas de cálculos, fornecendo sucessivas soluções de compromisso, com diálogo com os decisores, que representa uma fonte extra de informação sobre as preferências dos mesmos. A abordagem critério único de síntese, consiste em agregar diferentes pontos de vista em uma única função que, em seguida, é otimizada; nesta abordagem, destaca-se a Teoria da Utilidade Multiatributo, conhecida como MAUT (Keeney e Raiffa, 1976) do termo em inglês Multi-Attribute Utility Theory; segundo Almeida (2011) os métodos SMART (Edward e Barron, 1994), AHP (Saaty, 1980) e MACBETH (Bana e Costa *et al.*, 2005) também fazem agregação através de um critério único de síntese. A abordagem de sobreclassificação consiste em construir e explorar uma relação, denominada relação de sobreclassificação, que representa as preferências dos decisores; as principais vertentes desta abordagem são as famílias de métodos PROMETHEE (Brans e Vincke, 1985) e ELECTRE (Vincke, 1992).

Os métodos também podem ser classificados de acordo com o significado das constantes nas funções de agregação. Quando as constantes conduzem a *trade-offs* entre os critérios, os métodos são compensatórios, permitindo que a desvantagem em alguns critérios seja compensada pela vantagem em outros; nestes casos, as constantes recebem a denominação de constantes de escala. Quando as constantes representam apenas medidas de importâncias relativas dos critérios, os métodos são denominados não compensatórios e a denominação utilizada para elas é peso; nos métodos compensatórios não há *trade-offs* entre os critérios, isto significa que um mau desempenho em um critério não pode ser compensando por um bom desempenho em outro. Os métodos baseados em relações de sobreclassificação são classificados como métodos não compensatórios.

No que concerne aos métodos PROMETHEE, um aspecto importante está relacionado à facilidade dos decisores entenderem os conceitos e parâmetros inerentes aos métodos, o que simplifica o processo de modelagem de preferências e, conseqüentemente, aumenta a efetividade da aplicação do método. Este aspecto representa uma grande vantagem dos métodos PROMETHEE sobre outros métodos de sobreclassificação, tais como os métodos ELECTRE. A família ELECTRE usa os conceitos de concordância e discordância para medir as vantagens e desvantagens entre pares de alternativas; muitas vezes, estes conceitos não são devidamente compreendidos pelos decisores, dificultando a implementação do método (Silva *et al.*, 2010).

Além disso, os métodos PROMETHEE podem ser facilmente implementados em uma linguagem de computador. Talvez isso justifique o crescente número de aplicações com PROMETHEE. Behzadian *et al.* (2010) criou um banco de referência que inclui 217 artigos publicados nos principais periódicos internacionais especializados. Todos os artigos descrevem metodologias e aplicações com PROMETHEE, as quais foram categorizadas pelo autor em nove áreas diferentes: meio ambiente; hidrologia e recursos hídricos; negócios e finanças; logística e transporte; fabricação e montagem; energia; social; e outros tópicos, que incluem aplicações em medicina, agricultura, educação, design, governo e esportes. Em uma pesquisa sobre o uso de MCDA em problemas de seleção de portfólios, na qual foram enfatizados os métodos de sobreclassificação, Vetschera e Almeida (2012) identificaram que o PROMETHEE é o método mais aplicado a este tipo de problemática.

O ponto de partida dos métodos PROMETHEE é uma matriz de avaliação das alternativas com relação a um conjunto de critérios. Em seguida, uma função de preferência é atribuída a cada um dos critérios. A função de preferência de um critério descreve a forma como a preferência do decisor muda com a diferença entre os níveis de desempenho de duas alternativas neste critério,  $g_j(a) - g_j(b)$ , onde  $g_j(a)$  representa o desempenho da alternativa  $a$  no critério  $j$  (Brans e Vincke, 1985). Almeida e Costa (2002) apresentam um resumo das funções sugeridas pelo PROMETHEE.

A função de preferência fornece a intensidade de preferência de uma alternativa  $a$  sobre outra  $b$ , com relação a um dado critério  $j$ , que é representada por  $P_j(a,b)$ . A intensidade de

preferência deve ser calculada para cada par de alternativas, considerando todos os critérios. Para a função usual (tipo I),  $P_j(a,b)$  assume os valores 0 ou 1. Para as demais funções  $P_j(a,b)$  pode assumir qualquer valor no intervalo  $[0,1]$ , implicando em uma relação de preferência *fuzzy*, que permite incorporar aspectos de incerteza no julgamento dos decisores. O próximo passo é determinar o índice de preferência para cada par de alternativas, que é dado pela agregação das intensidades de preferência determinadas para todos os critérios, referente ao respectivo par de alternativas. A agregação é feita por uma soma, ponderada pelos pesos atribuídos aos critérios:

$$P(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n P_j(a,b) \quad (1)$$

$$W = \sum_{j=1}^n w_j \quad (2)$$

onde  $w_j$  é o peso do critério  $j$  e  $n$  é o número de critérios.

Finalmente, para cada alternativa, dois índices são calculados a partir dos índices de preferências: o fluxo positivo,  $Q^+(\cdot)$ , e o fluxo negativo,  $Q^-(\cdot)$ . A grandeza  $Q^+(a)$  expressa o quanto uma alternativa  $a$  sobreclassifica todas as outras; quanto maior o fluxo positivo de uma alternativa, melhor ela é. A grandeza  $Q^-(a)$  expressa o quanto uma alternativa  $a$  é sobreclassificada pelas demais; quanto menor o fluxo negativo de uma alternativa, melhor ela é. Estas grandezas são usadas para explorar as relações entre as alternativas. Elas são determinadas pelas seguintes expressões, respectivamente:

$$Q^+(a) = \sum_{a \neq b} \frac{P(a,b)}{m-1} \quad (3)$$

$$Q^-(a) = \sum_{a \neq b} \frac{P(a,b)}{m-1} \quad (4)$$

onde  $m$  é o número de alternativas.

Os seguintes métodos da família PROMETHEE são descritos na literatura (Brans e Vincke, 1985; Brans *et al.*, 1986; Almeida e Costa, 2002):

- PROMETHEE I – Pré-ordem parcial das alternativas, destinado a problemática de ordenação;
- PROMETHEE II – Estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas, destinado a problemática de ordenação;
- PROMETHEE III – Ampliação da noção de indiferença, tratamento probabilístico dos fluxos (preferência intervalar);
- PROMETHEE IV – Pré-ordem completa ou parcial, destinado a problemática de escolha e ordenação em situações onde o conjunto de soluções viáveis é contínuo;
- PROMETHEE V – Nesta implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (PROMETHEE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas; incorpora-se uma filosofia de otimização inteira;
- PROMETHEE VI – Pré-ordem completa ou parcial. Problemática de escolha e ordenamento. Destinado às situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério;
- PROMETHEE GAIA – Extensão dos resultados do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo.

Além dos métodos acima, um novo método baseado no PROMETHEE foi proposto para apoiar problemas de seleção de portfólio (Almeida e Vetschera, 2012; Vetschera e Almeida, 2012). A nova proposta soluciona alguns problemas do PROMETHEE V, que é a versão da família destinada especificamente para tratar de problemas de seleção de portfólio.

No PROMETHEE II uma pré-ordem completa das alternativas é obtida a partir de uma grandeza denominada fluxo líquido, que pode ser interpretada como uma pontuação atribuída à alternativa de acordo com o seu desempenho. O fluxo líquido é dado por:

$$Q(a) = Q^+(a) - Q^-(a) \quad (5)$$

Uma alternativa  $a$  sobreclassifica uma alternativa  $b$  se o fluxo líquido de  $a$  for maior que o fluxo líquido de  $b$ , isto é,  $Q(a) > Q(b)$ ,  $a$  é indiferente a  $b$  se seus fluxos líquidos forem iguais, isto é,  $Q(a) = Q(b)$ . A ordenação das alternativas é feita com base na ordem decrescente de seus respectivos fluxos líquidos.

## 2.1. IDSM

Em virtude da falta de instrumentos para avaliar o desenvolvimento sustentável de municípios, Martins e Cândido (2008) elaboraram uma ferramenta denominada IDSM – Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios, que consiste em um sistema de indicadores capaz de medir o nível de sustentabilidade de um município.

O IDSM é formado por um conjunto de seis dimensões - social, demográfica, ambiental, econômica, político-institucional e cultural – as quais são avaliadas a partir da coleta, tratamento e análise de indicadores de sustentabilidade específicos relacionados a cada uma das dimensões (Tabela 1).

**Tabela 1 – Dimensões e respectivos indicadores**

| Dimensão    | Descrição  | Indicadores   |
|-------------|--|---|
| Social      | Conjunto de informações sobre os aspectos sociais que influenciam na qualidade de vida da população e no acesso de forma igualitária aos serviços oferecidos à população.  | (i) Esperança de vida ao nascer; (ii) Mortalidade infantil; (iii) Prevalência da desnutrição total; (iv) Imunização contra doenças infecciosas infantis; (v) Oferta de Serviços básicos de saúde; (vi) Escolarização; (vii) Alfabetização; (viii) Escolaridade; (ix) Analfabetismo funcional; (x) Famílias atendidas com programas sociais; (xi) Adequação de moradia nos domicílios; (xii) Mortalidade por homicídio; (xiii) Mortalidade por acidente de transporte. |
| Demográfica | Conjunto de informações produzidas por índices demográficos que oferecem subsídios para maior controle populacional, equilíbrio entre a população masculina e feminina, distribuição da população urbana e rural de forma compatível com a realidade local, bem como, adequação no nível de concentração da população. | (i) Crescimento da população; (ii) Razão entre a população urbana e rural; (iii) Densidade demográfica; (iv) Razão entre a população masculina e feminina; (v) Distribuição da população por faixa etária.  |
| Ambiental   | Corresponde aos aspectos relacionados ao uso dos recursos naturais e à degradação do ambiente, e está relacionada aos objetivos de preservação e conservação do meio ambiente, considerados fundamentais para manter a qualidade de vida e ambiental das atuais e futuras gerações.                                    | (i) Qualidade das águas (aferição de cloro residual, de turbidez, de coliformes totais); (ii) Tratamento das águas (tratada em ETAs e por desinfecção); (iii) Consumo médio per capita de água; (iv) Acesso ao sistema de abastecimento de água; (v) Tipo de esgotamento sanitário por domicílio; (vi) Acesso a coleta de Lixo urbano e rural.  |
| Econômica   | Conjunto de informações relacionadas aos objetivos ligados ao desempenho econômico e financeiro e aos rendimentos da população.  | (i) Produto Interno Bruto per capita; (ii) Participação da indústria no PIB; (iii) Saldo da balança comercial; (iv) Renda familiar per capita em salários mínimos; (v) Renda per capita; (vi) Rendimentos provenientes do trabalho; (vii) Índice de Gine de distribuição do rendimento.   |

|                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| Político-Institucional | Diz respeito às despesas, participação política, capacidade e esforço despendido para as mudanças requeridas para uma efetiva implementação do desenvolvimento sustentável nos Estados brasileiros. | (i) Despesas por função (com assistência social, educação, cultura, urbanismo, habitação urbana, gestão ambiental, ciência e tecnologia, desporto e lazer, saneamento urbano, saúde); (ii) acesso a serviço de telefonia fixa; (iii) participação nas eleições; (iv) número de conselhos municipais; (v) número de acessos a justiça; (vi) transferências intergovernamentais da união. |
| Cultural               | Diz respeito à quantidade de equipamentos culturais existentes nos Estados brasileiros.   | (i) Quantidade de bibliotecas; (ii) Quantidade de museus; (iii) Quantidade de ginásios de esportes e estádios; (iv) Quantidade de cinemas; (v) Quantidade de unidades de ensino superior; (vi) Quantidade de teatros ou salas de espetáculos; (vii) Quantidade de centros cultural.   |

Estes indicadores são convertidos em índices com base na contribuição do indicador (variável) para o desenvolvimento sustentável: (i) contribuição favorável (relação positiva), indica que quanto maior o indicador, maior é sua contribuição para o desenvolvimento sustentável; ou (ii) contribuição desfavorável (relação negativa), indica que quanto maior o indicador, menor é sua contribuição para o desenvolvimento sustentável. De acordo com a contribuição, os índices são calculados da seguinte forma:

Para uma relação positiva:

$$I = (x - m) / (M - m) \tag{6}$$

Para uma relação negativa:

$$I = (M - x) / (M - m) \tag{7}$$

Onde:

- I é o índice calculado para a localidade;
- x: é o valor atribuído à variável para uma dada localidade;
- m: valor mínimo da variável considerando todas as localidades analisadas;
- M: valor máximo da variável considerando todas as localidades analisadas.

As expressões fornecem índices que variam entre 0 e 1, conforme o nível de sustentabilidade atribuído a ele, onde 0 é o menor e 1 é o maior, sendo cada um destes níveis indicados por uma cor (Figura 1).

| Índice (0 - 1)  | Performance | Coloração |
|-----------------|-------------|-----------|
| 0,7501 – 1,0000 | Ideal       |           |
| 0,5001 – 0,7500 | Aceitável   |           |
| 0,2501 – 0,5000 | Alerta      |           |
| 0,0000 – 0,2500 | Crítica     |           |

**Figura 1 - Classificação e representação dos índices em níveis de sustentabilidade**

Fonte: Martins e Cândido (2008)

Os índices de sustentabilidade com valores entre 0,0000 e 0,2500 indicam um nível crítico de sustentabilidade (são representados pela cor vermelha); os índices com valores entre 0,2501 e 0,5000 indicam um nível de sustentabilidade em alerta (são representados pela cor

laranja); os índices com valores entre 0,5001 e 0,7500 indicam um nível de sustentabilidade aceitável (são representados pela cor verde escuro); e por último, os índices com valores entre 0,7501 e 1,0000 indicam um nível de sustentabilidade ideal (são representados pela cor verde claro).

A normalização estabelecida pelas Equações 1 e 2 permite que os índices sejam agregados a fim de determinar aquele, que irá representar a contribuição de cada uma das dimensões para o desenvolvimento sustentável da unidade analisada. A agregação é feita da seguinte forma:

$$I_{DIMENSÃO} = \frac{1}{n'} \sum_{j=1}^{n'} I_j \quad (8)$$

Onde  $n'$  é o número de indicadores na dimensão: dimensão social ( $n'=13$ ), dimensão demográfica ( $n'=5$ ), dimensão ambiental ( $n'=6$ ), dimensão econômica ( $n'=7$ ), dimensão político-institucional ( $n'=6$ ), dimensão cultural ( $n'=7$ ).

Por fim, o IDSM é calculado a partir da agregação dos índices obtidos para as dimensões:

$$IDSM = \frac{1}{6} (I_{SOCIAL} + I_{DEMOGRÁFICA} + I_{AMBIENTAL} + I_{ECONÔMICA} + I_{POLÍTICO-INSTITUCIONAL} + I_{CULTURAL}) \quad (9)$$

### 3. Abordagem Proposta

A abordagem consiste em criar um ranking dos municípios a partir de comparações binárias entre os desempenhos destes municípios em cada uma das dimensões - social, demográfica, ambiental, econômica, político-institucional e cultural. Para isso, foi utilizada a base de dados disponibilizada na página do SEBRAE (SEBRAE, 2014), a qual contém todos os índices que formam o IDSM.

Para a construção do ranking será utilizado o método multicritério PROMETHEE II, onde o ponto de partida é uma matriz contendo os desempenhos dos municípios em cada uma das dimensões, os quais são dados pela Equação 8. A partir desta matriz, são construídas as matrizes de avaliação binária para cada uma das dimensões.

O método PROMETHEE requer a atribuição de funções a cada uma das dimensões que irão representar a forma como as preferências do decisor mudam com a diferença de desempenho entre pares de municípios. Estas funções irão determinar a intensidade de preferência de uma alternativa  $a$  sobre uma alternativa  $b$ ,  $P(a,b)$ . A intensidade de preferência é sempre um valor entre 0 e 1,  $P(a,b) = 0$  indica que a alternativa  $b$  é preferível a alternativa  $a$  e  $P(a,b) = 1$  indica que a alternativa  $a$  é preferível a alternativa  $b$ .

A avaliação dos municípios em cada uma das dimensões é dada por índices entre 0 e 1, os quais são uma conjunção de vários indicadores de sustentabilidade, sendo 0 o nível de sustentabilidade menor e 1 o nível de sustentabilidade maior. Assim, se um município tem um índice maior que outro, em uma dada dimensão, indica que o primeiro é mais sustentável que o outro nesta dimensão, por menor que seja esta diferença. Desta forma, a função usual do PROMETHEE é a mais apropriada para representar a forma como as preferências variam nas dimensões consideradas, quando os municípios são comparados par a par.

A intensidade de preferência deve ser calculada para cada par de alternativas em cada uma das dimensões. Em seguida, deve ser calculado o índice de preferência para cada par de alternativas, que é a agregação das intensidades de preferências nas diferentes dimensões, conforme a Equação 1.

Silva *et al* (2010), sugere que em decisões nas quais as dimensões de sustentabilidade são consideradas (social, ambiental, econômica), os pesos atribuídos a estas dimensões devem ser iguais e distribuídos proporcionalmente à importância dos critérios dentro de cada dimensão. Aqui serão considerados também os mesmos pesos para cada uma das seis dimensões, portanto os pesos serão iguais a 1/6.

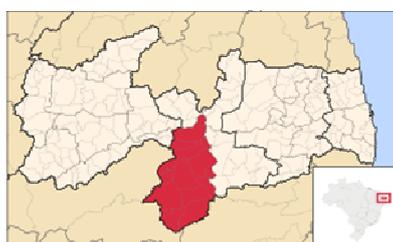
Finalmente, são calculados os fluxos positivos, negativos e líquidos para cada um dos

municípios, conforme as equações 3, 4 e 5, respectivamente.

O ranking dos municípios é construído com base nos seus respectivos fluxos líquidos - o município que obteve maior fluxo líquido é o primeiro do ranking; o município que obteve menor fluxo líquido é o último do ranking; municípios com fluxos líquidos iguais ficam empatados no ranking.

#### 4. Aplicação

A abordagem proposta foi aplicada na avaliação e comparação do desenvolvimento sustentável de municípios da região do Cariri Ocidental da Paraíba, que inclui Amparo, Assunção, Camalaú, Congo, Coxixola, Livramento, Monteiro, Ouro Velho, Parari, Prata, São João do Tigre, São José dos Cordeiros, São Sebastião do Umbuzeiro, Serra Branca, Sumé, Taperoá e Zabelê (Figura 2).



**Figura 2 – Cariri Ocidental Paraibano**

A Tabela 2 apresenta os desempenhos destes municípios nas dimensões consideradas, os quais foram calculados de acordo com a Equação 8.

**Tabela 2 – Indicadores dos Municípios**

| Municípios                 | Dimensões |             |                        |           |           |          |
|----------------------------|-----------|-------------|------------------------|-----------|-----------|----------|
|                            | Social    | Demográfica | Político-Institucional | Econômica | Ambiental | Cultural |
| Amparo                     | 0,5312    | 0,4826      | 0,3345                 | 0,4001    | 0,4725    | 0,0000   |
| Assunção                   | 0,4970    | 0,4951      | 0,3097                 | 0,3837    | 0,5081    | 0,0152   |
| Camalaú                    | 0,4582    | 0,4649      | 0,2979                 | 0,4248    | 0,4971    | 0,0029   |
| Congo                      | 0,5062    | 0,4369      | 0,3054                 | 0,4291    | 0,5057    | 0,0124   |
| Coxixola                   | 0,5768    | 0,2144      | 0,2904                 | 0,4023    | 0,5624    | 0,0124   |
| Livramento                 | 0,4736    | 0,4974      | 0,3217                 | 0,3450    | 0,4633    | 0,0219   |
| Monteiro                   | 0,5410    | 0,4718      | 0,3491                 | 0,4399    | 0,5410    | 0,0844   |
| Ouro Velho                 | 0,5806    | 0,4559      | 0,5421                 | 0,4528    | 0,4823    | 0,0124   |
| Parari                     | 0,5339    | 0,3993      | 0,3595                 | 0,4381    | 0,4465    | 0,0143   |
| Prata                      | 0,4874    | 0,4177      | 0,3601                 | 0,3841    | 0,4691    | 0,1395   |
| São João do Tigre          | 0,3727    | 0,4808      | 0,2806                 | 0,3878    | 0,4843    | 0,0124   |
| São José dos Cordeiros     | 0,4781    | 0,4264      | 0,2820                 | 0,4138    | 0,4858    | 0,0152   |
| São Sebastião do Umbuzeiro | 0,4800    | 0,3769      | 0,3385                 | 0,4251    | 0,5869    | 0,0267   |
| Serra Branca               | 0,6181    | 0,3740      | 0,3368                 | 0,4457    | 0,4146    | 0,0576   |
| Sumé                       | 0,5990    | 0,4217      | 0,3328                 | 0,4273    | 0,4925    | 0,0448   |
| Taperoá                    | 0,4977    | 0,4534      | 0,3835                 | 0,3831    | 0,5832    | 0,0481   |
| Zabelê                     | 0,4830    | 0,4714      | 0,3624                 | 0,4240    | 0,5614    | 0,0410   |

Fonte: SEBRAE (2014)

3). A esses dados, foi aplicada a abordagem proposta, baseada no PROMETHEE II (Tabela

**Tabela 3 – Ranking dos Municípios (abordagem proposta)**

| Município                  | Posição | Fluxo Líquido | Município              | Posição | Fluxo Líquido |
|----------------------------|---------|---------------|------------------------|---------|---------------|
| Monteiro                   | 1º      | 9,33          | Congo                  | 10º     | -0,83         |
| Ouro Velho                 | 2º      | 5,17          | Prata                  | 11º     | -1,00         |
| Zabelê                     | 3º      | 4,67          | Amparo                 | 12º     | -2,33         |
| Taperoá                    | 4º      | 4,00          | Coxixola               | 13º     | -3,17         |
| Sumé                       | 5º      | 3,33          | Livramento             | 14º     | -4,33         |
| Serra Branca               | 6º      | 2,33          | Camalaú                | 15º     | -5,00         |
| São Sebastião do Umbuzeiro | 7º      | 1,33          | São José dos Cordeiros | 16º     | -5,50         |
| Assunção                   | 8º      | -0,17         | São João do Tigre      | 17º     | -7,17         |
| Parari                     | 9º      | -0,67         |                        |         |               |

#### 4.1. Resultados

A Tabela 4 apresenta o ranking dos municípios, construído com base nos valores de IDSM.

**Tabela 4 – Ranking dos Municípios (abordagem convencional)**

| Município                  | Posição | Município              | Posição |
|----------------------------|---------|------------------------|---------|
| Ouro Velho                 | 1º      | Assunção               | 10º     |
| Monteiro                   | 2º      | Congo                  | 11º     |
| Taperoá                    | 3º      | Parari                 | 12º     |
| Zabelê                     | 4º      | Camalaú                | 13º     |
| Sumé                       | 5º      | Livramento             | 14º     |
| Prata                      | 6º      | São José dos Cordeiros | 15º     |
| Serra Branca               | 7º      | Coxixola               | 16º     |
| São Sebastião do Umbuzeiro | 8º      | São João do Tigre      | 17º     |
| Amparo                     | 9º      |                        |         |

Na forma convencional o Município de Monteiro ocupa a segunda posição do ranking, perdendo para o Município de Ouro Velho. Na abordagem proposta, as posições destes municípios se invertem, e Monteiro passaria a ser o município com maior desenvolvimento sustentável do Cariri paraibano. Este resultado é mais consistente com a realidade, visto que alguns fatores favorecem ao desenvolvimento sustentável de Monteiro em detrimento de Ouro Velho, a exemplo da existência no primeiro de um *campus* da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFET-PB).

Avaliando os desempenhos desses dois municípios nas dimensões, de forma individual, verifica-se que Monteiro teve um desempenho inferior ao de Ouro Velho na dimensão Político-Institucional. Como na metodologia convencional há uma compensação durante a agregação, a dimensão Político-Institucional contribui para baixar o IDSM de Monteiro em relação ao de Ouro Velho. Já na abordagem proposta, o efeito desta compensação é mínimo e não compromete o bom desempenho que Monteiro teve nas demais dimensões e, conseqüentemente, a sua avaliação global.

No caso do Município de Prata, a compensação provocada pela metodologia convencional beneficiou este município no ranking final. O bom desempenho que este município teve na dimensão Cultural (significativamente melhor do que todos os outros municípios)

compensou o mau desempenho nas demais dimensões. Assim, na metodologia convencional ele ocupa a sexta posição; enquanto na abordagem proposta ele ocuparia apenas a décima primeira posição, que parece ser mais coerente com a realidade do Município.

## 5. Conclusões

O artigo apresenta uma nova abordagem, baseada no método PROMETHEE II, para a agregação das dimensões que constituem o Índice de Desenvolvimento Sustentável de Municípios (IDSM). Na abordagem proposta, a diferença dos desempenhos dos municípios em cada uma das dimensões é convertida em medidas de intensidades de preferência. Em seguida, as intensidades de preferências de pares de municípios são agregadas em um único índice, denominado índice de preferência. Por fim, são calculados os fluxos positivos e negativos associadas a cada um dos municípios. O fluxo positivo representa uma medida de superação de um município sobre os demais; enquanto o fluxo negativo indica o quanto um município é superado por todos os outros. O ranking final dos municípios é obtido pela ordenação das alternativas com base nos respectivos fluxos líquidos.

Os resultados obtidos com a aplicação indicam que a abordagem proposta é bastante eficiente na comparação do desenvolvimento sustentável de municípios. Um dos pontos fortes da abordagem proposta em relação à metodologia convencional é o fato do PROMETHEE eliminar significativamente o efeito da compensação durante a agregação dos resultados individuais nas dimensões. Na comparação entre os dois resultados, verificou-se que a não compensação implica em resultados mais coerentes com a realidade dos municípios. Sendo assim, a abordagem pode ser utilizada como um instrumento formal para a comparação do desempenho dos municípios no que concerne ao desenvolvimento sustentável.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se uma investigação do uso de outras abordagens não compensatórias para a agregação dos indicadores que compõem cada uma das dimensões, bem como a avaliação de outros métodos multicritérios, além do PROMETHEE II.

## Referências

- Almeida, A. T. e Costa, A. P. C. S.** (2002), Modelo de decisão multicritério para a priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE, *Gestão e Produção*, 9, 201-214.
- Almeida, A. T. e Vetschera, R.** (2012), A note on scale transformations in the PROMETHEE V method, *European Journal of Operational Research*, 219 (1), 198–200.
- Almeida, A. T.**, Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério, Editora Atlas, São Paulo, 2013.
- Bana e Costa, C. A., Corte, J. M. e Vansnick, J. C.**, On the mathematical foundations of MACBETH, em: Figueira, J., Greco, S. e Ehrgott, M. (Eds.), *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*, Springer, New York, 409-442, 2005.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A. e Aghdasi, A.** (2010), PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, *European Journal of Operational Research*, 200 (1), 198-215.
- Brans, J. P. e Vincke, P.** (1985), A preference ranking organization method (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making), *Management Science*, 31, 647-656.
- Brans, J. P., Vincke, P. e Mareschal, B.** (1986), How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, *European Journal of Operational Research*, 24, 228-238.
- CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.** *Nosso futuro comum*, Tradução de *Our common future*, 1988, Editora da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1991.



**Edward, W. e Barron, F. H.** (1994), SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement, *Organizational Behaviour and Human Decision Processes*, 60, 306-325.

**Keeney, R. L. e Raiffa, H.**, *Decision with Multiple Objectives: Preference and Value Trade-offs*, Wiley, New York, 1976.

**Martins, M. F. e Cândido, G. A.**, *Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios (IDSM): metodologia para análise e cálculo do IDSM e classificação dos níveis de sustentabilidade – uma aplicação no Estado da Paraíba*, SEBRAE, João Pessoa, 2008.

**Roy, B.**, *Methodologie Multicrièrè d'aide à la Décision*, Editora Econômica, Paris, 1985.

**Saaty, T. L.**, *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.

**SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas**, Cálculo e análise do Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios (IDSM), *Relatórios do Sebrae Paraíba*, <http://pbsrvlamp.sebraepb.com.br/>, 2014.

**Silva, V. B. S., Moraes, D. C. e Almeida, A. T.** (2010), A Multicriteria Group Decision Model to Support Watershed Committees in Brazil. *Water Resources Management*, 24 (14), 4075-4091.

**Vetschera, R. e Almeida, A. T.** (2012), A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems, *Computers & Operations Research*, 39 (5), 1010–1020.

**Vincke, P.**, *Multicriteria decision aid*, John Wiley & Sons, Bruxelles, 1992.