

**Suzana Maria Loures de Oliveira  
Marcionilio**

Universidade Estadual de Goiás (UEG)  
suzanaloures@hotmail.com

**Alexandre Kepler Soares**

Universidade Federal de Goiás (UFG)  
email:aksoares@gmail.com



## AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL COM APLICAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE II

EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY BY THE  
APPLICATION OF THE METHOD PROMETEE II

### RESUMO

O emprego de ferramentas que facilitem e orientem a tomada de decisão nas bases políticas é de suma importância, principalmente no âmbito ambiental. Neste trabalho, foi utilizado o método Promethee II para o cálculo de Indicadores Multicriteriais de Sustentabilidade (IMC). Vinte e três municípios da mesorregião Noroeste goiano, situada na sub-bacia do rio Araguaia foram estudados. No caso em que o decisor definiu pesos maiores para os critérios ambientais, o município de Aragarças obteve o maior IMC, tido, portanto, como o mais sustentável e o de Baliza obteve o menor IMC, sendo apontado como o menos sustentável. Para o caso em que os critérios sociais foram privilegiados, o município menos sustentável foi o de Mundo Novo, enquanto que, com peso para critérios ambientais, o menos sustentável é o de Baliza. Os resultados obtidos podem ser utilizados como informações preliminares no desenvolvimento de ações que promovam o desenvolvimento sustentável, principalmente no setor de saneamento ambiental.

**Palavras-Chave:** Araguaia; Análise Multicritério; Método Promethee II; Desenvolvimento sustentável.

### ABSTRACT

The use of tools to facilitate and guide decision making in the political bases is of vital importance, especially in the environmental context. In this work, it has been used the method of Promethee II for the calculation of Multicriteria Sustainability Indicators (IMC). Twenty-three counties of Northwest mesoregion of Goiás, in the sub-basin of the Araguaia River, were studied. In events that the decision maker set higher weights for the environmental criteria, the municipality of Aragarças received the highest IMC, while Baliza had the lowest IMC, which was identified as the least sustainable. In the case where the focus was social criteria, the municipality with lower sustainability was Mundo Novo. Results obtained can be used as preliminary information to develop actions that promote sustainable development especially in the field of environmental sanitation.

**Keywords:** Araguaia; Method of Promethee II; Multicriteria Analysis; Sustainable development.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
Endereço:BR-153 – Quadra Área  
75.132-903 – Anápolis – revista.prp@ueg.br

Coordenação:

GERÊNCIA DE PESQUISA

Coordenação de Projetos e Publicações

Artigo Original

Recebido em: 30/11/2013  
Aceito em:03/10/2014

## INTRODUÇÃO

O intenso desenvolvimento do setor econômico trouxe consequências negativas para a área ambiental que se tornaram uma preocupação em relação às medidas mitigadoras para reverter degradações provocadas no meio ambiente. Para tornar viável o crescimento econômico em paralelo à preservação ambiental, surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, tendo dimensões nos setores social, econômico, institucional e ambiental (RABELO, 2007).

Desenvolvimento sustentável é o que atende as necessidades da atualidade sem comprometer os recursos disponíveis para as gerações futuras. Porém, não são definidos quais são as necessidades do presente e do futuro, mas chama a atenção em encontrar novas formas de desenvolvimento econômico sem a redução dos recursos naturais, ao mesmo tempo em que se minimizam os impactos ambientais (BARBOSA, 2008).

A Agenda 21 foi produzida a partir de discussões ocorridas na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992. É um plano de ação criado para mitigar os problemas ambientais globais e contribuir para o desenvolvimento sustentável, ainda em construção, pois é tema de debates em outras conferências com mesmo tema em todo o mundo (CAPENA, 2007). Neste documento, recomenda-se a construção de indicadores que retratem as condições dos países, facilitando as tomadas de decisão quanto ao desenvolvimento econômico integrado à conservação do meio ambiente (MMA, 2004).

De acordo com Souza *et al.* (2009), o desenvolvimento das cidades rumo à sustentabilidade exige da gestão municipal a inserção de temas como preservação e qualidade dos recursos ambientais, conservação da biodiversidade e os sistemas de suporte à vida humana nos programas de governo. Para Carvalho *et al.* (2011), numa mesma região pode haver heterogeneidade quanto aos aspectos econômico, social e ambiental, o que leva a compreender as diferenças entre as cidades e estados de um mesmo país. Neste mesmo enfoque, os indicadores tem se mostrado como ferramentas importantes que retratam o estado do meio ambiente. Tais indicadores visam quantificar e simplificar fenômenos e informações complexas (KHALIFA; CONNELLY, 2008).

No Brasil, o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) trabalha com 59 indicadores de sustentabilidade, baseados nos 58 indicadores da *United Nations Commission on Sustainable Development* (UNCSD, 1996), que são classificados em quatro dimensões: econômica, social, institucional e ambiental (RABELO, 2007).

O Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) foi apresentado no ano de 2002, no Fórum Econômico Mundial, por pesquisadores americanos das Universidades de Yale e Columbia, com o intuito de ser um instrumento de auxílio à tomada de decisão em relação ao aspecto ambiental (ESI, 2005). Para Carvalho *et al.* (2011), a análise multicritério é viável no desenvolvimento do índice de sustentabilidade ambiental para municípios, pelo fato das questões ambientais se mostrarem complexas, ou seja, envolvem diversas variáveis e usos múltiplos.

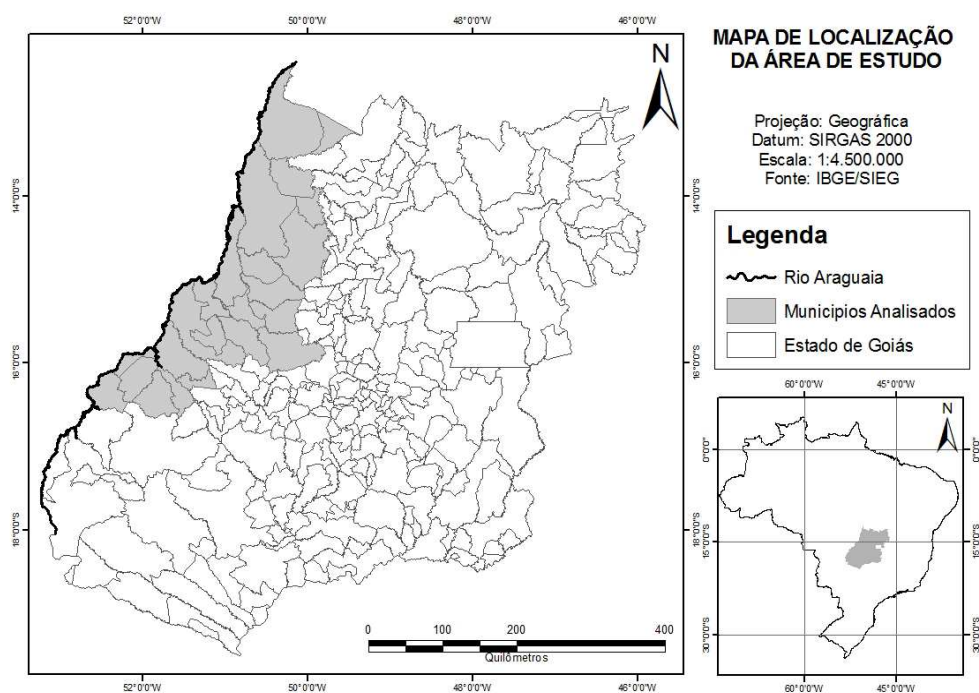
Para Gomes *et al.* (2002), a análise multicritério é um conjunto de técnicas que fornece ao decisor, indivíduo ou grupo, a viabilização de tomada de decisão acerca de um problema complexo, fornecendo a decisão através da escolha de alternativas com critérios pré-definidos e de diferentes pontos de vista. Há inúmeras técnicas e procedimentos quantitativos para busca das melhores soluções; dentre os métodos da Escola Francesa, destacam-se os métodos da família Promethee (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*). O procedimento multicritério Promethee II reúne características para seu emprego nos processos decisórios relacionados a tomadas de decisões, sendo de fácil entendimento, e com utilização de indicadores levantados em pesquisas. Tem como objetivo final obter uma ordenação das alternativas a partir de comparações paritárias para cada critério que possui uma função de preferência determinada pelo decisor (SILVÉRIO *et al.*, 2007).

Com o objetivo de verificar se as cidades goianas que se encontram na sub-bacia do Rio Araguaia possuem índices satisfatórios de desenvolvimento sustentável, é proposta a aplicação de um Índice Multicritério de Sustentabilidade (IMC), calculado via comparações paritárias pelo método multicritério Promethee II. Os critérios utilizados nas análises levam em consideração aspectos sociais, econômicos, demográficos e ambientais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho consistiram de pesquisa documental e exploratória na qual se utilizou a análise multicritério para definição do Índice Multicritério de Sustentabilidade (IMC). Foram estabelecidos oito indicadores (critérios) divididos nos grupos social, demográfico, econômico e ambiental, de maneira que fosse possível identificar aspectos da sustentabilidade ambiental das cidades estudadas.

Inserida no bioma Cerrado e na sub-bacia do Rio Araguaia, a mesorregião Noroeste de Goiás (Figura 1) engloba 23 municípios. Esta região tem se deparado com a expansão de atividades agropastoris, mineração e turística. Além do turismo, o Rio Araguaia suporta o desenvolvimento econômico da região, fornecendo água para irrigação e dessedentação animal, além de grande quantidade de pescados para as famílias ribeirinhas.



**Figura 1** - Área de estudo: Municípios da Mesorregião Noroeste do Estado de Goiás.

As dimensões, os critérios (indicadores) e as respectivas fontes escolhidas para avaliar a sustentabilidade ambiental dos municípios localizados na região da sub-bacia do Araguaia são listados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Dimensões, Critérios e fontes utilizadas no estudo.

Dimensão do critério	Critério / Fonte
Social	C1 - IDH-M (IBGE, 2000)
	C2 - Taxa de alfabetização (SEPIN, 2010)
Demográfica	C3 - Densidade demográfica (IBGE, 2010)
Econômica	C4 - PIB per capita (IBGE, 2009)
	C8 - Receitas de imp. e transf. intragovernamentais (IBGE, 2009)
Ambiental	C5 - Índice de abastecimento via rede geral (IBGE, 2010)
	C6 - Percentual de lixo coletado (IBGE, 2010)
	C7 - Percentual de domicílios que não dispõe de instalação Sanitária (IBGE, 2010)

Fonte: Dados de pesquisa, 2012.

A escolha dos indicadores que irão compor o índice de sustentabilidade deve ser feita considerando três pontos: (1) a fonte que disponibiliza os dados deve ser confiável, (2) os mesmos devem ser relevantes para o desenvolvimento sustentável e (3) as variáveis selecionadas devem ser amplamente utilizadas na literatura científica, governos ou instituições privadas ou públicas (FONSECA, 2010).

A seguir, são definidos os indicadores que compõem o índice de sustentabilidade dos municípios estudados.

C1 - Indicador do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM): é uma variação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) com o objetivo de possibilitar a comparação entre os níveis de desenvolvimento em diferentes países, regiões ou localidades. Ele é formado por quatro variáveis (taxa de alfabetização, taxa de escolarização, esperança de vida ao nascer e PIB *per capita*), que refletem a situação em três diferentes aspectos do desenvolvimento humano: educação, saúde e renda. Os valores do IDHM variam de zero (nenhum desenvolvimento) a um (desenvolvimento completo) (FONSECA, 2010).

C2 - Incidência de Pobreza: retrata a falta de condições básicas de subsistência e bem estar para o indivíduo, sendo as más condições materiais de vida, presença do analfabetismo, má nutrição, mortalidade infantil alta, esperança de vida reduzida e privação dos serviços de saneamento básico, água potável e energia. A utilização deste indicador se deve ao fato de que o desenvolvimento de uma nação ou cidade se torna sustentável à medida que a incidência de pobreza se torna erradicada (KAGEYAMA; HOFFMANN, 2006).

C3 - Indicador de Densidade Demográfica: é a quantidade de pessoas em uma determinada área geográfica. Está relacionado aos aspectos sociais, econômicos e ambientais, pois a concentração maior de população em uma área geográfica pode acarretar em degradação ambiental, pobreza, desemprego e incidência de doenças (CARVALHO *et al.*, 2011).

C4 - Índice de Gini: é utilizado para calcular a desigualdade de distribuição de renda, consistindo de um número entre 0 e 1, sendo 0 correspondente à completa igualdade da renda (onde todos têm a mesma renda) e 1 à completa desigualdade (onde uma pessoa tem toda a renda e as demais não têm nada). A escolha deste indicador se dá pelo fato de que com a concentração de renda não leva a acessibilidade de um desenvolvimento sustentável que deve ocorrer dentro das dimensões social, econômica, demográfica e ambiental (SILVA *et al.*, 2009).

C5 - Indicador de Abastecimento via Rede Geral: indica o percentual de domicílios atendidos com água tratada, disponíveis na zona urbana e com tal acesso a população tende a ficar menos vulnerável a alguns tipos de doenças de veiculação hídrica.

C6 - Indicador de percentual de lixo coletado: o percentual dos domicílios que possuem a coleta dos resíduos gerados, evitando dessa forma o acúmulo de lixo nas zonas urbanas com proliferação de insetos e contaminação da água e do solo e a deterioração da saúde da população.

C7 - Indicador de percentual de domicílios que não dispõe de instalação sanitária. É de uso relevante, pois a existência de saneamento reflete diretamente na saúde da população e sustentabilidade ambiental.

C8 - Indicador de receitas de impostos e transferências intragovernamentais: A origem da riqueza do município através da arrecadação de impostos e transferências de valores entre as instituições de um mesmo nível de governo, órgãos da administração direta, autarquias, fundações públicas, fundos, empresas públicas e outras entidades autorizadas em legislação específica.

## 1.1. Método Promethee II

A definição dos objetivos a serem considerados em uma determinada situação decisória é um dos pontos cruciais da análise multicritério. Em geral, o

problema pode ser estruturado na forma de uma hierarquia, com definição de metas, objetivos e atributos.

Para o tratamento de alternativas discretas avaliadas qualitativamente, o método Promethee estabelece uma estrutura de preferência entre as alternativas. A estrutura de preferência é definida através de comparações aos pares:

$$\begin{aligned}
 a P b & \text{ se } f(a) > f(b) \\
 a I b & \text{ se } f(a) = f(b)
 \end{aligned}$$

(1)

sendo  $f$  um critério particular de avaliação a ser maximizado e  $(a, b)$  duas alternativas possíveis.  $P$  e  $I$  denotam, respectivamente, preferência e indiferença. Tal definição implica que não existem diferenças nas preferências se o desvio entre  $f(a)$  e  $f(b)$  for grande ou pequeno. Porém, a importância de se fazer esta distinção pode ser incorporada via função de preferência:

$$P(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{se } f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & \text{se } f(a) > f(b) \end{cases}$$

(2)

A função indica a intensidade de preferência de  $a$  sobre  $b$ , baseada no desvio entre os valores de  $f$ . É determinada separadamente para cada critério e seu valor está compreendido entre 0 (indiferença) e 1 (preferência total).

Para auxílio ao decisor na escolha de uma função de preferência em particular, são aplicados, frequentemente, seis tipos de funções de preferência no método Promethee. A Tabela 2 mostra os tipos de funções do método, segundo Silva e Moraes (2008). De acordo com cada critério, as funções de preferência podem assumir valores entre 0 e 1, representados por  $P_j(a, b)$ , sendo  $j$  o critério utilizado para a comparação entre as alternativas  $a$  e  $b$ .

No método Promethee, o problema da classificação das alternativas é tratado definindo-se o índice de preferência global de  $a$  sobre  $b$ ,  $\pi(a,b)$ , para todo o conjunto de alternativas. Estabelecendo-se uma função de preferência  $P_i(a,b)$  para  $n$  critérios, calcula-se  $\pi(a,b)$  por:

$$\pi(a,b) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot P_i(a,b)$$

(3) com

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \tag{4}$$

sendo  $\pi_i$  os pesos associados a cada critério, ou seja, o nível de preferência de  $a$  sobre  $b$  em relação a todos os critérios.

**Tabela 2** - Funções de preferência do método Promethee II

Critério usual	$g_j(a) - g_j(b) > 0$	$P_j(a,b) = 1$
	$g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	$P_j(a,b) = 0$
Critério forma U	$g_j(a) - g_j(b) > q$	$P_j(a,b) = 1$
	$g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$P_j(a,b) = 0$
Critério forma V	$g_j(a) - g_j(b) > p$	$P_j(a,b) = 1$
	$g_j(a) - g_j(b) \leq p$	$P_j(a,b) = [g_j(a) - g_j(b)]/p$
	$g_j(a) - g_j(b) \leq p$	$P_j(a,b) = 0$
Critério com níveis	$ g_j(a) - g_j(b)  > p$	$P_j(a,b) = 1$
	$q <  g_j(a) - g_j(b)  \leq p$	$P_j(a,b) = 1/2$
	$ g_j(a) - g_j(b)  \leq q$	$P_j(a,b) = 0$
Critério linear	$ g_j(a) - g_j(b)  > p$	$P_j(a,b) = 1$
	$q <  g_j(a) - g_j(b)  \leq p$	$P_j(a,b) = [ g_j(a) - g_j(b)  - q]/(p - q)$
	$ g_j(a) - g_j(b)  \leq q$	$P_j(a,b) = 0$
Critério gaussiano	$g_j(a) - g_j(b) > 0$	<i>A preferência aumenta segundo a distribuição normal</i>
	$g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	

Fonte: Silva e Morais (2008)

O índice de preferência global possibilita a avaliação de cada alternativa mediante a consideração de dois fluxos de importância.

Fluxo de importância positivo, que é uma estimativa de quanto cada alternativa domina as outras, ou seja,  $\pi^+(a)$  representa a força de  $a$ :

$$\phi^+(a) = \sum_{x \in X} \pi(a, x) \quad (5)$$

Fluxo de importância negativo, que expressa quanto cada alternativa é dominada pelas outras, ou seja,  $\pi^-(a)$  representa a fraqueza de  $a$ :

$$\phi^-(a) = \sum_{x \in X} \pi(x, a) \quad (6)$$

A classificação das alternativas é feita com base nos valores de  $\pi^+(a)$  e  $\pi^-(a)$ . Uma ordenação parcial das alternativas é alcançada pelo método Promethee I e uma ordenação total pelo Promethee II.

No método Promethee I, consideram-se quatro condições possíveis:

$$\begin{aligned} a P^+ b & \quad \text{se} \quad \pi^+(a) > \pi^+(b) \\ a P^- b & \quad \text{se} \quad \pi^-(a) > \pi^-(b) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} a I^+ b & \quad \text{se} \quad \pi^+(a) = \pi^+(b) \\ a I^- b & \quad \text{se} \quad \pi^-(a) = \pi^-(b) \end{aligned} \quad (8)$$



A ordenação parcial das alternativas é determinada por:

$$\left\{ \begin{array}{l} a \text{ é preferido de } b(a P^{(1)} b) \text{ se : } \begin{cases} a P^+ b \text{ e } a P^- b \\ a P^+ b \text{ e } a I^- b \\ a I^+ b \text{ e } a P^- b \end{cases} \\ a \text{ é indiferente de } b(a I^{(1)} b) \text{ se : } a I^+ b \text{ e } a I^- b \\ a \text{ e } b \text{ são incomparáveis de outra forma} \end{array} \right.$$

(9)

No método Promethee II, considera-se, para cada alternativa, o fluxo de importância líquido, como sendo:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

(10)

A ordenação total das alternativas é determinada por:

$$\left\{ \begin{array}{l} a \text{ é preferido de } b(a P^{(2)} b) \text{ se : } \phi(a) > \phi(b) \\ a \text{ é indiferente de } b(a I^{(2)} b) \text{ se : } \phi(a) = \phi(b) \end{array} \right.$$

(11)

Neste trabalho, as etapas de operacionalização do método Promethee II são realizadas pelo Programa de Apoio à tomada de Decisão baseado em Indicadores (Pradin), na sua versão 3.0 (JANNUZI, 2010). Também foi realizada em trabalhos como o de Scandar Neto (2006) na construção de um Indicador de Desenvolvimento Sustentável (IDS) para municípios fluminenses, enquanto Carvalho *et al.* (2011) avaliaram a sustentabilidade ambiental de municípios paraibanos.

O fluxo de importância (ou superação) líquido é denominado no aplicativo PRADIN de Indicador Multicriterial de ranqueamento (IMC). Esse fluxo representa a fraqueza e a força de cada alternativa em relação às demais, e quanto maior ele for, melhor é a alternativa. É a partir dos valores obtidos de IMC que se gera um ranqueamento completo e decrescente de todas as alternativas.

Um dos objetivos deste estudo é explorar as diferentes possibilidades do método Promethee II com respeito à escolha de diferentes indicadores-critérios e pesos. Com a utilização do Pradin 3.0 pode-se realizar as análises multicriteriais com ou não atribuição de pesos aos indicadores pré-estabelecidos. Neste trabalho primeiramente, os pesos atribuídos foram iguais a todos os indicadores; posteriormente, fez-se uma variação sistemática de peso com o valor de 20% para

os critérios sociais e ambientais, com a função de preferência escolhida Tipo 1. Para tal função, deve ser realizada a seguinte interpretação: os municípios 1 e 2 terão mesmo desempenho se o município 1 em relação ao município 2, quando comparado a um determinado critério, apresentar  $f(1) = f(2)$ , ou seja, apresentarem os mesmos valores quando comparados. E serão diferentes se  $f(1) \neq f(2)$ . Não há necessidade de escolha de parâmetro e atribuiu-se zero quando o indicador for indiferente ou pior do que o comparado, e 1 se o indicador for melhor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.1. Indicadores

Realizou-se a análise comparativa entre os vinte e três municípios da mesorregião Noroeste Goiano que se encontram na sub-bacia do Rio Araguaia. A análise individual sobre cada indicador revela que a média do Índice de Desenvolvimento Humano municipal-IDH-M (C1) foi de 0,72, semelhante ao IDH do estado de Goiás (0,74), onde 86,9% dos municípios apresentaram padrão de desenvolvimento alto (PNUD, 2013) e 13,1% com padrão de desenvolvimento médio (PNUD, 2013). As cidades que apresentaram melhor desempenho foram Aragarças (0,75), Montes Claros de Goiás (0,75) e Arenópolis (0,74), conforme Tabela 3. Esse critério reflete as condições de expectativa de vida, alfabetização da população e renda.

Quanto à incidência de pobreza (C2) os municípios que possuem menores valores são Mozarlândia, Goiás e Jussara; este critério é um reflexo das condições favoráveis de bem estar e desenvolvimento econômico local (BARROS *et al.*, 2007).

Quanto ao indicador densidade demográfica (C3), as maiores concentrações populacionais se encontram nos municípios de Aragarças, Goiás e Mozarlândia, sendo a média geral de 4,86, com o valor mínimo de 1,63 e valor máximo de 27,61. Este índice está associado à intensa e indiscriminada expansão de atividades agropecuárias, com uma maior degradação do ambiente natural durante as últimas quatro décadas (LATRUBESSE; STEVAUX, 2006).

O índice de Gini (C4) teve como menor valor 0,38, que foi para cidade de Diorama, seguido do município de Mozarlândia e Uirapuru, com 0,39. Estudos como o de Medeiros e Pintor sobre a implantação de Arranjo produtivo local

ocorreu em função da incidência da pobreza nos municípios e alto índice de Gini (0,4), reforçando assim a importância deste critério como diretriz de políticas públicas.

**Tabela 3** - Matriz de desempenho dos municípios

alternativas (cidades) / critérios	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
Aragarças	0,75	48,59	27,61	0,43	95,49	95,55	0,72	18.815.553
Araguapaz	0,73	44,54	3,42	0,44	61,06	71,18	2,26	8.122.592
Arenópolis	0,74	37,49	3,05	0,41	65,00	71,5	0,67	7.664.829
Aruanã	0,72	46,74	2,46	0,42	62,06	81,07	1,41	16.068.500
Baliza	0,72	42,64	2,08	0,42	28,37	29,31	4,25	6.600.633
Bom Jardim de Goiás	0,74	40,64	4,43	0,40	68,88	74,89	0,32	10.104.397
Britânia	0,72	45,5	3,77	0,42	71,27	84,36	0,38	7.560.433
Crixás	0,72	51,32	3,38	0,41	63,41	74,19	5,88	27.576.016
Diorama	0,73	42,23	3,61	0,38	62,5	66,36	1,87	6.333.929
Faina	0,70	46,8	3,59	0,43	50,09	53,32	5,44	9.882.681
Goiás	0,74	34,11	7,96	0,42	74,91	76,05	1,20	25.631.791
Itapirapuã	0,71	48,84	3,83	0,43	70,35	70,42	1,01	8.727.020
Jussara	0,74	39,13	4,69	0,44	76,82	82,29	0,68	23.406.703
Matrinchã	0,71	50,16	3,84	0,44	70,54	73,29	0,27	8.010.516
Montes Claros de Goiás	0,75	41,09	2,75	0,43	61,18	62,97	0,14	13.397.889
Mozarlândia	0,73	19,47	7,73	0,39	68,73	89,75	0,86	18.894.996
Mundo Novo	0,69	51,2	3,00	0,43	53,65	53,28	3,19	12.328.334
Nova Crixás	0,69	42,34	1,63	0,43	55,03	65,76	0,76	18.356.766
Novo Planalto	0,72	47,88	3,18	0,40	63,95	62,54	0,67	6.874.535
Piranhas	0,74	46,46	5,5	0,45	79,15	81,22	2,37	14.092.387
Santa Fé de Goiás	0,71	45,16	4,07	0,40	72,68	78,89	0,26	8.512.977
São Miguel do Araguaia	0,74	45,1	3,63	0,45	54,25	82,88	0,85	30.769.258
Uirapuru	0,66	40,5	2,54	0,39	59,15	65,09	6,84	6.756.761
Média	0,72	43,388	4,86	0,42	64,72	71,58	1,84	13.673.456
Mínimo	0,66	19,47	1,63	0,38	28,37	29,31	0,14	6.333.929
Máximo	0,75	51,32	27,61	0,45	95,49	95,55	6,84	30.769.258

Fonte: Dados da pesquisa, 2012

O indicador do percentual de domicílios abastecidos por rede geral (C5) apresentou uma média geral de 64,72. O indicador que demonstra o percentual de domicílios com coleta de lixo (C6) teve melhor desempenho para as cidades de Aragarças e Mozarlândia. O indicador relacionado aos domicílios que não apresentam instalação sanitária (C7) mostrou as cidades com pior desempenho: Uirapuru, Crixás e Baliza, sendo a média geral no valor de 1,84, considerado baixo pelo número de municípios representados. Esses indicadores ambientais retratam os investimentos em saneamento ambiental para estes locais que são baixos na

maioria dos municípios brasileiros levando a contaminação difusa das bacias hidrográficas onde estes estão localizados (VON SPERLING, 2007).

Finalmente, em relação ao indicador de Receitas e transferências intragovernamentais (C8), os municípios que apresentaram melhores resultados foram São Miguel do Araguaia, Crixás e Goiás, com média geral no valor de R\$ 13.673.456,36. Estudos realizados de uso e ocupação do solo para a Bacia do Médio Rio Araguaia concluíram que os Estados de Goiás e Mato Grosso apresentaram um maior uso diversificado entre pastagem e agricultura, com uma maior taxa de desmatamento de Cerrado tornando a área ainda mais antropizada (AQUINO *et al.*, 2008; MARCIONILIO *et al.*, 2013).

## 1.2. Comparação Paritária dos Municípios

Os resultados obtidos a partir do programa Pradin 3.0 encontram-se dispostos na Tabela 4. E através das Figuras 2, 3 e 4, é possível verificar a variação espacial do IMC para os 23 municípios estudados com os cenários de pesos iguais para todos os critérios, e pesos diferenciados aos critérios sociais e ambientais, respectivamente.

Quanto ao cenário de pesos iguais para todos os critérios, o município de Uirapuru foi o que apresentou o menor indicador de sustentabilidade multicriterial (IMC = -0,52) e Aragarças apresentou melhor índice de sustentabilidade (IMC = 0,65), conforme mostra a Figura 2. Através da análise estatística de correlação linear, verificou-se uma forte correlação entre o IMC com os critérios C5 (R = 0,7), C6 (R = 0,7) e correlação linear negativa com critério C7 (R = -0,3). A partir destes resultados, pode se inferir que o IMC para estes municípios está vinculado com o desenvolvimento nas áreas ambientais, sociais, demográficas e econômica. Estudos como de Bollmam e Marques (2006) e Von Sperling (2007), mostraram que a expansão demográfica com desenvolvimento econômico traz alterações antrópicas ao meio, com alterações bióticas e abióticas. Logo, a cidade que apresentou melhor IMC é um município que possui alta densidade demográfica, com acesso a saneamento básico, dados que podem ser indicados com aplicação do Indicador de sustentabilidade Ambiental, previsto também nos estudos de Carvalho *et al.* (2011).

Os critérios sociais e ambientais tiveram seus pesos variados gerando dois tipos de cenários que trouxeram alteração no ranking dos municípios. Quando o peso alterado foi para os critérios sociais, o município mais sustentável continua sendo Aragarças, seguido do município de Piranhas, conforme mostra a Figura 3. Quanto à atribuição de pesos para os critérios ambientais, os municípios mais sustentáveis são os de Piranhas, Aragarças e Goiás, respectivamente (Figura 4). O IMC-Ambiental possui uma forte correlação positiva com o critério C6 ( $R = 0,74$ ).

**Tabela 4 - Índice de Sustentabilidade Ambiental**

Municípios	IMC <sup>1</sup>	IMC <sup>2</sup>	IMC <sup>3</sup>
Aragarças	0,65	0,58	0,80
Araguapaz	0,01	-0,06	0,05
Arenópolis	-0,27	-0,17	-0,11
Aruanã	0,01	0,15	0,09
Baliza	-0,45	-0,42	-0,18
Bom jardim de Goiás	-0,04	-0,09	0,02
Britânia	0,02	0,24	0,00
Crixás	0,24	0,30	0,41
Diorama	-0,30	-0,06	-0,09
Faina	-0,13	-0,30	-0,14
Goiás	0,31	0,39	-0,16
Itapirapuã	0,10	0,06	0,09
Jussara	0,38	0,36	-0,07
Matrinchã	0,07	-0,12	0,14
Montes Claros de Goiás	-0,20	-0,67	0,25
Mozarlândia	0,11	0,36	-0,41
Mundo Novo	-0,15	-0,36	0,02
Nova Crixás	-0,33	-0,42	-0,57
Novo Planalto	-0,32	-0,41	0,18
Piranhas	0,60	0,67	0,43
Santa Fé de Goiás	-0,10	0,03	-0,23
São Miguel do Araguaia	0,32	-0,03	0,30
Uirapuru	-0,52	-0,03	-0,82

IMC<sup>1</sup> atribuição igual de pesos para todos os critérios

IMC<sup>2</sup> atribuição de peso em 20 % para os critérios ambientais

IMC<sup>3</sup> atribuição de peso em 20 % para os critérios sociais

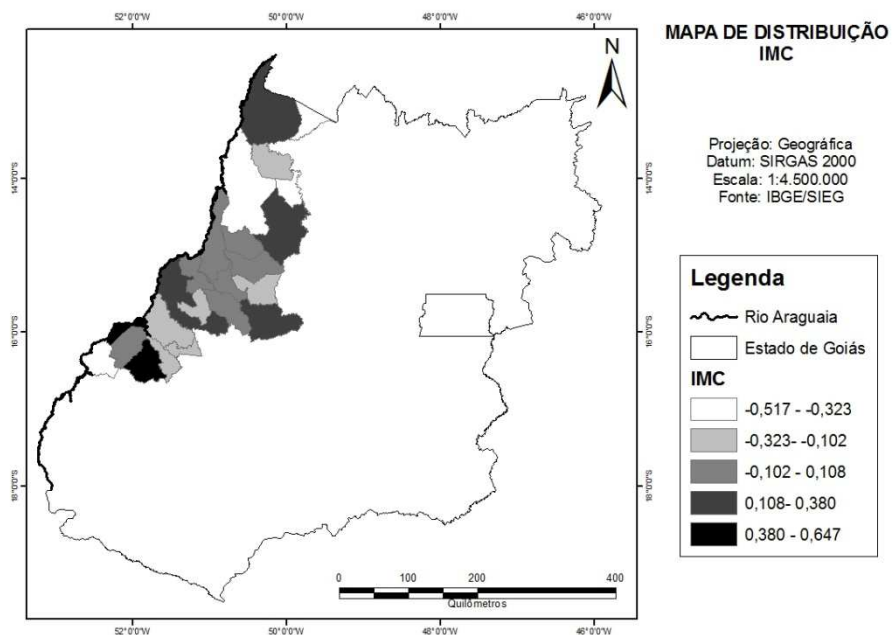


Figura 2 - Indicador Multicritério de Sustentabilidade atribuição de pesos iguais entre os critérios.

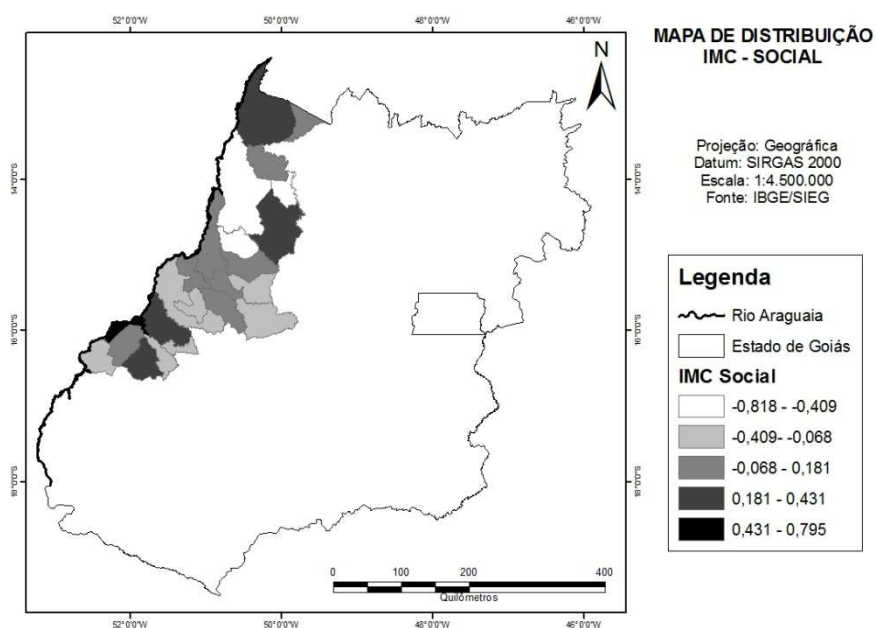
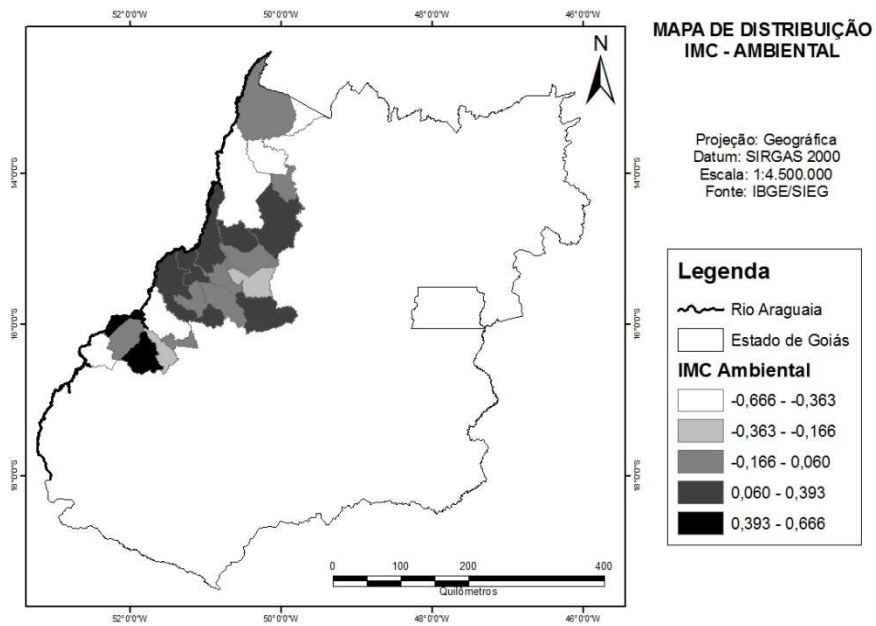


Figura 3 - Indicador Multicritério de Sustentabilidade atribuição de pesos 20% para os critérios sociais



**Figura 4** - Indicador Multicritério de Sustentabilidade atribuição de pesos 20% para os critérios ambientais

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para os municípios goianos que se encontram na sub-bacia do Rio Araguaia demonstrou serem úteis para as tomadas de decisão nestes municípios, no intuito do desenvolvimento sustentável. A aplicação do método Promethee II com o uso do Pradin 3.0 se mostrou viável e rápido, apontando a diferenciação de municípios com melhores desempenhos nos indicadores de sustentabilidade ambiental, bem como aqueles que se mostraram com resultados insuficientes. Os resultados obtidos mostraram também que a atribuição de pesos aos critérios não gera resultados tendenciosos, ou seja, um melhor desempenho para os critérios favorecidos com o aumento do peso. Mesmo com o aumento do peso, a cidade somente apresentou um melhor desempenho no IMC se previamente trazia um bom desempenho para tal critério.

Com essa metodologia, tornam-se menos dispendiosas as intervenções no âmbito de políticas públicas para viabilizar ações que favoreçam os indicadores de sustentabilidade ambiental, principalmente no setor de saneamento ambiental.

## REFERÊNCIAS

- AQUINO, S.; LATRUBESSE, E.M.; SOUZA FILHO, E.E. Relações entre o regime hidrológico e os ecossistemas aquáticos da planície aluvial do rio Araguaia. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n.º4, p.361-369,2008.
- BARBOSA, G. S. O Desafio do Desenvolvimento Sustentável. **Revista Visões**, 4ªedição, v.1, n.4, 2008.
- BARROS, R.P. et al. A Importância da Queda Recente da Desigualdade na Redução da Pobreza. Rio de Janeiro: **IPEA**, 2007 (Texto para discussão n. 1256).
- BOLLMANN, H.A.; MARQUES, D. M. L.M. Influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica carbonácea, nitrogênio e fósforo em rios urbanos situados em áreas com baixa cobertura sanitária. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.11, p.343-352, 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 brasileira: ações prioritárias / Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional**. 2. Ed. Brasília, MMA, 2004. 158 p.
- CANEPA, C. **Cidades Sustentáveis: o município como locus da sustentabilidade**. São Paulo: Editora RCS, 2007.
- CARVALHO, J.R.M; Curi, W.F.; Carvalho, E.K.M.A. Avaliação da Sustentabilidade Ambiental de Municípios Paraibanos: Uma Aplicação Utilizando o Método Promethee II. **Revista de Gestão e Regionalidade**, v. 27, n. 80, 2011.
- ESI - ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY INDEX, **Benchmarking National Environmental Stewardship**. Yale Center for Environmental Law and Policy, Yale University. Center for International Earth Science Information Network, Columbia University, 2005.
- FONSECA, C.A.G.M. **Índice de Sustentabilidade Municipal: um instrumento de avaliação da qualidade de vida nos municípios brasileiros**. Dissertação (Mestrado Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Brasília, Brasília. 2010. 217 p.
- GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.; ALMEIDA, A.T. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. 1ª ed. São Paulo, SP: **Atlas**, 2002.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em Fevereiro de 2012.
- JANUZZI, P.M. **Análise multicritério e a decisão em políticas públicas: implementação da técnica no aplicativo PRADIN e aplicações**. - Rio de Janeiro: Escola Nacional de Ciências Estatísticas, 2010. 35 p.
- LATRUBESSE, M.E.; STEVAUX, J.C. Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do Rio Araguaia, Brasil Central. **Revista UnG - Geociências** v.5, n.º1,p.65-73, 2006.
- KAGEYAMA, A.; HOFFMANN, R. Pobreza no Brasil: uma perspectiva multidimensional, **Economia e Sociedade**, v. 15, n. 1 (26, 2006).
- KHALIFA, M.A.; CONNELLY, S. Monitoring and guiding development in rural Egypt: local sustainable development indicators and local Human Development Indices. **Environment, Development, Sustainability**. p 1-22, 2008.
- MARCIONILIO, S.M.L de O.; ALVES , M.T.R.; FERREIRA, M .E.;ROCHA, G.F.;NABOUT,J.C. Monitoramento ambiental de lagoas inseridas na planície de inundação do médio Araguaia, com base em imagens Landsat (MSS e TM) . **In : XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** . Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Anais ... Paraná , SBSR 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- MEDEIROS,N.H.; PINTOR,E de. Demandas do arranjo produtivo local de móveis de Arapongas: uma avaliação das ações institucionais e políticas públicas . **A Economia em Revista**,v. 18 ,n.º2, p.123-136, 2010 .
- PNUD. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Disponível em <http://www.pnud.org.br/atlas/>. Acesso em Fevereiro de 2013.
- RABELO, L.S. **Indicadores de Sustentabilidade: Uma seqüência metodológica para a mensuração do progresso ao desenvolvimento sustentável**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2007, 170 p.



SCANDAR NETO, W.J. **Síntese que organiza o olhar: uma proposta para construção e representação de indicadores de desenvolvimento sustentável e sua aplicação para os municípios fluminenses.** Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro, RJ: ENCE/ IBGE, 2006.

SEPIN. **Superintendência de Estatística, Pesquisa e Informações Socioeconômicas /SEGPLAN/Governo de Goiás.** <http://www.seplan.go.gov.br/sepin/>. Acesso em Janeiro de 2012.

SILVA, V.B.; MORAIS, D.C. O Uso do Promethee II para Priorizar Alternativas para Preservação de Bacia Hidrográfica: Estudo de Caso Realizado na Bacia do Rio Jaboatão, Pernambuco, Brasil. **In:** XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Anais... Rio de Janeiro, ENEGEP, 13 a 16 de outubro de 2008.

SILVA, M.G.da; CÂNDIDO, G. A.; MARTINS, M. de F. Método de Construção do Índice de Desenvolvimento Local Sustentável: Uma Proposta Metodológica e Aplicada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.1, p.55-72, 2009.

SILVÉRIO, L.B.; FERREIRA, A.S.; RANGEL, L.A.D. Avaliação das Cidades da Região Sul Fluminense empregando o Método PROMETHEE II. **In:** XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Anais... Paraná, ENEGEP, 09 a 11 de outubro de 2007, p. 10.

SOUZA, J.H; PAULELLA, E.D; TACHIZAWA, T.; POZO, H. Desenvolvimento de Indicadores de Síntese para o desempenho ambiental. **Revista Saúde e Sociedade.** São Paulo, v.18, n.3, p.500-514, 2009.

UNCSD. United Nations Commission on Sustainable Development. **Indicators of sustainable development.** New York: UNCSD, 1996.

VON SPERLING, M. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios.** Belo Horizonte: DESA/UFMG; 2007, 588p. ISBN: 85-88556-07-2.