



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**LUAN FLORÊNCIO DOS SANTOS FÉLIX**

**USO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL HIERÁRQUICA  
PARA ESTABELECIMENTO DE ÍNDICES COMPARATIVOS  
EM SISTEMAS AMBIENTAIS**

Dissertação de Mestrado  
Campina Grande, Fevereiro de 2017

LUAN FLORÊNCIO DOS SANTOS FÉLIX

*USO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL HIERÁRQUICA PARA ESTABELECIMENTO DE  
ÍNDICES COMPARATIVOS EM SISTEMAS AMBIENTAIS*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande como requisito final à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental na Área de Concentração em Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária.

Orientador: Wilson Fadlo Curi

Co-orientadora: Rosires Catão Curi

Campina Grande, Fevereiro de 2017.

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG**

F316u	<p>Félix, Luan Florêncio dos Santos.</p> <p>Uso da análise multicriterial hierárquica para estabelecimento de índices comparativos em sistemas ambientais / Luan Florêncio dos Santos Félix. – Campina Grande, 2017.</p> <p>161 f. : il. color.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.</p> <p>"Orientação: Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi, Profa. Dra. Rosires Catão Curi".</p> <p>Referências.</p> <p>1. Indicadores e índices. 2. Método PROMETHEE. 3. Métodos de Agregação. 4. Análise Multicriterial. 5. Cenário Padrão. I. Curi, Wilson Fadlo. II. Curi, Rosires Catão. III. Título.</p> <p>CDU 628.4(043)</p>
-------	---

LUAN FLORÊNCIO DOS SANTOS FÉLIX

*USO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL HIERÁRQUICA PARA ESTABELECIMENTO DE  
ÍNDICES COMPARATIVOS EM SISTEMAS AMBIENTAIS*

Dissertação aprovada em 10 de fevereiro de 2017.

Banca Examinadora:



Prof.º PhD. Wilson Fadlo Curi (Orientador)

Universidade Federal de Campina Grande – CCT/UAF



Prof.ª PhD. Rosires Catão Curi (Co-Orientadora)

Universidade Federal de Campina Grande – CTRN/UAEC



Prof.ª Dr.ª Danielle Costa Moraes (Examinadora Externa)

Universidade Federal de Pernambuco – CTG/DEP



Prof.º Dr.º Valterlin da Silva Santos (Examinador Externo)

Universidade Federal de Campina Grande – CCJS/UACCA

## EPÍGRAFE

*“[Do] Zezinho,  
que tão cedo amadureceu  
e tão rápido partiu,  
partindo corações:  
metade saudade,  
metade esperança.”*

José Bortolini

## DEDICATÓRIA

A quem me incentivou, ajudou, ensinou, orientou, escutou e de alguma forma participou da minha vida nesse tempo.

Sobretudo às minhas muitas mães, mãães, mainha, madrinha, Mutterle, Mom – especialmente Vera, Amélia e a Virgem Maria!

## AGRADECIMENTOS

Aos meus Orientadores, pela paciência, apoio, amizade e dedicação;

Aos meus professores, por todas as contribuições;

Aos meus amigos, pelas distrações;

E à CAPES, pela Bolsa.

## RESUMO

Estudos de avaliação de desempenho e diagnóstico de sistemas ambientais tem procurado diversas formas de agregação de indicadores, com vistas ao estabelecimento de índices que representem adequadamente estes sistemas. A partir da constatação de várias dificuldades metodológicas em suas confecções e inconsistências nas suas concepções, foi concebida uma nova metodologia para reduzir estas dificuldades e prover uma estruturação com base numa adaptação do Método de Análise Multicriterial PROMETHEE, por meio de uma parametrização do método com uso de uma alternativa artificial composta com características de interesse do avaliador/decisor, ora denominado Cenário-Padrão. A metodologia proposta foi aplicada na análise do desempenho potencial do uso da água de 20 pequenos açudes localizados na região semiárida da Paraíba, a um conjunto de Municípios na Região Hidrográfica do Médio Curso do Rio Paraíba a fim de avalia-los quanto ao seu desempenho em relação à Gestão de Recursos Hídricos. Também foi aplicado a uma amostra de municípios da Região Metropolitana de Campina Grande, com respeito à Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. Os resultados foram comparados com os obtidos com o emprego convencional do método PROMETHEE e com um índice formulado por uma metodologia de cálculo tradicional. Diante da maior robustez e estabilidade em comparação às outras análises foi constatado o sucesso do procedimento ao estabelecer um Índice de Desempenho Multicriterial, que utiliza um Cenário Padrão, ao usá-lo como uma ferramenta de apoio à decisão. Vale salientar que, em sua concepção, ele apresenta as mesmas boas propriedades do método PROMETHEE, superando a estabilidade e robustez das aplicações Convencionais e, ainda, possui as características de fácil interpretação e agilidade de cálculo próprias das abordagens baseadas em índices.

**Palavras-Chave:** Indicadores e índices; método PROMETHEE; métodos de agregação; Análise Multicriterial; Cenário Padrão.



## ABSTRACT

Study of performance evaluation and diagnosis of environmental systems has sought various forms of aggregation of indicators, with a view to the establishment of indices that represent these systems properly. From the observation of several methodological difficulties in their development and inconsistencies in their conceptions, a new methodology to reduce these difficulties and provide a structure based on an adaptation of the PROMETHEE's Multicriterial Analysis Method, through its parameterization with the use of an artificial alternative composed with features that interest the evaluator/decision maker, now named the standard Scenario. The proposed methodology was applied in the performance analysis of potential use of water of 20 small dams, located in the semi-arid region of Paraíba, in a selected set of municipalities, located in the region of the Middle course of the Paraíba river, in order to evaluate them with respect to its performance to their water resources management. It was also applied to a sample of municipalities of the metropolitan region of Campina Grande with respect to municipal solid waste management. The results were compared with those obtained with the conventional PROMETHEE method and an index formulated by a traditional calculation methodology. In view of the greater robustness and stability compared to the other analyzes, it was verified the success of the establishment of a Multicriterial Performance Index procedure, which uses a Default Scenario, when using it as a decision support tool. It's worth to pointing out that, in its design, it features the same good properties of PROMETHEE method, surpassing the stability and robustness of Conventional applications and, moreover, has the features of easy interpretation and speed calculation of index-based approaches.

**Key words:** Indicators and indexes; PROMETHEE method; aggregation methods; multicriteria analysis, default scenario.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Procedimentos metodológicos desenvolvidos	35
Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica do Açude de Sumé no Estado da Paraíba.	43
Figura 3 – Mapa da Região da Bacia.	44
Figura 4 – Destaque da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba no Estado da Paraíba.	52
Figura 5 – Localização das Sub-bacias do Rio Paraíba, Estado da Paraíba.	53
Figura 6 – Região Metropolitana de Campina Grande, destacada no mapa da Paraíba.	67
Figura 7 – Região metropolitana de Campina Grande com destaque para os municípios da Amostra.	68
Figura 8 – Apresentação das metodologias de Análise Base-Multicritério	89
Figura 9 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens – Caso ( $\alpha$ )	93
Figura 10 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens - Subgrupo 1( $\alpha$ )	95
Figura 11 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens - Subgrupo 2( $\alpha$ )	97
Figura 12 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens - Caso ( $\beta$ )	101
Figura 13 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens - Subgrupo 1( $\beta$ )	103
Figura 14 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens - Subgrupo 2( $\beta$ )	104
Figura 15 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens - Caso ( $\gamma$ )	108
Figura 16 – Apresentação das metodologias de Análise – Base-Índice	109
Figura 17 - Correlações entre as ordenações por diferentes Índices - Caso ( $\alpha$ )	112
Figura 18 - Correlações entre as ordenações por diferentes Índices - Caso ( $\beta$ )	114
Figura 19 - Correlações entre as ordenações por diferentes Índices - Caso ( $\gamma$ )	116

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Açudes da Bacia de Sumé objetos de estudo pelo projeto DISPAB-AS selecionados para compor a amostra – Caso ( $\alpha$ )	46
Tabela 2 – Municípios que compõem a RMCG	68
Tabela 3 – Composição do Cenário Padrão – Caso ( $\alpha$ )	90
Tabela 4 – Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes métodos – Caso ( $\alpha$ )	91
Tabela 5 – Posições das alternativas em cada Análise – Caso ( $\alpha$ )	92
Tabela 6 – Correlações das posições do Ranking obtido pelas diferentes formas de Análise – Caso ( $\alpha$ )	92
Tabela 7 – Ordenação para o 1º Subgrupo das alternativas – Caso( $\alpha$ )	94
Tabela 8 – Correlações das posições dos Rankings das diferentes formas de Análise – Subgrupo 1( $\alpha$ )	96
Tabela 9 – Ordenação para o 2º Subgrupo das alternativas – Caso ( $\alpha$ )	96
Tabela 10 – Correlações das posições dos Rankings das diferentes formas de Análise – Subgrupo 2( $\alpha$ )	97
Tabela 11 – Nomes e Códigos para os municípios – Caso ( $\beta$ )	98
Tabela 12 – Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes métodos – Caso ( $\beta$ )	99
Tabela 13 – Posições das alternativas em cada Análise – Casa ( $\beta$ )	100
Tabela 14 – Correlações das posições do Ranking obtido pelas diferentes formas de Análise - Caso ( $\beta$ )	100
Tabela 15 – Ordenação para o 1º Subgrupo das alternativas - Caso ( $\beta$ )	102
Tabela 16 – Correlações das posições dos Rankings das diferentes formas de Análise - Subgrupo 1( $\beta$ )	103
Tabela 17 – Ordenação para o 2º Subgrupo das alternativas - Caso ( $\beta$ )	103
Tabela 18 – Correlações das posições dos Rankings das diferentes formas de Análise - Subgrupo 2( $\beta$ )	104
Tabela 19 – Nomes e Códigos para os municípios - Caso ( $\gamma$ )	106
Tabela 20 – Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes métodos - Caso ( $\gamma$ )	106
Tabela 21 – Posições das alternativas em cada Análise - Caso ( $\gamma$ )	106
Tabela 22 – Correlações das posições do Ranking obtido pelas diferentes formas de Análise - Caso( $\gamma$ )	107
Tabela 23 – Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes índices - Caso ( $\alpha$ )	110
Tabela 24 – Posições das alternativas para cada Índice - Caso ( $\alpha$ )	111
Tabela 25 – Correlações das posições do Ranking obtido pelos diferentes Índices - Caso ( $\alpha$ )	111
Tabela 26 – Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes índices - Caso ( $\beta$ )	112
Tabela 27 – Posições das alternativas para cada Índice - Caso ( $\beta$ )	113
Tabela 28 – Correlações das posições do Ranking obtido pelos diferentes Índices - Caso ( $\beta$ )	114
Tabela 29 – Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes índices - Caso ( $\gamma$ )	115
Tabela 30 – Posições das alternativas para cada Índice - Caso ( $\gamma$ )	115
Tabela 31 – Correlações das posições do Ranking obtido pelos diferentes Índices - Caso ( $\gamma$ )	116
Tabela 32 – Amplitudes de Variação nas diferentes abordagens multicritério	118

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fundamentos básicos das Metodologias MCDM e MCDA no processo Decisório	25
Quadro 2 – Sumário de comparação entre AHP e PROMETHEE	27
Quadro 3 – Funções de Preferência do método PROMETHEE	28
Quadro 4 – Matriz de Fluxos do método PROMETHEE	33
Quadro 5 - Resumo dos critérios segundo a dimensão financeira – Caso ( $\alpha$ )	48
Quadro 6 - Resumo dos critérios segundo a dimensão social - Caso ( $\alpha$ )	49
Quadro 7 - Resumo dos critérios segundo a dimensão ambiental – Caso ( $\alpha$ )	50
Quadro 8 - Resumo dos critérios segundo a dimensão técnico-operacional – Caso ( $\alpha$ )	51
Quadro 9 – Resumo geral dos indicadores – Caso ( $\beta$ )	54
Quadro 10 – Resumo dos indicadores da Dimensão Ambiental – Caso ( $\gamma$ )	70
Quadro 11 – Resumo dos indicadores da Dimensão Social – Caso ( $\gamma$ )	73
Quadro 12 – Resumo dos indicadores da Dimensão Técnico-Operacional – Caso ( $\gamma$ )	76
Quadro 13 – Resumo dos indicadores da Dimensão Econômico-Financeira – Caso ( $\gamma$ )	83
Quadro 14 – Resumo das comparações entre as diferentes abordagens.	121

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1. Objetivos	18
1.2. Justificativa	18
1.3. Estrutura do trabalho	19
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>20</b>
2.1. Indicadores e índices ambientais	20
2.2. Análise Multicriterial	23
2.2.1. Apresentação	23
2.2.2. Métodos de Análise Multicriterial	24
2.3. Método PROMETHEE	27
4.3.1. Cálculos dos desvios	27
4.3.2. Funções de Preferências	28
4.3.3. O emprego das funções de preferência	30
4.3.4. Fluxos de preferência	32
4.3.5. A Matriz de Fluxos	33
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>35</b>
3.1. Delineamento do problema	36
3.2. Estruturação do modelo de análise multicriterial e ponderação	36
3.4. A Amplitude da Variação de Fluxos e do Índice	39
3.5. O Índice Comum Convencional	41
<b>4. DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO</b>	<b>43</b>
4.1. Estudo de Caso ( $\alpha$ )	43
4.1.1. Visão geral	44
4.1.2. Características da região	44
4.1.3. O Açudes	45
4.1.4. Considerações sobre o sistema	46
4.1.5. Os indicadores	47
4.2. Estudo de Caso ( $\beta$ )	52
4.3. Estudo de Caso ( $\gamma$ )	67
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>85</b>
5.1. Composição do Cenário Padrão	85
5.2. Abordagens Multicriteriais	89
5.2.1. Estudo de caso ( $\alpha$ )	90
5.2.2. Estudo de caso ( $\beta$ )	98
5.2.3. Estudo de caso ( $\gamma$ )	105

<b>5.3.Abordagens de Índices</b>	<b>109</b>
5.3.1. Estudo de Caso ( $\alpha$ )	110
5.3.2. Estudo de caso ( $\beta$ )	112
5.3.3. Estudo de caso ( $\gamma$ )	115
<b>5.4.Discussão geral das abordagens</b>	<b>117</b>
5.4.1. Aspectos gerais	117
5.4.2. Análise Hierárquica	119
5.4.3. Validação do IDM	120
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>123</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>125</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>146</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Estudar e compreender os sistemas ambientais tornou-se foco de muitos trabalhos da literatura científica contemporânea. Eles são importantes por servirem de alerta quanto ao estado de degradação de determinada área, subsidiar intervenções, diagnosticar danos, planejar a exploração dos recursos naturais, entre outras finalidades.

A partir da necessidade de entendimento das propriedades, do desempenho e dos estados dos sistemas socioambientais e econômicos, diversos índices e indicadores têm sido empregados para caracterizar e subsidiar a avaliação destes sistemas. Estes índices envolvem diferentes tipos e aspectos quali-quantitativos de variáveis, para as quais são atribuídos pesos diversos, a fim de estabelecer a relevância dos aspectos de caráter social, ambiental, técnico, operacional e econômico; partindo de diferentes perspectivas de abordagem, mas com o objetivo de diagnosticar o sistema em estudo, facilitando a sua compreensão pelo público em geral (SOUZA e LIBÂNIO, 2009) e servindo como subsídio aos tomadores de decisão (SICHE *et al.*, 2007)

Neste sentido, é necessário levantar, agregar e processar grande número de dados para composição de indicadores, que representam fenômenos ou processos dentro do sistema abordado, a fim de compor índices que, por sua vez, representam de forma global o estado de um sistema. Uma diferenciação para o entendimento destes conceitos é oferecida pela *European Environment Agency (EEA)* (COELHO *et al.*, 2011, p.308):

Um indicador é uma medida geralmente quantitativa que pode ser usada para ilustrar e comunicar fenômenos complexos de maneira simples, fornecendo uma pista sobre assuntos significativos ou tornando perceptível uma tendência ou fenômeno que não é imediatamente observável. Já os índices ambientais podem ser definidos como um conjunto de indicadores agregados por meio de uma formulação matemática, que propiciam uma visão geral de fenômenos que dependem de um grande número de variáveis.

O estabelecimento dos índices se justifica devido ao caráter pontual da abordagem de cada indicador sobre determinado fenômeno, concedendo apenas uma perspectiva parcial, por vezes ínfima, do sistema ou problema de interesse. Considerando, ainda de acordo com a EEA (2014), que cada indicador singular tem tanto vantagens quanto desvantagens, é importante combiná-los para alcançar uma visão mais acurada, que cubra diferentes dimensões do problema, quer seja através de um painel de indicadores (*dashboard*), em que cada um venha a compor uma parte do “retrato” do sistema, sendo apresentado individualmente; ou através de

métodos de agregação para combinar os indicadores numa única medida – o índice, com uma abordagem multidimensional que não pode ser abarcada com uso de um único indicador.

Determinar um procedimento adequado para obtenção destes índices é uma tarefa que exige tempo e uma vasta revisão da literatura a respeito destes sistemas para coletar dados e processá-los de forma coerente. Além disso, a elaboração dos índices também demanda correções e aprimoramentos, com o passar do tempo, para atender novos interesses da comunidade científica, dos gestores/avaliadores ou simplesmente para descrever melhor o objeto de estudo (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Dentro desse contexto, a Análise Multicriterial aparece como uma ferramenta importante para alcançar uma estruturação desses procedimentos de agregação de dados para obtenção de índices, haja vista que uma questão central para as mais diversas metodologias desenvolvidas nesta área é a escolha de uma forma de agregação para solução de um problema de decisão e, justamente por isso, os diferentes métodos de análise multicritério apresentam uma variedade desses procedimentos (MARDANI *et al.*, 2015).

Os métodos para análise multicriterial, em sua absoluta maioria, lidam com um conjunto finito de alternativas (que podem ser cenários, projetos ou sistemas) a fim de ordená-las (em um *ranking* geral), classificá-las (em diferentes grupos ou classes), combiná-las ou selecioná-las de acordo com os interesses dos avaliadores ou tomadores de decisão, por meio da descrição das alternativas através de um conjunto de critérios que caracterizem o problema (MARDANI *et al.*, *ibid.*). Aqui pode-se sublinhar a compatibilidade entre critério, a função que serve para valorar cada aspecto do sistema a ser considerado, e indicador, a variável que representa os fenômenos componentes deste sistema, de onde surge a possibilidade de se empregar indicadores como critérios para esse tipo de análise (CARVALHO e CURI, 2016).

Dado que os métodos de Análise Multicriterial fornecem várias metodologias estruturadas de agregação e comparação, cuja escolha, em virtude dos diferentes delineamentos empregados por cada método para um determinado problema, objetiva sobretudo a adequação à natureza singular de cada problema de decisão (MORAIS e ALMEIDA, 2002), surge a ideia de se utilizar de uma dessas ferramentas de análise para subsidiar a estruturação de índices comparativos.

A Análise Multicriterial aplica-se a um conjunto finito de alternativas e a avaliação de como estas se posicionam em ordem de preferência é realizada com base nas comparações entre estas alternativas gerando resultados cujos valores e significados são adequados apenas para este específico conjunto de alternativas. A inserção de novos objetos de avaliação, quais sejam outras alternativas, por exemplo, ou alguma mudança nos valores das variáveis ou critérios que



caracterizam alguma(s) das alternativas, demanda um novo processamento do modelo. Esta avaliação e seus respectivos resultados tem uma natureza relativa, apropriada para um determinado problema ou estudo de caso, onde as características intrínsecas dos métodos multicriteriais limitam a interpretação e extrapolação de resultados para outros sistemas, ainda que muito parecidos. Portanto, abordagens dessa natureza, têm como principal característica o fornecimento de uma **avaliação relativa**, isto é, baseada num conjunto inicial de alternativas e válida somente para este sistema e respectivo conjunto de alternativas pré-definidas que o caracterizam.

Em contrapartida, a proposta dos índices comparativos é gerar uma ferramenta aplicável aos mais diferentes sistemas equiparáveis para obter uma perspectiva do estado, desempenho, evolução ou degradação de cada um. Então o índice permite avaliar um sistema individualmente, o que não é possível num emprego convencional da análise multicritério, e assim proporciona uma **avaliação absoluta**, ou seja, independente do desempenho ou resultado alcançado por outros sistemas submetidos à mesma análise.

Portanto, o objetivo deste estudo é desenvolver uma metodologia capaz de permitir o emprego da Análise Multicriterial como forma de subsidiar a estruturação de índices comparativos, atendo-se especialmente a exemplos de avaliação de sistemas ambientais. Enquanto, na prática, a criação de um índice se dá a partir de uma combinação ponderada entre os indicadores que o compõe, o que pode apresentar efeitos compensatórios, o Índice de Desempenho Multicriterial, aqui proposto, é estabelecido através de uma análise multicriterial tendo como base um Cenário Padrão. Este escopo justifica-se pela demanda, já discutida, de métodos de agregação para o estabelecimento de índices; pela versatilidade, consolidação e crescente emprego da análise multicritério a problemas de caráter ambiental (HUANG *et al.*, 2011); e pela facilidade de interpretação da apresentação de resultados de análises comparativas apresentados em forma de índices (SOUZA e LIBÂNIO, 2009) em contraste com os elaborados procedimentos e resultados da análise multicritério.

Este trabalho estrutura-se numa abordagem da literatura relacionada a índices e indicadores, bem como à análise multicritério, e no delineamento de uma metodologia para consorciar estas duas formas de avaliação de sistemas ambientais. A partir disso são apresentados três estudos de caso em diferentes áreas do conhecimento para analisar o desempenho das respectivas alternativas com base na metodologia proposta.

## **1.1.Objetivos**

O objetivo geral do estudo é desenvolver uma metodologia subsidiada por um método multicriterial de apoio à decisão que possibilite a criação de índices para avaliação e análise comparativa de sistemas ambientais.

São objetivos específicos:

Estabelecer linhas gerais de obtenção de um cenário padrão que sirva de base para desenvolvimento de índices comparativos empregando um método de análise multicritério de natureza hierárquica.

Considerar o emprego da análise hierárquica para o agrupamento e ponderação de indicadores, quando do estabelecimento de índices.

Adaptar modelos de análise multicriterial pré-existent e validá-los com vistas à elaboração de índices em sistemas ambientais distintos.

## **1.2. Justificativa**

A criação de índices baseia-se na seleção de indicadores e distribuição de pesos para sua composição. Servem como critérios para esta escolha a abordagem recorrente dos indicadores na literatura ou a experiência do pesquisador associada geralmente a uma expertise para reforçar a estruturação e ponderação entre os indicadores.

Deste modo, a composição do índice pode estar sujeita a medidas arbitrárias e, portanto, não científicas na sua composição, além disso a seleção de indicadores que incidam intervenientemente sobre os mesmos aspectos do sistema avaliado ou a distribuição arbitrária dos pesos no cálculo do índice pode gerar efeitos compensatórios, propositais ou não, que põem em questão a validade do índice como instrumento de representação do sistema a ser avaliado.

A análise multicriterial permite a agregação dos indicadores e distribuição dos pesos de modo respaldado por uma metodologia consagrada e simultaneamente permite observar a importância individual dos indicadores na composição do resultado final, estabelecer as relações hierárquicas entre eles e, se houver interesse em conferir celeridade ao cálculo e diminuir o número de variáveis a ser considerado, selecionar os mais importantes e adequados, proporcionando praticidade e confiabilidade à obtenção do índice.

Os métodos multicriteriais existentes permitem uma avaliação complexa e tão abrangente quanto maior for o montante de dados disponíveis para análise. Entretanto a avaliação e a ordenação das alternativas avaliadas só valem dentro do contexto estudado para o conjunto destas alternativas, exigindo para a introdução de novas alternativas uma reestruturação do modelo e gerando, em alguns casos, variações das posições relativas das alternativas entre si.

Nesta perspectiva a obtenção de um cenário padrão torna o processo de cálculo de índices exequível porque em vez de comparar todos os cenários ou alternativas existentes num determinado sistema precisa comparar apenas os elementos de interesse com o cenário padrão e atribuir uma nota de desempenho para esta alternativa, obtendo assim um valor para o índice.

### **1.3.Estrutura do trabalho**

Este trabalho acadêmico apresenta em seu Primeiro Capítulo a Introdução ao tema, seus objetivos e justificativa.

No Segundo Capítulo é feito um breve levantamento da literatura referente aos indicadores e índices, bem como à análise multicritério.

O Terceiro Capítulo faz a descrição detalhada dos procedimentos metodológicos empregados.

O Quarto Capítulo contém a descrição dos estudos de Caso.

O Quinto Capítulo mostra e discute os resultados da aplicação da metodologia proposta para o estabelecimento do Índice de Desempenho Multicriterial. Aí também se incluem as linhas gerais de obtenção e características dos Cenários Padrão possíveis e suas utilidades, bem como algumas tentativas falhas para seu estabelecimento.

O Sexto Capítulo é constituído das Conclusões.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Indicadores e índices ambientais**

Sistemas são conjuntos de elementos e fenômenos que se processam, mediante fluxos de matéria e energia que dão origem a relações de dependência mútua entre estes fenômenos (PINTO, 2010). Em termos ambientais deve-se considerar que “as leis da física, da química, bem como os princípios biológicos devem ser aplicadas para descrever as relações complexas entre os vários elementos do sistema”, pois somente a compreensão de como os sistemas funcionam, como eles reagem a vários distúrbios e como eles podem responder às mudanças no futuro pode permitir a construção de modelos preditivos realistas para ajudar os tomadores de decisão a planejar a futuro (ELIAS, 2013, p.1).

De acordo com a EEA (2005; 2014; COELHO *et al.*, 2011) um indicador é uma variável capaz de representar um determinado fenômeno ou aspecto de um sistema, enquanto um índice é um valor agregado adimensional que proporciona uma caracterização global do sistema.

O uso de indicadores começou a ganhar importância e repercussão no monitoramento do meio ambiente principalmente na década de 1990, fomentado sobretudo pelas discussões emergentes nas esferas políticas sobre meio ambiente e sustentabilidade, ainda que direcionados a estudos de casos com recortes individuais ou temas ambientais singulares, como Efeito Estufa e Biodiversidade (SCHÄFER *et al.*, 2004). Eles também passam a ser efetivamente úteis quando transcendem o caráter de representações retrospectivas de estado para tornarem-se instrumento de planejamento orientados para o futuro e a sustentabilidade (MÜLLER & WIGGERING, 2004); demandando, para tanto, cada vez mais coerência nos processos de agregação de dados para composição de indicadores e compactação dos procedimentos metodológicos empregados.

Na década seguinte foram percebidas demandas por normalização das escalas, isto é, dos níveis de medidas e unidades empregados, a fim de permitir a uniformização dos indicadores e a consequente comparabilidade de sistemas distintos com base nos mesmos parâmetros (OECD, 2008). Contudo, a partir da uniformização de determinados índices surgiram demandas de tratamentos específicos para casos particulares, baseadas em críticas às abordagens anteriores, caracterizando o que Müller e Wiggering denominaram “ Competição Científica” por uma abordagem ideal ou mais correta (op. Cit.).

Um exemplo interessante desse tipo de abordagem pode ser observado em vários trabalhos desenvolvidos no Brasil acompanhando a metodologia adotada para o desenvolvimento do já consagrado IQA (Índice de Qualidade de Água) proposto por Brown *et al.* (1970), que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público.

Em 2005, Lopes e Libânio apresentaram a estruturação de um índice baseado na mesma metodologia para seleção e ponderação de indicadores a fim de obter uma forma de “avaliação de estações de tratamento de água como ferramenta que permita às administrações de sistemas de abastecimento comparar o desempenho das estações”, chamado agora de IQETA (Índice de Qualidade de Estações de Tratamento de Água) (LOPES & LIBÂNIO, 2005, p.319).

Posteriormente Souza e Libânio constataam “inaplicabilidade do IQA como indicador da tratabilidade das águas superficiais” (SOUZA e LIBÂNIO, 2009, p. 473), dado que este índice só seria representativo para águas já potabilizadas, destinadas ao abastecimento público, condição para a qual foi pensado quando do seu delineamento na década de 1970. A partir daí esses pesquisadores estabelecem, de acordo com a mesma metodologia empregada anteriormente, um novo índice para “avaliação da tratabilidade do afluente às estações convencionais de tratamento”, ora denominado IQAB (Índice de Qualidade da Água Bruta); que por sua vez também passaria por mais uma revisão para aprimoramento dos parâmetros de entrada e critérios de pontuação, que aí constituem a ferramenta de agregação das informações, chegando a uma nova abordagem com utilização da lógica Fuzzy (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Isto apenas a título de exemplo, sem levantar as várias adaptações apresentadas por outros autores (CETESB, 1997, 2010, 2013; IAP, 1999 *apud* FERNANDES, 2013).

Este tipo de abordagem é comum para o tratamento de vários tipos de sistemas, sobretudo para subsidiar a seleção dos indicadores, como igualmente se observa em Castro *et al.* (2015). Baseando-se em duas outras propostas de indicadores (MILANEZ, 2002; POLAZ & TEIXEIRA, 2009) das quais foram selecionados nove indicadores presentes em ambos os trabalhos e, devido a esta “recorrência” na literatura, Castro *et al.* (*op. Cit.*) os classificam como mais representativos para sua abordagem com o intuito de avaliar os sistemas de gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em municípios do Amazonas.

Discorrendo sobre outro tipo de problema, Carvalho *et al.* (2014) aplicaram uma metodologia para a avaliação da saúde ambiental em vários municípios da Paraíba, já considerando o aporte metodológico proporcionado pela análise multicritério, para uma análise comparativa do desempenho das municipalidades com base em indicadores agregados com uso

do método PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*), porém, ao não levar em consideração os elementos de análise próprios dos índices comparativos, emprega-se a análise multicritério e denomina-se de “Indicador Multicritério de Saúde Ambiental dos Municípios (IMSA)” o próprio fluxo líquido do método PROMETHEE naquele estudo de caso, estando, portanto, os resultados restritos aos municípios da amostra. Nesse trabalho afirma-se que “significado e a justificativa da escolha dos indicadores pauta-se primeiramente na disponibilidade dos dados, bem como na análise da relação positiva / negativa” de cada um com o aspecto de interesse no sistema estudado (CARVALHO *et al.*, *op. Cit.*, p 210). Daí percebe-se que há fatores limitantes à avaliação dos sistemas ambientais, para além do conhecimento e da vontade dos avaliadores.

Freitas e outros (2013) procuram estabelecer indicadores convenientes para verificar a adequação à legislação vigente de Áreas de Proteção Permanente (APPs) na bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim no Estado de São Paulo, usando, para tanto, ferramentas de georreferenciamento e softwares para tratamento de informação geográfica.

De modo análogo Castro *et al.* (2014) formulam indicadores ambientais para determinação da sustentabilidade de bacias hidrográficas com emprego de sistemas de informação geográfica, estudando a bacia do Rio Lençóis, também no Estado de São Paulo.

Com relação aos resíduos sólidos Polaz e Texeira (2009) procuram operacionalizar o conceito de sustentabilidade por meio da utilização de indicadores procedendo primeiro com a identificação dos principais problemas enfrentados pela gestão pública dos resíduos sólidos urbanos, depois estabelecendo as prioridades locais e por fim propondo indicadores para o monitoramento da gestão, tendo como foco o Município de São Carlos –SP.

Já em 2015, Castro, Silva e Marchand aplicaram um conjunto de indicadores de natureza predominantemente qualitativa em três municípios do Estado do Amazonas para inferir o grau de sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos dessas localidades. A seleção dos indicadores baseou-se na opção por aqueles que aparecem concomitantemente em dois outros trabalhos de autores distintos com a mesma finalidade de avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos, sendo estes o de Polaz e Texeira (*op. Cit.*) e o Milanez (2002) – que define princípios de sustentabilidade específicos para gestão dos RSU a partir de princípios genéricos, existentes na Literatura, propondo e aplicando um método para selecionar indicadores para avaliação da sustentabilidade da gestão dos RSU no município de Jaboticabal (SP).

## 2.2. Análise Multicriterial

### 2.2.1. Apresentação

As origens da análise multicriterial tem sido comumente associada à estruturação formal de métodos que a empregavam sistematicamente para resolução de problemas de diversas áreas, como aponta Santos (2004). Porém, ela pode ter sua origem relacionada com os trabalhos de Vilfredo Pareto na última década do século XIX, que teria aplicado a análise multicriterial em seus estudos sobre economia, compondo critérios de decisão e subdividindo-os; considerando para tanto as demandas prioritárias do agente decisor (SILVA e MEDEIROS, 2010).

A estruturação de metodologias mais concisas e abrangentes por volta da década de 1970 proporcionou uma maior versatilidade e o início de novas investigações de aplicação para as metodologias de análise multiobjetivo/multicriterial, que veio a encontrar muito espaço no campo da engenharia devido à complexidade dos problemas dessa área e necessidade de atenção a diversos requisitos (SILVINO, 2008). Não obstante, há ainda muita utilidade para esta forma de análise em outras áreas da ciência como exemplificam Kimura e Suen (2003), que enfatizam suas possibilidades e utilidade de aplicação em problemas de administração de empresas. Essa técnica para análise de sistemas destacou-se dentro da pesquisa operacional, mas foi subutilizada por outras áreas como as ciências econômicas e a psicologia, quando do início do seu desenvolvimento.

Em diversas ciências ambientais há inúmeros exemplos de aplicação de análise multicriterial (HUANG, 2011), de onde se percebe a sua funcionalidade em questões com implicações sobre as características ambientais, econômicas e sociais de um sistema (CARVALHO *et al.*, 2011; MONTE *et al.*, 2013; SILVINO *et al.*, 2013; CARVALHO *et al.*, 2014; PEREIRA, 2014).

De um modo geral este tipo de análise demanda a definição de um problema caracterizado, genericamente, como um problema de decisão e que engloba os seguintes conceitos:

- a) **Tomada de Decisão:** O processo de escolha ou seleção de alternativas ou caminhos de ação “suficientemente bons” entre os grupos de alternativas, para atingir um objetivo ou alguns objetivos; ou, inclusive, o problema de classificação, separação por classes das alternativas com base em parâmetros pré-definidos.

- b) **Alternativas:** São as possíveis medidas de intervenção, projetos, cenários, estados de um sistema etc. que constituem o conjunto de elementos a serem comparados com vistas à seleção, ordenação ou classificação.
- c) **Critérios:** São os parâmetros levados em consideração para a tomada de decisão que permitam a mensuração e comparação entre as alternativas. Podem ser, por exemplo, indicadores.
- d) **Atributos:** são os valores característicos de cada critério para cada alternativa, como no caso de análise de qualidade de água em que se assuma o indicador pH como *um* critério, uma alternativa que apresente o valor  $\text{pH} = 7$ , seu atributo para o critério considerado será o valor 7.
- e) **Objetivo:** é a meta pretendida para cada critério definida comumente como maximizar ou minimizar os atributos.
- f) Preferências ou **pesos:** representam as importâncias relativas dos critérios, traduzindo numericamente as preferências do decisor.

### 2.2.2. Métodos de Análise Multicriterial

Um método de análise multicriterial consiste numa forma de relacionar estes conceitos de tal modo que, através de uma análise matemática, seja possível melhor atender as preferências dos decisores e apontar uma ou mais soluções para o problema no qual são aplicados. Isto constitui um dos mais modernos e complexos modos de apreciar uma ou mais questões para se tomar uma decisão.

Os primeiros métodos de apoio à decisão surgiram em meados dos anos 50 juntamente com a pesquisa operacional e foram impulsionados durante a segunda Guerra Mundial (SANTOS, 2009). A análise de que tratamos agora surgiu com sua forma estruturada, dividida em duas grandes correntes, chamadas escolas, a saber: a Escola Americana e a Escola Européia.

A Escola Americana fundamenta-se numa análise racionalista para estabelecer uma metodologia denominada Multicritério de Tomada de Decisão (MCDM – *Multiple Criteria Decision-Making*), cujo resultado da análise deve proporcionar a tomada de decisão direcionada pelo modelo como a melhor decisão possível. Enquanto a Escola Europeia, com as metodologias denominadas Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA – *Multiple Criteria Decision-Aid*), baseia-se em princípios construtivistas que direcionam o decisor para um grupo de alternativas que podem ser escolhidas por este de acordo com suas interpretações do processo decisório.



Embora haja muitos pontos contrastantes entre os fundamentos dessas duas escolas as diferenças consistem basicamente na consideração da racionalidade do decisor, que pode ser **aditiva**, em que “as alternativas são avaliadas mediante cada critério, o desempenho das alternativas é avaliado quantitativamente (valores numéricos) ou qualitativamente (por meio de escalas) e é estabelecido um score para cada alternativa”, base da Escola Americana; ou **não-aditiva**, em que “as alternativas são avaliadas em pares pelas relações: preferência forte (P+), preferência fraca (P-), indiferença (I) ou incomparabilidade”(GUARNIERI, 2015).

As principais diferenças entre os princípios destas duas grandes escolas são apresentadas por Matzenauer e Jardim (2001, *apud* SANTOS, 2009) no Quadro 1, a perspectiva racionalista leva em consideração a total consciência do decisor sobre o problema e a capacidade de decisão não cerceada por subjetividades, a construtivista considera o decisor como limitado e permite que a análise forneça mais conhecimento acerca do problema de decisão abordado.

Quadro 1 - Fundamentos básicos das Metodologias MCDM e MCDA no processo Decisório	
RACIONALISMO	CONSTRUTIVISMO
Valorização da Objetividade	Valorização da Subjetividade
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Decisores admitidos como totalmente racionais, com mesmo nível e tipo de conhecimento e de raciocínio lógico, buscando os mesmos objetivos racionais (minimizar custos e maximizar benefícios).</li> <li>- Busca-se a qualificação dos decisores. Vale a experiência.</li> <li>- Admite-se que exista um conjunto bem definido de alternativas viáveis de solução, mutuamente exclusivas.</li> <li>- Admite-se que haja um modelo de preferências bem definido na mente dos decisores, racionalmente estruturado, através de um conjunto de critérios de avaliação.</li> <li>- Admite-se o problema como bem formulado matematicamente, sendo a finalidade encontrar uma solução ótima (no conceito de Pareto), a solução de melhor compromisso.</li> <li>- Os decisores precisam concordar com a solução ótima encontrada.</li> <li>- Os julgamentos são feitos com base nos critérios de avaliação, exclusivamente.</li> <li>- Na comparação das alternativas somente são admitidas a preferência estrita (P) e a indiferença (I).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O conjunto de ações potenciais não é necessariamente estável.</li> <li>- As ações potenciais não são mutuamente exclusivas, nem necessariamente factíveis (podem ser recomendações).</li> <li>- As preferências dos decisores não são bem definidas. Existem incertezas, crenças parciais, preconceitos, conflitos e contradições.</li> <li>- Os valores numéricos das avaliações e os pesos relativos dos critérios de avaliação são considerados imprecisos, incertos, mal definidos e arbitrários.</li> <li>- É impossível definir se uma decisão é boa ou ruim apenas com base em um modelo matemático.</li> <li>- No processo decisório há influência de fatores organizacionais, culturais e pedagógicos, que contribuem para a qualidade e o sucesso da decisão.</li> <li>- Há a convicção do permanente aprendizado.</li> <li>- O problema é mal-definido matematicamente.</li> <li>- O objetivo não é encontrar uma solução ótima, mas sim gerar conhecimento aos decisores.</li> <li>- O decisor único é um mito. Vários atores tomam parte do processo decisório direta ou indiretamente.</li> </ul>

Fonte: Matzenauer e Jardim (2001, *apud* SANTOS, 2009).

Com base nestas características as abordagens de natureza construtivistas parecem mais interessantes, pois permitem ao decisor/avaliador obter muito mais informação acerca do problema estudado, para, a partir daí, estabelecer um julgamento. Em virtude disto a escolha de um destes métodos é mais favorável à parametrização e subsequente adaptação para obtenção de um resultado na forma de índice.

O método da escola americana mais conhecido e indubitavelmente mais empregado mundo afora é o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (MARDANI, *et al.*, 2015), em grande parte por causa de sua abordagem baseada na álgebra matricial e a intercomunicabilidade simplificada com outras ferramentas de análise e de projetos. Em virtude disso já foram desenvolvidos pacotes de softwares dos mais variados para sua implementação em outros tipos de programas, por ter sido observado o interessante aporte metodológico, em se tratando de problemas de decisão, oferecido pela análise multicritério a ferramentas de design e monitoramento como CAD (*Computer Aided Design*) (ŽAVBI & DUHOVNIK, 2001) e GIS (*Geographic Information System*) (ZAMBON *et al.*, 2005), por exemplo. Esta facilidade de acesso a ferramentas computacionais prontas contribui ainda mais para a disseminação deste método em particular.

No entanto, segundo Macharis *et al.* (2004) a agregação completa do tipo aditivo das alternativas permite que ocorra compensação no método AHP, isto é, que uma alternativa com desempenho excepcional em algum(ns) determinado(s) critério(s) possa compensar suas deficiências em nível geral e se sobressair no conjunto de alternativas. Essa crítica é extensível também a maioria dos métodos da Escola Americana, ainda de acordo com o mesmo autor.

Os mais conhecidos métodos multicriteriais, procedentes da Escola Europeia, são os da Família ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e da Família Método PROMETHEE (SILVINO, 2008). Diferentemente do AHP, o PROMETHEE é um método não compensatório e que favorece as alternativas de desempenho mais regular (CARVALHO e CURI, 2013), característica comum da Escola Europeia.

O Método PROMETHEE acabou sendo escolhido para servir de base neste estudo em virtude de seu crescente emprego em problemas ambientais (BEHZADIAN *et al.*, 2010) e pelo desempenho superior ao AHP em vários aspectos, conforme se percebe no Quadro 2.

Quadro 2 – Sumário de comparação entre AHP e PROMETHEE.

	AHP	PROMETHEE
Paradigmas de delineamento do problema	- -	-
Estruturação do problema	++	+
Tratamentos de inconsistências da tomada de decisão	À Priori	À Posteriori
Determinação dos pesos	+	-
Montante de análise a ser feito	-	+
Escala de 9 pontos	-	+
Problema da reversão do ranking	-	-
Implementação em software	++	++
Visualização de resultados	+	++
Flexibilidade dos pacotes de Software	- -	+

Representação: (-) desvantagem e (- -) forte desvantagem observada no item de comparação  
(+) vantagem e (++) grande vantagem observada no item de comparação.

Fonte: Adaptado e traduzido de Macharis *et al.* (2004).

### 2.3. Método PROMETHEE

As etapas do processo estruturado que compõem os fundamentos do método PROMETHEE são descritos por Behzadian *et al.* (2010):

- **1º passo:** Calcular os desvios (diferenças) baseados na comparação par-a-par das alternativas para cada critério, esse desvio pode ser entendido como a diferença numérica direta dos atributos;

- **2º passo:** Aplicar a função de preferência (qualquer uma das seis pré-estabelecidas pelo método e descritas no quadro XX) responsável por normalizar e expressar o quão preferível é um atributo de uma alternativa sobre outra em função do seu desvio para cada critério;

- **3º passo:** Calcular o fluxo de preferência global de cada alternativa A sobre outra B e vice-versa levando-se em consideração o valor da função de preferência e o peso atribuído pelo decisor para cada critério;

- **4º passo/ 5º passo:** determinar o fluxo final e os valores da rede de ordenação parcial (4º) ou a sequência de ordenação total (5º), a depender do tipo de tratamento do método escolhido em virtude da natureza do problema de decisão.

#### 2.3.1. Cálculos dos desvios

Os desvios ou diferenças são calculados diretamente para cada uma das alternativas, subtraindo-se os atributos uns dos outros para cada respectivo critério, como na Equação 1:

$$\delta_i(A, B) = f_i(A) - f_i(B) \quad (1)$$

Onde:

- A e B são as alternativas comparadas par-a-par;
- $\delta_i$  é o desvio (diferença) do atributo do i-ésimo critério de A em relação ao de B;
- $f_i$  é a função de utilidade ou o valor direto do atributo a ser comparado entre as alternativas;

Percebe-se então que se  $f_i(A)$  é maior que  $f_i(B)$  o valor do  $d_i(A, B)$  será positivo, caso contrário negativo. Porém, para poder ser considerado o objetivo de maximizar ou minimizar o valor do atributo deve-se inserir ainda o fator de objetivo  $(-1)^k$  que permita a aplicação correta da função de preferência ao desvio calculado através da multiplicação (equação 2):

$$d_i(A, B) = (-1)^k [f_i(A) - f_i(B)] \quad (2)$$

Onde:

$d_i(A, B)$  é o desvio relacionado ao objetivo do critério

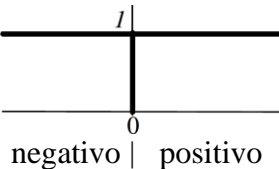
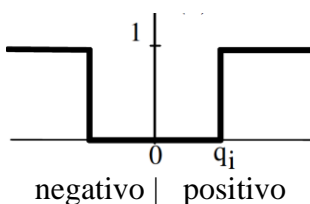
$k = 0$ , para os critérios que se desejem maximizar e

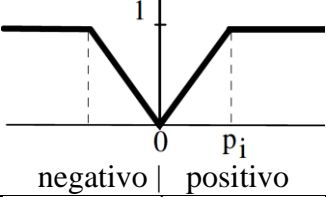
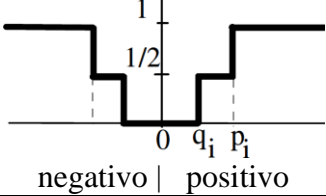
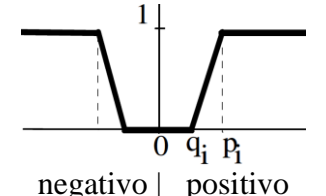
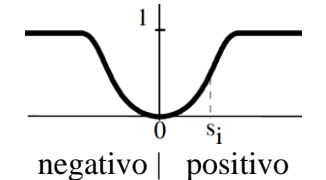
$k = 1$ , para os critérios em que se deseja minimizar.

### 2.3.2. Funções de Preferências

Um quadro resumo (Quadro 3) é apresentado por Santos (2009) com as funções de preferências características do método PROMETHEE, onde  $P_i(A, B)$  é a preferência da alternativa A sobre a alternativa B relativa ao critério  $i$ .

Quadro 3 – Funções de Preferência do método PROMETHEE

Função para o critério $i$	Gráfico	Parâmetros necessários
$P_i(B, A)$	$P_i(A, B)$	
<b>TIPO I - USUAL</b>		
$P_i(A, B) = \begin{cases} 0, & \text{se } d_i \leq 0 \\ 1, & \text{se } d_i > 0 \end{cases}$		-
<b>TIPO II – U-SHAPE</b>		
$P_i(A, B) = \begin{cases} 0, & \text{se }  d_i  \leq q_i \\ 1, & \text{se }  d_i  > q_i \end{cases}$		$q_i$

TIPO III – V-LINEAR	$P_i(A, B) = \begin{cases}  d_i /p_i, & \text{se }  d_i  \leq p_i \\ 1, & \text{se }  d_i  > p_i \end{cases}$		$p_i$
TIPO IV – ESCADA	$P_i(A, B) = \begin{cases} 0, & \text{se }  d_i  \leq q_i \\ 1/2, & \text{se } q_i <  d_i  \leq p_i \\ 1, & \text{se }  d_i  > p_i \end{cases}$		$q_i, p_i$
TIPO V – V-SHAPE	$P_i(A, B) = \begin{cases} 0, & \text{se }  d_i  \leq q_i \\ \frac{ d_i  - q_i}{p_i - q_i}, & \text{se } q_i <  d_i  \leq p_i \\ 1, & \text{se }  d_i  > p_i \end{cases}$		$q_i, p_i$
TIPO VI – GAUSSIANA	$P_i(A, B) = 1 - e^{-x^2/2s_i^2}$		$s_i$

Fonte: Adaptado de Santos (2009)

**TIPO I (Usual):** Quando o desvio  $d_i(A, B)$  entre as alternativas “A” e “B” for maior que zero, isto é, para a alternativa “A” o critério “i” assumir maior valor, a função de preferência assume valor um, neste caso a alternativa “A” é preferível a “B”. Caso contrário, a função de preferência é zero e não existe preferência da alternativa “A” sobre a alternativa “B”.

Simbolicamente: Se  $d_i(A, B) > 0$ , então  $P_i(A, B) = 1$ , caso contrário  $P_i(A, B) = 0$ .

**TIPO II (U-shape):** O intervalo delimitado por  $x_i \leq q_i$ , caracteriza uma região de indiferença com relação a preferência da alternativa “A” sobre a alternativa “B”, relativo ao critério “i” e a função de preferência assume o valor “0”. Para desvios maiores que  $q_i$  a função de preferência é igual a “1” e a alternativa “A” tem preferência absoluta sobre a alternativa “B”.

Simbolicamente: Se  $d_i(A, B) > q_i$ , então  $P_i(A, B) = 1$ , caso contrário  $P_i(A, B) = 0$ .

**TIPO III (V-Linear):** No intervalo compreendido entre  $x_i \leq p_i$ , é estabelecido um aumento linear da intensidade da preferência da alternativa “A” sobre a alternativa “B”,

proporcional ao desvio de valores do critério  $i$ . A partir deste valor a alternativa “A” passa a ter preferência absoluta sobre a alternativa “B”.

Usando símbolos: Se  $d_i(A, B) > p_i$ , então  $P_i(A, B) = 1$ , caso contrário  $P_i(A, B) = d_i(A, B)/p_i$ .

**TIPO IV (Escada/Nível):** A função ‘*tipo escada*’ assume indiferença quando o desvio  $xi \leq q_i$ ; no intervalo delimitado por  $q_i < xi \leq p_i$ , a alternativa “A” tem a mesma preferência que a alternativa “B” e, a partir de  $p_i$ , a alternativa “A” tem preferência absoluta sobre a alternativa “B”.

Usando símbolos: Se  $d_i(A, B) > p_i$ , então  $P_i(A, B) = 1$ ,

Se  $d_i(A, B) \leq q_i$ , então  $P_i(A, B) = 0$ ,

Se  $q_i < d_i(A, B) \leq p_i$ , então  $P_i(A, B) = 0,5$ .

**TIPO V (V-Shape):** Quando o desvio  $d_i(A, B)$  entre as alternativas “A” e “B” assumir valor maior que o parâmetro  $p_i$ , a função de preferência assume o valor 1, isto é, a alternativa “A” é preferível à alternativa “B”; quando  $q_i < d_i(A, B) \leq p_i$ , a intensidade da preferência da alternativa “A” aumenta linearmente sobre a alternativa “B”; e, quando  $d_i(A, B)$  for menor que o parâmetro  $q_i$ , a alternativa não é preferível à alternativa “B”.

Usando símbolos: Se  $d_i(A, B) > p_i$ , então  $P_i(A, B) = 1$ ,

Se  $d_i(A, B) \leq q_i$ , então  $P_i(A, B) = 0$ ,

Se  $q_i < d_i(A, B) \leq p_i$ , então  $P_i(A, B) = [(d_i(A, B) - q_i)/(p_i - q_i)]$ .

**TIPO VI (Gaussiana):** A intensidade da preferência aumenta continuamente, de forma exponencial, de 0 até 1. O parâmetro “ $s_i$ ” indica a distância da origem até o ponto de inflexão da curva, isto é, do zero até o desvio padrão da distribuição.

### 2.3.3. O emprego das funções de preferência

Estas funções acima descritas apresentam características peculiares que favorecem o emprego de cada uma a um determinado critério de acordo com o comportamento da variável associada a este critério e/ou com o interesse do decisor.

A Função Tipo-I é empregada sobretudo para indicadores de comportamento binário, (valor 0 ou 1), como relações de sim ou não (presença/ausência de determinada característica), por exemplo, mas também em critérios, principalmente os de comportamento discreto, para os quais qualquer diferença seja suficiente para optar ou não por uma determinada alternativa

fazendo a alocação total da preferência relativa àquele critério em favor de uma das alternativas comparadas.

Quando se pretende alocar parcialmente a preferência de determinado critério em favor de uma das alternativas podem-se usar as funções III (Linear ou V (vê)), IV (Escada), V (V-Shape) ou VI (Gaussiana).

A função Linear apresenta a característica de distribuir a preferência respeitando a escala de amplitude (ou a variação) dentro do conjunto de alternativas dos atributos pertinentes a determinado critério, podendo então alocar uma preferência tão maior, quanto maior for o desvio ( $d_i$ ) observado, até um nível  $p_i$  tal em que qualquer alternativa que alcance esse valor em relação a outra mereça toda a preferência sobre esta. O valor  $p_i$  é o patamar de preferência absoluta. Diferentemente da função Tipo-I que faz atribuição de preferência 0 (zero) ou 1 (um), neste caso  $P_i(A,B)$  pode assumir qualquer valor neste intervalo.

Normalmente os valores dos atributos, especialmente os referentes aos critérios financeiros, podem ser obtidos por meio de estimativas ou simulações destes procedimentos para o levantamento de dados e carregam consigo erros de estimativas associados. Para não decidir à favor de uma alternativa com base num desvio pequeno que incida dentro desta “margem de erro” é que são estabelecidos parâmetros de indiferença  $q_i$  a fim de estabelecer o limiar mínimo de atribuição da preferência relacionada ao critério  $i$ .

Baseando-se nesta ressalva adotam-se por exemplo as funções II (U-Shape), IV (Escada) e V (V-Shape), para as quais este valor de indiferença confere maior segurança quando da alocação de preferências. A função Tipo-II leva em consideração este parâmetro e faz a atribuição total à alternativa que apresente o desempenho melhor no critério, contanto que este se expresse num  $d_i$  superior ao  $q_i$ . A função Tipo-IV (Escada) favorece a divisão dos níveis de atributos em classes para os quais podem ser atribuídos os valores (0; 0,5; 1). E a Função Tipo-V (V-Shape) apresenta o mesmo comportamento da Função III, acrescida apenas de uma margem de indiferença.

Por sua vez a função Gaussiana (Tipo-VI) é mais adequada para tratar de indicadores cujo comportamento segue uma distribuição de probabilidade, considerando como as Funções III e V a alocação de preferência parcial e proporcional ao desvio ( $d_i$ ) observado. Apesar de não possuir um patamar de preferência absoluta  $p_i$  essa função atribui para grandes desvios valores de preferência próximos a 1 e valores muito pequenos para desvios menores que a metade do valor do desvio-padrão (DP), privilegiando assim alternativas que apresentem desvios significativos (maiores que o DP) em relação às demais, reunindo as características de

várias outras funções e sendo a menos sensível a pequenas variações dos atributos (PARREIRAS & VASCONCELOS, 2007), no entanto apresenta poucas vantagens em casos com conjuntos pequenos de alternativas.

#### 2.3.4. Fluxos de preferência

O Fluxo de preferência de uma alternativa A sobre outra B é expresso pela Equação (3) e representa todas as vantagens consideradas de A em relação a B:

$$F_{(A,B)} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i(A, B) \quad (3)$$

Onde:

$F_{(A,B)}$  é o fluxo de preferência de A sobre B;

$n$  é o número de critérios;

$w_i$  é o peso do  $i$ -ésimo critério;

$P_i(A, B)$  é a preferência da alternativa A sobre a B referente ao critério  $i$ ;

Até este ponto será usada a estrutura do PROMETHEE para o estabelecimento do Índice de Desempenho Multicriterial. Entretanto para a comparação com uma aplicação convencional os procedimentos seguem, como descrito adiante, com o cálculo dos fluxos de preferência positivo, negativo e líquido, que permitem a ordenação das alternativas.

O Fluxo positivo ( $\varphi_A^+$ ) de uma alternativa é a soma dos fluxos que ela apresenta sobre todas as outras, conforme a Equação 4:

$$\varphi_A^+ = \sum_{j=1}^m F(A, X_j) \quad (4)$$

Onde:

$\varphi_A^+$  é o fluxo positivo da alternativa A em relação a todas as outras do conjunto;

$m$  é o número de alternativas;

$F(A, X_j)$  é o fluxo de preferência da Alternativa A sobre cada alternativa  $X_j$ ;

Na Equação 5 aparece o fluxo negativo ( $\varphi_A^-$ ) da alternativa A, que considera as preferências das outras alternativas sobre ela:



$$\varphi_A^- = \sum_{j=1}^m F(X_j, A) \quad (5)$$

Onde:

$\varphi_A^-$  é o fluxo negativo da alternativa A em relação a todas as outras do conjunto;

$m$  é o número de alternativas;

$F(X_j, A)$  é o fluxo de preferência de cada alternativa  $X_j$  sobre a Alternativa A;

#### 2.3.5. A Matriz de Fluxos

Quadro 4 – Matriz de Fluxos do método PROMETHEE

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>...</b>	<b>M</b>	<b>Fluxo +</b>
<b>A</b>	0	$F_{(A,B)}$	$F_{(A,C)}$	<b>...</b>	$F_{(A,M)}$	$\varphi_A^+$
<b>B</b>	$F_{(B,A)}$	0	$F_{(B,C)}$	<b>...</b>	$F_{(B,M)}$	$\varphi_B^+$
<b>C</b>	$F_{(C,A)}$	$F_{(C,B)}$	0	<b>...</b>	$F_{(C,M)}$	$\varphi_C^+$
<b>⋮</b>	<b>⋮</b>	<b>⋮</b>	<b>⋮</b>	<b>⋮</b>	<b>⋮</b>	<b>...</b>
<b>M</b>	$F_{(M,A)}$	$F_{(M,B)}$	$F_{(M,C)}$	<b>...</b>	0	$\varphi_M^+$
<b>Fluxo -</b>	$\varphi_A^-$	$\varphi_B^-$	$\varphi_C^-$	<b>...</b>	$\varphi_M^-$	

Fonte: Elaboração do Autor.

Os somatórios de preferências, ponderados com os pesos dos critérios (Equação 3) gera a Matriz de Fluxos (MF), Quadro 4, diferente da matriz de avaliação que considerava N critérios e M alternativas e cujas estradas representavam os atributos destas alternativas para cada respectivo critério; agora a MF é uma matriz quadrada de ordem (MxM) definida pela quantidade de alternativas cujas entradas representam os Fluxos Preferências individuais de cada alternativa sobre outra. A diagonal principal nula representa que a alternativa não é preferível nem preterível a ela mesma ( $F_{(A,A)} = 0$ ).

O Fluxo líquido ( $\Phi$ ) representa a relação final de preferência ou dominância entre as alternativas (equação 6):

$$\Phi_{(A)} = \frac{\varphi_A^+ - \varphi_A^-}{m} \quad (6)$$

Onde  $m$  é o número de alternativas.

Quanto maior o fluxo líquido, melhor é a alternativa em relação às demais, quanto menor, pior. No Método PROMETHEE II as alternativas são ordenadas de acordo com este fluxo líquido. A depender das características do Cenário Padrão adotado o índice pode ser obtido diretamente do fluxo positivo, do negativo ou do líquido como esclarecido mais adiante.

Portanto, os procedimentos iniciais do método permanecem inalterados e servem de base para as mais distintas análises e interpretações a fim de obter uma ordenação/classificação das alternativas, conforme será detalhado no capítulo da metodologia. Neste estudo é realizada uma adaptação do método PROMETHEE para se obter uma forma de estabelecer índices com base em sua estrutura fundamental.

### 3. METODOLOGIA

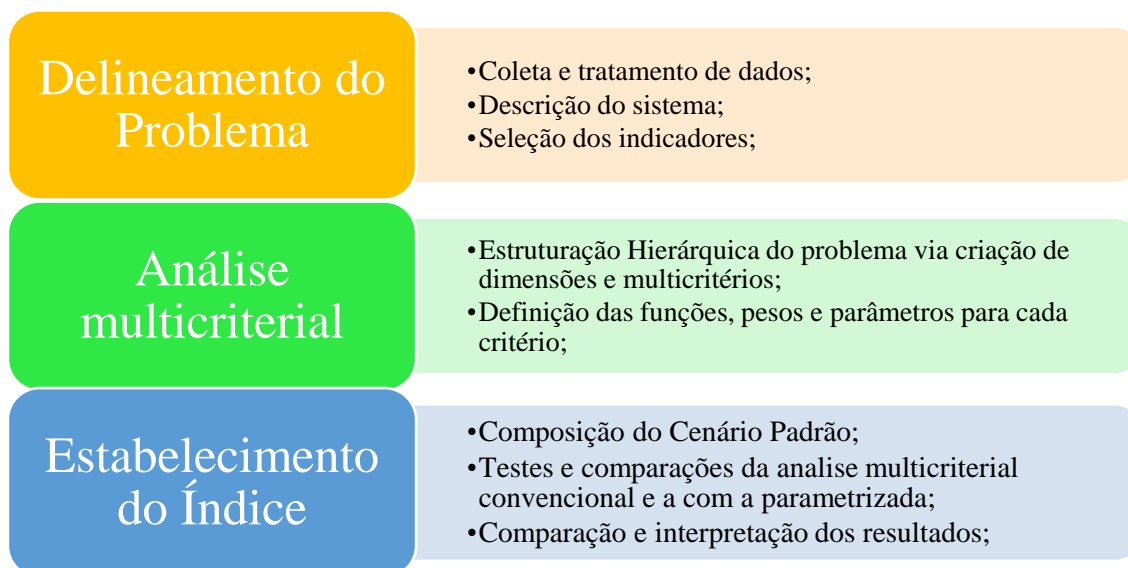
Procurou-se mostrar anteriormente que a Análise Multicriterial apresenta uma avaliação relativa das alternativas dentro de um conjunto pré-estabelecido, ao passo que as abordagens feitas por meio de índices consideram avaliações absolutas, ou seja, independentes de outros cenários/sistemas avaliados.

Então, como seria possível consorciar estas formas de avaliação a fim de poder empregar a estrutura de um método como o PROMETHEE no estabelecimento de um índice comparativo, dado que as linhas de abordagem são essencialmente distintas?

A partir deste questionamento, considerando a natureza de comparação par-a-par do método PROMETHEE, isto é, a comparação das alternativas aos pares a fim de obter uma agregação final, que represente o interesse expresso pelo decisor por meio da ponderação dos critérios, pensou-se numa parametrização do método. Esta ideia consiste em conceber um **Cenário Padrão (CP)**, uma alternativa com características de interesse, que sirva de medida de comparação, a partir da qual outros cenários quaisquer possam ser avaliados usando a estrutura do método PROMETHEE. Aqui se preserva a estrutura do método em suas comparações pareadas, uma vez que cada alternativa avaliada constitui um par com o CP e, simultaneamente, possibilita-se a obtenção de um valor agregado final atribuível a cada alternativa que independe do desempenho das demais no mesmo modelo, exceto do CP.

A Figura 1 apresenta um resumo do procedimento metodológico para abordagem de um sistema com vistas ao desenvolvimento de um índice comparativo.

Figura 1– Procedimentos metodológicos desenvolvidos



Todas as análises e cálculos foram efetuados em planilhas organizadas e processadas no Microsoft Office Excel®.

### 3.1.Delineamento do problema

Os dados dos problemas de estudo de casos utilizados nos processos de comparações desta pesquisa foram obtidos diretamente de estudos realizados anteriormente sob a perspectiva da análise multicriterial convencional, especificamente com o emprego do método PROMETHEE II (para ordenação completa das alternativas). Portanto, os dados destes problemas já foram processados e estruturados na forma já estabelecida do PROMETHEE, ou seja, os agrupamentos dos critérios demandados pela análise hierárquica e os tipos de funções de preferências a serem empregados para os critérios, assim como seus patamares de preferência absoluta e indiferença, haviam sido previamente definidos quando da execução destes trabalhos, a saber:

- 1) Um sistema de 20 pequenos açudes na Bacia do Açude de Sumé-PB, estudado por Monte (2013) em uma análise de desempenho para cenários potenciais de operação, doravante mencionado como **Estudo de Caso  $\alpha$**  (Alpha);
- 2) Uma amostra de municípios da Região Hidrográfica do Médio Curso do Rio Paraíba, avaliados quanto a sua performance na gestão de recursos hídricos por Carvalho (2013), o **Estudo de Caso  $\beta$**  (Beta);
- 3) Uma amostra de cidades da Região Metropolitana de Campina Grande, estudada com relação à eficiência na gestão de resíduos sólidos por Pereira (2014), o **Estudo de Caso  $\gamma$**  (Gama);

### 3.2. Estruturação do modelo de análise multicriterial e ponderação

Para cada um dos estudos de caso a estrutura e as características dos modelos de análise multicritério foram integralmente respeitados, à exceção dos pesos estabelecidos pelos vários decisores. Com o intuito de entender o comportamento do modelo parametrizado por meio de um CP, a fim de obter um índice comparativo, os pesos foram distribuídos igualmente para todos os critérios; portanto, os modelos empregados por Monte (2013), Carvalho (2013) e Pereira (2014) com a configuração de pesos atribuída por cada respectivo decisor foram agora processados novamente considerando pesos iguais em nível final (isto é, dentro de um nível

hierárquico os pesos relativos são diferentes a fim de proporcionar no último nível que todos os  $n$  critérios tenham peso  $1/n$ ).

Portanto além de uma aplicação convencional do método PROMETHEE também foi realizada a abordagem através do Índice de Desempenho Multicriterial (IDM) para esta configuração de **pesos finais equivalentes**. Esta configuração implica em:

- Peso  $1/28 = 0,0357$ , para cada um dos 28 critérios considerados no **Estudo de Caso  $\alpha$**
- Peso  $1/40 = 0,0250$ , para cada um dos 40 critérios considerados no **Estudo de Caso  $\beta$**
- Peso  $1/47 = 0,0213$ , para cada um dos 47 critérios considerados no **Estudo de Caso  $\gamma$**

Entretanto, esta configuração de pesos finais idênticos descaracteriza a análise hierárquica, uma vez que desvincula a importância atribuída a cada determinado indicador, ora empregado como critério, da relação hierárquica (ou de Cluster) que estes apresentam com suas respectivas categorias e dimensões de análise. Destarte a ponderação das dimensões, no nível mais superior da hierarquia, depende agora do número de critérios associados a cada uma. Assim, para dimensões que apresentem um grande número de critérios há um acúmulo de pesos diretamente proporcional a este número que a torna mais relevante que as demais na análise.

Para contornar este problema e conservar a estrutura hierárquica da análise foi feita uma nova distribuição de pesos considerando importâncias relativas iguais, isto é, todas as dimensões, respectivas categorias e subsequentes critérios recebem peso 1. Após esta imposição dos mesmos pesos para cada dimensão, sucede a normalização dos valores para um somatório igual a um no nível das dimensões, da seguinte forma expressa na Equação (7):

$$\Omega'_k = \left( \frac{\Omega_k}{\sum_{k=1}^K \Omega_k} \right) \quad (7)$$

Onde:

$\Omega'_k$  é o peso normalizado da dimensão  $k$ ;

$\Omega_k$  é o peso bruto da dimensão  $k$ ;

$K$  é o número de dimensões.

Portanto o somatório dos pesos normalizados das dimensões é igual a 1.

Para as categorias é feito um procedimento análogo, porém a divisão do peso da categoria  $j$  pelo somatório dos pesos de todas as  $J$  categorias resulta num valor qualquer que não tem utilidade, senão quando cuidadosamente calculado levando em conta o agrupamento

das categorias numa determinada dimensão, ou seja, o somatório usado como denominador para a normalização envolve as  $J_k$  categorias pertencentes à  $k$ -ésima dimensão.

$$\omega'_{j,k} = \left( \frac{\omega_{j,k}}{\sum_{j=1}^{J_k} \omega_{j,k}} \right) \quad (8)$$

Onde:

$\omega'_{j,k}$  é o peso normalizado em nível da categoria  $j$  da dimensão  $k$  ;

$\omega_{j,k}$  é o peso bruto da categoria  $j$  da dimensão  $k$ ;

$J_k$  é o número de categorias da  $k$ -ésima dimensão

Contudo obteve-se assim um valor normalizado para as categorias em nível, isto é, ainda dentro das dimensões. Para obter um peso normalizado relativo (cujo somatório para todas as categorias de todas as dimensões seja 1) basta apenas multiplicar o peso normalizado em nível da categoria pelo peso normalizado da dimensão que a contém:

$$\omega''_{j,k} = \omega'_{j,k} \cdot \Omega'_k \quad (9)$$

Onde  $\omega''_{j,k}$  é o peso normalizado relativo da  $j$ -ésima categoria da  $k$ -ésima dimensão e agora o somatório dos pesos normalizados relativos de todas as  $J$  categorias é igual a um.

Um procedimento um pouco mais complexo é empregado para os pesos dos critérios que por sua vez, depois de normalizados dentro da categoria, pelo cálculo do  $W'_{i,j,k}$  (Equação 10), é relacionado com o peso normalizado relativo desta para obtenção do peso normalizado final dos critérios:

$$W'_{i,j,k} = \left( \frac{W_{i,j,k}}{\sum_{k=1}^{n_{j,k}} W_{i,j,k}} \right) \quad (10)$$

$W'_{i,j,k}$  é o peso normalizado em nível do critério  $i$  da categoria  $j$  da dimensão  $k$ ;

$W_{i,j,k}$  é o peso bruto do critério  $i$  da categoria  $j$  da dimensão  $k$ ;

$n_{j,k}$  é o número de critérios da  $j$ -ésima categoria da  $k$ -ésima dimensão.

E o peso final do critério é obtido pela multiplicação do peso normalizado interno à categoria ( $W'_{i,j,k}$ ) pelo peso normalizado relativo da categoria ( $\omega''_{j,k}$ ) como em (11):

$$w_i = W'_{i,j,k} \cdot \omega''_{j,k} \quad (11)$$

Por fim obtém-se valores finais que, quando somados, totalizam 1 para cada decisor e por sua vez já contém as devidas ponderações referentes a estrutura hierárquica, de modo a estarem prontos para serem empregados no modelo.

Desse modo, mais uma vez, foram realizadas duas abordagens dos sistemas, uma com a aplicação convencional do método PROMETHEE e outra através do Índice de Desempenho Multicriterial (IDM) para esta configuração de **pesos relativos equivalentes** que resulta em pesos finais distintos.

Os pesos empregados para cada um dos critérios, considerando as relações hierárquicas entre eles, são apresentados nos Apêndices A2, B2 e C2.

### 3.3.A Amplitude da Variação de Fluxos e do Índice

A amplitude é o tamanho do intervalo sobre o qual estão distribuídos os valores dos fluxos líquido e do índice.

Potencialmente os fluxos normalizados podem variar no intervalo  $[-1,1]$  e a amplitude desde intervalo é o valor superior menos o inferior, ou seja:  $1 - (-1) = 2$ . Portanto a amplitude potencial da variação dos fluxos é 2. Contudo uma alternativa só alcança o fluxo líquido 1 (um) quando ela é absolutamente preferível a todas as outras em todos os critérios, como se observa em (12),

$$\Phi_A = 1 \Rightarrow \begin{cases} P_i(A, B) = 1, & \forall B \in \mathbb{A}, & \forall i \in N \\ P_i(B, A) = 0, & \forall B \in \mathbb{A}, & \forall i \in N \end{cases} \quad (12)$$

Onde:

$\Phi_A$  é o Fluxo Líquido da Alternativa A;

A e B são alternativas pertencentes ao conjunto  $\mathbb{A}$  de alternativas;

$\mathbb{A}$  é o conjunto finito de alternativas a serem comparadas quanto a seus desempenhos;

N é o número de critérios.

E em (13) percebe-se que ela só assume o valor de -1 (menos um) quando ocorre o contrário e ela é preterível a todas as outras alternativas em todos os critérios

$$\Phi_A = -1 \Rightarrow \begin{cases} P_i(A, B) = 0, & \forall B \in \mathbb{A}, & \forall i \in N \\ P_i(B, A) = 1, & \forall B \in \mathbb{A}, & \forall i \in N \end{cases} \quad (13)$$

Onde:

$\Phi_A$  é o Fluxo Líquido da Alternativa A;

A e B são alternativas pertencentes ao conjunto  $\mathbb{A}$  de alternativas;

$\mathbb{A}$  é o conjunto finito de alternativas a serem comparadas quanto a seus desempenhos;

N é o número de critérios.

O cálculo da amplitude real é muito simples, o fluxo máximo menos o mínimo dividido pela amplitude potencial (o valor máximo possível subtraído do mínimo possível):

$$Amplitude Real = \frac{(\Phi_{M\acute{A}X} - \Phi_{M\acute{I}N})}{Amplitude Potencial} \quad (14)$$

Onde:

$\Phi_{M\acute{A}X}$  é o maior fluxo líquido do conjunto de alternativas.

$\Phi_{M\acute{I}N}$  é o menos fluxo líquido do conjunto de alternativas.

Para os índices, como o intervalo de variação é de 0 (zero) a 1 (um) a própria diferença entre o valor máximo obtido e o valor mínimo representa esta amplitude.

Quanto maior a amplitude do intervalo no qual se distribuem as alternativas menos sensível é a abordagem a pequenas variações nos pesos dos critérios e consequentemente menos susceptível à **reversão das ordenações**, isto é, à alteração das posições relativas das alternativas entre si quando da inserção de uma nova na análise. Pois se as alternativas estiverem muito próximas entre si, dentro intervalo de variação, as menores alterações dos pesos podem provocar uma reversão severa (entre várias alternativas), isto fica bem claro quando observado que as alternativas dos extremos (melhores ou piores) dificilmente oscilam muito no *Ranking*.

Por exemplo, data tal ordenação em que A seja uma alternativa pertencente ao conjunto  $\mathbb{A}$  das alternativas e ordenada de forma a ser interpretada como melhor que outra alternativa B; é possível que quando da introdução de novas alternativas para análise no conjunto  $\mathbb{A}'$ , que



contenha todas alternativas de A e as novas, B passe a apresentar um desempenho superior a A devido às interferências geradas pelas novas alternativas nos Fluxos daquelas pré-analisadas.

### 3.4.O Índice Comum Convencional

A maioria dos índices utilizados para avaliação de sistemas apresentam resultados normalizados, isto é, dentro de uma escala uniformizada que permita a comparação entre os diferentes sistemas ou, nesse estudo, alternativas a serem avaliadas.

Para a obtenção destes valores normalizados podem ser empregadas funções de utilidade, que associam um valor entre 0 e 1 ao valor real de cara indicador de acordo com o interesse de maximização ou minimização e cujo somatório ponderado ou média conduz a um valor final adimensional único que condensa todos os indicadores analisados – denominado, então, Índice.

Uma forma simples de normalizar os atributos é arbitrar os valores 0 para o menor de todos os atributos de determinado critério e 1 para o maior e, por interpolação linear, distribuir os valores intermediários. Segundo a OECD(2008) é uma das formas mais simples e difundidas, chamada de **max-min** (máximos e mínimos) e é possível assumir os objetivos como segue:

- Quando se deseja maximizar o indicador (Equação 15):

$$u_i(A) = 1 - \frac{(f_i(máx) - f_i(A))}{(f_i(máx) - f_i(min))} \quad (15)$$

$u_i(A)$  é a função utilidade aplicada à alternativa A para o i-ésimo critério;

$f_i(A)$  é o atributo da alternativa A para o i-ésimo critério;

$f_i(máx)$  é o maior valor de atributo para o i-ésimo critério;

$f_i(min)$  é o menor valor de atributo para o i-ésimo critério;

Neste caso, quando o valor de  $f_i(A)$  é máximo o numerador da função zera e o valor da utilidade atribuído à alternativa A é 1 (um) para este critério.

Quando se deseja minimizar o indicador (Equação 16):

$$u_i(A) = 1 - \frac{(f_i(A) - f_i(min))}{(f_i(máx) - f_i(min))} \quad (16)$$

Com as mesmas descrições de (15), sendo que o valor do numerador zera quando  $f_i(A)$  é mínimo, fazendo com que  $u_i(A)$  assumam valor 1(um) e quando o  $f_i(A)$  é máximo igualam-se numerador e denominador, levando o quociente a 1(um) a função utilidade a 0 (zero).

O índice é obtido por meio do somatório ponderado das funções de utilidades de cada indicador.

$$IC(A) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot u_i(A) \quad (17)$$

$IC(A)$  é o índice comum(convencional) de desempenho da alternativa A;

$w_i$  é o peso normalizado do i-ésimo indicador;

$u_i(A)$  é a função utilidade aplicada à alternativa A para o i-ésimo critério;

$n$  é o número de indicadores.

Note-se que para esta forma de obtenção do índice não há qualquer dependência entre as alternativas, ou mesmo com o padrão, uma vez que os valores aqui utilizados como referência para normalização (máximos e mínimos) foram assim arbitrados por conveniência, mas poderiam ser valores que expressassem qualquer interesse do avaliador e, portanto, não necessariamente dependentes do banco de dados.

## 4. DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

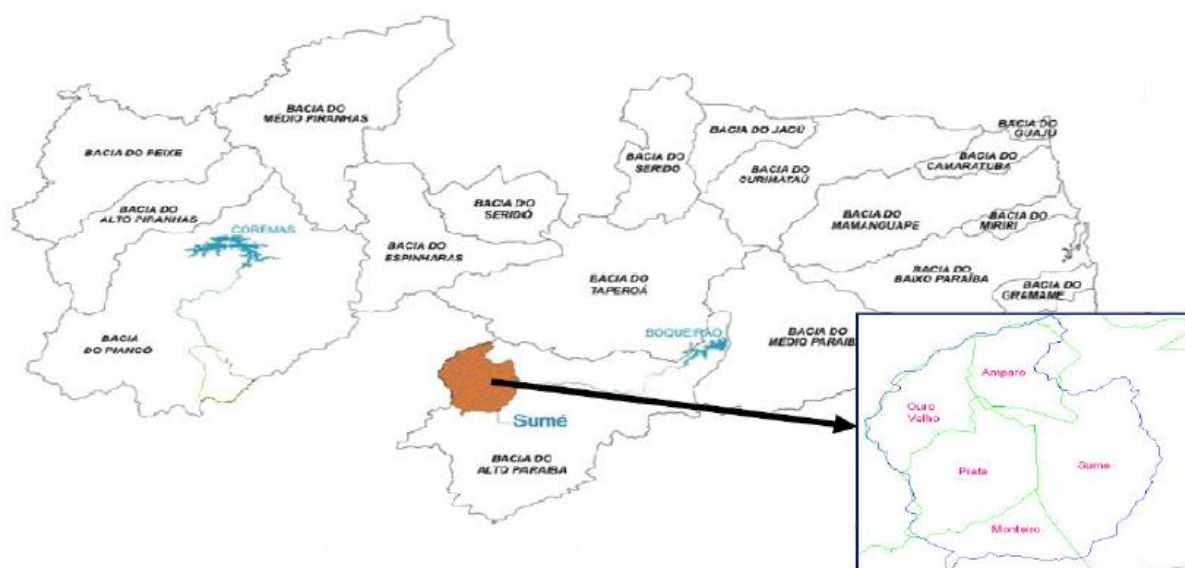
Os estudos de casos selecionados para aplicações da metodologia desenvolvida nesta pesquisa foram escolhidos em virtude de suas naturezas distintas, para destacar a aplicabilidade do Índice de Desempenho Multicriterial (IDM) à diferentes tipos de sistemas, e por se originarem de trabalhos previamente desenvolvidos dentro do grupo de pesquisa GOTA (Grupo de Otimização Total da Água) empregando o Método PROMETHEE para análise comparativa de diversas alternativas.

Dada a pré-existência dos modelos multicriterias foi realizada apenas a adaptação de cada um para permitir a obtenção do IDM para cada estudo abordado.

### 4.1. Estudo de Caso ( $\alpha$ )

A bacia do açude de Sumé-PB, destacada na Figura 2 do Estado da Paraíba, vem sendo continuamente explorada e tem gerado uma série de dados que facilitam a composição da metodologia em virtude da gama de indicadores já relacionados em produções científicas da Universidade Federal de Campina Grande (UFGC). Além disso, um especial interesse pela concentração de pequenos açudes numa microbacia situada no semiárido paraibano surge reforçada devido ao histórico recente de escassez de chuva.

Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica do Açude de Sumé no Estado da Paraíba.



Fonte: Silva et al. (2009) apud Costa, (2012).

#### 4.1.1. Visão geral

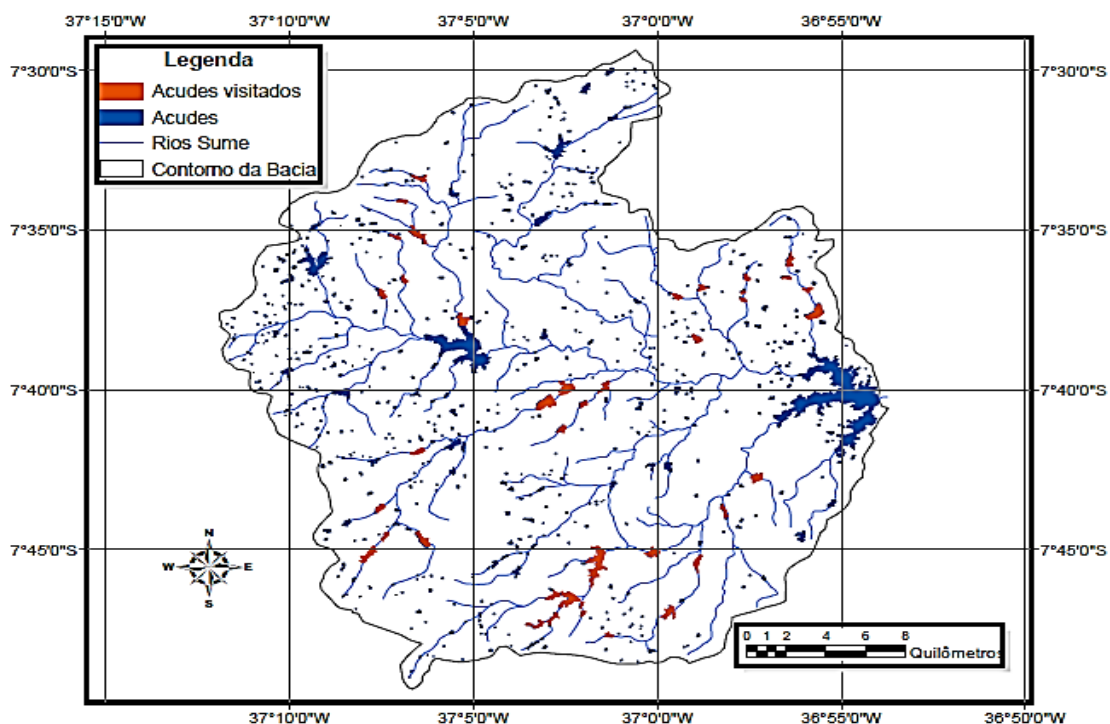
A região do semiárido nordestino é uma das regiões mais açudadas do mundo (MONTE, 2013), em consequência da escassez de chuvas por longos períodos e irregularidade das precipitações, a construção de barragens e açudes de pequeno porte – aqueles com capacidades entre 100.000 m<sup>3</sup> e 1.000.000 m<sup>3</sup> – tem-se imposto como forma de armazenamento da água que escoa superficialmente no período chuvoso para o atendimento das demandas durante a estação seca.

O incentivo governamental e elementos socioculturais (Silvino, 2010) contribuem para que haja a manutenção e criação de novos açudes para satisfação de áreas ainda não beneficiadas pelos açudes existentes. Entretanto, a criação de novos açudes não resolve, per si, o problema que é a alocação da água e a determinação das finalidades atendidas preferencialmente, bem como dos aspectos técnicos operacionais associados a estes reservatórios durante sua construção e utilização.

Neste sentido se estabelece a necessidade de deliberar a respeito do uso da água e das estratégias para o abastecimento/distribuição. Aqui cabe, portanto, o emprego de metodologias de apoio à decisão que se baseiem em processos científicos, confiáveis e seguros.

#### 4.1.2. Características da região

Figura 3 – Mapa da Região da Bacia.



Fonte: Silva et al. (2009) apud Costa, (2012).

A Bacia do Açude de Sumé, mostrada na Figura 3, é formada por 631 pequenos açudes que estão distribuídos em 769 Km<sup>2</sup> (detalhe na Figura 2), sendo que 620 destes apresentam área inferior a 20 ha, estes açudes, geralmente, atingem sua capacidade máxima de água reservada no final do período chuvoso que é de três meses, como em toda região semiárida (SANTOS et al., 2009; apud Barros, 2010).

A capacidade de armazenamento máximo é de aproximadamente 78.000.000 m<sup>3</sup>, dos quais 30% estão dispostos em açudes de pequeno porte. A bacia se encontra numa região marcada pela topografia plana com leves inclinações. A vegetação nativa da região é a caatinga que se caracteriza por apresentar pouquíssimas árvores e arbustos esparsos que não proporcionam a formação de uma cobertura contínua. As temperaturas alcançam o máximo entre novembro-dezembro e diminuem ao mínimo em julho-agosto, sendo a média anual de 24 °C. A região trata-se de uma das mais secas do estado com precipitações irregulares, variando em sua média interanual de 550mm a 600mm classificada segundo a classificação de Koopen como do tipo climático Bsh - semiárido quente; segundo o trabalho de Barros (2010).

#### *4.1.3. O Açudes*

Silva et al.(2009 apud Barros, 2010) afirmam que os açudes que formam a Bacia do Açude de Sumé estão distribuídos a uma densidade de quase um (1) açude por Km<sup>2</sup> (sendo 631 pequenos açudes que estão distribuídos em 769 Km<sup>2</sup>) e que as principais demandas do sistema com relação aos usos consuntivos são: o uso doméstico, a piscicultura, a irrigação, a dessedentação animal, o plantio de jusante e o plantio de vazante.

De acordo com Barros (2010) os pequenos açudes que formam a Bacia Hidrográfica do Açude Público de Sumé são reservatórios construídos em propriedades particulares e que não apresentam monitoramento hidrometeorológico. Mas são conhecidas as principais demandas atendidas por eles, a saber:

- O uso dos pequenos açudes para piscicultura é o mais expressivo, ocorrendo em 85% dos mesmos, sendo a forma de piscicultura extensiva a mais praticada e ocorre em 60% dos casos.
- A pecuária, que apresenta um significativo fator econômico para as famílias desta região, implicando em uma utilização de um pouco mais de 80% dos pequenos açudes para a dessedentação de animais.

- O plantio de vazante aproveita água de cerca de 59% dos açudes da região da bacia.
- A agricultura irrigada que faz uso da água de 27% dos pequenos açudes.
- O uso doméstico da água – para cozinhar, beber e lavagem de roupa – foi identificado por Barros(2010) em 20% dos açudes estudados, dentre os visitados pelo projeto de DISPAB (Silans et al.;2009).

Os dados dos 20 açudes selecionados para compor a amostra estão apresentados na tabela 1.

**Tabela 1-** Açudes da Bacia de Sumé objetos de estudo pelo projeto DISPAB-AS selecionados para compor a amostra – Caso ( $\alpha$ )

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOME DO AÇUDE</b>	<b>MUNÍCIOPIO</b>	<b>VOLUME ARMAZENADO (m³)</b>	<b>CAPACIDADE MÁXIMA (m³)</b>
<b>03</b>	<b>Leonardo</b>	<b>Sumé</b>	<b>322.379,90</b>	<b>479.858,72</b>
<b>44</b>	Lindalva	Sumé	104.206,90	138.570,50
<b>51</b>	Marmeleiro	Sumé	246.276,40	291.428,30
<b>71</b>	Ministro Aposentado	Prata	535.917,40	636.465,96
<b>72</b>	Raminho	Prata	273.196,90	434.815,48
<b>73</b>	Amparinho	Prata	143.063,50	197.466,38
<b>75</b>	Paulo Leite	Prata	100.086,40	137.338,32
<b>132</b>	(Sem nome)	Sumé	169.876,40	206.062,89
<b>144</b>	Juraci	Monteiro	190.670,00	251.329,71
<b>181</b>	Uruçu	Monteiro	1.044.782,10	1.656.129,28
<b>184</b>	Jatobá	Monteiro	415.975,70	610.511,08
<b>191</b>	Salgadinho	Monteiro	101.596,40	125.049,71
<b>238</b>	Pé da Serra	Prata	366.862,40	555.926,57
<b>248</b>	Matarina	Prata	285.145,20	367.142,12
<b>255</b>	Mujiqui	Prata	153.099,20	174.811,71
<b>277</b>	São Francisco	Prata	121.315,90	151.682,58
<b>401</b>	Bethânia	Ouro Velho	125.206,40	171.833,49
<b>433</b>	Dom Pedro II	Ouro Velho	107.002,10	148.503,27
<b>438</b>	Quarteirão	Ouro Velho	221.440,90	291.406,68
<b>628</b>	Braço do São Paulo	Ouro Velho	209.186,90	287.950,18

**Fonte:** Adaptado de COSTA (2011).

#### 4.1.4. Considerações sobre o sistema

Os estudos relacionados a esta bacia devem considerar a importância dos pequenos açudes para suprir as demandas da região, as contribuições socioeconômicas decorrentes de suas construções e ainda as implicações negativas que podem advir dos mesmos; como a inutilização da terra, a geração de novos conflitos relativos à alocação da água, a influência que

estes pequenos reservatórios tem sobre os maiores e sobre as características nativas da vegetação, relevo, etc.

Com base nestes aspectos é que deve ser feita uma abordagem do processo decisório, apreciando ainda outras características do sistema como um todo, entre elas: a capacidade de operação integrada, as mudanças socioculturais derivadas da implantação de novos açudes, ou desativação de alguns, e as formas utilização mais eficientes; para favorecer o melhor uso possível destes reservatórios e em casos excepcionais até mesmo o seu descomissionamento.

#### *4.1.5. Os indicadores*

Os indicadores empregados para a caracterização e análise deste sistema são apresentados por Monte (2013), agrupados por dimensão e resumidos num quadro (Quadro 3) quanto às suas definições, formas de obtenção e métrica.

Os valores de cada Indicador são apresentados no anexo A1.

**Quadro 5** - Resumo dos critérios segundo a dimensão financeira – Caso ( $\alpha$ )

DIMENSÃO	CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	EXPRESSO EM
<b>ECONÔMICO-FINANCEIRO</b>	- Custo de Investimento	- Implantação	- Expressa o valor aproximado da construção dos açudes.	- Obtido no software Labfit	- R\$
		- Operação	- Expressa os custos anuais na manutenção desses açudes.	- Obtido no software Labfit.	- R\$/ano
	- Lucratividade	- Lucro agrícola	- Representa a lucratividade obtida com o aumento de água para atendimento à demanda das culturas agrícolas.	- Obtido no modelo de otimização (ORNAP).	- R\$/ano
		- Lucro piscícola	- Apresenta a criação de peixes como alternativa para geração de renda e como fonte geradora de emprego para a população ribeirinha.	- Obtido no modelo de otimização (ORNAP).	- R\$/ano

Fonte: Monte (2013).



**Quadro 6 - Resumo dos critérios segundo a dimensão social - Caso (α).**

DIMENSÃO	CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	EXPRESSO EM
SOCIAL	- Geração de emprego	- Empregos na agricultura	- Informa a quantidade de diárias geradas por ano na agricultura.	- Obtido no modelo de otimização (ORNAP).	- diárias/ano
		- Empregos na piscicultura	- Informa a quantidade de diárias geradas por ano na piscicultura.	- Obtido no modelo de otimização (ORNAP).	- diárias/ano
	- Geração de renda	- Renda na agricultura	- Estão relacionadas ao aumento da oferta hídrica para a população e para atividades agrícolas, piscícolas e outras atividades.	$-Renda = \frac{n^{\circ} \text{ diárias} * \text{preço} * \text{ciclo}}{360}$	- R\$/ano
		- Renda na piscicultura		$-Renda = \frac{(Pd * Pr - Cal) * Amin}{Ne}$	- R\$/ano
		- Atendimento à demanda		- Obtido no modelo de otimização (ORNAP)	- %
	- Abastecimento humano	- Atendimento à demanda	- O benefício obtido com seu atendimento pode superar o custo ambiental, uma vez que a falta d'água nas cidades pode apresentar consequências desastrosas.		
	- Expectativa de vida	- Proliferação de doenças de veiculação hídrica	- Informa se houve contaminação do corpo d'água por meio da lavagem de roupas feitas diretamente no açude e/ou os animais beberem a água diretamente no açude. Contaminação que pode vir a causar doenças.	- Levado em consideração a possibilidade de contaminação dessa água através da forma que é utilizada.	- Sim/Não

Fonte: Monte (2013)

**Quadro 7 - Resumo dos critérios segundo a dimensão ambiental – Caso (α)**

DIMENSÃO	CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	EXPRESSO EM
AMBIENTAL		- Danos à fauna	- Descreve os impactos causados à fauna devido à inundação de reservatórios.	- É o somatório entre a área máxima do açude e a área máxima da agricultura irrigada.	- ha
	- Impacto no meio biótico	- Danos à flora	- Descreve os impactos causados à flora devido à inundação de reservatórios.	- É o somatório entre a área máxima do açude e a área máxima da agricultura irrigada.	- ha
		- Possibilidade de erosão	- Descreve a contribuição do desmatamento de áreas para o aumento da erosão do solo.	- Estimada em função da área agrícola obtida pelo Modelo de Otimização (ORNAP).	- ha
	- Impacto no meio abiótico	-Poluição hídrica	- Informa se houve poluição do corpo d'água por meio da lavagem de roupas feitas diretamente no açude e/ou os animais beberem a água diretamente no açude.	- Levado em consideração a forma de utilização da água (lavagem da água diretamente e /ou o rebanho bebe água diretamente no açude).	- Sim/Não
		- Exploração dos recursos naturais	- Descreve os efeitos adversos (desmatamento, inundação ou geológicos) que pode causar sob a ótica ambiental.	- Levado em consideração o Índice de Utilização da Potencialidade (IUP), obtido através do modelo de otimização (ORNAP).	- %

Fonte: Monte (2013).

**Quadro 8 -** Resumo dos critérios segundo a dimensão técnico-operacional – Caso ( $\alpha$ )

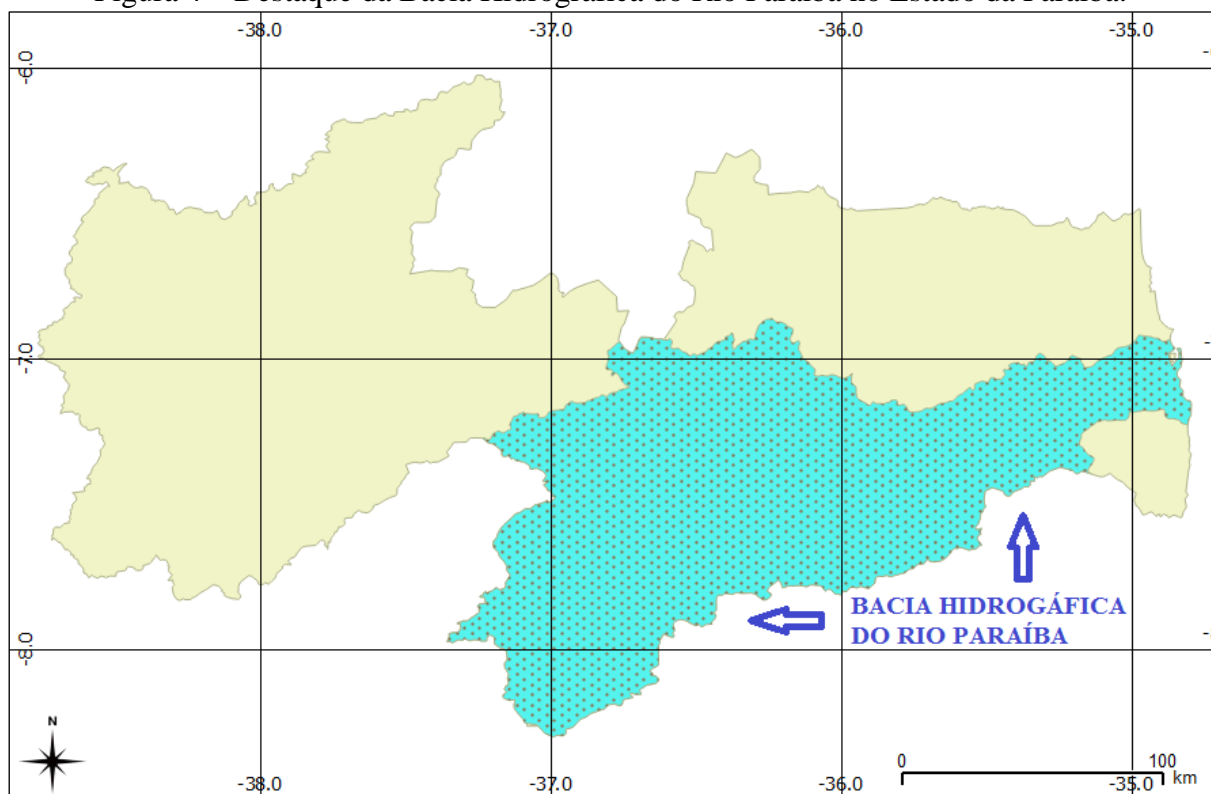
DIMENSÃO	CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	EXPRESSO EM
<b>TÉCNICO- OPERACIONAL</b>		- Impactos à jusante.	- Volume retirado de jusante.	- $(1 - \eta_v)$	- %
	- Riscos	- Índices de Hashimoto (Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade).	- Representam as características das falhas de cada sistema.	- Obtidos no modelo de otimização ORNAP.	- %
	- Potencial de exploração das águas do reservatório.	- Qr90	- Vazão regularizada anual com 90% de garantia.	- Obtida no modelo de simulação Acquanet.	- %
		- Relações entre a potencialidade, disponibilidade e o uso da água dos reservatórios ( IAP, IUD e IUP);	- Relações percentuais entre afluxos, disponibilidade e uso da água no reservatório.	- Obtidos no modelo de otimização ORNAP	- %
	- Indicadores de eficiência e sustentabilidade do reservatório.	- Indicadores hídricos relativos a a variabilidade volumétrica, evaporação, precipitação e vertimento no reservatório ( $\eta_{Vr}$ , $\eta_E$ , $\eta_p$ , $\eta_V$ e $\eta_e$ )	- Relações percentuais da variabilidade volumétrica, precipitação, evaporação e vertimento anuais relativo aos afluxos.	- Obtidos no modelo de otimização ORNAP	- %

Fonte: Monte (2013).

#### 4.2. Estudo de Caso ( $\beta$ )

Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba é a maior em termos de extensão territorial. Dentre as quatro sub-bacias localizadas nesta Bacia Hidrográfica, a sub-bacia do Alto do Paraíba é a maior delas, com 33% da extensão territorial (6.717,39 km<sup>2</sup>), seguida da sub-bacia do Rio Taperoá com 28% da área (5.666,38 Km<sup>2</sup>), a sub-bacia do Baixo Paraíba detém 20% da extensão total (3.925,40 Km<sup>2</sup>) e finalmente a sub-bacia do Médio Paraíba (3.760,65 Km<sup>2</sup>), observe as Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Destaque da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba no Estado da Paraíba.



Elaboração do Autor.

A Região do Médio Curso do Rio Paraíba foi escolhida como a área escolhida para testar a viabilidade do modelo e abrange dezenove municípios: Alcantil, Aroeiras, Barra de Santana, Barra de São Miguel, Boa Vista, Boqueirão, Campina Grande, Caturité, Fagundes, Gado Bravo, Itatuba, Montadas, Natuba, Pocinhos, Puxinanã, Queimadas, Riacho de Santo Antônio, Santa Cecília e Umbuzeiro.



Quadro 9 – Resumo geral dos indicadores – Caso (β)

DIMENSÃO	CATEGORIA	INDICADORES	DESCRIÇÃO	JUSTIFICATIVA	FÓRMULA	OBSERVAÇÕES
FONTES D'ÁGUA	Rios	1. Disponibilidade dos rios	Consiste na quantidade de água disponível nos rios para atender às necessidades do município. Demanda hídrica anual do município dividido pela soma dos afluxos anuais em hm³/ano, Q90 ou QR90. Se for maior que 1 significa o não atendimento à demanda da cidade; se for < que 1 atende a demanda da cidade.	A maior disponibilidade relativa permitirá verificar possibilidades de atendimento ou expansão às demandas hídricas (cidades ribeirinhas ou que captam água em rios)	(1) existe disponibilidade nos rios; (0) Não existe disponibilidade nos rios.	Relação: Positiva (maximiar) Fonte: Pzlan Estadual de Recursos Hídricos (PERH) ou Órgão responsável pela Gestão da água. Origem dos dados: Secundários
	Reservatórios	2. Disponibilidade dos reservatórios com relação ao uso	Volume realmente disponível para atender as demandas hídricas do município. É a potencialidade (afluentes) menos as perdas por vertimento e evaporação, ou seja, a água que poderá ser utilizada. Demanda hídrica do município dividido pela soma dos afluxos de água no reservatório que abastece o município deduzido das perdas não controláveis (evaporação e vertimento).	A existência de maior disponibilidade de água no (s) reservatório (s) que abastece (m) o município implica em melhores condições para atender as necessidades aos vários tipos de uso da água, desde que a gestão busque meios para planejar a sua utilização. Implica em identificar se a cidade capta água de reservatórios e se o reservatório já entrou em situação de observação (colapso).	(1) Existe disponibilidade de reservatório no município com relação ao uso; (0) Não existe disponibilidade do reservatório no município ou o reservatório já entrou em situação de observação (com percentual de abastecimento menor do que 20%), ou no município não existe reservatório.	Relação: Positiva (maximizar) Fonte: Órgão responsável pela Gestão da Água (PERH). Origem dos dados: Secundários
		3. Potencialidade dos reservatórios com relação ao uso.	A potencialidade do reservatório está associada a todo afluxo de água ao reservatório, ou seja, é toda a água que pode afluir do reservatório. Demanda hídrica do município dividido pela soma dos afluxos de água no (s)	A existência de uma maior potencialidade relativa do(s) reservatório (s) que fornece (m) água para o município implica em melhores condições para atender potenciais demandas dos vários tipos de uso da água. Considera-se a média dos	Capacidade máxima do reservatório / 3 (estimativa dos afluxos anuais) / população total do município.	Relação: Positiva (maximizar) Fonte: PERH ou Órgão responsável pela Gestão da Água (PERH). Origem dos dados: Secundários

	reservatório(s) que abastece(m) o município.	afluxos do reservatório em determinado período.	
Poços	4. Potencial de expansão das reservas hídricas (expansão do abastecimento, reservatórios etc)	Demonstra se no município existe potencial de aumento nas reservas hídricas para atender as demandas futuras de água.	<p>A existência dessa possibilidade implica em melhores condições para atender as necessidades dos vários usos da água, desde que se busquem meios para planejar a sua utilização.</p> <p>(1) Sim; (0) Não.</p> <p>Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Informação pode ser disponibilizada pelo órgão responsável do município. PISF. Origem dos dados: Primários</p>
	5. Fração das residências atendidas por poços	Indica a fração (percentual) das residências do município que são atendidas por poços subterrâneos.	<p>Trata-se de uma estimativa relacionada à população total do município que está sendo atendida por poços subterrâneos, ou seja, a quantidade de poços subterrâneos que está contribuindo para atender a demanda local de água. Nesse indicador serão utilizadas as informações relacionadas a quantidade de poços de água doce, salobra e salgada</p> <p>Quantidade de poços subterrâneos no município / N° de residências no município. Se for, por exemplo, poço artesiano administrado por uma companhia de água, pode-se calcular a relação entre a vazão bombeada e a vazão consumida.</p> <p>Relação: Positiva (maximizar) Fonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2005) Origem dos dados: Secundários</p>
	6. Potencial de expansão dos poços subterrâneos	Demonstra se no município existe potencial de expansão dos poços subterrâneos para atender as demandas de água.	<p>(1) Sim; (0) Não. O critério para classificar os municípios foi feito considerando a qualidade da água dos poços subterrâneos, ou seja, para os municípios que dispõem de água subterrânea com característica doce (boa) atribuiu-se o valor 1 e para os municípios com característica da água salobra ou ruim (ruim) atribuiu-se valor 0.</p> <p>A existência do potencial de expansão dos poços no município implica em melhores condições para atender as necessidades dos vários usos da água, desde que se busquem meios para planejar a sua utilização.</p> <p>Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Paraíba (2006) – PERH/PB ou órgão responsável. Origem dos dados: Primários e secundários</p>

DEMANDA DE ÁGUA		7. Índice de qualidade da água dos poços subterrâneos	Retrata a qualidade da água dos poços subterrâneos da região (classe 1 (doce) – águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰; classe 2 (salgada) – águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰; classe salobra – águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.	Entende-se que quanto maior as disponibilidades hídricas subterrâneas do município, melhor poderão ser as estratégias para o seu uso e atendimento às necessidades locais.	Quantidade de poços com água doce x 1,00 + quantidade de poços com água salobra x 0,50 + quantidade de poços com água salina x 0,00 / quantidade de poços existentes. Interpretação: Valor próximo a 1,00 = água boa Valor próximo a 0,00 = água ruim (0) Caso não existam informações disponíveis para o município.	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: CPRM (2005). Origem dos dados: Secundários
		8. Potencial de expansão das cisternas	Demonstra se no município existe potencial de expansão das cisternas para atender as demandas de água.	A existência do potencial de expansão cisternas depende de investimentos a ser realizado, o que implica em melhores condições para atender as necessidades dos vários usos da água.	(1) Sim; (0) Não; ou Caso não existam informações disponíveis para o município.	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Informação pode ser disponibilizada pelo Governo do Estado ou órgão responsável do município. Origem dos dados: Secundários
	Humana	9. Consumo <i>per capita</i> de água da população	Refere-se à estimativa de consumo água consumida por cada um dos consumidores do município.	Fornecer indícios se a população desperdiça água quer seja por aspectos culturais ou por infraestruturas hidráulicas menos econômicas. Essa informação pode fornecer subsídios quanto a definição de estratégias relacionadas a gestão do sistema de abastecimento.	Adotou-se os critério da CAGEPA, portanto, população total x consumo (l/hab/dia). População Consumo (l/hab/dia) X < 10.000: 120 litros 10.000 < x < 100.000: 150 litros 100.000 < x < 300.000: 200 litros 300.000 < x < 500.000: 250 litros x > 500.000: 300 litros	Relação: Positiva (maximizar) Fonte: Parâmetros da CAGEPA ou Companhia responsável. Origem dos dados: Secundários.
	Animal	10. Consumo relativo de água da bovinocultura com relação ao consumo dos animais do município.	Refere-se à fração relativa de água consumida por bovinos com relação à demanda de água do município.	Entende-se que o consumo relativo dos bovinos em relação à demanda do município indica o impacto desta	Estimativa de consumo por cabeça/dia (litros) multiplicado pelo número de cabeças na referida localidade dividido pela demanda	Relação: Positiva (Maximizar) Fonte: IBGE; Curi e Curi (2011). Origem dos dados: Secundários.



		atividade no consumo de água do município.	por água do município (abastecimento humano e dessedentação animal).	
11. Consumo relativo de água da equinocultura com relação ao consumo dos animais do município.	Refere-se à fração relativa de água consumida por bovinos com relação à demanda de água do município.	Entende-se que o consumo relativo dos equinos em relação à demanda do município indica o impacto desta atividade no consumo de água do município.	Estimativa de consumo por cabeça/dia (litros) multiplicado pelo número de cabeças na referida localidade dividido pela demanda por água do município (abastecimento humano e dessedentação animal).	Relação: Positiva (Maximizar) Fonte: IBGE; Curi e Curi (2011). Origem dos dados: Secundários.
12. Consumo relativo de água da suinocultura com relação ao consumo dos animais do município	Refere-se à fração relativa de água consumida por suínos com relação à demanda de água do município.	Entende-se que o consumo relativo dos suínos em relação à demanda do município indica o impacto desta atividade no consumo de água do município.	Estimativa de consumo por cabeça/dia (litros) multiplicado pelo número de cabeças na referida localidade dividido pela demanda por água do município (abastecimento humano e dessedentação animal).	Relação: Positiva (Maximizar) Fonte: IBGE; Curi e Curi (2011). Origem dos dados: Secundários.
13. Consumo relativo de água da caprinocultura com relação ao consumo animais do município.	Refere-se à fração relativa de água consumida por caprinos com relação à demanda de água do município.	Entende-se que o consumo relativo dos caprinos em relação à demanda do município indica o impacto desta atividade no consumo de água do município.	Estimativa de consumo por cabeça/dia (litros) multiplicado pelo número de cabeças na referida localidade dividido pela demanda por água do município (abastecimento humano e dessedentação animal).	Relação: Positiva (Maximizar) Fonte: IBGE; Curi e Curi (2011). Origem dos dados: Secundários.
14. Consumo relativo de água da ovinocultura com relação ao consumo dos animais do município.	Refere-se à fração relativa de água consumida por ovinos com relação à demanda de água do município.	Entende-se que o consumo relativo dos ovinos em relação à demanda do município indica o impacto desta atividade no consumo de água do município.	Estimativa de consumo por cabeça/dia (litros) multiplicado pelo número de cabeças na referida localidade dividido pela demanda por água do município (abastecimento humano e dessedentação animal).	Relação: Positiva (Maximizar) Fonte: IBGE; Curi e Curi (2011). Origem dos dados: Secundários.

				e dessendentação animal).	
<b>Irrigação</b>	15. Consumo relativo de água por hectares de lavoura permanente.	Refere-se à fração relativa de água consumida pela lavoura permanente no município. Deve-se identificar o (s) tipo (s) de cultura (s) predominante (s) de cada município.	Argumenta-se que quanto menor a fração relativa de água consumida por hectare irrigado (cultura permanente) de determinado município, maiores serão as estratégias relacionadas à gestão dos recursos hídricos e consequentemente, maiores podem ser ganhos sociais, econômicos e ambientais do município.	Estimativa de consumo por hectare/dia multiplicado pelo número de hectares de lavouras permanentes dividido pela demanda de água do município.	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Paraíba; IBGE; Curi e Curi (2011). Origem dos dados: Secundários.
	16. Consumo relativo de água por hectare de lavoura sazonal	Refere-se à fração relativa de água consumida pela lavoura sazonal no município. Deve-se identificar o (s) tipo (s) de cultura (s) predominante (s) de cada município.	Argumenta-se que quanto menor a fração relativa de água consumida por hectare irrigado (cultura permanente) de determinado município, maiores serão as estratégias relacionadas à gestão dos recursos hídricos e consequentemente, maiores podem ser ganhos sociais, econômicos e ambientais do município	Estimativa de consumo por hectare/dia multiplicado pelo número de hectares de lavouras sazonais dividido pela demanda de água utilizada na irrigação do município.	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Paraíba; IBGE; Curi e Curi (2011). Origem dos dados: Secundários.
<b>Piscicultura</b>	17. Existência de piscicultura no município	Informa se no município existe criação de peixes para uso consuntivo da água.	A justificativa para adotar esse indicador vem do fato de que a piscicultura está se desenvolvendo de maneira progressiva em todo o mundo. Notadamente pelo avanço tecnológico na área de nutrição, genética e instalações, influenciada também pelo aumento da	Sim (1); Não (0).	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Informações disponibilizadas pelo gestor municipal ou pela secretaria responsável. Origem dos dados: Primários.

GESTÃO DA ÁGUA				demanda e redução nos estoques naturais (CURI; CURI, 2011).		
		18. Possibilidade de expansão da piscicultura no município	Informa se no município existe possibilidade de expansão da piscicultura.	A justificativa para adotar esse indicador vem do fato de que a piscicultura está se desenvolvendo de maneira progressiva em todo o mundo. O raciocínio adotado para esse indicador foi o seguinte: o município que dispôr de reservatórios funcionando podem subsidiar políticas públicas para implementação desse tipo de atividade, uma vez que, exige baixo investimento.	Sim (1); Não (0).	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Informações disponibilizadas pelo gestor municipal ou pela secretaria responsável. Origem dos dados: Primários.
	Energia	19. Existência ou possibilidade de produção e transmissão de energia hidrelétrica no município	Informa se no município há geração e transmissão de energia hidrelétrica, ou se existe possibilidade de geração e transmissão.	A produção de energia elétrica por meio de usinas hidrelétricas é uma importante contribuição dos recursos hídricos.	Sim (1); Não (0).	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Informações disponibilizadas pelo gestor municipal ou pela secretaria responsável. Origem dos dados: Primários.
	Comitê	20. Representante do município participando do comitê de bacia hidrográfica	Identifica se no município existe algum representante local participando das deliberações do comitê de bacia hidrográfica.	A participação de representantes locais contribui significativamente para direcionar os anseios da sociedade local em relação a políticas de gestão da água e consequente para o desenvolvimento sustentável local.	Sim (1); Não (0).	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (Edital Nº 10, 28.09.2011 do CBH-PB) Origem dos dados: Primários
	Outorga	21. Fração da demanda de água outorgada para	Indica o volume anual em m³ que foram destinados à outorga para abastecimento humano no município, ou	A justificativa para a adoção desse indicador se alicerça no fato de que a outorga é um	Volume anual de água outorgado para abastecimento humano / Volume	Relação: Positiva (maximizar). Origem dos dados: Secundários. Fonte:

	abastecimento humano	seja, quanto da água que foi disponibilizada para a população que foi outorgada para essa finalidade.	instrumento que assegura ao interessado o direito de utilizar a água de uma determinada fonte hídrica, com uma vazão e finalidade para o abastecimento humano e por um período de definido.	anual total outorgado em m³.	AESA (2012) ou órgão responsável.
	22. Fração da demanda de água outorgada para irrigação	Indica o volume anual em m³ que foram destinados à outorga para irrigação no município, ou seja, quanto da água que foi disponibilizada para a população que foi outorgada para essa finalidade.	A justificativa para a adoção desse indicador se alicerça no fato de que a outorga é um instrumento que assegura ao interessado o direito de utilizar a água de uma determinada fonte hídrica, com uma vazão e finalidade para a irrigação e por um período de definido.	Volume anual de água outorgado para irrigação / Volume anual total outorgado em m³.	Relação: Positiva (maximizar). Origem dos dados: Secundários. Fonte: AESA (2012) ou órgão responsável.
	23. Fração da demanda de água outorgada para abastecimento rural (exceto irrigação)	Indica o volume anual em m³ que foram destinados à outorga para abastecimento rural no município, ou seja, quanto da água que foi disponibilizada para a população que foi outorgada para essa finalidade.	A justificativa para a adoção desse indicador se alicerça no fato de que a outorga é um instrumento que assegura ao interessado o direito de utilizar a água de uma determinada fonte hídrica, com uma vazão e finalidade para o abastecimento rural e por um período de definido.	Volume anual de água outorgado para abastecimento rural / Volume anual total outorgado em m³.	Relação: Positiva (maximizar). Origem dos dados: Secundários. Fonte: AESA ou órgão responsável, 2012.
<b>Tratamento e Distribuição</b>	24. Índice de atendimento urbano de água.	Consiste no percentual da população urbana atendida pela rede de distribuição de água tratada.	Quanto maior for o percentual de atendimento urbano de água, melhores serão possibilidades de se estabelecer as estratégias de gestão da água e consequentemente o desenvolvimento sustentável local.	(0) Não há rede de distribuição de água no município (1) A rede de distribuição atende entre 1 e 25% da população; (2) A rede de distribuição atende entre 26 e 50% da população;	Relação: Positiva (maximizar) Fonte: SNIS, 2010 e órgão responsável pela distribuição de água no município. Origem dos dados: Primários e Secundários.

GESTÃO DAS CIDADES EM RELAÇÃO À ÁGUA					(3) A rede de distribuição atende entre 51 e 75% da população;	
					(4) A rede de distribuição atende entre 76 e 100% da população.	
					(0) Fração de perdas na distribuição de água entre 0 e 25%;	
Esgotos	25. Fração de perdas na distribuição da água	Indica o percentual de perdas na distribuição da água tratada e pronta para consumo, ou seja a fração de água que está sendo desperdiçada na rede de distribuição do sistema, evidenciando a eficiência do mesmo.	Estratégias para diminuir as perdas na distribuição da água refletem diretamente na quantidade de água disponibilizada aos vários usos, de modo que esforços realizados para atingir percentuais menores contribuem significativamente para a gestão da água.		(1) Fração de perdas na distribuição de água entre 26 e 50%;	Relação: Negativa (minimizar). Fonte: SNIS, 2010 e órgão responsável pela distribuição de água no município. Origem dos dados: Primários e Secundários.
	26. Percentual da coleta de esgoto no município	Expressa o percentual de coleta de esgoto do município.	Seu uso se justifica, uma vez que revela fragilidades que podem ser discutidas e melhoradas, quando se apresenta baixos níveis desse percentual, denotando a necessidade de definir políticas públicas mais alinhadas em relação à coleta de esgotos.	Percentual de coleta de esgoto do município.		Relação: Positiva (maximizar). Fonte: SNIS, 2010. Origem dos dados: secundários.
Gestão Financeira	27. Despesa <i>per capita</i> com saúde	Evidencia o valor total gasto por habitante com a saúde pela gestão do município.	Esse indicador tem relação com a gestão da água quando se considera que o total de gastos com saúde em determinado município se relaciona com a adoção de medidas para combater o aumento das doenças de veiculação hídrica.	Valor total gasto com saúde no município/ População total do município		Relação: Positiva (maximizar). Fonte: SAGRES On Line (2012). Origem dos dados: Secundários.

	28. Transferências de recursos correntes por habitante	Indica o total de transferências correntes por habitante.	Justifica-se pelo fato de retratar a tendência dos estados e municípios em participar cada vez mais do financiamento dos recursos federais, de forma a reduzir a participação da União para gerir as necessidades locais por habitante	Valor em R\$ das transferências correntes / População total do município.	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: SAGRES On Line (2012). Origem dos dados: Secundários.
	29. Despesa <i>per capita</i> com saneamento	Corresponde ao valor gasto pelo município com saneamento, oriundo principalmente de recursos federais, e que corresponde à formulação e implementação de políticas para o setor, implantação e melhoria de sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e destino de lixo, e defesa contra poluição, erosões, secas e inundações.	Esse indicador é relevante, pois tem relação direta ou indireta com questões relacionadas à gestão da água.	Valor total gasto pelo município com saneamento em R\$ / População Total do Município.	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: SAGRES On Line (2012). Origem dos dados: Secundários.
	30. Despesa <i>per capita</i> com gestão ambiental	Indica o total das despesas do município com gestão ambiental.	Considera-se esse indicador importante uma vez que é possível retratar o panorama do município em relação à gestão ambiental, ou seja, quanto o município investiu em Preservação e Conservação Ambiental, Controle Ambiental, Recuperação de Áreas Degradadas, Recursos Hídricos e Meteorologia.	Valor total gasto pelo município com gestão ambiental (em R\$)	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: SAGRES On Line (2012). Origem dos dados: Secundários.
Resíduos Sólidos	31. Existência de aterro sanitário no município ou se no município existe projeto de implantação.	Identifica se no município existe aterro sanitário.	A existência de aterro sanitário é fundamental na avaliação das condições de saúde da população. O uso desse indicador se justifica pelo fato de que o aterro	(0) Não tem aterro sanitário (0,5) Em fase de discussão ou implementação (1) Existe aterro sanitário	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Informação disponibilizada pelo órgão responsável no município ou Atlas de

IMPACTOS	Sociais		sanitário ser o local adequado para armazenar o lixo coletado, capaz de inibir a proliferação de problemas ocasionados pela má gestão do lixo, o que supostamente pode afetar a qualidade da água, caso não haja um manejo adequado dos resíduos.		saneamento 2011. Origem dos dados: Primários.	
		32. Fração da população atendida pela coleta de lixo do município	Indica o percentual de lixo gerado no município que foi coletado pelo órgão responsável.	Parte-se do pressuposto de que quanto maiores forem os esforços realizados pelo município para coletar o lixo gerado, melhores serão níveis de sustentabilidade hídrica e ambiental.	Fração de lixo coletado no município	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: DATASUS (2009), IBGE. Origem dos dados: Secundários.
		33. IDH-M	O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é uma medida resumida em três dimensões básicas do desenvolvimento humano: renda, educação e saúde.	Esse indicador apresenta sua relevância, visto que fornece um retrato do nível de desenvolvimento através de aspectos de educação, longevidade e renda.	O índice, considerado aqui como indicador, varia de 0 (nenhum desenvolvimento humano) a 1 (desenvolvimento humano total).	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: IBGE. Origem dos dados: Secundários.
		34. Doenças transmitidas por veiculação hídrica	Indica se no município existem doenças transmitidas por veiculação hídrica (diarreias).	A prevalência dessas doenças constitui um forte indicativo da fragilidade dos sistemas públicos de saneamento (CALIJURI et al. 2009). Esse indicador fornece informações relevantes em relação ao tipo de doença relacionada ao contato com águas contaminadas e ainda com doenças relacionadas a verminoses (tendo a água como estágio no ciclo). Também exerce relação com aspectos relacionados	Esse indicador foi construído a partir da média de dois indicadores: Taxa de hospitalização por desidratação em menores de 5 anos e Taxa de mortalidade infantil por diarreia (por 1.000 nascidos vivos) / 2.	Relação: Negativa (minimizar). Fonte: DATASUS (2009), ou Secretaria de saúde do município. Origem dos dados: Secundários ou primários, dependendo da fonte adotada.

			à contaminação da água, especificamente em relação às doenças transmitidas por insetos.		
<b>Econômico</b>	35. PIB <i>per capita</i>	Esse indicador é definido através da razão entre o valor do Produto Interno Bruto (PIB) e a população residente no município.	O PIB per capita sinaliza o estado do desenvolvimento econômico, e o estudo de sua variação informa o comportamento da economia ao longo do tempo. Dessa forma, apresenta uma relação positiva com o desenvolvimento local porque mostra o comportamento da economia.	Valor da renda por habitante em R\$.	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: IBGE. Origem dos dados: Secundários.
	36. Susceptibilidade à desertificação	Indica a existência de entrelaçamento de fatores que provocam esse tipo de degradação (desertificação) da terra nas zonas secas, resultantes tanto das variações climáticas como das atividades humanas, atingindo os solos, os recursos hídricos, a vegetação, a biodiversidade e a qualidade de vida da população.	O uso desse indicador se justifica conforme os argumentos expostos pelo PAE-PB (2011), ou seja, os dados atualmente conhecidos sobre a desertificação em nível mundial apontam para a sua relevância como problema para a humanidade pelas indicações entre outras, de que alcança direta e indiretamente mais de 1 milhão de pessoas em mais de 100 países afetados; são perdidos cerca de seis milhões de hectares de terras aráveis e produtivas todos os anos; cerca de ¼ superfície terrestre sofre de degradação e erosão dos solos e os solos	Sim (1); Parcialmente (0,5); Não (0).  Levaram-se em consideração os parâmetros do índice de aridez.	Relação: Negativa (minimizar). Fonte: Órgão estadual responsável. Paraíba (2011) PAE-PB. Origem dos dados: Secundários.
<b>Ambientais</b>					



<p><b>PROTEÇÃO AMBIENTAL</b></p> <p><b>Educação Ambiental</b></p>			aráveis por pessoa diminui de 0,32 ha em 1961-1962, para 0,21 há em 1997-1999, esperando-se que diminua para 0,16 há em 2030.	
	37. Índice de aridez	Indica o estado de aridez do município. É utilizado para medir o grau de aridez (seca, desertificação) de uma determinada região.	Utilizar esse indicador pode trazer informações relevantes ao contexto da gestão hídrica.	<p>Relação: Negativa (minimizar)</p> <p>Fonte: Paraíba (2011) PAE-PB, ou órgão responsável. Origem dos dados: Secundários.</p> <p> <math>Ia &lt; 0,05 = \text{Hiper árido (5)}</math>  <math>0,05 &lt; Ia \leq 0,20 = \text{Árido (4)}</math>  <math>0,21 &lt; Ia \leq 0,50 = \text{Semiárido (3)}</math>  <math>0,51 &lt; Ia \leq 0,65 = \text{Sub-úmido seco (2)}</math>  <math>Ia &gt; 0,65 = \text{Sub-úmido, úmido (1)}</math> </p>
	38. IDEB – Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (4ª série / 5º ano).	O Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) é um indicador que combina informações de fluxo e de desempenho dos alunos, criado para promover um sistema de <i>accountability</i> visando à melhoria da qualidade da educação no país.	O Ideb também se coloca como condutor de política pública na área educacional, ao nortear as principais ações do Ministério da Educação para a educação básica. O indicador subsidia o monitoramento das metas estabelecidas pelo Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE), e que pode contribuir para uma maior conscientização do uso adequado da água. Afinal, parte-se do pressuposto de que quanto maior for o nível de educação, menores poderão ser os efeitos danosos ao meio ambiente e em especial aos recursos hídricos.	<p>Relação: Positiva (maximizar).</p> <p>Quanto maior esse indicador, melhor o índice; quanto menor, pior o índice. Fonte: BRASIL - IDEB. <a href="http://portal.mec.gov.br/index.php?Itemid=336">http://portal.mec.gov.br/index.php?Itemid=336</a></p> <p>Origem dos dados: Secundários.</p> <p>O indicador desenvolvido é representado pela seguinte fórmula:  <math>Ideb = N \times P</math>, na qual N corresponde à média das notas dos alunos na Prova Brasil e P à taxa média de aprovação. A média de proficiência dos alunos combina as notas de matemática e português e é padronizada para estar entre zero e dez, assim como o Ideb. A taxa de aprovação, por sua vez, situa-se entre zero e um.</p>
	39. Existência de matas ciliares ou projetos para revitalização.	Esse indicador retrata se existem matas ciliares no município.	São florestas, ou outros tipos de cobertura vegetal nativa, que ficam às margens de rios, igarapés, lagos, olhos d'água e que	<p>Relação: Positiva (maximizar).</p> <p>Fonte: Informação disponibilizada pelo órgão responsável no</p> <p>(0) Não tem (0,5) Em fase de discussão ou implementação</p>

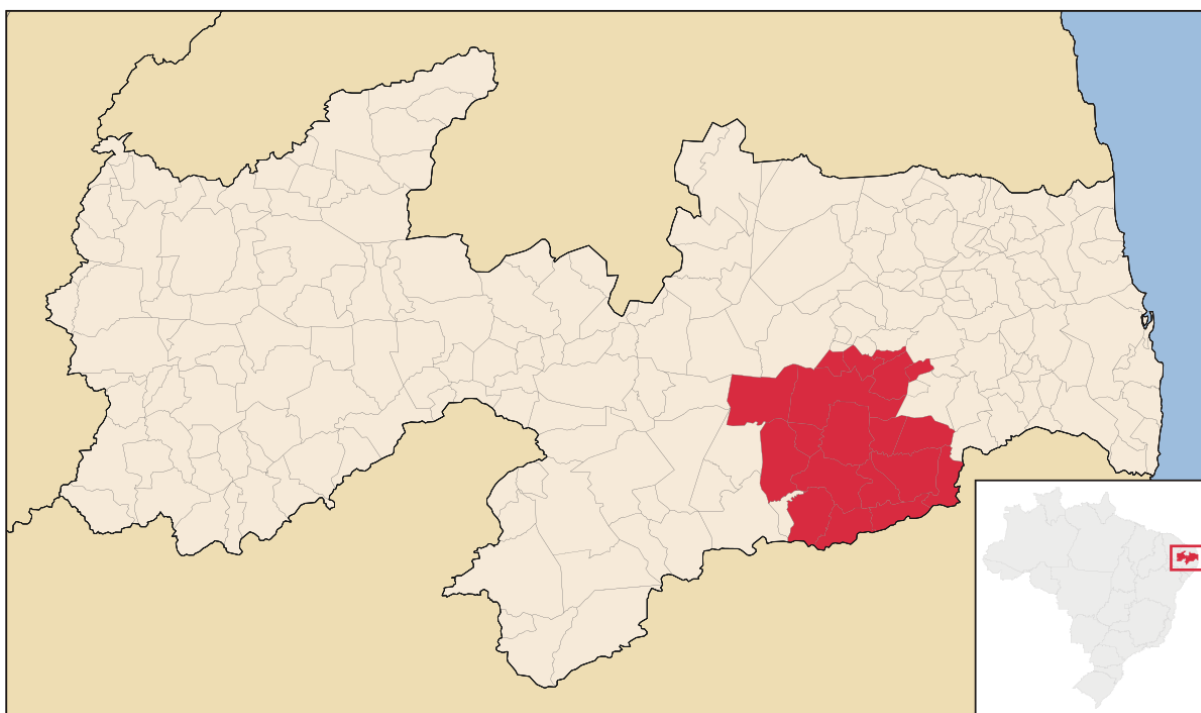
				podem conservar os recursos hídricos.	(1) Existe matas ciliares ou projetos para revitalização.	município (secretaria de meio ambiente). Origem dos dados: Primários.
40.	Existência de reserva legal	Indica se existe município reserva legal.	no	As reservas legais são as áreas de propriedade rural particular onde não é permitido o desmatamento (corte raso), pois visam manter condições de vida para diferentes espécies de plantas e animais nativos da região, auxiliando a manutenção do equilíbrio ecológico e em especial dos recursos hídricos.	Sim (1); Não (0).	Relação: Positiva (maximizar). Fonte: Informação disponibilizada pelo órgão responsável no Estado (secretaria de meio ambiente), Paraíba (2008). Origem dos dados: Primários.

Fonte: Adaptado de Carvalho (2013).

### 4.3. Estudo de Caso ( $\gamma$ )

A Região Metropolitana de Campina Grande (RMCG) foi criada no ano de 2009 pela Lei Complementar Estadual nº 92, de 11 de dezembro de 2009, sendo esta inicialmente composta por 23 municípios (PARAÍBA, 2009). Posteriormente, com a criação da Região Metropolitana de Esperança (Lei Complementar nº 106, de 08 de junho de 2012 – PARAÍBA, 2012) e da Região Metropolitana de Itabaiana (Lei Complementar nº 118, de 24 de janeiro de 2013 – PARAÍBA, 2013), alguns municípios que, a princípio compunham a RMCG, passaram a fazer parte das regiões recém-criadas. A configuração atual é apresentada na Figura 6, em destaque no estado da Paraíba e na Figura 7 com realce para os municípios que compuseram a amostra.

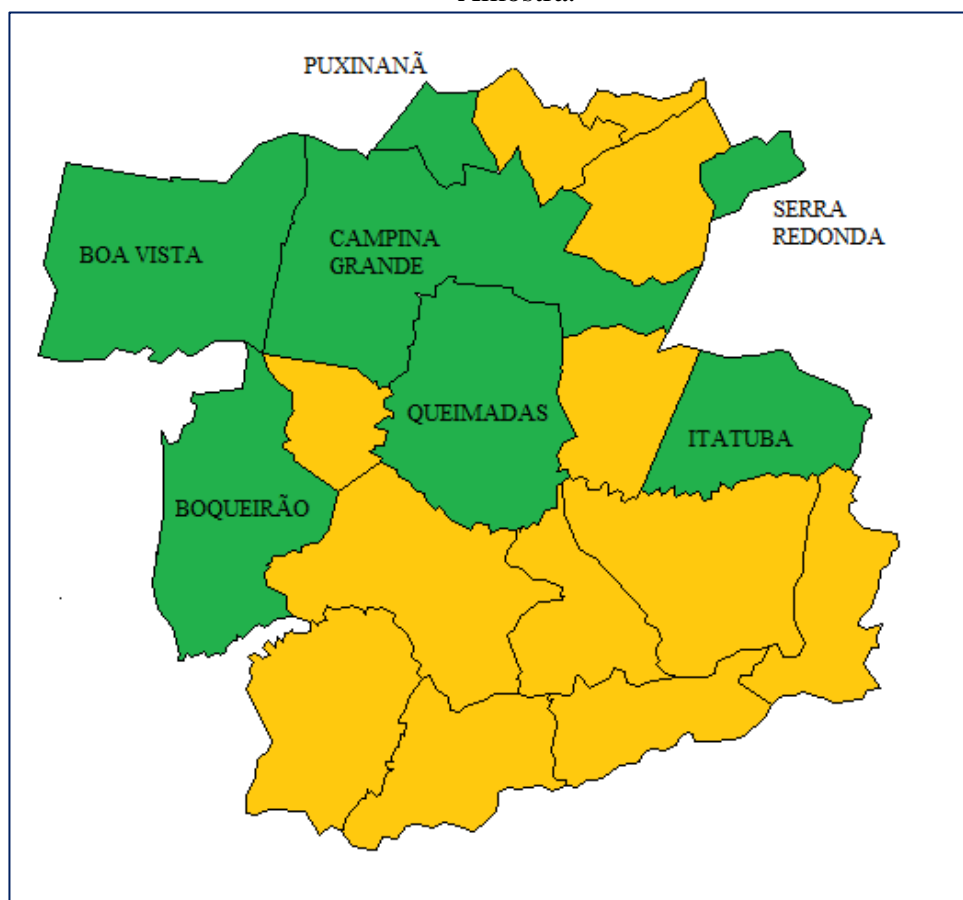
Figura 6 – Região Metropolitana de Campina Grande, destacada no mapa da Paraíba.



Atualmente, a região em estudo é composta por um total de 15 municípios, perfazendo cerca de 574.286 habitantes, levando em consideração dados do Censo 2010, distribuídos em 1.786,39 km<sup>2</sup>, o que corresponde a uma densidade demográfica de 321,48hab./km<sup>2</sup>.

Como forma de complementar as informações aqui expressas, a Figura 6 expõe a localização da Região Metropolitana de Campina Grande, no contexto do estado da Paraíba, com destaque para os municípios que compuseram a amostra da pesquisa. Enquanto na Tabela 2 apresentam-se dados populacionais dos municípios.

Figura 7 – Região metropolitana de Campina Grande com destaque para os municípios da Amostra.



Elaboração do Autor.

Tabela 2 – Municípios que compõem a RMCG

Município	Área (km²)	População (2013)	População Urbana	IDH (2010)	PIB <i>per capita</i> (R\$, 2011)
Aroeiras	374,697	19 259	9.531	0,548	4 608,60
Barra de Santana	376,912	8 305	731	0,567	4 728,19
<b>Boa Vista</b>	<b>476,541</b>	<b>6 669</b>	<b>3.208</b>	<b>0,649</b>	<b>15 655,44</b>
<b>Boqueirão</b>	<b>371,984</b>	<b>17 434</b>	<b>12.006</b>	<b>0,607</b>	<b>7 291,97</b>
<b>Campina Grande</b>	<b>594,182</b>	<b>400 002</b>	<b>367.209</b>	<b>0,720</b>	<b>13 774,91</b>
Caturité	118,081	4 714	1.024	0,623	8 001,26
Fagundes	189,026	11 449	5.465	0,560	4 532,34
Gado Bravo	192,406	8 466	908	0,513	4 671,08
<b>Itatuba</b>	<b>244,222</b>	<b>10 590</b>	<b>5.955</b>	<b>0,562</b>	<b>6 146,89</b>
Lagoa Seca	107,589	26 788	10.570	0,627	5 067,97
Massaranduba	205,957	13 438	4.484	0,567	4 518,21
Matinhas	38,124	4 453	682	0,541	5 371,39
<b>Puxinanã</b>	<b>72,680</b>	<b>13 386</b>	<b>4.217</b>	<b>0,617</b>	<b>4 538,20</b>
<b>Queimadas</b>	<b>401,776</b>	<b>42 586</b>	<b>22.236</b>	<b>0,608</b>	<b>5 947,21</b>
<b>Serra Redonda</b>	<b>55,905</b>	<b>7 089</b>	<b>3.608</b>	<b>0,570</b>	<b>5 474,44</b>

Fonte: Adaptado de Pereira (2014).

Pereira (2014) selecionou os municípios que apresentavam mais de que 50% da população concentrada na zona urbana (grifados na tabela 2) e acrescentou o município de

Puxinanã por conter o aterro sanitário destinado a receber os resíduos oriundos de Campina Grande (maior município da amostra) e da própria cidade, na época do estudo (ano de 2013).

Nestes termos, a amostra total foi composta por 46,6% dos municípios que fazem parte da Região Metropolitana de Campina Grande (RMCG), totalizando sete municípios. Em termos populacionais, a amostra foi composta por 83,44% da população total residente na RMCG. Levando em consideração a concentração desta população na área urbana do município, tem-se que os municípios alvos da pesquisa totalizam 92,6% da população urbana da referida região, garantindo, por conseguinte, a representatividade da amostra selecionada.

Os indicadores utilizados, seguidos das respectivas descrições aparecem nos Quadros de 8 a 11, que foram obtidos de Pereira (2014).

Quadro 10 – Resumo dos indicadores da Dimensão Ambiental – Caso ( $\gamma$ )

DIMENSÕES	CATEGORIAS	INDICADORES	FONTE DE COLETA DOS DADOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	TIPO DE RELAÇÃO DO INDICADOR E JUSTIFICATIVA	EXPRESSÃO EM
<b>1.</b>  <b>AMBIENTAL</b>	1. Geração de RSU	(1) Quantidade de RSU <i>per capita</i>	Gestor/Departamento de limpeza urbana	Quantidade diária de resíduos gerados pela população urbana	Quantidade diária de resíduos gerados x 1000 / população urbana	Min.  Quanto menor a quantidade de resíduos gerada menor os impactos	Kg/hab./dia
		(2) Quantidade de material coletado seletivamente ( <i>per capita</i> )	PNSB 2008	Apresenta a quantidade de RSU passíveis de reaproveitamento, recuperação e ou reciclagem.	Quantidade diária de resíduos coletados seletivamente x 1000 / pela população urbana atendida	Max.  Quanto maior a quantidade de resíduos coletados seletivamente, menor a disposição inadequada e, consequente, geração de impactos	Kg/mês
		(3) População atendida com os serviços de coleta seletiva (cobertura - <i>per capita</i> )	PNSB 2008	Apresenta o número total da população atendida por este serviço	Porcentagem da população urbana atendida ou % da área	Max.  Quanto maior a população atendida, menor a quantidade de resíduos dispostos inadequadamente	%
	2. Coleta seletiva e triagem	(4) Existência de centros de triagem e compostagem	PNSB 2008	Informa a existência de locais destinados para separação dos resíduos secos (recicláveis) e molhados (matéria orgânica)	Informações disponibilizadas pelo gestor municipal	Max.  A existência deste serviço implica na separação dos resíduos e posterior comercialização, representando um ganho ambiental, econômico e social	Sim (1)  Não (0)

3. Formas de Disposição final dos RSU coletados	(5) Taxa de conversão de matéria orgânica em composto orgânico	PNSB 2008	Este indicador representa a taxa de aproveitamento da matéria orgânica gerada pela população urbana	Composto orgânico produzido / pela quantidade de matéria orgânica encaminhada para compostagem	Max. Quanto maior a taxa de conversão, maior o aproveitamento da matéria orgânica e menor os danos ambientais decorrentes da decomposição	Kg/mês
	(6) Aterro sanitário	Gestor/ Atlas de Saneamento Básico (IBGE, 2011)	Representa a alternativa mais adequada para disposição correta dos resíduos	Em tendo uma única forma de disposição dos RSU do município, em caso de mais de uma alternativa, será calculada a % da área atendida para este tipo de disposição	Max. A presença dessa forma de disposição minimiza os impactos ambientais decorrentes dos RSU	Sim (1) Não (0)
	(7) Aterro Controlado	Gestor / Atlas de Saneamento Básico (IBGE, 2011)	Apesar de não ser a alternativa mais adequada para disposição dos resíduos, visto que atende parcialmente as normas ambientais, é menos degradante do que a exposição a céu aberto	Em tendo uma única forma de disposição dos RSU do município, em caso de mais de uma alternativa, será calculada a % da área atendida para este tipo de disposição	Max. A presença dessa forma de disposição pode vir a minimizar os impactos ambientais decorrentes dos RSU	Sim (1) Não (0)
		Gestor /			Min.	Sim (1)

(8) Vazadouro a céu aberto (lixão)	Atlas de Saneamento Básico (IBGE, 2011)	Forma mais impactante de disposição final de RSU ao meio ambiente, devendo esta ser encerrada até 2014, de acordo com a Lei nº 12.305/2010	Em tendo uma única forma de disposição dos RSU do município, em caso de mais de uma alternativa, será calculada a % da área atendida para este tipo de disposição	Esta é considerada a forma mais degradante de disposição dos RSU	Não (0)
(9) Recuperação das áreas de lixões	Gestor/Departamento de limpeza urbana	Este indicador representa a recuperação das áreas de antigos lixões existentes no município.	Informações disponibilizadas pelo gestor municipal	Max. Quanto maior a recuperação das áreas dos antigos lixões, menor os danos ao ambiente.	Sim (1) Não (0)

Fonte: Pereira (2014)



Quadro 11 – Resumo dos indicadores da Dimensão Social – Caso (γ)

DIMENSÕES	CATEGORIAS	INDICADORES	FONTE DE COLETA DOS DADOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	TIPO DE RELAÇÃO DO INDICADOR E JUSTIFICATIVA	EXPRESSO EM
2. <b>SOCIAL</b>	4. Dados demográficos	(10) Fração da população urbana atendida com coleta de lixo	Censo 2010	O serviço de coleta de RSU ocorre com maior regularidade nas áreas urbanas	População urbana atendida dividida pela população urbana total do município x 100	Max. Quanto maior a população urbana, maior a cobertura do serviço de coleta	Nº habitantes
		(11) Taxa de Urbanização de urbanização atendida pela coleta de lixo	Censo 2010	População urbana atendida pelo serviço de coleta de resíduos	População atendida dividido pela população total do município	Max. Taxa que representa a população beneficiada pelo serviço de coleta	%
	5. Saúde Pública	(12) Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado/resíduos	DATASUS/Secretária Municipal de Saúde	Representa as internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado/resíduos	Número de internações hospitalares por Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado x 100 dividido pela população total do município	Min. Quanto menor a porcentagem de população contaminada por este tipo de doença, melhor as condições de saneamento ambiental	%
						Min.	

<p>Inclusão social de catadores de material recicláveis</p>	6.	(13) Existência e número de catadores no lixão	Gestor/Departamento de limpeza urbana/ Secretaria de serviço social/ observação in loco	Expressa a existência de catadores no ambiente do lixão municipal, assim como a quantidade de pessoas que realizam a atividade de catação dos recicláveis	Dados informados pelo gestor municipal ou setor responsável pelo cadastramento e monitoramento da presença dos catadores na área do lixão municipal	Quanto menor a presença de catadores nos lixões, menor o impacto social, podendo este ser refletido pelas condições insalubres as quais estão expostos	Sim / Não e Nº Catadores/ ton. de lixo diária
	6.	(14) Existência e número de catadores nas ruas	Gestor/Departamento de limpeza urbana/ Secretaria de serviço social/ observação in loco	Informa sobre a existência de catadores nas ruas da cidade, assim como a quantidade de pessoas que realizam a atividade de catação dos recicláveis	Dados informados pelo gestor municipal ou setor responsável, podendo ainda ser mensurado indiretamente com o impacto nos catadores do lixão	Min. Quanto menor a presença de catadores nas ruas, menor a exposição destes as condições insalubres de trabalho	Sim / Não e Nº Catadores/ ton. de lixo diária
		(15) Número de catadores que são capacitados	Gestor/Departamento de limpeza urbana/ Secretaria de serviço social	Expressa a participação e aceitação dos catadores nos cursos de capacitação disponibilizados	Dados informados pelo gestor municipal ou setor responsável	Max. Quanto maior a capacitação dos catadores, maior a valorização desta nova categoria de trabalho e, consequente fortalecimento	Nº Catadores
		(16) Número de catadores cooperados e /ou associados	Gestor/Departamento de limpeza urbana/ Secretaria de serviço social	Busca verificar a aceitabilidade da categoria para com o processo organizativo	Dados informados pelo gestor municipal ou setor responsável dividido pelo	Max. Quanto maior o número de catadores cooperados, maior é o fortalecimento da categoria	Nº Catadores

		e sua efetiva participação	número total de catadores		
	(17) Parceria do poder público e catadores na separação dos resíduos com a existência de um cadastro de catadores	Gestor/Departamento de limpeza urbana/ Secretaria de serviço social	Representa os investimentos do poder público para com a atividade de catação dos recicláveis	Dados informados pelo gestor municipal ou setor responsável	Max. Quanto maior o número de parcerias, maior a inclusão social dos catadores e, consequente valorização da categoria
					Sim (1) Não (0)

Fonte: Pereira (2014)

Quadro 12 – Resumo dos indicadores da Dimensão Técnico-Operacional – Caso (γ)

DIMENSÕES	CATEGORIAS	INDICADORES	FONTE DE COLETA DOS DADOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	TIPO DE RELAÇÃO DO INDICADOR E JUSTIFICATIVA	EXPRESSO EM
3.  <b>TÉCNICO-</b>	7.  Sistema de Coleta e Transporte dos RSU	(18) Taxa de cobertura do serviço de coleta de RSU no município	CENSO 2010	Apresenta a parcela da população atendida pelos serviços de coleta dos RSU	Razão entre a população atendida com coleta convencional sobre população urbana, multiplicada por 100	Max.  Quanto maior a cobertura dos serviços de coleta, maior a população atendida e menor os impactos	% da área da cidade
		(19) Frequência da coleta de RSU no município	PNSB 2008	Expressa o intervalo de tempo em que a coleta de RSU é realizada	Média ponderada: somatória da área atendida x frequência dividido pela somatória da área total	Max.  Quanto maior a frequência da coleta dos resíduos, menor a exposição e disposição deste no meio ambiente	Dias/semana
		(20) Quantidade de Transportes utilizados na coleta dos RSU (per capita)	PNSB 2008	Indica o número de transportes disponíveis para o serviço de coleta dos RSU	Informações disponibilizadas pelo gestor ou responsável pelo setor de limpeza urbana	Min.  Quanto menor a quantidade de transporte, menor os custos com manutenção e maior a eficiência no que se refere a sua utilização	Unidades/habitantes
		(21) Adequação dos Transportes utilizados na coleta dos RSU a	Gestor/Departamento de limpeza urbana/ <i>observação in loco</i>	Objetiva verificar se os transportes utilizados estão de acordo com as normas específicas para este fim, de modo a evitar danos	Este se dará por meio das observações in loco aos municípios participantes da pesquisa, levando em consideração os	Max.  Quanto maior a adequação dos transportes, maior a eficiência dos serviços	Adequado (1)

OPERACIONAL	NBR – 13.221/2003		ao meio ambiente e a proteger a saúde pública	veículos disponibilizados para o transporte dos RSU e a NBR – 13.221/2003	prestados e menor o risco de impactos ambientais	Parcialmente adequado (0,5)
						Inadequados (0)
				Informações disponibilizadas pelo setor responsável/ consulta ao órgão regulador (SUDEMA)	Max. A existência do licenciamento sugere que a obra está dentro das normas vigentes para sua execução	Sim (1) Não (0)
				Informações disponibilizadas pelo setor responsável, observações <i>in loco</i> , tomando por base a NBR 8419/1992	Max. Quanto melhor as condições do local do aterro, menor será o seu impacto no meio ambiente	Adequado (1) Parcialmente adequado (0,5) Inadequados (0)
8.  Infraestrutura e operação do aterro sanitário	(22) Licenciamento ambiental	Gestor/Departamento de limpeza urbana	Informa de a obra foi aprovado por um órgão regulador do meio ambiente			
	(23) Local e condições do aterro	Gestor/Departamento de limpeza urbana/observação <i>in loco</i>	Expressa as condições do local em que os resíduos estão sendo dispostos			
	(24) Infraestrutura implantada no aterro	Gestor/Departamento de limpeza urbana/observação <i>in loco</i>	Indica de o aterro está funcionando dentro das normas existentes para este tipo de obra	Informações disponibilizadas pelo setor responsável, observações <i>in loco</i> , tomando por base a NBR 8419/1992	Max. Quanto melhor a infraestrutura do local do aterro, menor será o seu impacto no meio ambiente	Adequado (1) Parcialmente adequado (0,5) Inadequados (0)

9.	Execução da gestão de RSU	(25) Condições operacionais do aterro	Gestor/Departamento de limpeza urbana/observação in loco	Descreve se o local possui as condições necessárias para funcionamento	Informações disponibilizadas pelo setor responsável, observações in loco, tomando por base a NBR 8419/1992	Max. Quanto melhor as condições operacionais do aterro, melhor será a sua eficiência	Adequado (1) Parcialmente adequado (0,5) Inadequados (0)
		(26) Existência de ações fiscalizatórias relacionadas à gestão dos RSU promovidas pelo poder público municipal	Gestor/Departamento de limpeza urbana/	Indica a existência de fiscalização das ações relacionadas à gestão dos resíduos sólidos urbanos	Será avaliado levando em consideração informações disponibilizadas pelo setor responsável pela gestão dos RSU	Max. Quanto maior o número de ações fiscalizatórias, maior a eficiência dos serviços prestados a municipalidade e menor os impactos decorrentes da gestão inadequada dos RSU	Sim (1) Não (0)
		(27) Existência do Plano Municipal de RSU	Gestor/Departamento de limpeza urbana/	Estabelece normas e diretrizes referentes a gestão dos resíduos, incluindo os RSU, levando em consideração as especificidades locais, sendo este item obrigatório para todos os municípios, conforme a lei 12.305/2010	Mediante informações disponibilizados pelo gestor municipal ou setor responsável pela gestão dos RSU	Max. A existência de um plano de gestão dos RSU contribuirá para uma maior eficiência da gestão dos RSU, adequado esta ao que se é estabelecido na Lei 12.305/2010, devendo este estar pronto para execução até o mês de agosto de 2012	Sim, existe um plano (1) Não existe um plano (0) Está em fase de elaboração (0,5)
			Gestor/			Max.	Sim (1)

10.  Controle de pessoal	(28) Existência de uma legislação específica para a gestão dos RSU no município	Departamento de limpeza urbana/	Informa a existência de leis específicas para as especificidades e demandas locais	Mediante informações disponibilizados pelo gestor municipal ou setor responsável pela gestão dos RSU	A existência de uma legislação municipal para a gestão dos resíduos, reflete numa tomada de consciência do poder público local para com a problemática dos resíduos	Não (0)
	(29) Número de funcionários	Gestor/Departamento de limpeza urbana/	Expressa o número de funcionário (públicos e terceirizados) envolvidos com o serviço de coleta e limpeza urbana do município, buscando demonstrar a eficiência do setor	Será calculado tomando como base o número total de funcionários dividido pela quantidade de resíduos coletados diariamente	Max.  Quanto maior o número de funcionários por tonelada de resíduos coletados, maior a eficiência dos serviços prestados por estes a municipalidade	Funcionários / tonelada de resíduos coletados
	(30) Capacitação de funcionários	Gestor/Departamento de limpeza urbana/	Apresenta a existência cursos de capacitação para os funcionários envolvidos (direta ou indiretamente) com os serviços de coleta e limpeza urbana	Mediante informações disponibilizados pelo gestor municipal ou setor responsável pela gestão dos RSU	Max.  Quanto maior a oferta de cursos de capacitações, maior o conhecimento relativo a adequada  Gestão dos RSU e melhor a qualidade dos serviços prestados	Sim (1) Não (0)
	(31) Utilização de EPI's	Gestor/Departamento de limpeza urbana/ funcionários do	Objetiva informar sobre a existência e utilização de EPI's por parte dos	Mediante informações disponibilizados pelo gestor	Max.  Quanto maior a utilização de EPI's menor o risco de	Sim (1) Não (0)

		setor observação in loco	funcionários responsáveis pelos serviços de coleta e limpeza urbana	municipal ou setor responsável pela gestão dos RSU e através de observações <i>in loco</i> no setor específico, sendo este uso avaliados em 3 níveis (total, parcial e sem uso)	acidentes decorrentes da atividade realizada	
11.  Democratização e acesso das informações relacionadas a gestão dos RSU	(32) Existência de informações sobre a gestão dos RSU sistematizadas e disponibilizadas para a população em meio digital	Gestor/Departame nto de limpeza urbana/ assessoria de imprensa	Informa sobre a existência de algum canal, em meio digital, para a disponibilização das ações referentes à gestão dos RSU por parte do poder público municipal e, consequente divulgação para o conhecimento da população	Mediante informações disponibilizados pelo gestor municipal ou setor responsável pela gestão dos RSU	Max.  Quanto maior a disponibilidade de informações referentes a gestão dos RSU, e sua consequente divulgação, maior o acesso da população a tais informações e maior o grau de conhecimento	Sim (1) Não (0)
	(33) Existência de um canal de reclamações	Gestor/Departame nto de limpeza urbana/observaçã o in loco	Indica a existência de um canal para reclamações da população no que se refere à gestão dos resíduos	Informações disponibilizados pelos gestores	Max.  Reflete o acesso da população aos serviços de gestão dos RSU e uma maior eficiência	Sim (1) Não (0)
	(34) Quantidade de ocorrências de lançamentos de RSU em locais	Gestor/Departame nto de limpeza urbana	Expressa o número de ocorrências por, parte da população, de lançamentos de	Informações disponibilizados pelos gestores	Min.  Quanto menor a quantidade de ocorrência, menor a disposição	Nº Registros



	inadequados (reclamações)		RSU em locais inadequados		inadequada de RSU e menor os impactos	
	(35) Solicitações de serviço atendidas (eficiência)	Gestor/Departame nto de limpeza urbana	Apresenta a resolução das solicitações realizadas pela população	Razão entre o número de ocorrência sobre o número de solicitações atendidas, multiplicada por 100	Max.  Quanto maior o atendimento das solicitações, maior a eficiência do serviço prestado	%
12.	(36) Porcentagem das escolas que desenvolvem programas de coleta seletiva	Gestor/Secretaria de Educação ou Meio Ambiente	Número de escolas que possuem o PGIRS e desenvolvem ações de coleta seletiva	Informações disponibilizada pelos gestores	Max.  Quanto maior o número de escolas envolvidas nesses programas, maior a taxa de reaproveitamento de resíduos e maior o desenvolvimento da consciência ambiental	%
	Programas de Educação Ambiental	Gestor/Secretaria de Educação ou Meio Ambiente	Expressa o desenvolvimento de campanhas desenvolvidas em prol do meio ambiente, assim como a frequência com que estas acontecem	Informações disponibilizada pelos gestores	Max.  Quanto maior o número de campanhas e a continuidade destas, maior a sensibilização e conscientização da população para com as causas ambientais, visto que a educação ambiental é um processo lento, que necessita de campanhas contínuas, com vistas a	Sim (1) Não (0)

alcançar resultados positivos					
Max.					
	(38) Parceria com outras administrações públicas e/ou com agentes da sociedade civil	Gestor/Departamento de limpeza urbana/ Secretaria de serviço social	Apresenta a existência, por parte do poder público municipal, de parcerias na gestão dos resíduos com outros municípios e/ou outras entidades	Informações disponibilizada pelos gestores	Na tentativa de buscar uma melhor eficiência na gestão dos resíduos, se faz importante a existência de parcerias das prefeituras, com vista a melhorar a qualidade dos serviços prestados
					Sim (1) Não (0)
Max.					
13.	(39) Existência de conselhos municipais ou instâncias similares	Gestor/Departamento de limpeza urbana/ Secretaria de serviço social	Indica a existência de conselhos ou instâncias similares que visem a busca pela melhoria ambiental, no que se refere a gestão dos RSU	Informações disponibilizada pelos gestores	A existência e efetividade de conselhos expressa a eficiência do município no que se refere a ações de melhoria da qualidade ambiental, através de ações em prol de uma adequada gestão dos RSU
Gestão Participativa					Sim (1) Não (0)

Fonte: Pereira (2014)

Quadro 13 – Resumo dos indicadores da Dimensão Econômico-Financeira – Caso (γ)

DIMENSÕES	CATEGORIAS	INDICADORES	FONTE DE COLETA DOS DADOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	TIPO DE RELAÇÃO DO INDICADOR E JUSTIFICATIVA	EXPRESSÃO EM
<b>4. ECONÔMICO/ FINANCEIRO</b>	14.  Custos	(40) Pagamento de pessoal encarregado pelo serviço de coleta e limpeza urbana	Gestor/Departamento de limpeza urbana/ ou	Informa os custos do município com o pagamento dos funcionários encarregado pelo serviço de coleta e limpeza urbana (públicos e terceirizados)	Informações disponibilizada pelos gestores	Min. <hr/>	R\$/tonelada de resíduos coletadas
		(41) Transporte coleta seletiva e/ou coleta convencional	Gestor/Departamento de limpeza urbana/	Apresenta os gastos municipais com transportes para o serviço de coleta dos RSU	Informações disponibilizada pelos gestores	Min. <hr/>	R\$/tonelada de resíduos coletadas
		(42) Disposição final (aterro sanitário)	Gestor/Departamento de limpeza urbana/	Expressa o valor pago pelo município para a disposição final dos RSU em aterros (sanitário ou controlado)	Informações disponibilizada pelos gestores	Min. <hr/> Os gastos com a disposição final dos RSU normalmente está diretamente relacionado com a quantidade coletada.	R\$/tonelada de resíduos coletadas
		(43) Recuperação de área degradadas com resíduos sólidos urbanos	Gestor/Departamento de limpeza urbana/	Estabelece o montante destinado para recuperação ambiental decorrente dos RSU	Informações disponibilizada pelos gestores	Max. <hr/> A recuperação de áreas degradadas com os RSU repercute em melhoria das condições sanitárias e ambientais, o que	R\$/tonelada de resíduos coletadas

						repercute diretamente na melhoria da qualidade de vida da população
15.	Arrecadação	(44) Cobrança dos usuários pelo serviço de coleta e limpeza urbana	PNSB 2008	Indica a forma com a qual o município arrecada verbas para o financiamento das ações referentes à coleta e limpeza urbana	Informações disponibilizada pelos gestores	<div>Max.</div> <div>A existência de uma taxa de cobrança pelos serviços de gestão dos resíduos, reflete em maiores investimento no setor e melhor atendimento por parte da população</div> <div>Sim (1)</div> <div>Não (0)</div>
		(45) Fundo de Participação Municipal (FPM)	SAGRES – PB 2013	Descreve o valor oriundo do Fundo de Participação Municipal destinado para o setor de limpeza urbana, incluído a gestão dos RSU	Informações disponibilizada pelos gestores	<div>Max.</div> <div>Quanto maior os custos destinados a gestão dos resíduos, maior tende a ser a eficiência e qualidade dos serviços prestados</div> <div>R\$/ número de habitantes</div>
		(46) Revenda dos materiais recicláveis e do composto orgânico	PNSB 2008	Representa os valores arrecadados pelos municípios que realizam algum tipo de beneficiamento dos RSU, a exemplo da reciclagem e compostagem	Informações disponibilizada pelos gestores	<div>Max.</div> <div>Quanto maior a arrecadação decorrentes do reaproveitamento dos RSU, maior a inclusão social dos catadores através da coleta seletiva e menor a disposição dos RSU no meio ambiente</div> <div>R\$/kg</div>

Fonte: Pereira (2014).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Composição do Cenário Padrão

Várias formas de obtenção deste, ora denominado **Cenário Padrão (CP)**, foram testadas a fim de alcançar um procedimento adequado para sua obtenção. Aqui se descrevem sucintamente os tipos de CP obtidos e as características que podem ser adequadas ou não a cada situação. Este capítulo merece destaque pois apresenta uma gama de considerações metodológicas adotadas para o estabelecimento do CP, que constituem por sua vez resultados da proposta de abordagem inovadora deste estudo.

**Cenário Padrão Real Selecionado 1:** Neste caso, o CP passa a ser a alternativa real que tenha obtido o melhor desempenho numa análise convencional do PROMETHEE. Esta alternativa, teria, portanto, um desempenho superior às demais do mesmo conjunto. Vale salientar que, como o fluxo de preferência final é composto de várias parcelas de preferências obtidas para cada critério multiplicadas pelos respectivos pesos dos critérios, caracterizando uma soma ponderada, este CP pode ficar muito vulnerável às alterações dos pesos dos critérios, ou até mesmo nos valores dos atributos que caracterizam os critérios. Outra observação que merece ser feita é que a melhor alternativa obtida através de uma análise convencional com o PROMETHEE não garante que ela tenha desempenhos superiores em todos os critérios analisados, mas, de uma forma geral, garante que ela tenha desempenho superior às demais nos critérios que tenham maior peso. Portanto, pequenas alterações nas preferências do decisor ou nos valores dos critérios poderiam modificar a ordenação final das alternativas quando da aplicação convencional do PROMETHEE e a alternativa outrora escolhida perderia o status de melhor. Esse foi um dos motivos para fazer uso de pesos iguais para todos critérios, ou seja, melhor analisar o desempenho dos métodos quanto a ordenação das alternativas pelo método convencional ou com o uso de CP, ou seja, minimizando a influência dos pesos atribuídos aos critérios.

**Cenário Padrão Real Selecionado 2:** A segunda configuração é semelhante a primeira, porém com a tomada da pior alternativa na ordenação final. Esta seria uma alternativa de desempenho fraco em relação às demais em oposição à seleção anterior. No entanto, em virtude da avaliação relativa das alternativas este CP está sujeito à mesma fragilidade do anterior.

**Cenário Padrão de Valores Médios:** Elaborado com valores médios (aritméticos) dos atributos de cada critério. Ele surgiu como primeira alternativa artificial para comparação com as demais. Devido ao comportamento variado das alternativas para cada critério seria possível que uma alternativa fosse preferível ou preterível ao CP em relação a cada um destes critérios e fixando o valor do IDM para este CP seria possível ordenar as demais alternativas ao seu redor, com desempenhos superiores e inferiores. O problema na concepção desde CP é que a valoração do índice seria novamente muito dependente dos pesos atribuídos aos critérios, pois uma vez que os atributos das alternativas ( $f_i(A)$ ) oscilam ao redor do atributo do CP então para cada critério ( $f_i(CP)$ ) as preferências também oscilam para cada critério, ora a favor do CP, ora da alternativa, gerando assim um efeito compensatório. Outra consideração a respeito desta forma de obtenção do CP é que na maioria das vezes este valor médio não tem uma qualidade de interesse (nem mesmo um significado) para a maioria dos objetivos da análise, que são geralmente maximizar ou minimizar o atributo.

**Cenário padrão selecionado com margem de segurança:** Partindo do mesmo princípio empregado no primeiro caso para seleção do CP, usou-se o conjunto de alternativas para estabelecer as medidas estatísticas de tendência e dispersão. A partir daí cogitou-se atribuir uma margem de segurança a cada atributo, adicionando-se ou subtraindo-se do atributo da alternativa selecionada (alternativa-base) o valor do desvio-padrão de cada respectivo critério, a fim de garantir que, mesmo diante de alterações nas configurações dos pesos a soberania do CP fosse assegurada no maior número possível de critérios.

O maior problema encontrado foi a aparecimento de valores absurdos, isto é, impossíveis ou incompatíveis com a realidade dos sistemas estudados. Para o **Estudo de Caso  $\alpha$** , por exemplo, dada a variabilidade do critério de dano ambiental inferido da área inundada por cada açude (que se deseja minimizar), um açude com pequena área de inundação, sendo esta por sua vez diminuída do desvio padrão do conjunto de alternativas, pode gerar um valor de área negativo para o atributo do CP, o que não faz sentido. Por outro lado, em critérios de eficiência expressos em porcentagem é possível que o atributo da alternativa-base somado ao desvio do conjunto chegue a alcançar um valor superior a 100%, gerando novamente uma inconsistência conceitual.

Ainda considerando esta possibilidade foi encontrado outro empecilho para seu emprego como cenário padrão: As características extremas dos atributos deste CP fazem com

que mesmo alternativas que alcançariam um desempenho próximo da alternativa-base do CP numa análise convencional apresentem desempenhos muito baixos em comparação a ele. Então se perde a noção de quais alternativas tem um desempenho realmente baixo e quais são pressionadas pelo exagero dos atributos do CP.

As mesmas falhas se repetem quando uma alternativa de baixo desempenho é incrementada com margens de segurança negativas, que piorem ainda mais o desempenho para o estabelecimento do CP.

**Cenário de Desempenho Ótimo Potencial:** Aqui apresenta-se uma análise baseada nos atributos de melhor desempenho para determinação de suas características, isto é, com base num banco de dados de alternativas foram selecionados os maiores valores encontrados para critérios cujo objetivo era maximizar e os menores valores para aqueles em que se pretendia minimizar, gerando-se assim uma alternativa superior às demais ou no mínimo equivalente em todos os parâmetros de comparação.

Este tipo de Cenário Padrão é chamado de Cenário de Desempenho Ótimo Potencial, com todas as características favoráveis à uma boa avaliação. Quando do confronto com as demais alternativas é sempre gerado um valor de preferência deste Cenário com relação às demais, já que a outra alternativa nunca é melhor do que ele. Pelas características do método PROMETHEE esse valor é sempre determinado numa escala contínua de 0 a 1 que expressa o quão melhor é o CP em relação à outra alternativa avaliada. Portanto quanto maior for este valor, pior será o desempenho da alternativa comparada ao CP, e quanto menor, mais ela se aproxima das características ideais do CP.

Para apresentar de maneira mais inteligível o valor do Índice de Desempenho Multicriterial (IDM) ele é expresso como a diferença  $1 - F_{CP,A}$  (um menos o fluxo de preferência do CP sobre uma Alternativa A qualquer), de modo que quanto maior for este valor melhor será o desempenho da alternativa avaliada. Note-se ainda que, para qualquer função de preferência, quando o  $d_i(CP, A)$  for igual a zero a preferência deste critério não é computada na soma do fluxo do CP, isso implica que quando da apresentação do índice na forma  $1 - F_{CP,A}$  este critério, para o qual os valores dos atributos são iguais, é computado em favor da alternativa, uma vez que não se pode dizer que o CP a supere neste quesito a similaridade dos atributos conta a favor da alternativa.

**Cenário de Desempenho Péssimo Potencial:** análogo ao anterior, mas com a composição feita a partir da seleção das características menos favoráveis presentes no conjunto de alternativas para cada critério.

Neste caso, como o desempenho do CP, será sempre inferior ao das outras alternativas deve-se observar que o fluxo de preferência  $F_{A,CP}$  (Fluxo de preferência da alternativa A sobre o Cenário Padrão) já expressa diretamente o Índice de Desempenho Multicriterial.

**Cenário Padrão por Níveis de Referência:** Estabelecido quando os valores ideais dos indicadores são estabelecidos por lei ou são obtidos de um modelo ou estado de referência.

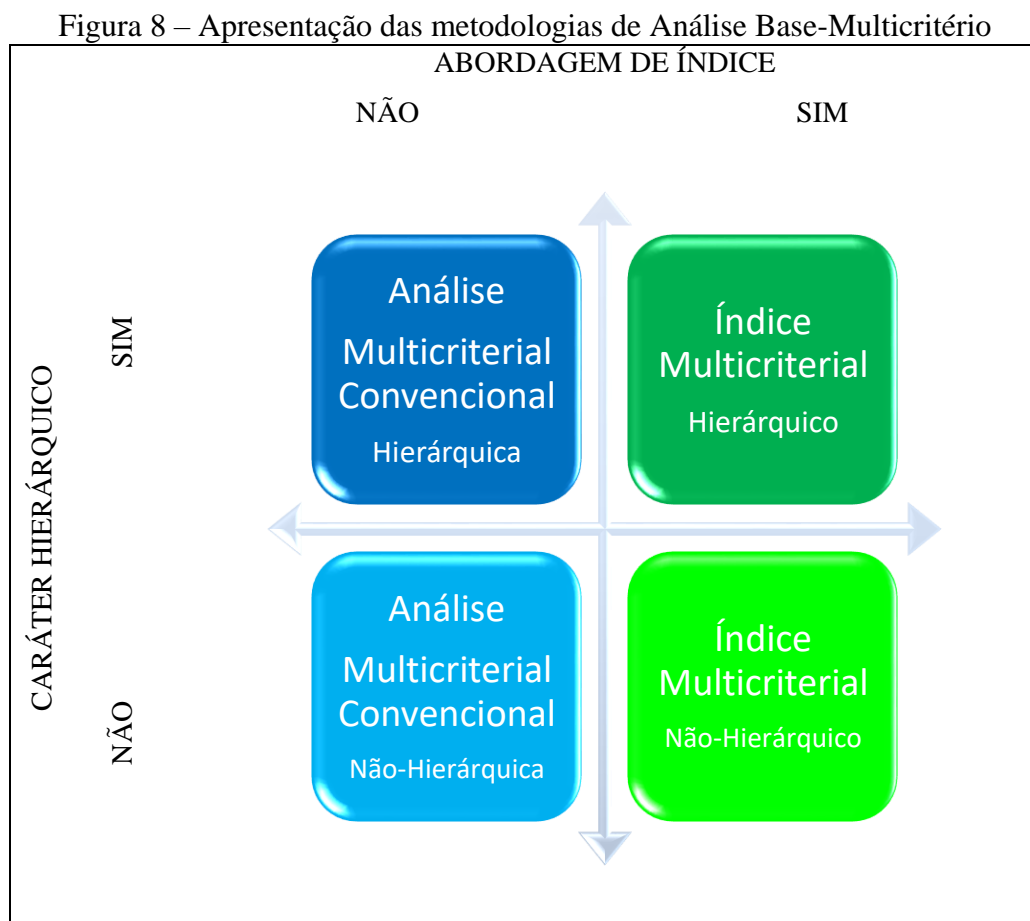
Para exemplificar, considere o estudo feito por Silva Neto (2016) sobre 4 iniciativas de incentivo a piscicultura intensiva na modalidade tanque rede, em que foram disponibilizadas a 4 comunidades diferentes a mesma quantidade de recursos (tanques, alevinos, ração, equipamentos) distribuídas em reservatórios diferentes do Estado da Paraíba. Partindo da configuração numérica idêntica dos 4 projetos pode-se estabelecer critérios de avaliação, como a produtividade, os impactos gerados no corpo hídrico, os benefícios gerados e as falhas de operação, e comparar cada um dos 4 sistemas com a configuração inicial do projeto (servindo no caso como CP). Pode-se determinar que o valor de índice para o CP seja 0 (zero) e fazer sucessivas avaliações no tempo, a fim de constatar se (e quais) alternativas melhoraram ou pioraram o desempenho em relação à concepção do projeto, de acordo com os resultados positivos ou negativos dos fluxos líquidos.



## 5.2. Abordagens Multicriteriais

Conforme tratado no capítulo que descreve a metodologia empregada, a comparação entre os métodos, com abordagem convencional e de índice foi efetuada também considerando as relações de agrupamentos dos critérios como Hierárquica e Não-Hierárquica, a partir daqui trata-se esta distinção como “**caráter**” da Análise Multicriterial.

Partindo desta consideração geraram-se 4 (quatro) forma de avaliação, como descrito na figura 8, variando o tipo de abordagem (convencional ou de índice) e o caráter (Hierárquico ou Não-Hierárquico).



Fonte: Elaboração do Autor

Em termos práticos esta distinção incide sobre a distribuição dos pesos entre os critérios, cuja associação (Cluster) pode ser levada em conta, no caso hierárquico, ou não, no oposto – não hierárquico. Os estudos de caso são apresentados individualmente acompanhados de comentários e uma discussão final aparece depois dos 3 (três) exemplos utilizados.

### 5.2.1. Estudo de caso ( $\alpha$ )

Para o **Estudo de caso  $\alpha$**  foram utilizados 28 indicadores, estabelecidos como critérios para o emprego do PROMETHEE. A fim de ilustrar a composição do cenário padrão a Tabela 3 apresenta um extrato de uma parte do conjunto de alternativas, com seus respectivos atributos para um grupo de critérios e o objetivo de maximização ou minimização visado para cada um destes. (A planilha completa com os atributos de todas as alternativas e a composição do cenário é apresentada no apêndice A1)

Tabela 3 – Composição do Cenário Padrão – Caso ( $\alpha$ )

Critério	Objetivo	ALTERNATIVAS							CP
		181	184	191	238	433	438	628	
[Qr90]	MAX	0,07 <sup>(a)</sup>	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	<b>0,07</b>
[IAP]	MAX	0,56	0,40	0,55	0,76 <sup>(a)</sup>	0,39	0,50	0,11	<b>0,76</b>
[IUD]	MAX	0,83	0,82	0,90 <sup>(a)</sup>	0,86	0,89	0,83	0,83	<b>0,90</b>
[IUP]	MAX	0,46	0,33	0,50	0,65 <sup>(a)</sup>	0,34	0,41	0,09	<b>0,65</b>
[ $\eta$ Vr]	MIN	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
[ $\eta$ E]	MIN	0,26	0,19	0,13	0,29	0,10	0,20	0,02 <sup>(b)</sup>	<b>0,02</b>
[ $\eta$ p]	MIN	0,09	0,07	0,05	0,11	0,04	0,08	0,01 <sup>(b)</sup>	<b>0,01</b>
[ $\eta$ V]	MIN	0,27	0,49	0,37	0,06 <sup>(b)</sup>	0,55	0,39	0,86	<b>0,06</b>

<sup>(a)</sup> Maiores e <sup>(b)</sup> menores valores de atributo para o respectivo critério. Elaboração do autor.

Conforme discutido anteriormente, o Cenário de Desempenho Ótimo Potencial, adotado aqui como Cenário Padrão para comparação com as demais alternativas e consequente estabelecimento do índice, é composto das características mais favoráveis presentes no banco de dados de forma individual para cada critério – destacadas na Tabela 3. Esta configuração permite que, neste conjunto de alternativas, o CP não apresente Fluxo negativo ( $\varphi^-$ ) uma vez que a preferência para qualquer critério  $P_i(CP, A)$  será alocada em favor do CP. Por isso o Índice de Desempenho Multicriterial (IDM) é obtido diretamente do fluxo positivo.

Após a composição do CP foi aplicado o método PROMETHEE para comparar as alternativas (açudes reais) entre si, com emprego de uma análise convencional, e depois com ele (Açude de desempenho máximo potencial, idealizado para obtenção do índice comparativo).

Os Açudes, nomeados pelos códigos atribuídos por Silans *et al.* (2009), são apresentados na Tabela 4 segundo a sequência de ordenação obtida pela aplicação convencional do método e pela valoração do Índice de Desempenho Multicriterial (IDM). Ambas as análises foram executadas tanto para a configuração de pesos finais equivalentes, ora denominada Não-

Hierárquica, quanto com os pesos relativos equivalentes, Hierárquica, cuja distribuição final é apresentada Tabela A2 (apêndice A2).

Tabela 4 - Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes métodos – Caso ( $\alpha$ )

ANÁLISE CONVENCIONAL					ÍNDICE MULTICRITERIAL			
Posição	Hierárquica		Não-Hierárquica		Hierárquico		Não-Hierárquico	
	Alternativa	$\Phi$	Alternativa	$\Phi$	Alternativa	IDM	Alternativa	IDM
1 <sup>o</sup>	Açude 438	0,091	Açude 03	0,046	Açude 238	0,659	Açude 238	0,631
2 <sup>o</sup>	Açude 628	0,055	Açude 438	0,045	Açude 438	0,657	Açude 73	0,620
3 <sup>o</sup>	Açude 03	0,037	Açude 628	0,041	Açude 628	0,655	Açude 44	0,607
4 <sup>o</sup>	Açude 238	0,036	Açude 255	0,037	Açude 73	0,628	Açude 628	0,600
5 <sup>o</sup>	Açude 255	0,029	Açude 433	0,033	Açude 44	0,624	Açude 75	0,599
6 <sup>o</sup>	Açude 433	0,026	Açude 71	0,032	Açude 75	0,607	Açude 433	0,582
7 <sup>o</sup>	Açude 401	0,016	Açude 191	0,027	Açude 433	0,606	Açude 401	0,557
8 <sup>o</sup>	Açude 248	0,011	Açude 238	0,022	Açude 248	0,589	Açude 132	0,553
9 <sup>o</sup>	Açude 191	0,011	Açude 401	0,017	Açude 401	0,588	Açude 438	0,537
10 <sup>o</sup>	Açude 71	0,009	Açude 248	0,005	Açude 132	0,586	Açude 71	0,528
11 <sup>o</sup>	Açude 73	0,007	Açude 144	0,001	Açude 144	0,576	Açude 191	0,517
12 <sup>o</sup>	Açude 75	0,005	Açude 75	0,001	Açude 255	0,564	Açude 255	0,509
13 <sup>o</sup>	Açude 44	0,005	Açude 73	-0,003	Açude 51	0,554	Açude 144	0,507
14 <sup>o</sup>	Açude 144	0,004	Açude 44	-0,007	Açude 191	0,552	Açude 248	0,506
15 <sup>o</sup>	Açude 132	-0,011	Açude 184	-0,013	Açude 71	0,525	Açude 72	0,502
16 <sup>o</sup>	Açude 51	-0,015	Açude 132	-0,022	Açude 03	0,520	Açude 03	0,483
17 <sup>o</sup>	Açude 277	-0,030	Açude 51	-0,027	Açude 277	0,517	Açude 51	0,464
18 <sup>o</sup>	Açude 184	-0,034	Açude 277	-0,047	Açude 72	0,484	Açude 277	0,446
19 <sup>o</sup>	Açude 72	-0,084	Açude 181	-0,089	Açude 184	0,471	Açude 181	0,439
20 <sup>o</sup>	Açude 181	-0,170	Açude 72	-0,096	Açude 181	0,408	Açude 184	0,421

Fonte: Elaboração do Autor

Pode-se observar que existem diferenças na ordenação do desempenho dos açudes com a aplicação dos dois métodos, o PROMETHEE convencional e o cálculo do IDM através de um CP. Tal fato é justificado pela comparação aditiva, na matriz dos fluxos, do quão melhor um atributo de uma alternativa é com relação aos atributos do mesmo critério de todas as demais alternativas – podendo gerar, assim, efeitos cumulativos – enquanto que na geração do IDM este atributo é comparado apenas com o do CP.

As alterações referentes ao mesmo procedimento de análise, quando conduzidos de maneira Hierárquica e Não-Hierárquica, já era prevista, uma vez que, em termos matemáticos, esta distinção do caráter da análise implica na alteração dos pesos, o que incide diretamente no cômputo das preferências correspondentes a cada critério individualmente e, por conseguinte,

no somatório final que gera os fluxos e o índice. As posições obtidas por cada alternativa em cada respectiva análise são apresentadas na Tabela 5:

Tabela 5 - Posições das alternativas em cada Análise – Caso ( $\alpha$ )

	ANÁLISE CONVENCIONAL		ÍNDICE MULTICRITERIAL	
	Hierárquica	Não-Hierárquica	Hierárquica	Não-Hierárquica
<b>AÇUDE 03</b>	3	1	16	16
<b>AÇUDE 44</b>	13	14	5	3
<b>AÇUDE 51</b>	16	17	13	17
<b>AÇUDE 71</b>	10	6	15	10
<b>AÇUDE 72</b>	19	20	18	15
<b>AÇUDE 73</b>	11	13	4	2
<b>AÇUDE 75</b>	12	12	6	5
<b>AÇUDE 132</b>	15	16	10	8
<b>AÇUDE 144</b>	14	11	11	13
<b>AÇUDE 181</b>	20	19	20	19
<b>AÇUDE 184</b>	18	15	19	20
<b>AÇUDE 191</b>	9	7	14	11
<b>AÇUDE 238</b>	4	8	1	1
<b>AÇUDE 248</b>	8	10	8	14
<b>AÇUDE 255</b>	5	4	12	12
<b>AÇUDE 277</b>	17	18	17	18
<b>AÇUDE 401</b>	7	9	9	7
<b>AÇUDE 433</b>	6	5	7	6
<b>AÇUDE 438</b>	1	2	2	9
<b>AÇUDE 628</b>	2	3	3	4

Fonte: Elaboração do Autor

Para apresentar as correlações lineares existentes entre os resultados das análises foi elaborada a tabela de correlação (6) apresentada a seguir.

Tabela 6 – Correlações das posições do Ranking obtido pelas diferentes formas de Análise - Caso ( $\alpha$ )

	AC-H	AC-NH	IDM-H	IDM-NH
AC-H	1	0,93985	0,6406	0,5203
AC-NH	0,93985	1	0,43759	0,3609
IDM-H	0,6406	0,43759	1	0,87218
IDM-NH	0,5203	0,3609	0,87218	1

Fonte: Elaboração do Autor

Onde:

**AC-H**: Análise Convencional com caráter Hierárquico.

**AC-NH**: Análise Convencional com caráter Não-Hierárquico.

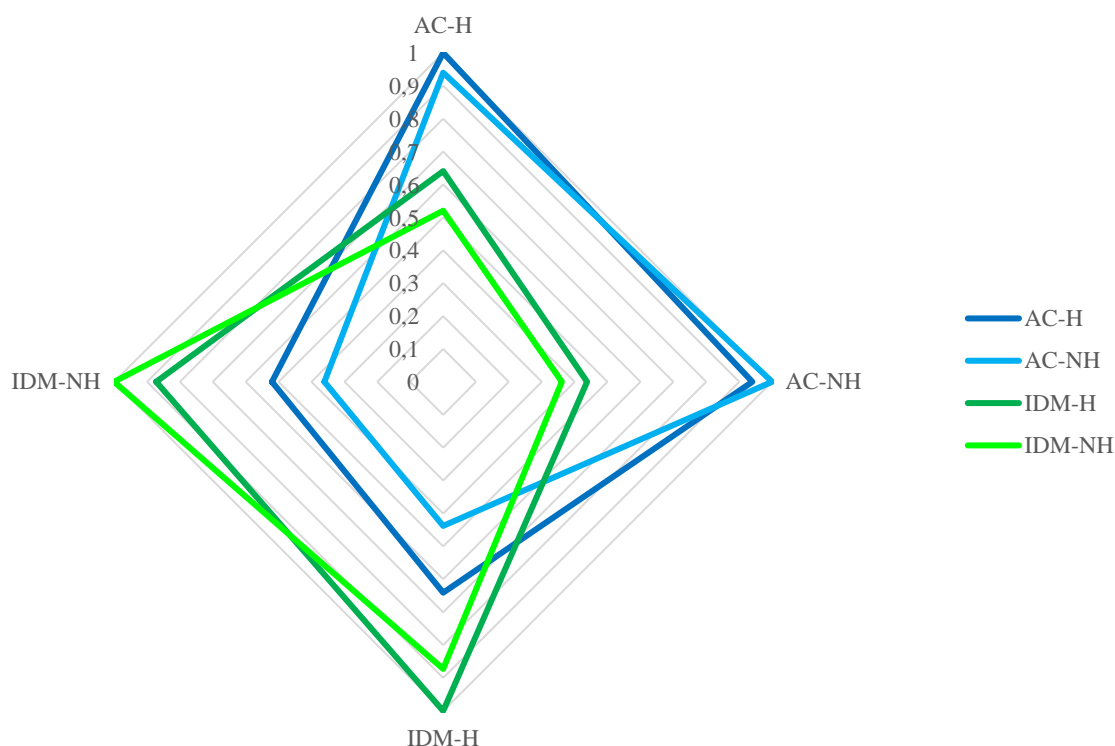
**IDM-H:** Índice Multicritério de Desempenho com caráter Hierárquico.

**IDM-NH:** Índice Multicritério de Desempenho com caráter Não-Hierárquico.

Percebe-se que as maiores correlações se dão na mesma forma de abordagem apesar do caráter (hierárquico ou não) distinto – AC-H com AC-NH (destacado em azul) e IDM-H com IDM-NH (destacado em verde) –, isto significa que a forma de abordagem tem uma influência maior na ordenação das alternativas que a consideração ou não da hierarquia dos critérios e agrupamento dos mesmos. Por outro lado, vale mencionar a relação positiva entre AC-H e IDM-H e entre AC-NH e IDM-NH, destacadas em amarelo, em especial correlação entre as abordagens distintas de caráter hierárquico que alcançaram uma correlação de 0,6406. A menor correlação se dá entre AC-NH e IDM-NH, uma consideração plausível é que a desvinculação da hierarquia, em ambos os casos, proporciona este comportamento tão diferente entre as abordagens.

Na Figura 9 fica evidenciada a aproximação das abordagens com as formas semelhantes (Convencional ou Índice) o distanciamento da outra, fazendo ainda uma pequena distinção no que se refere ao caráter (Hierárquico ou não). Verifica-se que as abordagens de caráter não hierárquico são as que se distanciam mais da outra forma (convencional ou índice e vice-versa).

Figura 9 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens - Caso ( $\alpha$ )



Fonte: Elaboração do Autor.

A lateral superior direita do losango representa a Análise Convencional, o lado oposto, inferior esquerdo corresponde à Abordagem de IDM, notavelmente as linhas mais claras ficam mais distantes das laterais opostas, implicando que a desvinculação da hierarquia contribui para a alteração dos resultados da ordenação.

Vale salientar que a ordenação obtida pela análise multicriterial convencional é restrita a este conjunto de alternativas, porquanto qualquer alteração neste conjunto (inserção de novas, retirada ou substituição de alguma alternativa ou, até mesmo, mudanças nos valores dos atributos dos critérios já considerados) conduzirá, muito provavelmente, a uma alteração das posições relativas, fazendo com que alternativas troquem de posição. No caso da abordagem construída a partir do IDM este valor depende somente da nova alternativa considerada e do CP escolhido. Neste caso, as posições relativas das alternativas, isto é, se A é melhor que B ou vice-versa, não sofre alteração, apenas a ordenação geral das alternativas mudará a partir daquelas que tiverem pior desempenho que a nova alternativa inclusa no problema, pois serão consequentemente empurradas para baixo no *Ranking* geral.

Há de se destacar, ainda, a demanda de um novo processamento do modelo multicriterial convencional para cada (re)configuração do conjunto de alternativas, enquanto que na abordagem IDM o índice é calculado diretamente para cada uma, comparada apenas ao CP. Esta característica confere uma maior velocidade e estabilidade ao processo de comparação. No caso de estudo, por exemplo, com o uso do CP e a determinação do IDM (Hierárquico) para analisar o desempenho de subgrupos de açudes o Açude 73 sempre apresentará um desempenho melhor que o Açude 75 independentemente do tipo de agrupamento de açudes utilizado que inclua ambos açudes (por exemplo, no caso da análise por subgrupos de açudes). O mesmo resultado pode não acontecer ao utilizar a análise multicriterial convencional, ou seja, as ordenações e, principalmente, as posições de um açude em relação a outro mudariam.

Para ilustrar esta discussão foi feita a divisão do conjunto de alternativas em 2 grupos de acordo com a ordem alfabética da nomenclatura dos açudes e procedida a ordenação interna a estes grupos de forma análoga à avaliação anterior.

Tabela 7 – Ordenação para o 1º Subgrupo das alternativas – Caso ( $\alpha$ )

Análise Convencional					ÍNDICE MULTICRITERIAL			
	Hierárquica		Não-Hierárquica		Hierárquico		Não-Hierárquico	
Posição	Alternativa	$\Phi$	Alternativa	$\Phi$	Alternativa	IDM	Alternativa	IDM
1º	<b>Açude 03</b>	0,061	<b>Açude 03</b>	0,058	<b>Açude 73</b>	0,628	<b>Açude 73</b>	0,620
2º	<b>Açude 75</b>	0,033	<b>Açude 71</b>	0,042	<b>Açude 44</b>	0,624	<b>Açude 44</b>	0,607
3º	<b>Açude 71</b>	0,028	<b>Açude 75</b>	0,018	<b>Açude 75</b>	0,607	<b>Açude 75</b>	0,599

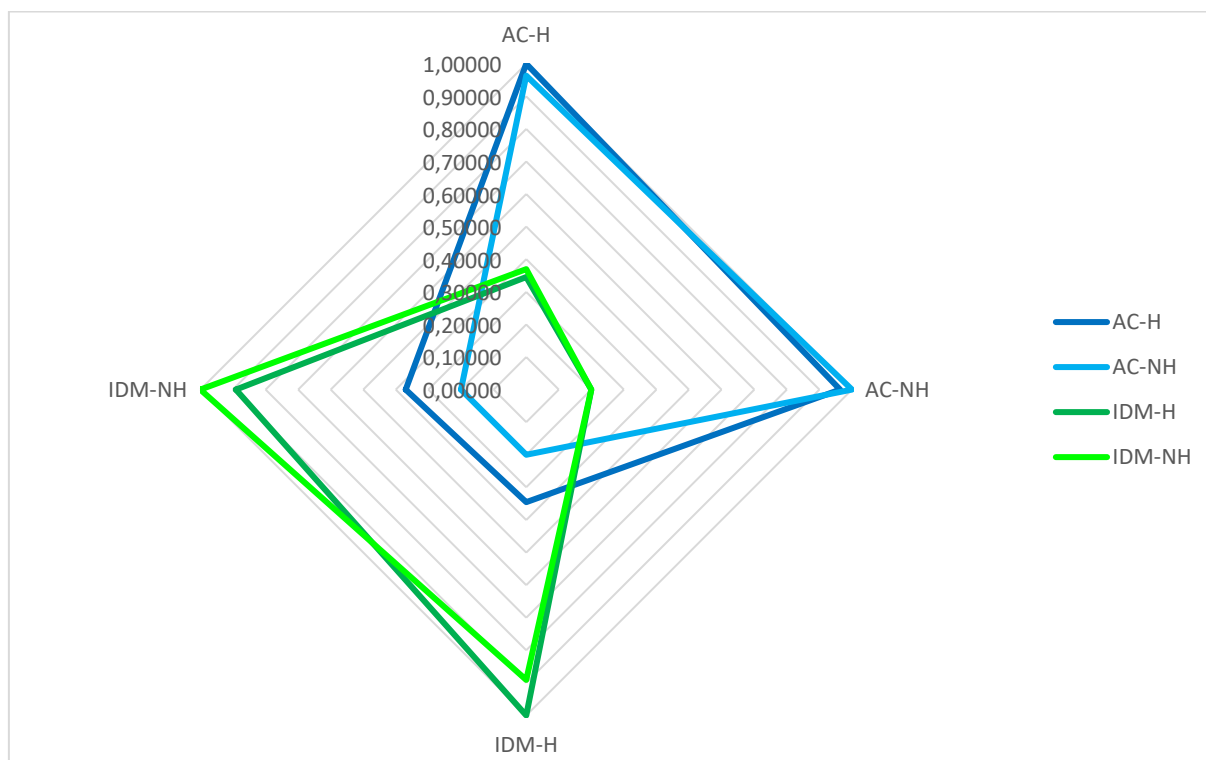
4º	Açude 73	0,027	Açude 144	0,014	Açude 132	0,586	Açude 132	0,553
5º	Açude 144	0,019	Açude 73	0,011	Açude 144	0,576	Açude 71	0,528
6º	Açude 44	0,017	Açude 51	0,001	Açude 51	0,554	Açude 144	0,507
7º	Açude 51	0,013	Açude 44	-0,004	Açude 71	0,525	Açude 72	0,502
8º	Açude 132	0,009	Açude 132	-0,004	Açude 03	0,520	Açude 03	0,483
9º	Açude 72	-0,049	Açude 72	-0,064	Açude 72	0,484	Açude 51	0,464
10º	Açude 181	-0,158	Açude 181	-0,071	Açude 181	0,408	Açude 181	0,439

Fonte: Elaboração do Autor.

Note-se que na avaliação dos 20 açudes com emprego da Análise Multicriterial Convencional de Caráter Hierárquico o Açude 73 apresenta um desempenho melhor que o Açude 75 (11ª e 12ª posições, respectivamente, na tabela 4). Quando do emprego do mesmo modelo multicriterial a um subgrupo de 10 açudes que contenha estas duas alternativas supramencionadas as posições relativas se invertem (Açude 75 na 2ª posição e Açude 73 na 4ª, Tabela 7), dado que os fluxos finais dependem do desempenho da alternativa em relação às demais na mesma medida que depende do desempenho dessas em relação a ela mesma.

Para este subgrupo de alternativas as correlações apresentaram resultados semelhantes às anteriores. A Figura 10 apresenta estas correlações, onde se percebe novamente que as formas de análise se aproximam quanto à natureza (Convencional ou Índice) e se distinguem quanto ao caráter (Hierárquico ou não).

Figura 10 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens – Subgrupo 1(α)



Fonte: Elaboração do Autor.

Os valores das correlações obtidas são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Correlações das posições dos Rankings das diferentes formas de Análise – Subgrupo 1( $\alpha$ )

	AC-H	AC-NH	IDM-H	IDM-NH
AC-H	1	0,96364	0,34545	0,36970
AC-NH	0,96364	1	0,20000	0,20000
IDM-H	0,34545	0,20000	1	0,89091
IDM-NH	0,36970	0,20000	0,89091	1

Fonte: Elaboração do Autor

Para completar a exposição o outro subgrupo também foi ordenado sob o mesmo procedimento e é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Ordenação para o 2º Subgrupo das alternativas – Caso ( $\alpha$ )

Análise Convencional					ÍNDICE MULTICRITERIAL			
	Hierárquica		Não-Hierárquica		Hierárquico		Não-Hierárquico	
Posição	Alternativa	Φ	Alternativa	Φ	Alternativa	IDM	Alternativa	IDM
1 <sup>o</sup>	Açude 438	0,072	Açude 628	0,026	Açude 238	0,659	Açude 238	0,631
2 <sup>o</sup>	Açude 628	0,036	Açude 438	0,023	Açude 438	0,657	Açude 628	0,600
3 <sup>o</sup>	Açude 238	0,022	Açude 238	0,009	Açude 628	0,655	Açude 433	0,582
4 <sup>o</sup>	Açude 433	-0,005	Açude 433	0,008	Açude 433	0,606	Açude 401	0,557
5 <sup>o</sup>	Açude 248	-0,006	Açude 255	-0,001	Açude 248	0,589	Açude 438	0,537
6 <sup>o</sup>	Açude 255	-0,006	Açude 248	-0,004	Açude 401	0,588	Açude 191	0,517
7 <sup>o</sup>	Açude 401	-0,012	Açude 184	-0,005	Açude 255	0,564	Açude 255	0,509
8 <sup>o</sup>	Açude 191	-0,025	Açude 401	-0,006	Açude 191	0,552	Açude 248	0,506
9 <sup>o</sup>	Açude 184	-0,037	Açude 191	-0,011	Açude 277	0,517	Açude 277	0,446
10 <sup>o</sup>	Açude 277	-0,038	Açude 277	-0,040	Acude 184	0,471	Acude 184	0,421

Fonte: Elaboração do Autor.

Deste Subgrupo podemos destacar os Açudes 248 e 255, que apresentavam na primeira ordenação AC-H as posições 8ª e 5ª respectivamente (desempenho do Açude 255 é melhor que o do 248) já na avaliação do subgrupo assumem a 4ª e a 5ª posições, invertendo as posições relativas (o Açude 248 é melhor que o 255). Para a abordagem de incide com caráter Hierárquica o desempenho do Açude 248 é sempre melhor que o do 255. Na abordagem Não-Hierárquica ocorre o contrário, ou seja, o Açude 255 é sempre melhor que o Açude 248.

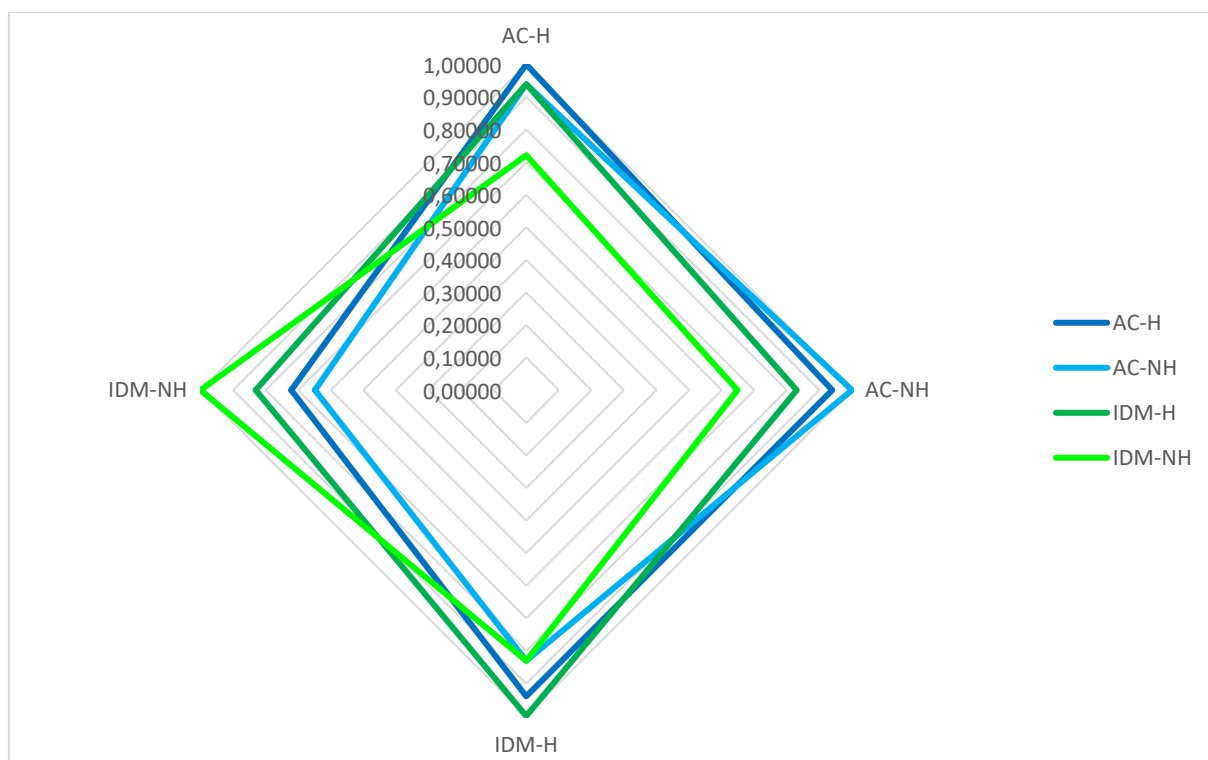
O mesmo acontece com os Açudes 184 e 277: Na primeira avaliação AC-H o Açude 277 (17ª posição) apresenta desempenho melhor que o 184 (18ª), na avaliação do subgrupo 2 as posições relativas se invertem e 184 (9ª posição) passa a superar 277 (10ª). Na abordagem com Índice o Açude 277 é sempre melhor que o Açude 184.



A respeito das correlações (apresentadas na Figura 10 e Tabela 11) pode-se destacar que elas foram maiores que na avaliação geral e na do subgrupo 1. Isto se deve sobretudo a presença de alternativas que foram classificadas como muito boas (238, 438, 628) e de outras que foram muito ruins (184, 277) em todas as análises, pois estas alternativas tendem a oscilar entre si e não trocar de lugar com alternativas que alcançam um desempenho muito pior (para as melhores) ou melhor (para as piores), gerando assim menos variações nas ordenações da Análise Convencional. Contudo é ainda evidente que as abordagens não hierárquicas, representadas nos tons mais claros, são as que mais se distanciam da outra forma (Convencional ou IDM).

É importante observar que nestas condições, ou seja, quando as preferências associadas as alternativas ficam bem distintas, o valor da correlação entre a AC-H e IDM-H (0,93939), assim como entre a AC-NH e IDM-NH (0,64848), são altos, implicando que ambas metodologias apresentam resultados próximos.

Figura 11 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens – Subgrupo 2( $\alpha$ )



Fonte: Elaboração do Autor.

Tabela 10 – Correlações das posições dos Rankings das diferentes formas de Análise – Subgrupo 2( $\alpha$ )

	AC-H	AC-NH	IDM-H	IDM-NH
AC-H	1	0,93939	0,93939	0,72121

AC-NH	0,93939	1	0,83030	0,64848
IDM-H	0,93939	0,83030	1	0,83030
IDM-NH	0,72121	0,64848	0,83030	1

Fonte: Elaboração do Autor

Por fim, é importante salientar que as alterações nas posições que foram mencionadas levando em consideração a AC-H foram destacadas por terem sido provocadas apenas por alterações no conjunto de alternativas observado, sem qualquer modificação nos pesos ou funções que constituem a estrutura do método PROMETHEE.

### 5.2.2. Estudo de caso ( $\beta$ )

Para o **Estudo de caso  $\beta$**  foram utilizados 40 indicadores, estabelecidos como critérios para o emprego do PROMETHEE. O Cenário Padrão composto para a parametrização do método, bem como a distribuição final dos pesos considerados para a avaliação hierárquica são apresentados nas Tabelas B1 e B2 no apêndice.

Os municípios foram nomeados com códigos constituídos da letra M seguida por um número de 01 a 19 que representa a ordem alfabética; com a intenção de organizar as tabelas e melhorar a apresentação dos resultados. A nomenclatura é apresentada na Tabela 11:

Tabela 11 – Nomes e Códigos para os municípios – Caso ( $\beta$ )

MUNICÍPIO	CÓDIGO
Alcantil	M01
Aroreiras	M02
Barra de Santana	M03
Barra de São Miguel	M04
Boa Vista	M05
Boqueirão	M06
Campina Grande	M07
Caturité	M08
Fagundes	M09
Gado Bravo	M10
Itatuba	M11
Montadas	M12
Natuba	M13
Pocinhos	M14
Puxinanã	M15
Queimadas	M16
Riacho de Santo Antônio	M17
Santa Cecília	M18
Umbuzeiro	M19

Fonte: Elaboração do autor.

Novamente o Cenário de Desempenho Ótimo Potencial é composto das características mais favoráveis presentes no banco de dados de forma individual para cada critério. Esta configuração permite que, neste conjunto de alternativas, o CP não apresente Fluxo negativo ( $\varphi^-$ ) uma vez que a preferência para qualquer critério  $P_i(CP, A)$  será alocada em favor do CP. Por isso o Índice de Desempenho Multicriterial (IDM) é obtido diretamente do fluxo positivo.

Após a composição do CP foi aplicado o método PROMETHEE para comparar as alternativas (Municípios) entre si, com emprego de uma análise convencional, e depois com ele (Alternativa de desempenho máximo potencial, idealizada para obtenção do índice comparativo).

Ambas as análises (Convencional e de IDM com resultados na tabela 12) foram executadas tanto para a configuração de pesos finais equivalentes, ora denominada Não-Hierárquica, quanto com os pesos relativos equivalentes, Hierárquica, cuja distribuição final é apresentada na Tabela (B2) (Apêndice B).

Tabela 12 - Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes métodos – Caso ( $\beta$ )

ANÁLISE CONVENCIONAL					ÍNDICE MULTICRITERIAL			
Posição	Hierárquica		Não-Hierárquica		Hierárquico		Não-Hierárquico	
	Alternativa	$\Phi$	Alternativa	$\Phi$	Alternativa	IDM	Alternativa	IDM
1º	<b>M07</b>	0,283	<b>M07</b>	0,214	<b>M07</b>	0,566	<b>M07</b>	0,459
2º	<b>M06</b>	0,244	<b>M06</b>	0,157	<b>M04</b>	0,399	<b>M11</b>	0,351
3º	<b>M17</b>	0,139	<b>M11</b>	0,125	<b>M06</b>	0,393	<b>M09</b>	0,325
4º	<b>M04</b>	0,105	<b>M17</b>	0,123	<b>M09</b>	0,352	<b>M04</b>	0,320
5º	<b>M15</b>	0,091	<b>M04</b>	0,100	<b>M17</b>	0,329	<b>M06</b>	0,308
6º	<b>M16</b>	0,019	<b>M09</b>	0,053	<b>M02</b>	0,318	<b>M17</b>	0,300
7º	<b>M14</b>	0,004	<b>M15</b>	0,050	<b>M11</b>	0,317	<b>M15</b>	0,252
8º	<b>M05</b>	-0,002	<b>M02</b>	-0,004	<b>M15</b>	0,313	<b>M02</b>	0,250
9º	<b>M09</b>	-0,032	<b>M16</b>	-0,020	<b>M03</b>	0,312	<b>M13</b>	0,250
10º	<b>M01</b>	-0,032	<b>M14</b>	-0,021	<b>M13</b>	0,310	<b>M03</b>	0,225
11º	<b>M11</b>	-0,034	<b>M12</b>	-0,021	<b>M05</b>	0,271	<b>M05</b>	0,225
12º	<b>M02</b>	-0,046	<b>M05</b>	-0,026	<b>M10</b>	0,257	<b>M10</b>	0,225
13º	<b>M03</b>	-0,058	<b>M08</b>	-0,035	<b>M01</b>	0,253	<b>M12</b>	0,225
14º	<b>M13</b>	-0,059	<b>M13</b>	-0,074	<b>M16</b>	0,247	<b>M16</b>	0,225
15º	<b>M12</b>	-0,067	<b>M03</b>	-0,083	<b>M12</b>	0,241	<b>M01</b>	0,180
16º	<b>M08</b>	-0,100	<b>M01</b>	-0,115	<b>M14</b>	0,214	<b>M08</b>	0,176
17º	<b>M18</b>	-0,128	<b>M18</b>	-0,131	<b>M08</b>	0,206	<b>M14</b>	0,171
18º	<b>M19</b>	-0,145	<b>M19</b>	-0,140	<b>M18</b>	0,201	<b>M18</b>	0,150
19º	<b>M10</b>	-0,182	<b>M10</b>	-0,153	<b>M19</b>	0,201	<b>M19</b>	0,150

Observação: Os empates no IDM são empates reais, as alternativas foram então classificadas por ordem alfabética a fim de distinguir as ordenações.

Fonte: Elaboração do autor.

Assim como foi explicado no exemplo anterior, as diferenças nos resultados se dá devido a comparação aditiva de todos os critérios de todas as alternativas na matriz dos fluxos para o método convencional, o que não ocorre para a determinação do IDM. Igualmente aguardavam-se as alterações entre as ordenações geradas por abordagens de caráter distinto (Hierárquico e Não-Hierárquico). As posições obtidas por cada alternativa em cada respectiva análise são apresentadas na Tabela 13:

Tabela 13 - Posições das alternativas em cada Análise - Caso ( $\beta$ )

<b>Município</b>	<b>Código</b>	ANÁLISE CONVENCIONAL		ÍNDICE MULTICRITERIAL	
		Hierárquica	Não-Hierárquica	Hierárquica	Não-Hierárquica
Alcantil	M01	10	16	13	15
Aroreiras	M02	12	8	6	8
Barra de Santana	M03	13	15	9	10
Barra de São Miguel	M04	4	5	2	4
Boa Vista	M05	8	12	11	11
Boqueirão	M06	2	2	3	5
Campina Grande	M07	1	1	1	1
Caturité	M08	16	13	17	16
Fagundes	M09	9	6	4	3
Gado Bravo	M10	19	19	12	12
Itatuba	M11	11	3	7	2
Montadas	M12	15	11	15	13
Natuba	M13	14	14	10	9
Pocinhos	M14	7	10	16	17
Puxinanã	M15	5	7	8	7
Queimadas	M16	6	9	14	14
Riacho de S. Antônio	M17	3	4	5	6
Santa Cecília	M18	17	17	18	18
Umbuzeiro	M19	18	18	19	19

Fonte: Elaboração do Autor

Para apresentar as correlações lineares existentes entre os resultados das análises foi elaborada a tabela de correlação (14) apresentada a seguir.

Tabela 14 – Correlações das posições do Ranking obtido pelas diferentes formas de Análise - Caso ( $\beta$ )

	AC-H	AC-NH	IDM-H	IDM-NH
AC-H	1	0,82982	0,7	0,61228
AC-NH	0,82982	1	0,78772	0,81228
IDM-H	0,7	0,78772	1	0,95439
IDM-NH	0,61228	0,81228	0,95439	1

Fonte: Elaboração do Autor

Onde:

**AC-H:** Análise Convencional com caráter Hierárquico.

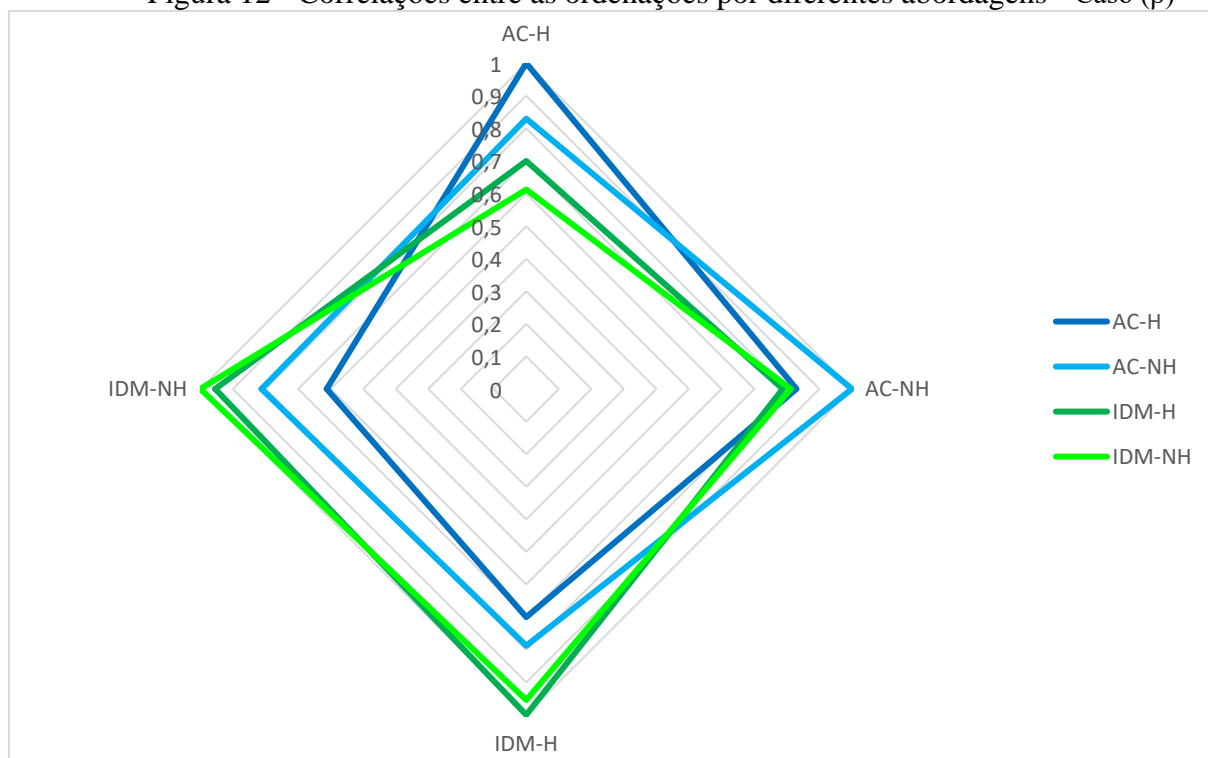
**AC-NH:** Análise Convencional com caráter Não-Hierárquico.

**IDM-H:** Índice Multicritério de Desempenho com caráter Hierárquico.

**IDM-NH:** Índice Multicritério de Desempenho com caráter Não-Hierárquico.

Neste Estudo de Caso as correlações mais fortes se dão, novamente, entre as abordagens do mesmo tipo, e a mais fraca se dá entre a Análise Convencional Hierárquica e o IDM não-hierárquico. Faz-se mister observar o valor da correlação entre os métodos AC-H e IDM-H (0,7), assim como AC-NH e IDM-NH (0,81228), mostrando que o IDM apresenta boa correlação com o método convencional. A figura 12 apresenta o gráfico de distribuição radial das correlações, onde se pode perceber que desta vez a AC-H foi a que mais se distanciou da abordagem de Índice, contudo a similaridades mais fortes permanecem nas análises do mesmo tipo (mesma cor em tons diferentes).

Figura 12 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens - Caso ( $\beta$ )



Fonte: Elaboração do Autor.

Para avaliar as alterações das ordenações relativas provocadas por modificações no conjunto de alternativas efetuou-se também uma divisão do conjunto de alternativas em 2

subgrupos. Para manter a uniformidade da apresentação os 19 municípios foram divididos em 2 grupos de 10, fazendo o M10 parte de ambos os grupos por estar no centro da lista.

As ordenações obtidas para os grupos são apresentadas a seguir nas Tabelas 15 e 17.

Tabela 15 – Ordenação para o 1º Subgrupo das alternativas - Caso (β)

Análise Convencional					ÍNDICE MULTICRITERIAL			
Hierárquica			Não-Hierárquica		Hierárquico		Não-Hierárquico	
Posição	Alternativa	Φ	Alternativa	Φ	Alternativa	IDM	Alternativa	IDM
1º	M07	0,266	M07	0,203	M07	0,566	M07	0,459
2º	M06	0,227	M06	0,147	M04	0,399	M09	0,325
3º	M04	0,077	M04	0,089	M06	0,393	M04	0,320
4º	M05	-0,005	M09	0,034	M09	0,352	M06	0,308
5º	M01	-0,045	M02	-0,022	M02	0,318	M02	0,250
6º	M03	-0,065	M05	-0,030	M03	0,312	M03	0,225
7º	M09	-0,067	M08	-0,044	M05	0,271	M05	0,225
8º	M02	-0,070	M03	-0,089	M10	0,257	M10	0,225
9º	M08	-0,111	M01	-0,118	M01	0,253	M01	0,180
10º	M10	-0,208	M10	-0,171	M08	0,206	M08	0,176

Fonte: Elaboração do Autor.

No subgrupo 1 é possível notar a reverção das das alternativas M01, M03, M09 E M02 (5ª, 6ª, 7ª e 8ª posições) em relação à avaliação geral pela abordagem AC-H onde a sequência relativa foi M09 (9ª posição), M01 (10ª posição), M02 (12ª posição) e M03 (13ª posição). Aqui não é perceptível apenas a inversão das posições relativas de algumas alternativas, mas uma reversão severa nas ordenações, a não ser pelas melhores e piores alternativas.

Para este subgrupo de alternativas as correlações apresentaram resultados semelhantes aos das análises gerais sobretudo visualmente. A Figura 13 apresenta estas correlações, onde se percebe que a AC-NH se aproximou das abordagens de índices e a AC-H foi a que teve o comportamento mais distinto se assemelhando quase igualmente tanto à AC-NH e quanto ao IDM-H e um pouco menos ao IDM-NH.

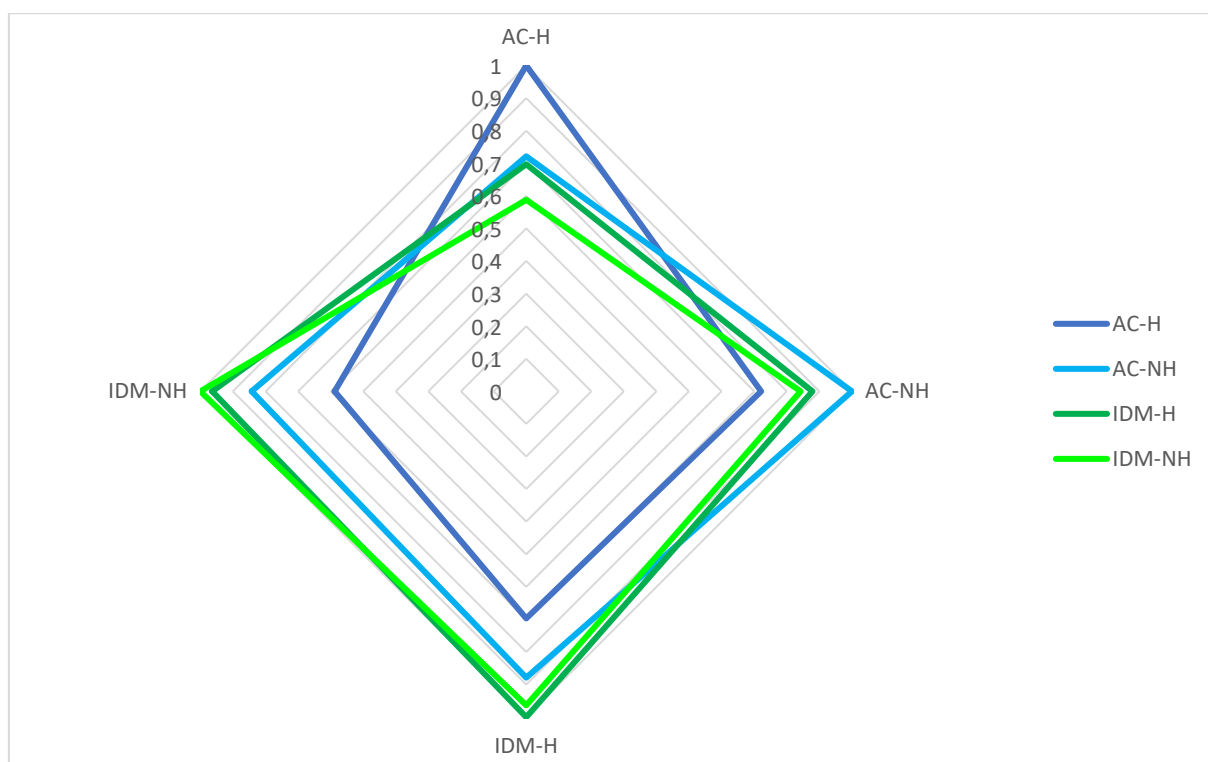
Os valores das correlações obtidas são apresentados na Tabela 16, onde percebe-se que as abordagens de índice são as que mais se aproximam e simultaneamente a AC-NH, em linhas gerais, é a que mais se assemelha às demais. Tais resultados demonstram a consistência e robustez do método IDM, quer pela comparação com o método convencional, quer pela comparação entre as representações hierárquicas e não hierárquicas.

Tabela 16 – Correlações das posições dos Rankings das diferentes formas de Análise-Subgrupo 1( $\beta$ )

	AC-H	AC-NH	IDM-H	IDM-NH
AC-H	1	0,72121	0,69697	0,58788
AC-NH	0,72121	1	0,87879	0,84242
IDM-H	0,69697	0,87879	1	0,96364
IDM-NH	0,58788	0,84242	0,96364	1

Fonte: Elaboração do Autor

Figura 13 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens – Subgrupo 1( $\beta$ )



Fonte: Elaboração do Autor.

Para completar a exposição o outro subgrupo também foi ordenado sob o mesmo procedimento e é apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Ordenação para o 2º Subgrupo das alternativas - Caso ( $\beta$ )

Análise Convencional					ÍNDICE MULTICRITERIAL			
Hierárquica			Não-Hierárquica		Hierárquico		Não-Hierárquico	
Posição	Alternativa	Φ	Alternativa	Φ	Alternativa	IDM	Alternativa	IDM
1 <sup>o</sup>	M17	0,186	M11	0,158	M17	0,329	M11	0,351
2 <sup>o</sup>	M15	0,131	M17	0,152	M11	0,317	M17	0,300
3 <sup>o</sup>	M16	0,062	M15	0,082	M15	0,313	M15	0,252
4 <sup>o</sup>	M14	0,020	M16	0,018	M13	0,310	M13	0,250
5 <sup>o</sup>	M11	0,013	M12	-0,003	M10	0,257	M10	0,225

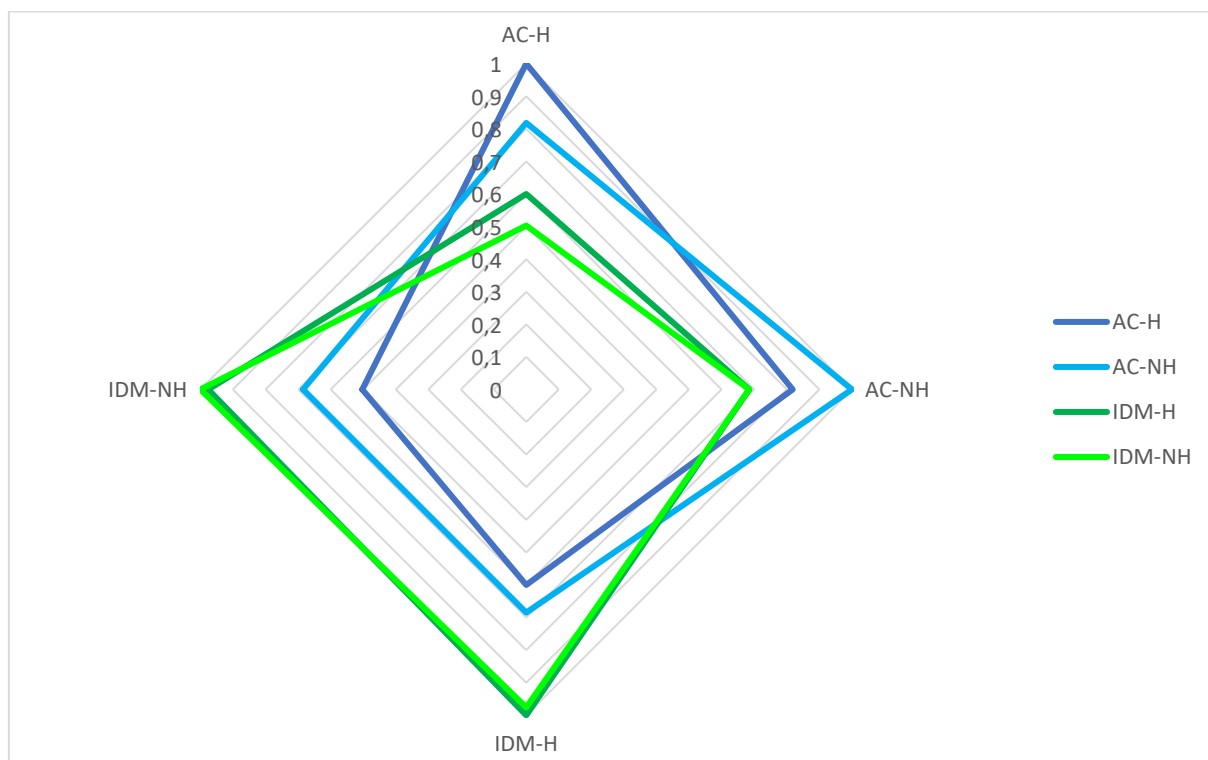
6º	M13	-0,023	M14	-0,010	M16	0,247	M12	0,225
7º	M12	-0,039	M13	-0,061	M12	0,241	M16	0,225
8º	M18	-0,104	M19	-0,107	M14	0,214	M14	0,171
9º	M19	-0,111	M18	-0,108	M18	0,201	M18	0,150
10º	M10	-0,137	M10	-0,121	M19	0,201	M19	0,150

Fonte: Elaboração do Autor.

Neste Subgrupo pode-se notar não houve alteração das posições relativas referentes à AC-H, porém na AC-NH percebeu-se a inversão das posições de M12 e M14, que apresentaram as posições 11ª e 10ª na análise geral e agora 5ª e 6ª, respectivamente.

A respeito das correlações (apresentadas na Figura 14 e Tabela 18) nota-se a reprodução dos comportamentos das análises **do Estudo de Caso ( $\alpha$ )** e da avaliação geral deste estudo, onde as abordagens do mesmo tipo se aproximam mais entre si, ao passo que se distanciam da outra e o caráter hierárquico ou não exerce pouca interferência.

Figura 14 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens – Subgrupo 2( $\beta$ )



Fonte: Elaboração do Autor.

Tabela 18 – Correlações das posições dos Rankings das diferentes formas de Análise – Subgrupo 2( $\beta$ )

	AC-H	AC-NH	IDM-H	IDM-NH
AC-H	1	0,81818	0,6	0,50303



AC-NH	0,81818	1	0,68485	0,68485
IDM-H	0,6	0,68485	1	0,97576
IDM-NH	0,50303	0,68485	0,97576	1

Fonte: Elaboração do Autor

Considerando agora este exemplo com um todo percebe-se que a Alternativa M07 se consagra como dominante em todas as análises e pressupõe-se que ela apresente um desempenho muito bom. Porém destaque interessante para este estudo de caso é que a alternativa M10, embora tenha apresentado o pior desempenho em todas as comparações tanto para a AC-H quanto para a AC-NH, não apresenta ter o pior resultado de desempenho para nenhum dos IDMs calculados. Isto pode evidenciar que as fraquezas desta alternativa estão empurrando-a para baixo nos confrontos com as demais e, conseqüentemente, na geração dos fluxos que conduzem à ordenação final. Isso demonstra a existência do efeito cumulativo no método convencional sendo processado nas matrizes de fluxos, ou seja, o desempenho da alternativa é obtido a partir da computação dos desempenhos relativos de seus critérios com os critérios de todas as demais alternativas.

Este efeito cumulativo distingue-se do compensatório, relativo a desempenhos pontuais referentes a determinados critérios, e se dá em virtude da interação com alternativas muito fracas ou muito fortes que podem mascarar o desempenho real de cada alternativa quando do cômputo dos fluxos. Na valoração do IDM o cálculo depende apenas do CP e da alternativa, portanto este efeito cumulativo relativo às demais alternativas não é computado.

### 5.2.3. Estudo de caso ( $\gamma$ )

Para o **Estudo de caso  $\gamma$**  foram utilizados 47 indicadores, estabelecidos como critérios para o emprego do PROMETHEE. O Cenário Padrão composto para a parametrização do método e distribuição final dos pesos considerados para a avaliação hierárquica são apresentados nas tabelas C1 e C2 no apêndice.

Neste estudo de caso os municípios também receberam uma nomenclatura de código para facilitar a visualização dos resultados nas tabelas. Estes códigos de duas letras, atribuídos por Pereira (2014), são mostrados na Tabela 19.

Os municípios foram nomeados com códigos constituídos da letra M seguida por um número de 01 a 19 que representa a ordem alfabética; com a intenção de organizar as tabelas e melhorar a apresentação dos resultados. A nomenclatura é apresentada na Tabela (19):

Tabela 19 – Nomes e Códigos para os municípios – Caso ( $\gamma$ )

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>CÓDIGO</b>
Boa Vista	<b>BV</b>
Boqueirão	<b>BO</b>
Campina Grande	<b>CG</b>
Itatuba	<b>IT</b>
Puxinanã	<b>PU</b>
Queimadas	<b>QU</b>
Serra Redonda	<b>SR</b>

Fonte: Elaboração do Autor

Mais uma vez o Cenário de Desempenho Ótimo Potencial foi utilizado para comparação com as alternativas. Composto, da mesma forma que nos casos anteriores, das características mais favoráveis para cada critério obtidas no conjunto de alternativas (apresentado na Tabela C1 do Apêndice).

A Ordenação obtida por diferentes métodos é apresentada na Tabela 20:

Tabela 20 - Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes métodos – Caso ( $\gamma$ )

ANÁLISE CONVENCIONAL					ÍNDICE MULTICRITERIAL			
Hierárquica			Não-Hierárquica		Hierárquico		Não-Hierárquico	
Posição	Alternativa	$\Phi$	Alternativa	$\Phi$	Alternativa	IDM	Alternativa	IDM
<b>1<sup>o</sup></b>	<b>CG</b>	0,104	<b>CG</b>	0,161	<b>CG</b>	0,817	<b>CG</b>	0,890
<b>2<sup>o</sup></b>	<b>QU</b>	0,068	<b>QU</b>	0,048	<b>BV</b>	0,792	<b>QU</b>	0,784
<b>3<sup>o</sup></b>	<b>BV</b>	0,040	<b>PU</b>	0,007	<b>QU</b>	0,779	<b>BO</b>	0,763
<b>4<sup>o</sup></b>	<b>BO</b>	0,014	<b>BO</b>	-0,022	<b>BO</b>	0,750	<b>BV</b>	0,756
<b>5<sup>o</sup></b>	<b>PU</b>	0,009	<b>BV</b>	-0,028	<b>PU</b>	0,710	<b>PU</b>	0,743
<b>6<sup>o</sup></b>	<b>IT</b>	-0,088	<b>IT</b>	-0,065	<b>IT</b>	0,647	<b>IT</b>	0,713
<b>7<sup>o</sup></b>	<b>SR</b>	-0,147	<b>SR</b>	-0,101	<b>SR</b>	0,592	<b>SR</b>	0,692

Fonte: Elaboração do Autor

As posições obtidas por cada uma das alternativas nas diferentes análises são apresentadas da Tabela 21.

Tabela 21 - Posições das alternativas em cada Análise - Caso ( $\gamma$ )

		ANÁLISE CONVENCIONAL		ÍNDICE MULTICRITERIAL	
<b>Município</b>	<b>Código</b>	Hierárquica	Não-Hierárquica	Hierárquica	Não-Hierárquica
Boa Vista	<b>BV</b>	3	5	2	4
Boqueirão	<b>BO</b>	4	4	4	3
Campina Grande	<b>CG</b>	1	1	1	1
Itatuba	<b>IT</b>	6	6	6	6
Puxinanã	<b>PU</b>	5	3	5	5
Queimadas	<b>QU</b>	2	2	3	2
Serra Redonda	<b>SR</b>	7	7	7	7

Fonte: Elaboração do Autor

Aqui percebe-se, em consequência do número pequeno de alternativas e características bem distintas, que há poucas alterações nas ordenações, quando observadas as diferentes abordagens. A alternativa CG caracteriza-se como dominante em todas as análises, enquanto IT e SR, nesta ordem, se destacam como piores. A alternativa QU apresenta bom desempenho em as análises aparecendo quase sempre na 2ª posição, à exceção do IDM-H (3ª posição).

As alternativas PU e BV foram as que apresentaram maior oscilação entre as ordenações. A alternativa PU ocupou a 3ª posição na AC-NH e a 5ª nas demais; ao passo que BV ocupa da 2ª (IDM-H) à 5ª posição (AC-NH), passando pela 3ª (AC-H) e 4ª (IDM-NH); o que ressalta a característica mais divergente da AC-NH

Como ocorreu com o subgrupo 2 do Estudo de Caso  $\alpha$ , estas características muito diferentes geram correlações altas entre as metodologias distintas (Tabela 22)

Tabela 22 - Correlações das posições do Ranking obtido pelas diferentes formas de Análise - Caso( $\gamma$ )

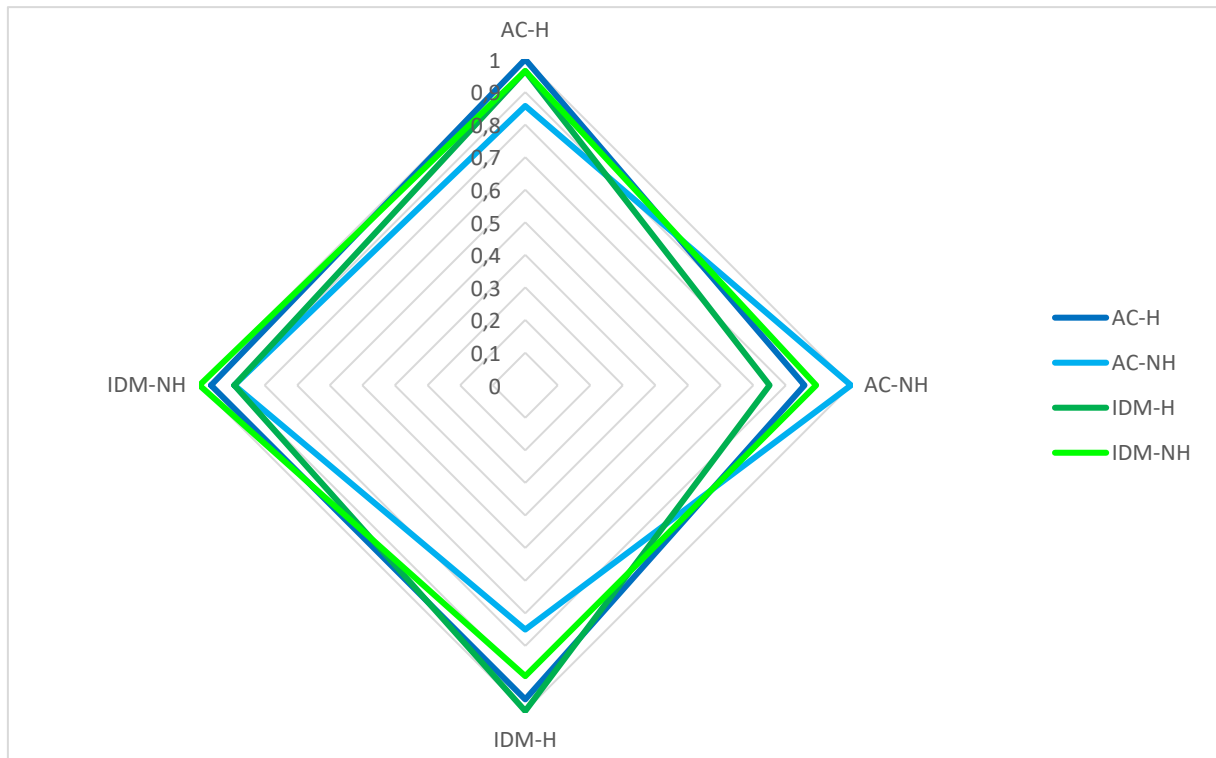
	AC-H	AC-NH	IDM-H	IDM-NH
AC-H	1	0,85714	0,96429	0,96429
AC-NH	0,85714	1	0,75	0,89286
IDM-H	0,96429	0,75	1	0,89286
IDM-NH	0,96429	0,89286	0,89286	1

Fonte: Elaboração do Autor

Existem, como nos outros exemplos, correlações bem altas entre abordagens de mesma forma e caráter distinto, isto é, AC-H com AC-NH e IDM-H com IDM-NH; porém merecem destaque especial as correlações obtidas pela AC-H, como a metodologia que mais se aproximou de todas as outras. Por outro lado, a menor correlação se dá entre AC-NH e IDM-H, que divergem tanto no que diz respeito a forma (Convencional ou IDM) quando ao caráter (hierárquico ou não). Como observado por ocasião dos comentários sobre as oscilações das alternativas, constata-se, por vez numericamente, que a AC-NH é a abordagem que apresenta menor correlação com as demais.

A Figura 15 apresenta as correlações entre as diferentes abordagens, onde nota-se a intensa sobreposição das linhas, o que indica esta forte aproximação entre os resultados e ao mesmo tempo é possível perceber que a AC-NH possui o contorno mais interno, caracterizando a menor aproximação com as outras abordagens.

Figura 15 - Correlações entre as ordenações por diferentes abordagens - Caso ( $\gamma$ )



Fonte: Elaboração do Autor.

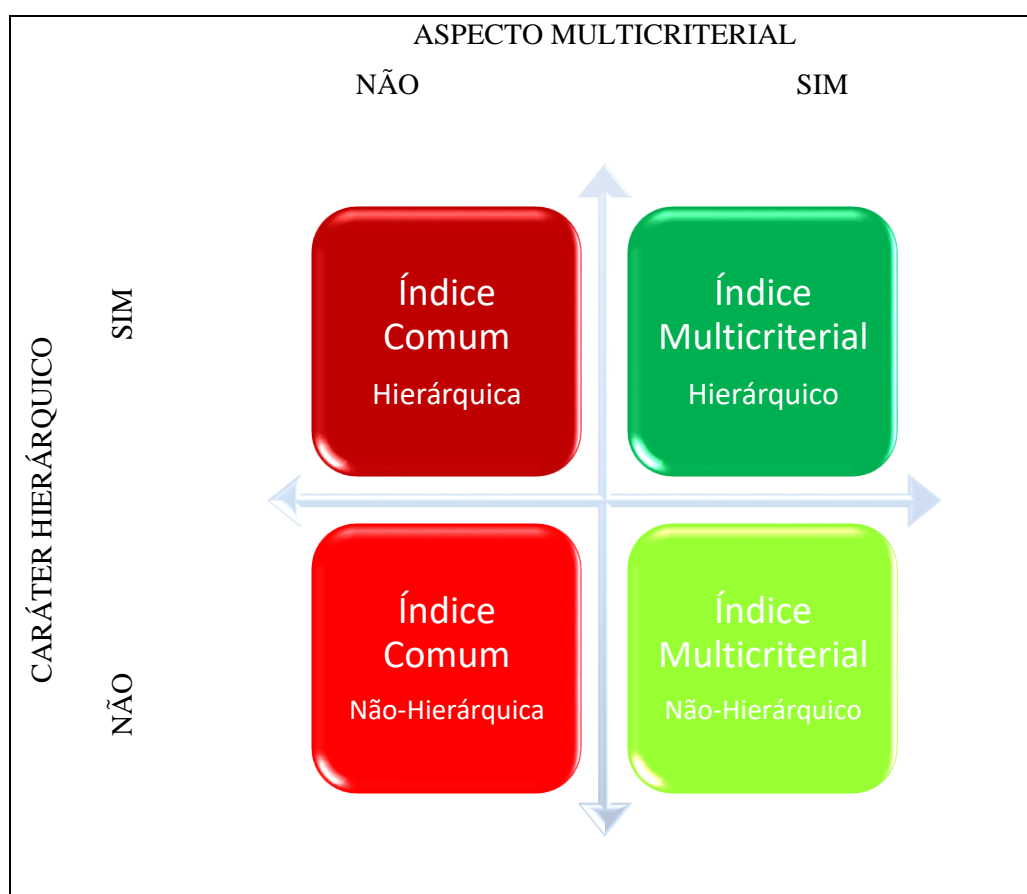
Por fim, faz-se mister esclarecer que não foi interessante a divisão do conjunto de alternativas em subgrupos, pois em virtude do seu número reduzido e das características bem distintas, que contribuem para a estabilidade dos resultados, não aparecem contrastes dignos de discussão.

### 5.3. Abordagens de Índices

Para ilustrar a avaliação proporcionada por um Índice Multicriterial, como o proposto neste estudo, e um de estrutura convencional foi feita comparação, para os mesmos estudos de casos, também entre estas abordagens de índices, em forma Comum ou Multicritério, e considerando também a ponderação própria do caráter hierárquico ou não hierárquico.

A Figura 16 apresenta esta distinção entre as metodologias.

Figura 16 – Apresentação das metodologias de Análise – Base-Índice



Fonte: Elaboração do Autor

As mesmas comparações foram efetuadas para as abordagens de índice, fazendo uso dos mesmos indicadores e dos pesos atribuídos para a análise multicriterial, discriminados nos apêndices, ou seja uma configuração com pesos finais iguais e outra com a ponderação obtida das considerações da estrutura hierárquica.

### 5.3.1. Estudo de Caso ( $\alpha$ )

A Tabela 23 A apresenta os valores de índices obtidos por diferentes métodos para as 20 alternativas do Estudo de Caso ( $\alpha$ ).

Tabela 23 - Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes índices - Caso ( $\alpha$ )

Posição	ÍNDICE COMUM				ÍNDICE MULTICRITERIAL			
	Hierárquico		Não-Hierárquico		Hierárquico		Não-Hierárquico	
	Alternativa	IC	Alternativa	IC	Alternativa	IDM	Alternativa	IDM
1 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 438</b>	0,455	<b>AÇUDE 03</b>	0,380	<b>AÇUDE 238</b>	0,659	<b>AÇUDE 238</b>	0,631
2 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 03</b>	0,435	<b>AÇUDE 438</b>	0,373	<b>AÇUDE 438</b>	0,657	<b>AÇUDE 73</b>	0,620
3 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 238</b>	0,420	<b>AÇUDE 71</b>	0,369	<b>AÇUDE 628</b>	0,655	<b>AÇUDE 44</b>	0,607
4 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 71</b>	0,415	<b>AÇUDE 238</b>	0,364	<b>AÇUDE 73</b>	0,628	<b>AÇUDE 628</b>	0,600
5 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 628</b>	0,380	<b>AÇUDE 181</b>	0,344	<b>AÇUDE 44</b>	0,624	<b>AÇUDE 75</b>	0,599
6 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 401</b>	0,364	<b>AÇUDE 628</b>	0,343	<b>AÇUDE 75</b>	0,607	<b>AÇUDE 433</b>	0,582
7 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 248</b>	0,362	<b>AÇUDE 184</b>	0,325	<b>AÇUDE 433</b>	0,606	<b>AÇUDE 401</b>	0,557
8 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 144</b>	0,360	<b>AÇUDE 248</b>	0,319	<b>AÇUDE 248</b>	0,589	<b>AÇUDE 132</b>	0,553
9 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 433</b>	0,359	<b>AÇUDE 144</b>	0,313	<b>AÇUDE 401</b>	0,588	<b>AÇUDE 438</b>	0,537
10 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 44</b>	0,358	<b>AÇUDE 401</b>	0,312	<b>AÇUDE 132</b>	0,586	<b>AÇUDE 71</b>	0,528
11 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 191</b>	0,356	<b>AÇUDE 191</b>	0,308	<b>AÇUDE 144</b>	0,576	<b>AÇUDE 191</b>	0,517
12 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 75</b>	0,355	<b>AÇUDE 433</b>	0,305	<b>AÇUDE 255</b>	0,564	<b>AÇUDE 255</b>	0,509
13 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 73</b>	0,353	<b>AÇUDE 44</b>	0,304	<b>AÇUDE 51</b>	0,554	<b>AÇUDE 144</b>	0,507
14 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 255</b>	0,350	<b>AÇUDE 255</b>	0,300	<b>AÇUDE 191</b>	0,552	<b>AÇUDE 248</b>	0,506
15 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 132</b>	0,349	<b>AÇUDE 73</b>	0,300	<b>AÇUDE 71</b>	0,525	<b>AÇUDE 72</b>	0,502
16 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 51</b>	0,349	<b>AÇUDE 75</b>	0,300	<b>AÇUDE 03</b>	0,520	<b>AÇUDE 03</b>	0,483
17 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 184</b>	0,346	<b>AÇUDE 51</b>	0,299	<b>AÇUDE 277</b>	0,517	<b>AÇUDE 51</b>	0,464
18 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 277</b>	0,332	<b>AÇUDE 132</b>	0,298	<b>AÇUDE 72</b>	0,484	<b>AÇUDE 277</b>	0,446
19 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 72</b>	0,321	<b>AÇUDE 72</b>	0,280	<b>AÇUDE 184</b>	0,471	<b>AÇUDE 181</b>	0,439
20 <sup>o</sup>	<b>AÇUDE 181</b>	0,319	<b>AÇUDE 277</b>	0,277	<b>AÇUDE 181</b>	0,408	<b>AÇUDE 184</b>	0,421

Observação: Os empates percebidos nesta tabela decorrem da aproximação para 3 casa decimais, não se tratando, portanto, de empates reais.

Fonte: Elaboração do autor.

Há de se observar que as alterações nas posições de ordenação relativas aos índices convencionais são muito severas, pois elas dependem quase que exclusivamente das modificações dos pesos, isto é, num conjunto pré-estabelecido de alternativas a análise comparativa proporcionada pelo IC não depende dos desempenhos de outras alternativas, como no caso da AC, mas apenas dos atributos, que não se alteram num conjunto pré-determinado e dos pesos, que, por sua vez, constituem na prática a diferença entre as análises do IC-H e do IC-NH. As posições obtidas em cada abordagem são apresentadas na tabela 24.

Tabela 24 - Posições das alternativas para cada Índice - Caso ( $\alpha$ )

	ÍNDICE COMUM		ÍNDICE MULTICRITERIAL	
	Hierárquica	Não-Hierárquica	Hierárquica	Não-Hierárquica
<b>AÇUDE 03</b>	2	1	16	16
<b>AÇUDE 44</b>	10	13	5	3
<b>AÇUDE 51</b>	16	17	13	17
<b>AÇUDE 71</b>	4	3	15	10
<b>AÇUDE 72</b>	19	19	18	15
<b>AÇUDE 73</b>	13	15	4	2
<b>AÇUDE 75</b>	12	16	6	5
<b>AÇUDE 132</b>	15	18	10	8
<b>AÇUDE 144</b>	8	9	11	13
<b>AÇUDE 181</b>	20	5	20	19
<b>AÇUDE 184</b>	17	7	19	20
<b>AÇUDE 191</b>	11	11	14	11
<b>AÇUDE 238</b>	3	4	1	1
<b>AÇUDE 248</b>	7	8	8	14
<b>AÇUDE 255</b>	14	14	12	12
<b>AÇUDE 277</b>	18	20	17	18
<b>AÇUDE 401</b>	6	10	9	7
<b>AÇUDE 433</b>	9	12	7	6
<b>AÇUDE 438</b>	1	2	2	9
<b>AÇUDE 628</b>	5	6	3	4

Fonte: Elaboração do Autor

25. As correlações entre as posições obtidas por cada alternativa são apresentadas na Tabela

Tabela 25 – Correlações das posições do Ranking obtido pelos diferentes Índices - Caso ( $\alpha$ )

	IC-H	IC-NH	IDM-H	IDM-NH
IC-H	1	0,69925	0,59098	0,48571
IC-NH	0,69925	1	0,11729	0,01353
IDM-H	0,59098	0,11729	1	0,87218
IDM-NH	0,48571	0,01353	0,87218	1

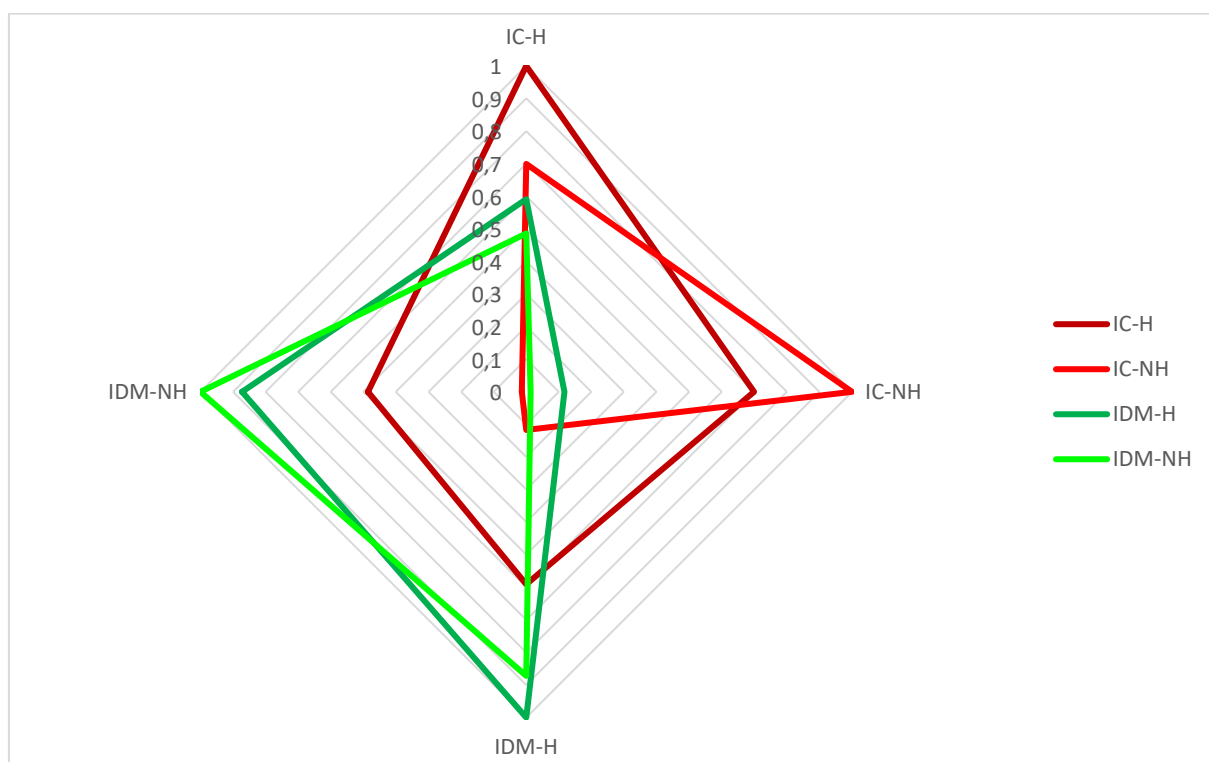
Fonte: Elaboração do Autor

Onde:

**IC-H:** Índice Comum (Convencional) com caráter Hierárquico.**IC-NH:** Índice Comum com caráter Não-Hierárquico.**IDM-H:** Índice Multicritério de Desempenho com caráter Hierárquico.**IDM-NH:** Índice Multicritério de Desempenho com caráter Não-Hierárquico.

Nestas análises é notória a correlação mais forte entre as metodologias de mesma estrutura e com caráter distinto. A Figura 17 ilustra este comportamento para o estudo de caso  $\alpha$ , onde merece destaque a maior afinidade do IC-H com as demais metodologias. Neste exemplo, fica clara a baixa correlação entre os métodos IC-NH e IDM-NH, claramente indicando que as duas formas de criação de índices podem ser bem diferentes dependendo da natureza do problema analisado, ou seja, que são metodologias bem distintas.

Figura 17 - Correlações entre as ordenações por diferentes Índices - Caso ( $\alpha$ )



Fonte: Elaboração do Autor.

### 5.3.2. Estudo de caso ( $\beta$ )

A Tabela 26 apresenta os valores de índices obtidos por diferentes métodos para as 19 alternativas do Estudo de Caso ( $\beta$ ).

Tabela 26 - Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes índices - Caso ( $\beta$ )

ÍNDICE COMUM					ÍNDICE MULTICRITERIAL			
Hierárquico			Não-Hierárquico		Hierárquico		Não-Hierárquico	
Posição	Alternativa	IC	Alternativa	IC	Alternativa	IDM	Alternativa	IDM
1 <sup>o</sup>	M07	0.596	M07	0.510	M07	0.566	M07	0.459



2º	M06	0,539	M06	0,442	M04	0,399	M11	0,351
3º	M17	0,398	M11	0,412	M06	0,393	M09	0,325
4º	M04	0,384	M17	0,367	M09	0,352	M04	0,320
5º	M15	0,370	M09	0,360	M17	0,329	M06	0,308
6º	M02	0,356	M04	0,353	M02	0,318	M17	0,300
7º	M09	0,346	M02	0,321	M11	0,317	M15	0,252
8º	M11	0,337	M15	0,319	M15	0,313	M02	0,250
9º	M16	0,324	M16	0,302	M03	0,312	M13	0,250
10º	M03	0,318	M12	0,285	M13	0,310	M03	0,225
11º	M13	0,312	M05	0,279	M05	0,271	M05	0,225
12º	M05	0,307	M13	0,271	M10	0,257	M10	0,225
13º	M14	0,303	M03	0,267	M01	0,253	M12	0,225
14º	M01	0,299	M14	0,258	M16	0,247	M16	0,225
15º	M12	0,282	M10	0,254	M12	0,241	M01	0,180
16º	M19	0,258	M08	0,252	M14	0,214	M08	0,176
17º	M08	0,255	M01	0,236	M08	0,206	M14	0,171
18º	M10	0,243	M19	0,223	M18	0,201	M18	0,150
19º	M18	0,218	M18	0,183	M19	0,201	M19	0,150

Fonte: Elaboração do Autor

Há de se observar que as alterações nas posições de ordenação relativas aos índices convencionais são muito severas pois elas dependem quase que exclusivamente das modificações dos pesos. As posições obtidas em cada abordagem são apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 - Posições das alternativas para cada Índice - Caso (β)

Município	Código	ÍNDICE COMUM		ÍNDICE MULTICRITERIAL	
		Hierárquico	Não-Hierárquico	Hierárquica	Não-Hierárquica
Alcantil	M01	14	17	13	15
Aroreiras	M02	6	7	6	8
Barra de Santana	M03	10	13	9	10
Barra de São Miguel	M04	4	6	2	4
Boa Vista	M05	12	11	11	11
Boqueirão	M06	2	2	3	5
Campina Grande	M07	1	1	1	1
Caturité	M08	17	16	17	16
Fagundes	M09	7	5	4	3
Gado Bravo	M10	18	15	12	12
Itatuba	M11	8	3	7	2
Montadas	M12	15	10	15	13
Natuba	M13	11	12	10	9
Pocinhos	M14	13	14	16	17
Puxinanã	M15	5	8	8	7
Queimadas	M16	9	9	14	14
Riacho de S. Antônio	M17	3	4	5	6

Santa Cecília	M18	19	19	18	18
Umbuzeiro	M19	16	18	19	19

Fonte: Elaboração do Autor

28. As correlações entre as posições obtidas por cada alternativa são apresentadas na Tabela

Tabela 28 – Correlações das posições do Ranking obtido pelos diferentes Índices - Caso ( $\beta$ )

	IC-H	IC-NH	IDM-H	IDM-NH
IC-H	1	0,90877	0,90175	0,84561
IC-NH	0,90877	1	0,87895	0,91228
IDM-H	0,90175	0,87895	1	0,95439
IDM-NH	0,84561	0,91228	0,95439	1

Fonte: Elaboração do Autor

Onde:

**IC-H:** Índice Comum (Convencional) com caráter Hierárquico.

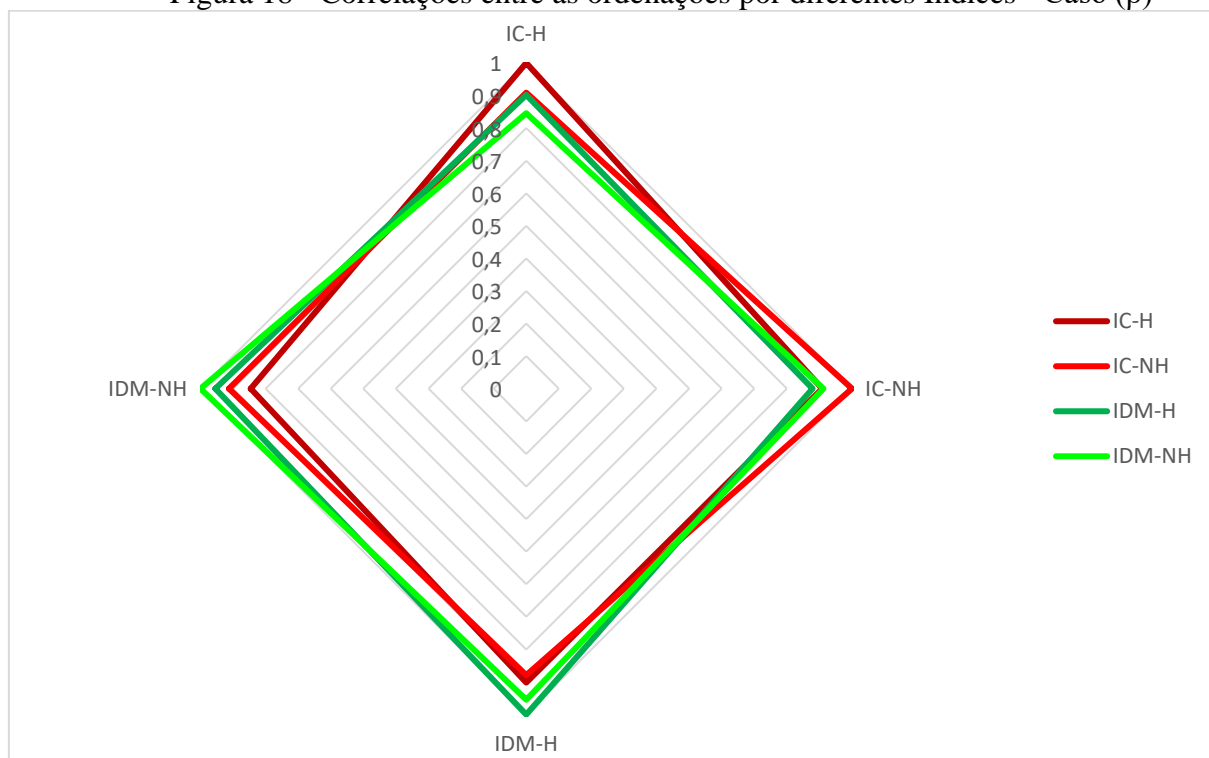
**IC-NH:** Índice Comum com caráter Não-Hierárquico.

**IDM-H:** Índice Multicritério de Desempenho com caráter Hierárquico.

**IDM-NH:** Índice Multicritério de Desempenho com caráter Não-Hierárquico.

Para estas análises todas as abordagens apresentaram correlações muito próximas, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 - Correlações entre as ordenações por diferentes Índices - Caso ( $\beta$ )



Fonte: Elaboração do Autor.

Observa-se, neste exemplo, a alta correlação entre os resultados apresentados para as diferentes metodologias, ou seja, a classificação obtida através dos cálculos de IC e de IDM são muito parecidas. Este comportamento se deve ao desempenho similar das alternativas em relação aos critérios, ou seja, se uma alternativa apresenta bons resultados para determinados critérios as demais alternativas apresentam também resultados semelhantes para os mesmos critérios e este comportamento se repete para os critérios onde as alternativas têm deficiência. Isso repercute no alto nível de correlação entre os atributos, que pode ser notado na Tabela do APÊNDICE B3, sempre superior a 0,97, e conduz para que a distinção entre as alternativas se dê na proporção em que elas superam ou são superadas pelo padrão (para o IDM) e pelas diferenças valores absolutos dos atributos (para o IC).

### 5.3.3. Estudo de caso ( $\gamma$ )

A Tabela 29 apresenta os valores de índices obtidos por diferentes métodos para as 19 alternativas do Estudo de Caso ( $\gamma$ ).

Tabela 29 - Ordenação das Alternativas avaliadas por diferentes índices - Caso ( $\gamma$ )

ÍNDICE COMUM					ÍNDICE MULTICRITERIAL			
Hierárquico			Não-Hierárquico		Hierárquico		Não-Hierárquico	
Posição	Alternativa	IC	Alternativa	IC	Alternativa	IDM	Alternativa	IDM
1 <sup>o</sup>	CG	0,451	CG	0,460	CG	0,817	CG	0,890
2 <sup>o</sup>	QU	0,397	QU	0,327	BV	0,792	QU	0,784
3 <sup>o</sup>	BV	0,348	PU	0,286	QU	0,779	BO	0,763
4 <sup>o</sup>	PU	0,335	BO	0,235	BO	0,750	BV	0,756
5 <sup>o</sup>	BO	0,322	BV	0,229	PU	0,710	PU	0,743
6 <sup>o</sup>	IT	0,237	IT	0,214	IT	0,647	IT	0,713
7 <sup>o</sup>	SR	0,162	SR	0,156	SR	0,592	SR	0,692

Fonte: Elaboração do Autor

A Tabela 30 traz as posições obtidas pelas alternativas de acordo com cada ordenação.

Tabela 30 - Posições das alternativas para cada Índice - Caso ( $\gamma$ )

ÍNDICE COMUM				ÍNDICE MULTICRITERIAL	
Município	Código	Hierárquico	Não-Hierárquico	Hierárquica	Não-Hierárquica
Boa Vista	BV	5	4	4	3

Boqueirão	<b>BO</b>	3	5	2	4
Campina Grande	<b>CG</b>	1	1	1	1
Itatuba	<b>IT</b>	6	6	6	6
Puxinanã	<b>PU</b>	4	3	5	5
Queimadas	<b>QU</b>	2	2	3	2
Serra Redonda	<b>SR</b>	7	7	7	7

Fonte: Elaboração do Autor

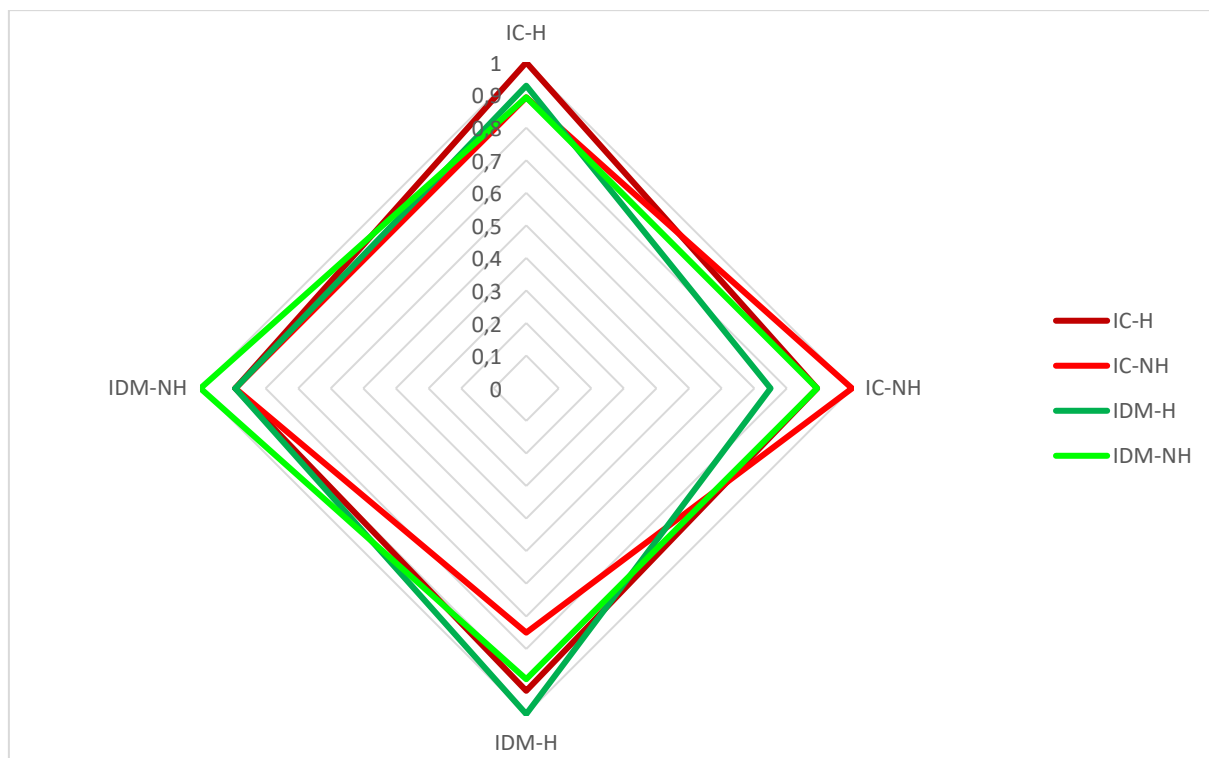
As correlações são apresentadas na Tabela 31 e na figura 19, onde percebe-se que, de modo análogo a comparação entre a AC e o IDM, há pouca oscilação das alternativas entre os diferentes métodos.

Tabela 31 – Correlações das posições do Ranking obtido pelos diferentes Índices - Caso ( $\gamma$ )

	IC-H	IC-NH	IDM-H	IDM-NH
IC-H	1	0,89286	0,92857	0,89286
IC-NH	0,89286	1	0,75	0,89286
IDM-H	0,92857	0,75	1	0,89286
IDM-NH	0,89286	0,89286	0,89286	1

Fonte: Elaboração do Autor

Figura 19 - Correlações entre as ordenações por diferentes Índices.



Fonte: Elaboração do Autor

De modo geral o Estudo de caso ( $\gamma$ ) apresenta um comportamento mais similar provavelmente devido ao comportamento dos critérios para as distintas alternativas. Conforme já observado no Estudo de Caso ( $\beta$ ).

## **5.4. Discussão geral das abordagens**

### *5.4.1. Aspectos gerais*

A proposta deste estudo baseia-se na distinção entre metodologias de análise comparativa (multicritério e índices) e respectivas variações para estruturar um método que compatibilizasse diferentes aspectos destas abordagens. Por isso os resultados foram apresentados comparando o IDM ora com a AC, ora com o IC, uma vez que aquele tem características de ambos, mas uma comparação entre AC e IC não é interessante por causa das abordagens intrinsecamente divergentes nas suas concepções, como já discutido na introdução.

Pode-se observar a maior estabilidade do IDM diante das outras abordagens, quer da Análise Multicritério Convencional, quer da outra abordagem de Índice, pois de um modo geral, e especialmente para um conjunto pré-estabelecido e bem definido de alternativas, ela apresenta o resultado da ordenação dependente basicamente das características da alternativa e das configurações de atributos do CP. Neste caso as variações nas ordenações podem provocadas pelas modificações dos pesos e apenas por isso, sem a interferência do desempenho das outras alternativas e, embora esta última observação também seja válida para o IC, as funções de preferência conferem uma análise menos sensível às oscilações desses pesos, constituindo, portanto uma vantagem do IDM também sobre o IC.

Uma evidência desta estabilidade é que a menor correlação entre IDM-H e IDM-NH é 0,8303 (no Subgrupo 1 do Caso ( $\alpha$ )) chegando a alcançar 0,97576 (no Subgrupo 2 do Caso ( $\beta$ )), enquanto que as correlações entre AC-H e AC-NH variam de 0,72121 (para o Subgrupo 1 do Caso ( $\beta$ )) até 0,96364 (no Subgrupo 1 do Caso ( $\alpha$ )), isto prova que, num panorama geral, o IDM tende a ser mais estável e, conseqüentemente, robusto. Uma das causas da Análise Convencional variar mais é que, além da sensibilidade aos pesos dos critérios, há, ainda, uma relação de interdependência entre as alternativas sendo computada no cálculo dos fluxos, que aqui chamou-se de efeito cumulativo.

Tabela 32 –Amplitudes de Variação nas diferentes abordagens multicritério.

ESTUDO DE CASO	AC-H	AC-NH	IDM-H	IDM-NH
ALPHA	0,13075	0,070600	0,25142	0,209855
BETA	0,232414	0,183387	0,365004	0,308504
GAMA	0,125773	0,130826	0,224917	0,198056

Fonte: Elaboração do Autor

Outra característica interessante é que o IDM distribui as alternativas na ordenação com uma distância maior entre si, quando comparado à Análise Multicritério Convencional, o que se nota pela amplitude do intervalo de variação dos Fluxos para a análise convencional e do valor do índice para o IDM, esta amplitude aparece na Tabela 32. Isto confere maior estabilidade à análise diante de pequenas alterações dos pesos ou dos atributos dos critérios.

Sob esta perspectiva é possível julgar a parametrização do PROMETHEE por meio de um Cenário Padrão como bem-sucedida.

Quando da comparação com o IC, o IDM mostrou-se também mais eficiente, uma vez que oscilou menos, dado que as correlações entre IC-H e IC-NH foram, em todos os casos, no máximo iguais as correlações entre IDM-H e IDM-NH. Isto se deu porque o IC é mais sensível às mudanças nos pesos dos indicadores. Além disso, o IC, sobretudo na forma não hierárquica, permite efeitos compensatórios, uma vez que a alternativa se comporte excepcionalmente bem num determinado critério, ainda que de maneira singular, isto é imediatamente computado no cálculo do índice. Esses efeitos são minimizados com uso das funções de preferência e respectivos parâmetros no IDM e na AC, bem como pela análise hierárquica para o agrupamento e subsequente ponderação dos critérios.

Comparando IDM-H e AC-H observa-se as variações das posições de várias alternativas entre uma e outra forma análise são mais severas que entre as com mesma forma e caráter distinto, isto se dá porque há interferências entre os desempenhos de umas alternativas sobre as outras no caso da AC. Quanto mais similar é o comportamento das alternativas, no que diz respeito a ter desempenhos favoráveis em determinados critérios, isto é, apresentando valores de atributos altos para os critérios que se deseja maximizar e valores baixos no que se quer minimizar, ou desfavoráveis, quando ocorre o contrário; mais as formas de análise tendem a se aproximar nos resultados da ordenação. Mesmo com valores de atributos distintos, entre as alternativas (que fazem com que elas sejam ordenadas como melhores ou piores umas em relação as outras) os comportamentos similares conduzem a resultados de ordenação convergentes.

Entre IDM-NH e AC-NH, observa-se ora aproximação ora divergência nas ordenações. Este comportamento se deve às características das alternativas, os mesmos pesos empregados em ambas as análises e as mesmas configurações do método, em relação às funções empregadas, patamares escolhidos e pesos dos critérios, deixa claro o efeito cumulativo (do desempenho de uma alternativa sobre a outra) na ordenação final da AC-NH quando comparada ao IDM-NH.

O efeito cumulativo da análise comparativa entre critérios e a dependência, constatada na AC de todas alternativas (que podem levar a uma grande mudança da ordenação das alternativas, quando da inclusão ou exclusão de uma alternativa) levam a conclusão que o IDM é mais estável.

O efeito compensatório existe no IC, pois a normalização direta dos critérios e a entrada dos respectivos atributos no cálculo final, por meio de uma distribuição linear, permite o processamento de vantagens e desvantagens que, quando percebidos de uma perspectiva mais ampla, seriam desprezíveis. Comparando com o IDM isso não acontece, pois, os patamares de indiferença impedem esse processamento e os de preferência absoluta evitam que a alguma alternativa apresente uma preferência desproporcionalmente grande sobre as demais. Vale salientar que ambas metodologias são bem distintas, como mostrado no primeiro exemplo, mas podem ter resultados muito próximos, como o segundo e terceiro exemplos, desde que os comportamentos dos critérios sejam similares ou o número de alternativas seja pequeno.

Tanto com o caráter hierárquico como não-hierárquico considera-se o IDM mais apropriado que o IC, pela capacidade de lidar melhor com as características de cada indicador através das funções de preferência, em vez que empregar diretamente apenas a normalização e ponderação dos indicadores.

#### *5.4.2. Análise Hierárquica.*

A análise hierárquica não deve ser entendida como uma mera ponderação dos critérios, senão como uma ponderação que leva em consideração os níveis de agrupamento dos indicadores, ora tratados como critérios, a fim de evitar a supervalorização de determinado aspecto da análise. Como por exemplo, pode-se destacar no primeiro estudo de caso ( $\alpha$ ) a associação de 13 indicadores na dimensão Técnico-Operacional, o que corresponde a quase metade dos 27 indicadores considerados, isso implica que praticamente metade do peso do

processo de análise incide apenas sobre uma das 4 dimensões quando se usa pesos finais iguais, supervalorizando esta dimensão em detrimento das outras (Econômica, Social e Ambiental).

Quando a ponderação é feita com pesos relativos equivalentes todos os critérios considerados contribuem à sua maneira para a avaliação geral sem, no entanto, priorizar de modo automático uma determinada dimensão. E quando se deseja variar estes pesos se obtém, do mesmo modo, ponderações finais diferentes que repercutem as preferências a favor de determinados aspectos e em detrimento de outros, de modo mais equilibrado que a ponderação direta dos critérios em nível final.

Então pode-se concluir que, quando se aplicam os pesos relativos equivalentes, levando em consideração à estrutura hierárquica dos critérios, se obtém como resultado uma ordenação que privilegia as alternativas de melhor desempenho global e mais regulares (isto é, que tem vantagens referentes à maioria dos critérios). Quando se empregam os pesos finais iguais privilegiam-se as alternativas com desempenhos singulares excepcionais (muito bons em poucos critérios) e se supervaloriza a importância das dimensões de análise que contenham mais indicadores.

#### *5.4.3. Validação do IDM*

Enfim, para validar o IDM, tem-se de analisar:

- **A Sensibilidade do Método:** isso pode ser mostrado ao comparar métodos hierárquicos com não hierárquicos, ou seja, mostrando que dão resultados diferentes ao se mudar o peso.

- **Robustez do Método:** ou seja, pequenas variações não provocam grandes mudanças nos resultados (é o caso quando se retira uma alternativa, não se alteram os rankings das alternativas superiores a ela)

- **Facilidade de determinação:** O IDM é baseado num método já consagrado na prática e é facilmente determinável (baixo custo computacional). Vale ressaltar que as alterações nos critérios de uma alternativa não interferem no cálculo do ranking de outra alternativa, como ocorre com o PROMETHEE, e, portanto, não precisa efetuar todos os cálculos para determinar uma nova ordenação das alternativas.

- **Facilidade de interpretação e credibilidade:** o IDM, por comparar par a par os critérios de uma alternativa com um cenário padrão, apresenta maior facilidade de interpretação por representar uma métrica de quão distante está de um cenário que pode ser considerado ideal.



- **Minimização de Efeitos Compensatórios ou Cumulativos:** o IDM, por efetuar a comparação par a par com os critérios de um cenário padrão, dando uma medida de distância e incluindo a relevância do critério no processo de julgamento, se torna muito melhor que a simples avaliação de um índice, que, geralmente, é determinado através de uma média ponderada de seus indicadores normalizados. Com relação a Análise Multicriterial via método PROMETHEE tem, como aparente desvantagem, o efeito cumulativo da superação dos critérios de uma alternativa com relação a outra, levando, inclusive, a alterações nas ordens das alternativas quando de pequenas mudanças no problema, quer seja com relação a pesos, valores dos critérios ou inserção e remoção de alternativas (motivo pelo qual não podem ser utilizada para determinar índices). Além disso, o processo de julgamento da importância de quão um critério venha a ter melhor desempenho que outro é estabelecido, além de seus pesos, por uma função de preferência pré-estabelecida no método PROMETHEE, ou seja, pode fazer uso de suas seis funções utilidade que, simultaneamente, normalizam e quantificam a preferência de um critério de uma alternativa sobre outra.

Outra observação que deve ser feita é que o método PROMETHEE trabalha com os desvios e associa a eles uma função de preferência (para normalizar e, simultaneamente, simular o grau de importância daquele desvio do critério de uma alternativa em detrimento de outra, enquanto que no cálculo de índices se faz, em geral, uso dos próprios valores normalizados dos indicadores/critérios de cada alternativa.

Quadro 14 – Resumo das comparações entre as diferentes abordagens.

<b>Característica</b>	<b>ANÁLISE CONVENCIONAL</b>	<b>ÍNDICE DE DESEMPENHO MULTICRITERIAL</b>	<b>ÍNDICE COMUM</b>
	<b>Relativa (Dependente de outras alternativas)</b>	<b>Absoluta (Independente)</b>	<b>Absoluta (Independente)</b>
Avaliação proporcionada			
Limitação da validade ao conjunto de Alternativas	<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>
Função de Utilidade	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
Função de Preferência	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Não</b>
Normalização dos atributos	<b>Possível, não necessária</b>	<b>Possível, não necessária</b>	<b>Necessária</b>

Processamento independente de Alternativas	<b>Impossível</b>	<b>Possível</b>	<b>Possível</b>
Efeitos Compensatórios	<b>Mínimos</b>	<b>Mínimos</b>	<b>Presentes</b>
Robustez	<b>Boa</b>	<b>Muito Boa</b>	<b>Baixa</b>

Fonte: Elaboração do Autor

## 6. CONCLUSÕES

A grande vantagem do emprego desta ferramenta, o IDM, é a possibilidade de lançar mão da estrutura de um método já bem estabelecido para o delineamento, tratamento e análise dos problemas de decisão, visando, com esta metodologia, o estabelecimento de índices de desempenho (IDM). As características do PROMETHEE, como suas funções de preferência que são adotadas de acordo com a natureza (contínua, discreta, probabilística, escala de utilidade, etc.) de cada critério considerado (cujo atributo, na criação de um IDM, é, em geral, um indicador); conferem uma versatilidade muito grande ao processo de estruturação do problema e ordenação das alternativas e igualmente confiabilidade aos resultados, diminuindo os riscos de haverem arbitrariedades quando do delineamento e determinação dos IDM, isto é, quer seja com relação a escolha de formas para normalização dos atributos, quer seja quanto a escolha de funções que agregarão seus valores para obtenção de um índice.

Este tratamento permite inserir na análise a agregação de todo o montante de indicadores disponíveis, na forma de atributos dos critérios; possibilitando também inserção dos agrupamentos em níveis hierárquicos e a aplicação das funções de preferência típicas do Método PROMETHEE, além do peso dos critérios que, simultaneamente, pode proporcionar uma forma simples de desativação (exclusão) de indicadores, por meio da retirada do peso do respectivo critério (atribuição de peso zero), facilitando a execução de análises mais ou menos complexas a partir de um mesmo CP. Vale salientar que as fórmulas mais comuns para geração de índices são médias ponderadas aritméticas, geométricas ou harmônicas, que só levam em consideração o valor do critério (representado por um indicador), geralmente normalizado, e o seu peso, não levando em consideração, por exemplo, o quão estariam longe de um cenário padrão e cuja importância do desvio seria avaliado através de uma função de preferência. Além disso, o IDM não requer a normalização dos atributos, uma vez que é feito uso desta função.

Mais uma vantagem sobre a avaliação comum, oferecida por uma abordagem convencional de índice, é a possibilidade de adequação da função de preferência e as respectivas restrições, características do método PROMETHEE, que podem representar melhor os interesses de avaliação do sistema; sobretudo considerando que as funções de preferências tanto podem ser aplicadas diretamente aos valores dos atributos de cada critério quanto às funções de utilidade empregadas para cada um destes.

As características da análise hierárquica conferem maior estabilidade e confiabilidade às avaliações subsidiadas por meio do IDM, uma vez que para além da ponderação direta dos critérios, as considerações dos agrupamentos favorecem uma ponderação mais equilibrada.

Portanto, a metodologia para a obtenção de índices com auxílio da Análise Multicritérial foi estabelecida por meio da parametrização do método PROMETHEE com o uso de um Cenário-Padrão e validada através da comparação com as aplicações da forma convencional do PROMETHEE e de abordagens com índices de natureza convencional empregadas em vários sistemas ambientais.

Para trabalhos futuros outras formas de obtenção do Cenário Padrão podem ser determinadas a fim de atender as necessidades do avaliador. Ainda é possível atribuir livremente o peso de cada critério a partir das preferências do(s) decisor(es), promovendo análises participativas dos sistemas. Igualmente, é também possível testar adaptações de outros métodos multicriteriais para a obtenção de índices a partir desta experiência com o PROMETHEE.

## 7. REFERÊNCIAS

- BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R.B.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. **PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications.** doi:10.1016/j.ejor.2009.01.021. European Journal of Operational Research, n. 200, p. 198–215. 2010.
- BROWN, R.M. *et al.* **A water quality index – do we dare?** Water & Sewage Works, Chicago, v. 117, n. 10, p. 339-343, Oct. 1970.
- CARVALHO, J.R.M.; CARVALHO, E.K.M.A.; CURI, W.F.; **Avaliação da Sustentabilidade Ambiental de Municípios Paraibanos: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE II.** Gestão & Regionalidade - Vol. 27 - Nº 80 - mai-ago/2011
- CARVALHO, J.R.M.; CURI, W.F. **Construção de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental através da análise multicritério: estudo em municípios paraibanos.** Sociedade & Natureza, Uberlândia, n 25, v. 1: p. 91-106, jan/abr/2013.
- CARVALHO, J. R. M.; **Sistema de Indicadores para a Gestão de Recursos Hídricos em Municípios: Uma abordagem através dos Métodos Multicritério e Multidecisor.** Tese de Doutorado. (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.
- CARVALHO, J.R.M.; CARVALHO, E.K.M.A.; CURI, W.F.; CURI, R.C.; CÂNDIDO, G.A.. **Metodologia para avaliar a saúde ambiental: uma aplicação em municípios empregando a análise multicriterial.** Saúde Soc. São Paulo, v.23, n.1, p.204-215, 2014.
- CARVALHO, J.R.M.; CURI, W.F. **Sistema de indicadores para a gestão de recursos hídricos em municípios: uma abordagem através dos métodos multicritério e multidecisor.** Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 12, n. 2, p. 374-398, mai-ago/2016, Taubaté, SP, Brasil, 2016
- CASTRO, M. A. O.; SILVA, N. M.; MARCHAND, G. A. E. L. **Desenvolvendo indicadores para a gestão sustentável de resíduos sólidos nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão, Amazonas, Brasil.** Engenharia Sanitária Ambiental. v.20, n.3; p.415-426. jul/set, 2015.

COELHO, H.M.G.; LANGE, L.C.; JESUS, L.F.L.; SATORI, M. R. **Proposta de um Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais**. Engenharia Sanitária Ambiental. v.16, n.3, p. 307-316, jul/set 2011.

COSTA, R. S. **Avaliação multiobjetiva de cenários para usos múltiplos nos pequenos açudes da bacia hidrográfica do açude de Sumé – PB**. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

CURI, W. F.; CURI, R. C. **ORNAP - Optimal Reservoir Network Analysis Program**. Programa de computador sem registro. 1999

ELIAS, S.A. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. Editor's Note, [DOI 10.1016/B978-0-12-409548-9.05956-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05956-X). Elsevier, 2013.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **EEA core set of indicators Guide**. EEA Technical report n. 1/2005. ISSN 1725-2237, 2005.

\_. **Digest of EEA indicators 2014**. EEA Technical report n. 8/2014. ISSN 1725-2237, 2014.

FERNANDES, N. C. **Determinação do índice de qualidade da água tratada distribuída aos municípios do estado de Goiás**. 2013. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

GUARNIERI, P. **Síntese dos Principais Critérios, Métodos e Subproblemas da Seleção de Fornecedores Multicritério**. RAC, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, art. 1, pp. 1-25, Jan./Fev. 2015 <http://dx.doi.org/10.1590/1982-7849rac20151109>.

HUANG, I.B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. **Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends**. Science of the Total Environment, n. 409, p. 3578–3594. 2011.

KIMURA, Herbert & SUEN, Alberto Sanyuan. **Ferramentas de análise gerencial baseadas em modelos de decisão multicriteriais**. RAE- eletrônica - vol. 2 • nº 1 • jan-jun/2003. Disponível em < [www.rae.com.br/eletronica](http://www.rae.com.br/eletronica) >. Acesso em fevereiro de 2015.

LOPES, V.C.; LIBÂNIO, M. **Proposição de um índice de qualidade de estações de tratamento de água (IQETA)**. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol.10 - nº 4, p. 318-328, out/dez 2010.

MACHARIS, C., SPRINGAEL, J., DE BRUCKER, K., VERBEKE, A., **PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP.** European Journal of Operational Research 153, 307–317. 2004.

MARDANI, A.; JUSOH, A.; NOR, K.M.D.; KHALIFAH, Z.; NORHAYATI, Z.; VALIPOUR, A.. **Multiple criteria decision-making techniques and their applications - a review of the literature from 2000 to 2014.** Economic Research-Ekonomska Istraživanja, Vol. 28, No. 1, 516–571, 2015.

MILANEZ, B. **Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos: 2002.

MONTE, F. P. **Análise comparativa da importância de vinte açudes na Bacia de Sumé-PB com o emprego de métodos multicritério e multidecisor.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade federal de Campina Grande. Campina Grande: 2013.

MONTE, F.P.; CURI, R.C.; CURI, W.F.; SANTOS, L.F. **Análise do Desempenho de 20 açudes na Bacia de Sumé com base na preferência de decisores usando o método multicritério PROMETHEE II.** In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. *Anais do...*; Bento Gonçalves. 2013.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. **Avaliação multicritério para adequação de sistemas de redução de perdas de água.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ed. 22, 2002, Curitiba. *Anais...* Curitiba: ENEGEP, p. 8, 2002.

MÜLLER, F.; WIGGERING, H. **Erfahrungen und Entwicklungspotentiale von Ziel- und Indikatorensystemen.** In: MÜLLER, F.; WIGGERING, H. **Umweltziele und Indikatoren: Wissenschaftliche Anforderungen an ihre Festlegung und Fallbeispiele.** ISBN 978-3-540-43307-1, DOI 10.1007/978-3-642-18940-1, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2004

OLIVEIRA, M. D.; REZENDE, O.L.T.; OLIVEIRA, S.M.A.C.; LIBÂNIO, M. **Nova abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta utilizando a Lógica Fuzzy.** Engenharia Sanitária Ambiental. v.19, n.4; p.361-372. out/dez, 2014.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Handbook on Constructing Composite Indicators: methodology and user guide**. ISBN 978-92-64-04345-9. OECD. 2008

PEREIRA, S. S. **Aplicação de método multicritério e multidecisor na gestão dos resíduos sólidos urbanos da Região Metropolitana de Campina Grande/PB**. Tese de Doutorado. (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

PINTO, A. L. **A água como indicador principal de sistemas ambientais**. OKARA: Geografia em debate, v.4, n.1-2, p. 25-40, 2010.

POLAZ, C. N. M.; TEIXEIRA, B. A. N. **Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP)**. Engenharia Sanitária Ambiental. v.14 n.3; p. 411-420. jul/set, 2009.

SANTOS, R.B. **Aplicação do método multicriterial PROMETHEE para ampliação da disponibilidade hídrica superficial na bacia do Rio Tramame – PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade federal de Campina Grande. Campina Grande; 2004.

—. **Avaliação de intervenções hidráulicas na bacia do Rio Gramame-PB com o uso das técnicas de análise multiobjetivo e multicriterial**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande; 2009.

SILANS, A. M. B. P.; QUEIROZ, R.; SANTOS, F. A.; SILVA, A. C. S. **Relatório projeto DISPAB**. UFPB/AESA, 2009.

SILVA, E. R.; MEDEIROS, Y. D. P. **A análise multicriterial no gerenciamento dos recursos hídricos**. Apresentação – I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental – COBESA 2010. Salvador, 2010.

SILVA NETO, J. R. da. **Outorga dos direitos de uso dos Recursos Hídricos: Concessões para piscicultura no estado da Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade federal de Campina Grande. Campina Grande: 2016.

SILVINO, G. S. **Aplicações de modelos multicriteriais hierárquicos e multidecisores para alocação de água no sistema Curema-Açu**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande; 2008.



SILVINO, G. S.; CURI, W. F.; CURI, R. C. **Modelos multicriteriais hierárquicos multidecisoros com diferentes abordagens de agregação de preferências dos decisores.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 8, nº 2, p. 27-42. abr-jun/2013.

SCHÄFER, D.; SEIBEL, S.; RADERMACHER, W. **Umweltindikatoren und Umweltziele: Anforderungen aus statistischer Sicht.** In: MÜLLER, F.; WIGGERING, H. **Umweltziele und Indikatoren: Wissenschaftliche Anforderungen an ihre Festlegung und Fallbeispiele.** ISBN 978-3-540-43307-1, DOI 10.1007/978-3-642-18940-1, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2004

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A.. **Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países.** Ambiente & Sociedade. Campinas v. X, n. 2, p. 137-148. jul.-dez. 2007.

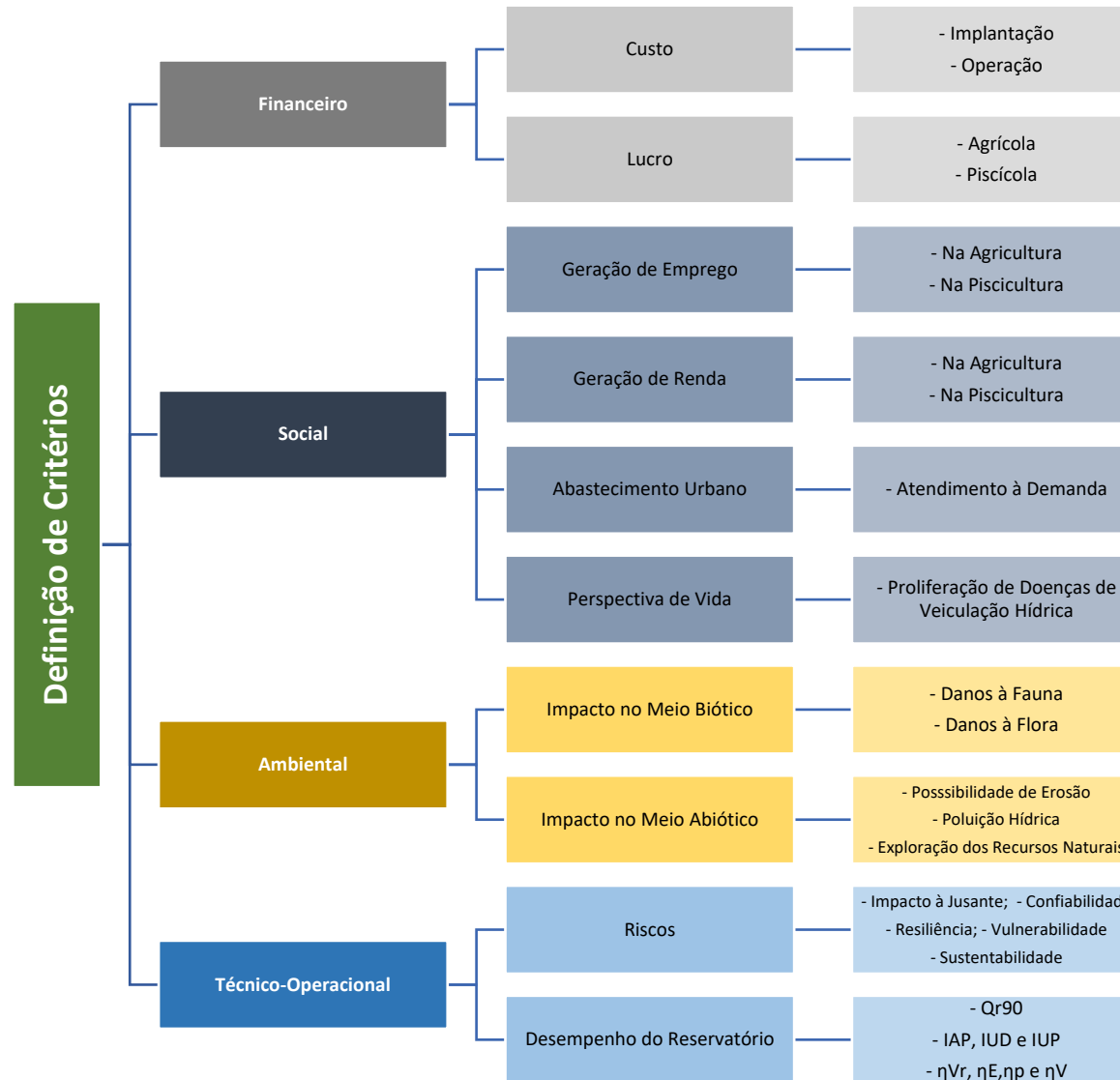
SOUZA, M.E.T.A.; LIBÂNIO, M. **Proposta de índice de Qualidade para Água Bruta afluyente a estações convencionais de tratamento.** Engenharia Sanitária Ambiental. v.14 n.4; p. 471-478. out/dez, 2009.

ZAMBON, K. L., CARNEIRO, A. A. F. M., SILVA, A. N. R., & NEGRI, J. C. (2005). **Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG.** Pesquisa Operacional, 25(2), 183-199. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382005000200002>.

ŽAVBI, Roman; DUHOVNIK, Jože. **Model of conceptual desing phase and its applications in the desing of mechanical drive units.** In: LEONDES, Cornelius (Ed.). **The desing of manufacturing Systems.** ISBN 0-8493-0997-2. CRC Press LLC, New York: 2001.

## ANEXOS

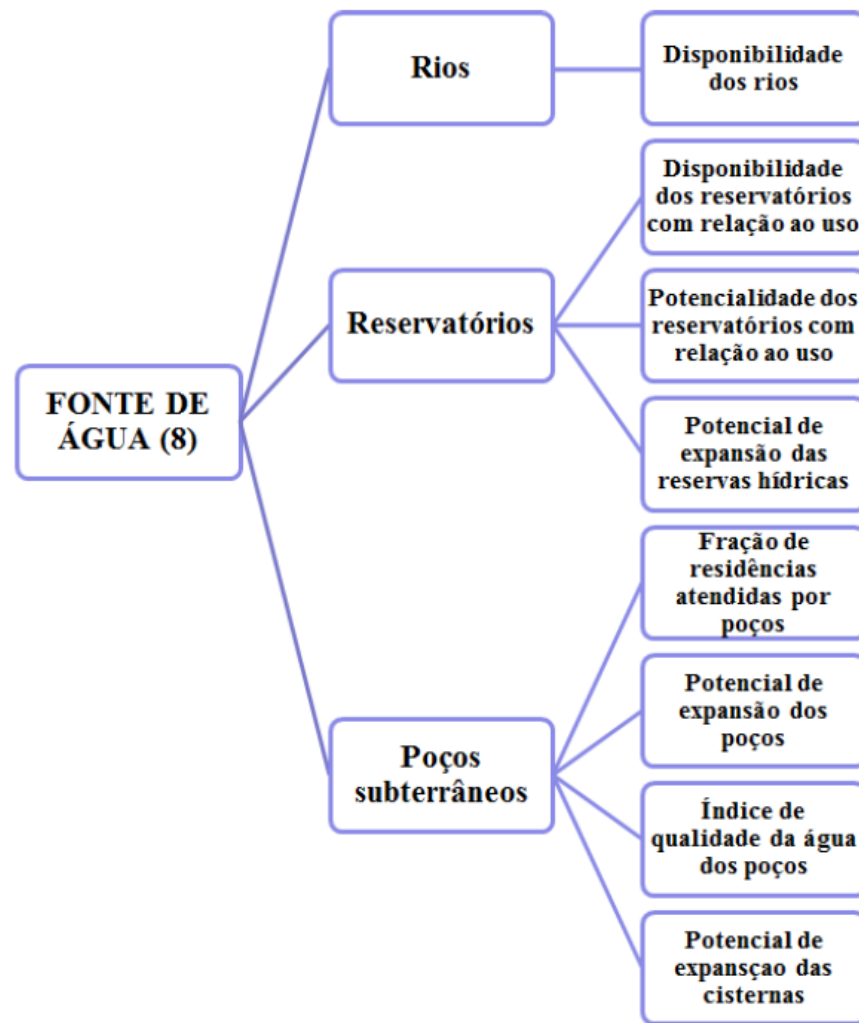
Anexo A1 - Arvore de Hierarquia para o estudo de caso ( $\alpha$ ) (MONTE, 2013)



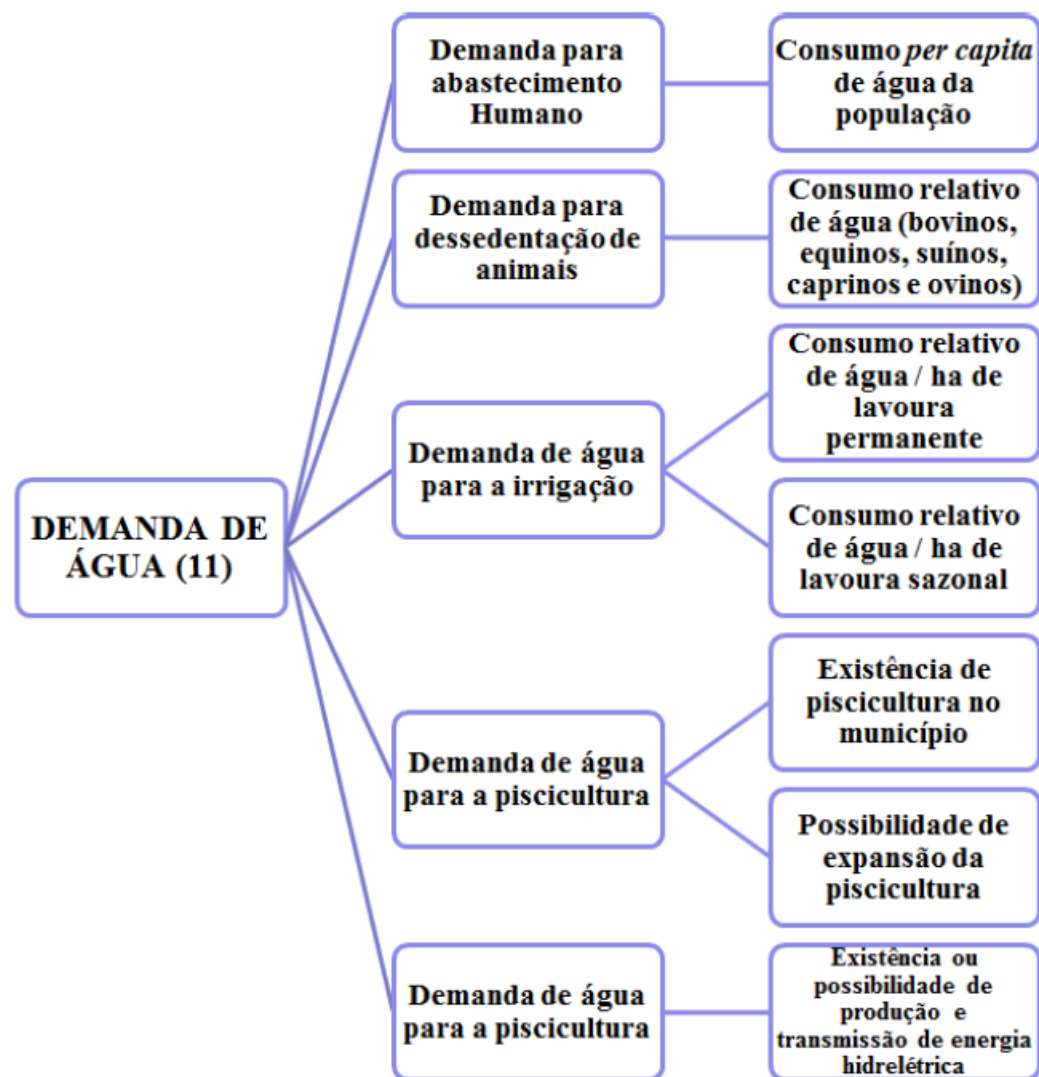
Anexo A2 – Parâmetros empregados para aplicação do PROMETHEE – Estudo de Caso ( $\alpha$ ) (MONTE, 2013)

CRITÉRIOS				Função de Preferência		
CRITÉRIOS	SUB-CRITÉRIOS	MÉTRICA E UNIDADE	Objetivo	Tipo	qi	pi
FINANCEIRO	Custo de Implantação	R\$	Min	V	5721,37	28606,87
	Custo de Operação	R\$/ano	Min	V	286,07	1430,34
	Lucro Agrícola	R\$/ano	Max	V	101736,81	508684,03
	Lucro Piscicultura extensiva	R\$/ano	Max	V	11513,72	57568,60
SOCIAL	Empregos na agricultura	diária/ano	Max	II	38871,39	-
	Empregos na piscicultura	diária/ano	Max	II	2,33	-
	Renda na agricultura	R\$/ano	Max	V	1025427,37	5127136,87
	Renda na piscicultura	R\$/ano	Max	V	866,60	4332,98
	Atendimento à demanda	%	Max	II	0,00	-
	Proliferação de doenças	Sim/Não	Min	I	-	-
AMBIENTAL	Danos à fauna	há	Min	II	15,36	-
	Danos à flora	há	Min	II	15,36	-
	Possibilidade de erosão	há	Min	II	0,00	-
	Poluição hídrica	Sim/Não	Min	I	-	-
	Exploração dos RN's	%	Min	II	10,20	-
TÉCNICO OPERACIONAL	Impacto à jusante	-	Min	II	0,14	-
	Confiabilidade	%	Max	II	0,00	-
	Resiliência	%	Max	II	0,00	-
	Vulnerabilidade	%	Min	II	0,00	-
	Sustentabilidade	%	Max	II	0,00	-
	Qr90	m³/s	Max	II	0,01	-
	IAP	-	Max	II	0,20	-
	IUD	-	Max	II	0,05	-
	IUP	-	Max	II	0,17	-
	$\eta V_r$	-	Min	II	0,00	-
	$\eta E$	-	Min	II	0,08	-
	$\eta p$	-	Min	II	0,03	-
	$\eta V$	-	Min	II	0,24	-

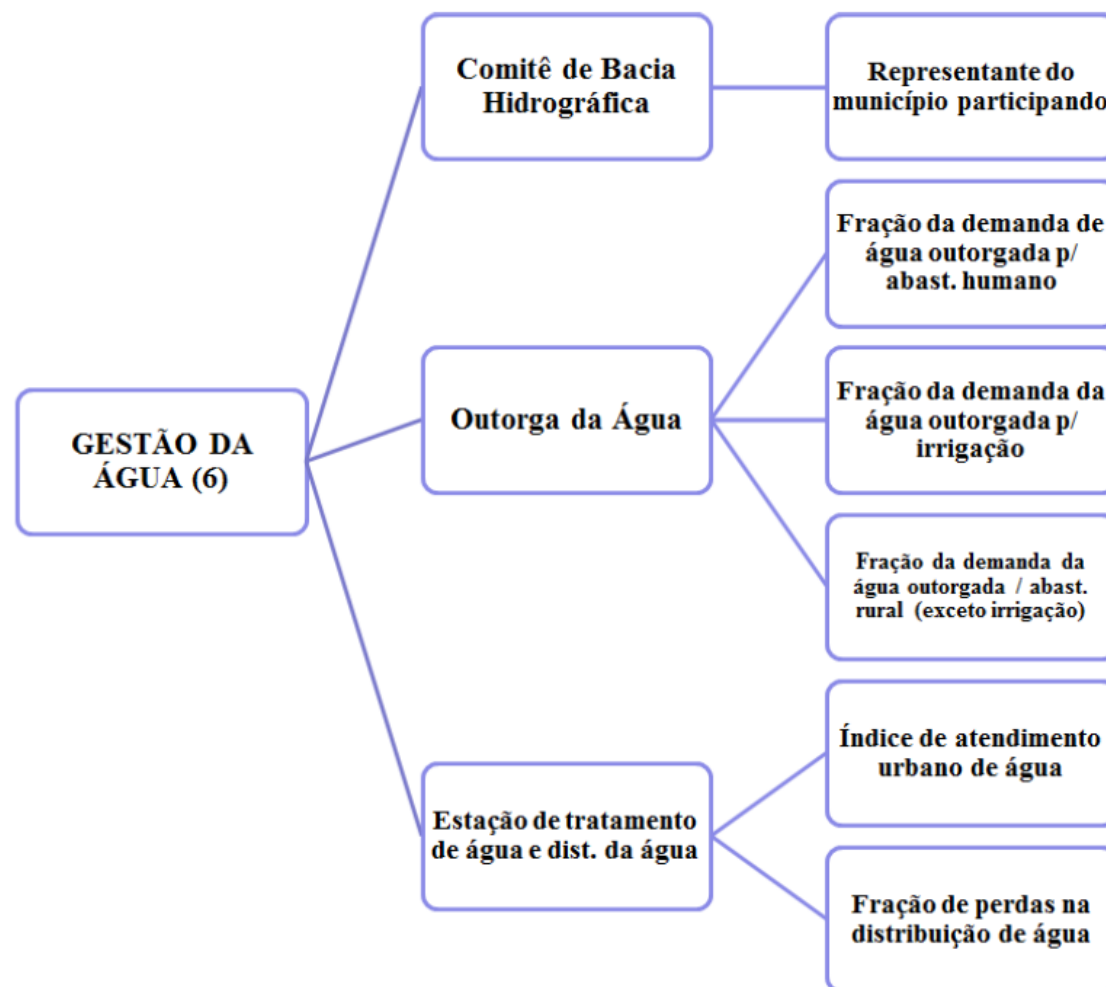
Anexo B1 – Hierarquia dos critérios da dimensão Fonte de Água para o estudo de caso ( $\beta$ ) (CARVALHO, 2013).



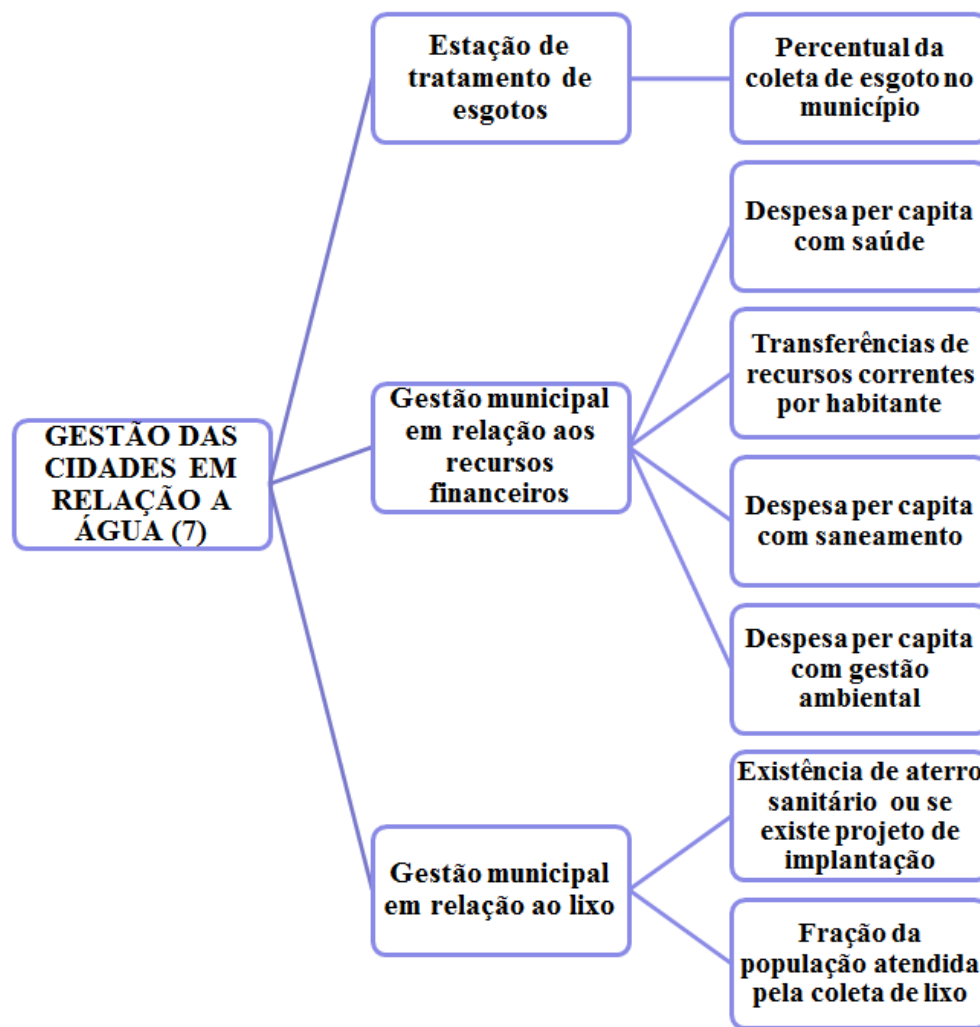
Anexo B2 – Hierarquia dos critérios da dimensão Demanda de Água para o estudo de caso ( $\beta$ ) (CARVALHO, 2013).



Anexo B3 – Hierarquia dos critérios da dimensão Gestão da Água para o estudo de caso ( $\beta$ ) (CARVALHO, 2013).

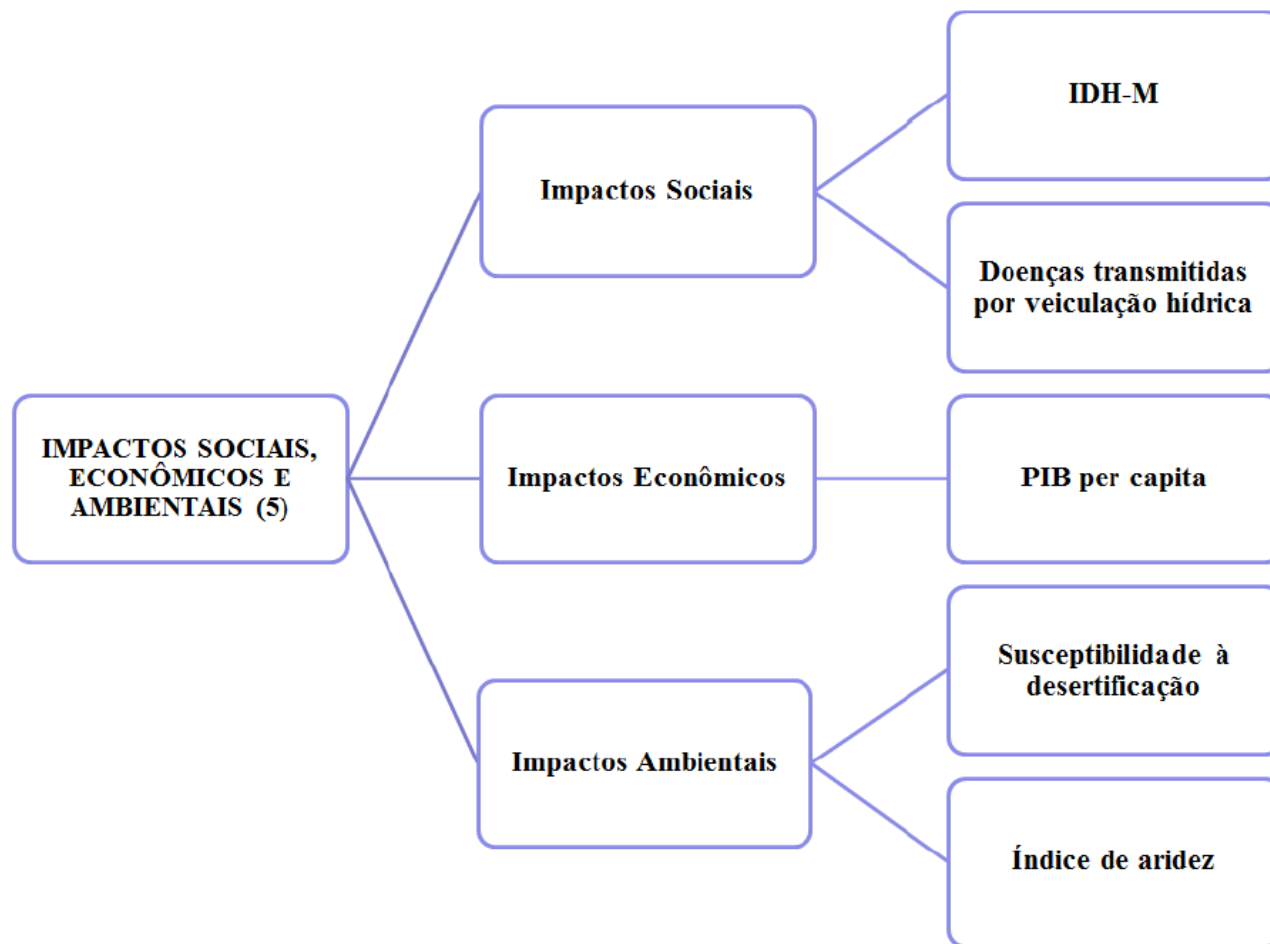


Anexo B4 – Hierarquia dos critérios da dimensão Gestão das Cidades em relação à Água para o estudo de caso (β) (CARVALHO, 2013).

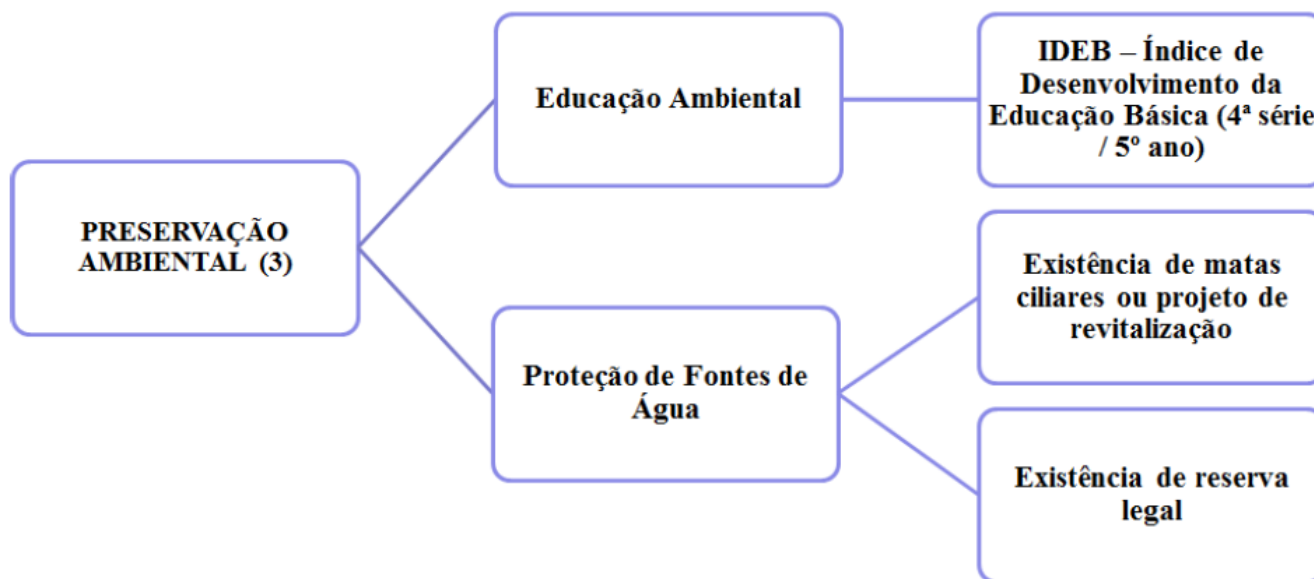




Anexo B5 – Hierarquia dos critérios da dimensão Impactos para o estudo de caso ( $\beta$ ) (CARVALHO, 2013).



Anexo B6 – Hierarquia dos critérios da dimensão Preservação Ambiental para o estudo de caso ( $\beta$ ) (CARVALHO, 2013).



Anexo B6 – Parâmetros empregados para aplicação do PROMETHEE – Estudo de Caso ( $\beta$ ) (CARVALHO, 2013).

	Ind1	Ind2	Ind3	Ind4	Ind5	Ind6	Ind7	Ind8	Ind9	Ind10
Minimizar/Maximizar	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Função de Preferência	Usual	Usual	U-shape	Usual	Usual	Usual	U-shape	Usual	Linear	Linear
Limiares	Valor	Valor	%	Valor	Valor	Valor	%	Valor	%	%
q	1	1	10	1	1	1	10	1	20	20
p	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10

	Ind11	Ind12	Ind13	Ind14	Ind15	Ind16	Ind17	Ind18	Ind19	Ind20
Minimizar/Maximizar	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Função de Preferência	Usual	Usual	Usual	Usual	Level	Level	Usual	Usual	Usual	Usual
Limiares	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
q	1	1	1	1	950,28	253,21	1	1	1	1
p	2	2	2	2	1422,36	392,98	2	2	2	2

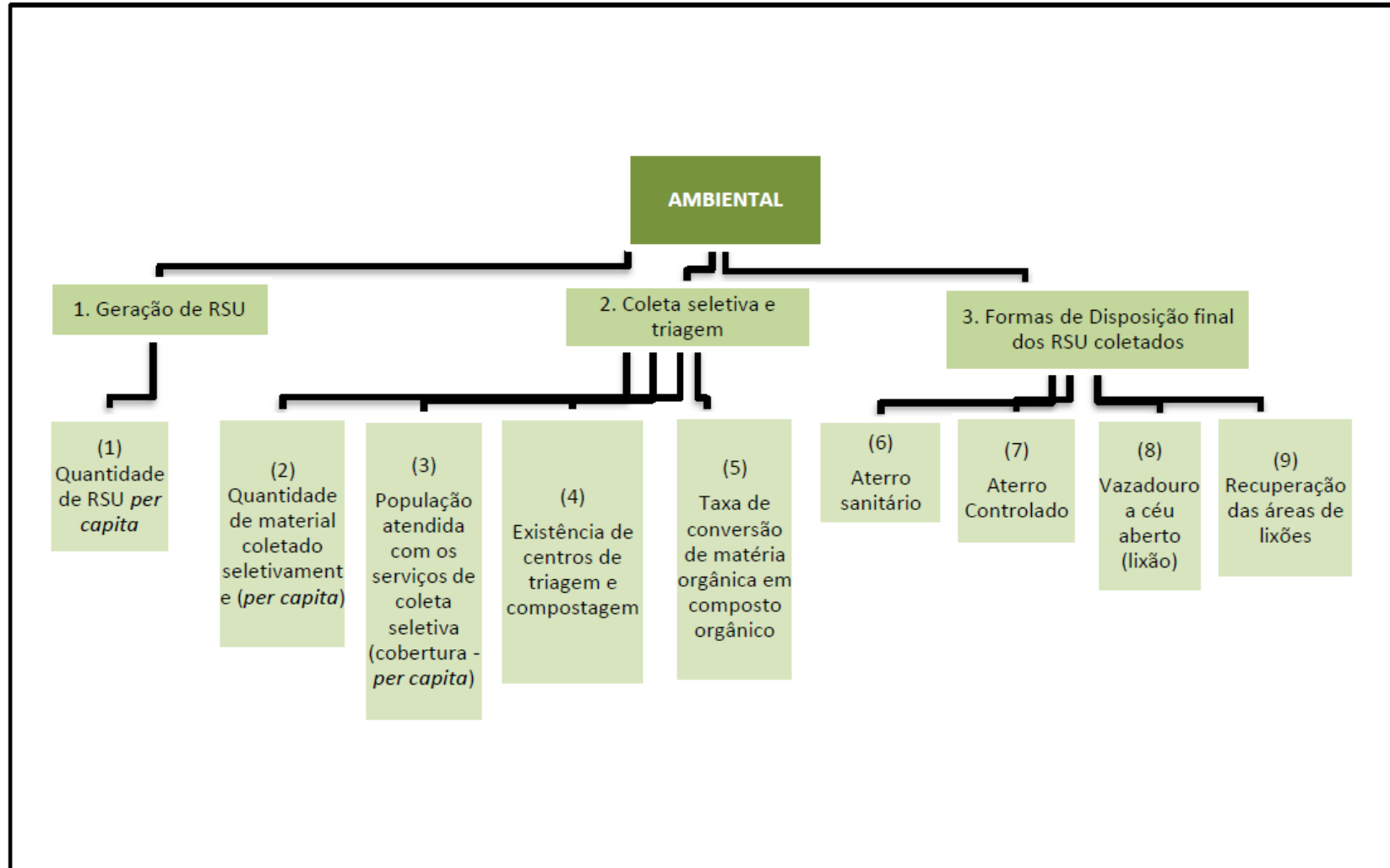
  

	Ind21	Ind22	Ind23	Ind24	Ind25	Ind26	Ind27	Ind28	Ind29	Ind30
Minimizar/Maximizar	max	max	max	max	min	max	max	max	max	max
Função de Preferência	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Linear	Linear	Linear	Linear	Usual
Limiares	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
q	1	1	1	1	1	17,3	138,84	939,02	51,85	1
p	2	2	2	2	2	32,9	292,79	1851,28	28,37	2

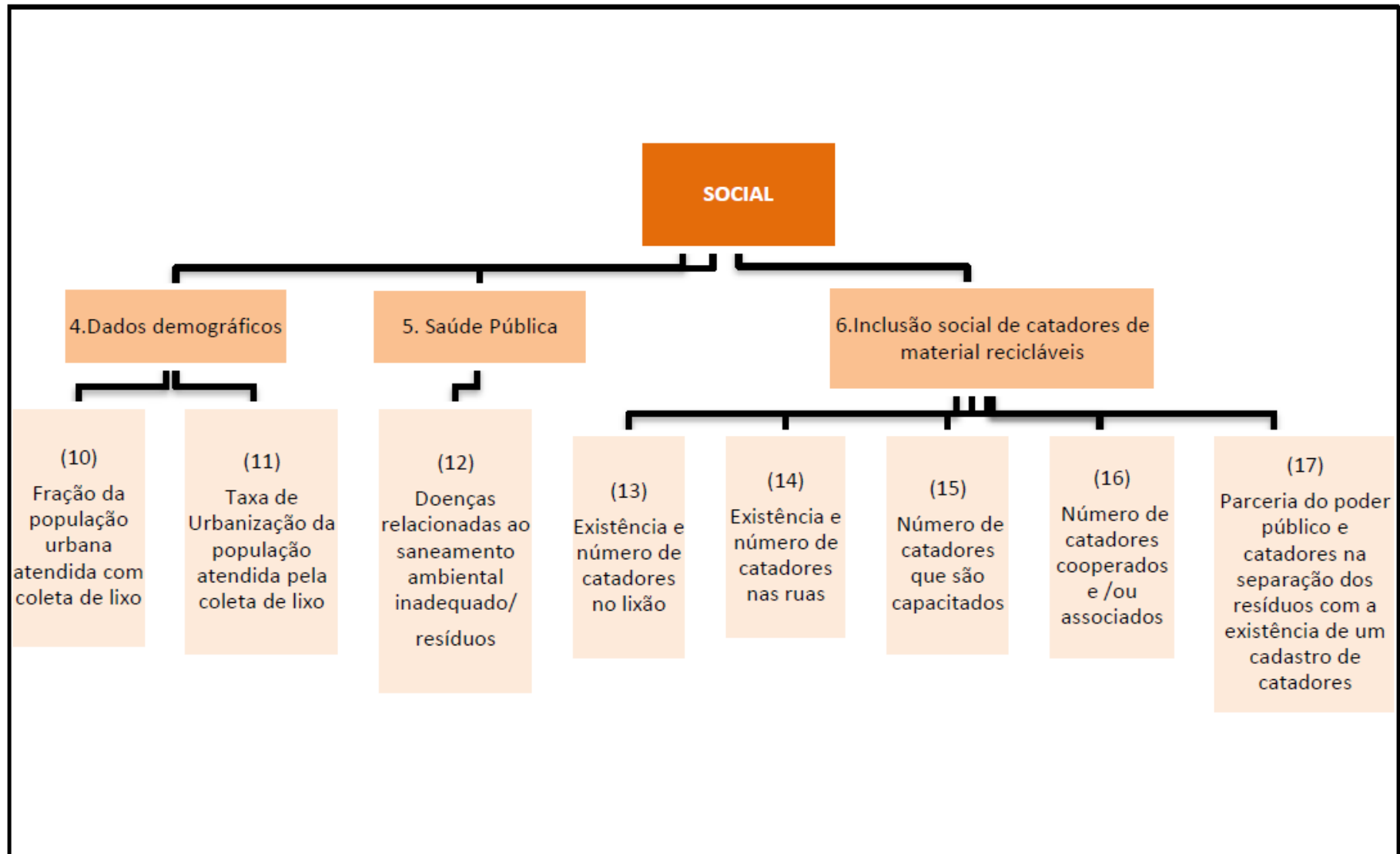
  

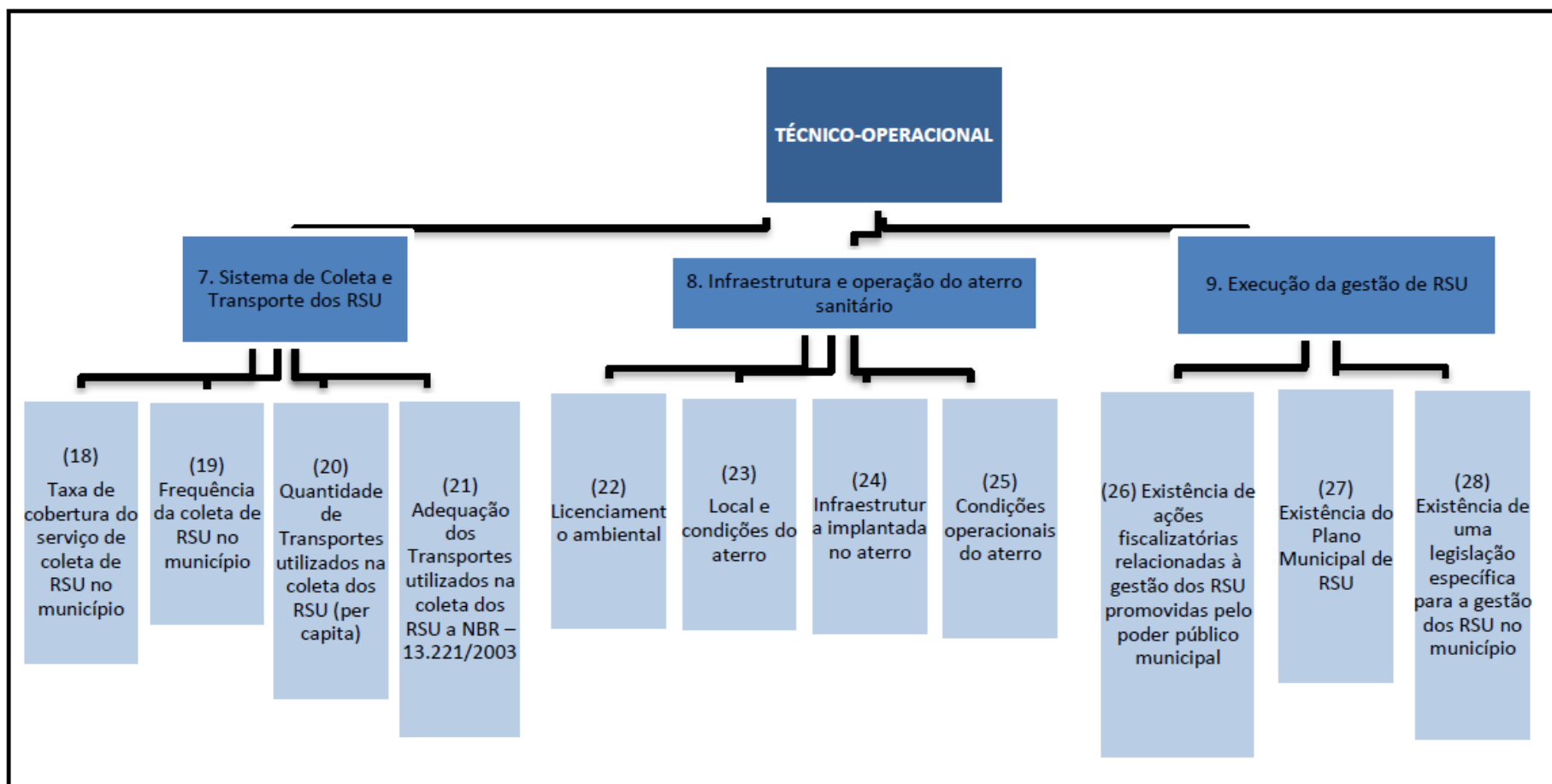
	Ind31	Ind32	Ind33	Ind34	Ind35	Ind36	Ind37	Ind38	Ind39	Ind40
Minimizar/Maximizar	max	max	max	min	max	min	min	max	max	max
Função de Preferência	Usual	Usual	Usual	Linear	Linear	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Limiares	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
q	1	1	1	7,69	188316,1	1	1	1	1	1
p	2	2	2	15,51	284041,4	2	2	2	2	2

Anexo C1 – Hierarquia dos critérios da dimensão Ambiental para o estudo de caso ( $\gamma$ ) (PEREIRA, 2014)

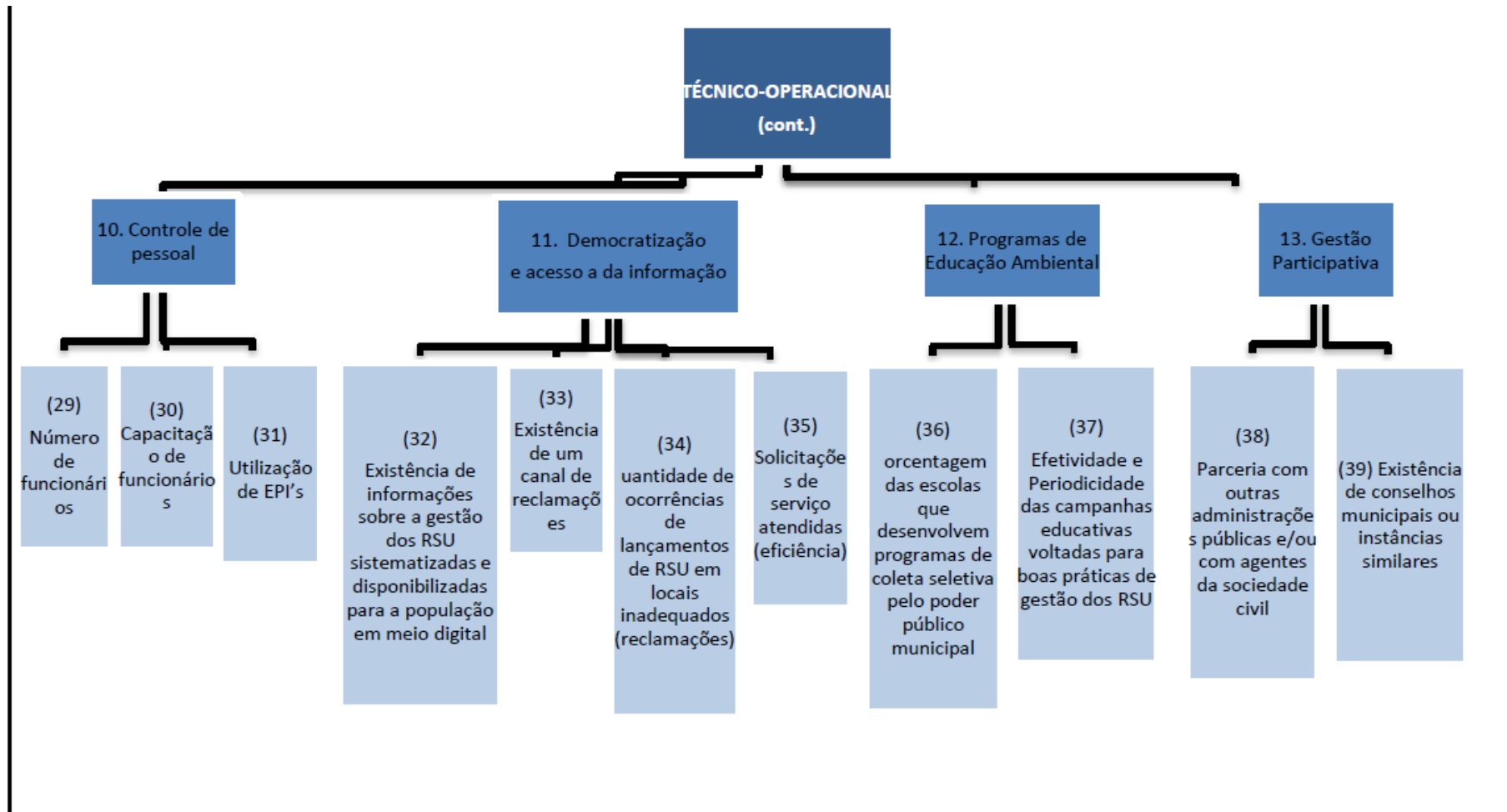


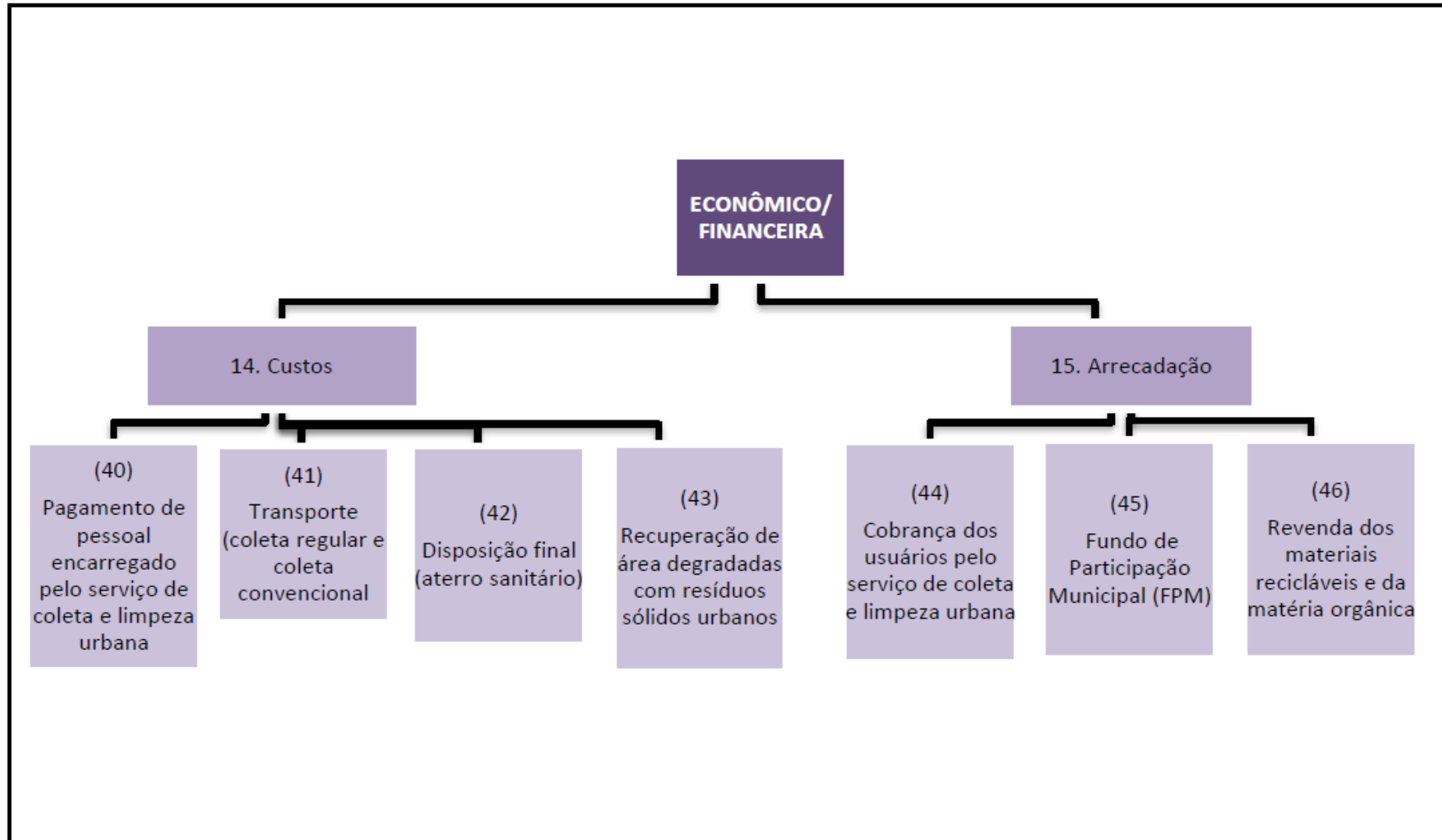
Anexo C2 – Hierarquia dos critérios da dimensão Social para o estudo de caso ( $\gamma$ ) (PEREIRA, 2014)





Anexo C3 - parte 2 – Hierarquia dos critérios da dimensão Técnico-operacional para o estudo de caso ( $\gamma$ ) (PEREIRA, 2014): Continuação.







Anexo C5 – Parâmetros empregados para aplicação do PROMETHEE – Estudo de Caso ( $\gamma$ ) (PEREIRA, 2014)

INDICADOR	OBJETIVO	FUNÇÃO	Pi	Qi		INDICADOR	OBJETIVO	FUNÇÃO	Pi	Qi
Ind1	MINIMIZAR	TIPO-V	0,836			Ind24	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind2	MAXIMIZAR	TIPO-V	0			Ind25	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind3	MAXIMIZAR	TIPO-V	0			Ind26	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind4	MAXIMIZAR	USUAL				Ind27	MAXIMIZAR	ESCADA	1	0,5
Ind5	MAXIMIZAR	TIPO-V	0			Ind28	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind6	MAXIMIZAR	USUAL				Ind29	MAXIMIZAR	TIPO-V	0,005	
Ind7	MAXIMIZAR	USUAL				Ind30	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind8	MINIMIZAR	USUAL				Ind31	MAXIMIZAR	ESCADA	1	0,5
Ind9	MAXIMIZAR	USUAL				Ind32	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind10	MAXIMIZAR	TIPO-V	10			Ind33	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind11	MAXIMIZAR	TIPO-V	0,47			Ind34	MINIMIZAR	TIPO-V	0	
Ind12	MINIMIZAR	TIPO-V	10,1			Ind35	MAXIMIZAR	TIPO-V	0	
Ind13	MINIMIZAR	USUAL				Ind36	MAXIMIZAR	TIPO-V	20	
Ind14	MINIMIZAR	USUAL				Ind37	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind15	MAXIMIZAR	TIPO-V	0			Ind38	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind16	MAXIMIZAR	TIPO-V	47			Ind39	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind17	MAXIMIZAR	USUAL				Ind40	MINIMIZAR	TIPO-V	50,19	
Ind18	MAXIMIZAR	TIPO-V	39			Ind41	MINIMIZAR	TIPO-V	0	
Ind19a	MAXIMIZAR	TIPO-V	5			Ind42	MINIMIZAR	TIPO-V	32,98	
Ind19b	MAXIMIZAR	TIPO-V	4			Ind43	MAXIMIZAR	TIPO-V	0	
Ind20	MINIMIZAR	TIPO-V	0,0039			Ind44	MAXIMIZAR	USUAL		
Ind21	MAXIMIZAR	USUAL				Ind45	MAXIMIZAR	TIPO-V	528,71	
Ind22	MAXIMIZAR	USUAL				Ind46	MAXIMIZAR	TIPO-V	0	
Ind23	MAXIMIZAR	USUAL								

## APÊNDICES

# APÊNDICE A1 – VALORES DOS ATRIBUTOS E CENÁRIO PADRÃO PARA O ESTUDO DE CASO ALPHA

CRITÉRIOS	AÇUDE 03	AÇUDE 44	AÇUDE 51	AÇUDE 71	AÇUDE 72	AÇUDE 73	AÇUDE 75	AÇUDE 132	AÇUDE 144	AÇUDE 181	AÇUDE 184	AÇUDE 191
Ind1	8965,73	2589,06	5445,08	11891,80	8124,14	3234,10	2566,04	3850,10	4695,87	30943,31	11406,86	2336,44
Ind2	448,28	129,45	272,25	594,59	406,20	161,70	128,30	192,50	234,79	1547,16	570,34	116,82
Ind3	1.338.663,60	1.243.388,23	1.231.409,29	1.134.029,49	1.149.824,75	1.148.351,91	1.135.898,44	1.151.526,20	1.244.812,29	1.437.938,76	1.433.636,08	1.068.079,20
Ind4	30.254,02	12.158,39	19.747,36	27.164,04	24.355,95	11.119,69	8.344,17	15.715,52	15.575,87	64.761,30	36.290,66	7.192,70
Ind5	209.752,83	18.165,48	19.291,98	18.196,84	18.066,76	17.848,36	17.378,03	17.960,33	19.817,07	25.697,58	22.505,46	16.024,51
Ind6	6,11	2,44	4	5,44	4,88	2,22	1,66	3,22	3,11	13,11	7,33	1,44
Ind7	5.533.279,65	479.205,36	508.922,43	480.032,63	476.601,12	470.839,73	458.432,43	473.793,50	522.744,30	677.902,16	593.694,03	422.726,57
Ind8	65.072,62	65.116,20	64.626,00	65.321,08	65.229,13	67.355,53	65.560,62	63.851,02	65.542,91	64.661,42	65.328,03	65.202,21
Ind9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ind10	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Ind11	25,4	10,1	16	34,3	26,6	10,1	7,1	13,5	12,3	57,3	31,1	6,1
Ind12	25,4	10,1	16	34,3	26,6	10,1	7,1	13,5	12,3	57,3	31,1	6,1
Ind13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ind14	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Ind15	7	2	3	12	1	3	5	1	4	16	8	8
Ind16	0,33	0,11	0,28	0,2	0,09	0,1	0,13	0,09	0,2	0,42	0,28	0,26
Ind17	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ind18	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ind19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ind20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ind21	0,03	0,01	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,07	0,04	0,01
Ind22	0,44	0,23	0,46	0,24	0,12	0,20	0,26	0,26	0,39	0,56	0,40	0,55
Ind23	0,81	0,86	0,82	0,85	0,73	0,87	0,89	0,82	0,86	0,83	0,82	0,90
Ind24	0,36	0,20	0,38	0,20	0,09	0,17	0,23	0,21	0,33	0,46	0,33	0,50
Ind25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ind26	0,21	0,08	0,20	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08	0,13	0,26	0,19	0,13
Ind27	0,08	0,03	0,08	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,09	0,07	0,05
Ind28	0,43	0,72	0,42	0,71	0,83	0,77	0,70	0,67	0,53	0,27	0,49	0,37

CONTINUAÇÃO TABELA A1

CRITÉRIOS	AÇUDE 238	AÇUDE 248	AÇUDE 255	AÇUDE 277	AÇUDE 401	AÇUDE 433	AÇUDE 438	AÇUDE 628	MÁXIMO	MÍNIMO	PADRÃO
Ind1	10386,99	6859,72	3266,20	2834,05	3210,55	2774,65	5444,67	5380,09	30943,31	2336,44	2336,44
Ind2	519,34	342,98	163,31	141,70	160,52	138,73	272,23	269,00	1547,16	116,82	116,82
Ind3	1.074.125,56	1.368.847,20	1.114.187,59	1.039.051,62	1.230.424,33	1.187.838,43	1.222.272,80	1.547.735,65	1547735,65	1039051,62	1547735,65
Ind4	20.572,75	20.638,89	9.881,88	9.914,45	10.850,42	9.074,12	17.635,61	23.252,45	64761,30	7192,70	64761,3
Ind5	16.219,04	20.957,91	17.217,59	15.395,86	18.016,72	17.278,94	19.284,34	21.784,96	209752,83	15395,86	209752,83
Ind6	4,11	4,22	2	2	2,22	1,77	3,55	4,66	13,11	1,44	13,11
Ind7	427.858,27	552.869,66	454.200,02	406.142,78	475.281,07	455.818,43	508.720,88	574.687,24	5533279,65	406142,78	5533279,65
Ind8	65.508,14	63.996,21	68.184,00	65.356,33	63.920,79	66.854,24	65.017,44	65.236,17	68184,00	63851,02	68184
Ind9	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00	100,00	100
Ind10	0	1	1	1	1	1	0	1	1,00	0,00	0
Ind11	19,7	16,2	8,5	11	8,4	7,5	14,3	17,6	57,30	6,10	6,1
Ind12	19,7	16,2	8,5	11	8,4	7,5	14,3	17,6	57,30	6,10	6,1
Ind13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Ind14	0	1	1	1	1	1	0	1	1,00	0,00	0
Ind15	34	4	9	9	3	4	4	0	34,00	0,00	0
Ind16	0,71	0,22	0,26	0,29	0,16	0,17	0,3	0,02	0,71	0,02	0,02
Ind17	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00	100,00	100
Ind18	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00	100,00	100
Ind19	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
Ind20	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00	100,00	100
Ind21	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,07	0,01	0,069931655
Ind22	0,76	0,38	0,47	0,42	0,37	0,39	0,50	0,11	0,76	0,11	0,76
Ind23	0,86	0,85	0,88	0,83	0,88	0,89	0,83	0,83	0,90	0,73	0,9
Ind24	0,65	0,32	0,41	0,35	0,32	0,34	0,41	0,09	0,65	0,09	0,65
Ind25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Ind26	0,29	0,14	0,14	0,17	0,10	0,10	0,20	0,02	0,29	0,02	0,02
Ind27	0,11	0,06	0,06	0,07	0,04	0,04	0,08	0,01	0,11	0,01	0,01
Ind28	0,06	0,54	0,45	0,48	0,58	0,55	0,39	0,86	0,86	0,06	0,06

APÊNDICE B1 – VALORES DOS ATRIBUTOS E CENÁRIO PADRÃO PARA O ESTUDO DE CASO BETA

	Alcantil	Aroreiras	Barra de Santana	Barra de São Miguel	Boa Vista	Boqueirão	Campina Grande	Caturité	Fagundes	Gado Bravo	Itatuba
Ind1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Ind2	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1
Ind3	0	0	0	2,72	0	3,5	0,19	0	0,42	0	3,4
Ind4	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1
Ind5	0,036	0,005	0,027	0,089	0,001	0,008	0	0,02	0,018	0,018	0,012
Ind6	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
Ind7	0,04	0,83	0,83	0,12	1	0,07	0,7	0	0,97	0,74	0,94
Ind8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Ind9	628680	2862300	984720	673320	747240	2533200	96303250	545160	1710750	1005120	1530150
Ind10	0,88	0,79	0,88	0,54	0,73	0,83	0,83	0,84	0,8	0,89	0,01
Ind11	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,09	0,03	0,06	0,01	0,42
Ind12	0,04	0,08	0,05	0,07	0,03	0,04	0,05	0,08	0,11	0,07	0,27
Ind13	0,04	0,06	0,01	0,25	0,16	0,08	0,02	0,03	0,02	0,02	0,11
Ind14	0,02	0,03	0,02	0,09	0,06	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,2
Ind15	0	87,42	87,38	174,8	0	698,53	96,36	43,65	442,69	43,65	0,07
Ind16	250,31	898,41	87,3	140,29	7,93	65,03	58,84	15,08	30,79	17,44	5,2
Ind17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ind18	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1
Ind19	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Ind20	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
Ind21	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0
Ind22	0	0	0	0	0	0,98	1	0	0	0	0,9
Ind23	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0,1
Ind24	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ind25	4	1	0	0	0	2	1	1	2	2	2
Ind26	0,5	10,4	0,2	0,2	5,3	38,5	66,6	12,4	2,3	0,4	10
Ind27	445,08	397,6	493,1	315,87	477,96	431,41	531,81	580,99	208,37	284,06	296,02
Ind28	1971,99	236,9	1683,54	1956,52	2392,54	1431,79	708,64	2388,64	1281,15	1724,75	1300,73
Ind29	0	48,98	0	8,91	0	9,98	0	39,42	37,24	101,19	0

Ind30	47,96	0	0	0	0	0	1,02	5,35	0	0	0
Ind31	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0
Ind32	34,5	29,9	6	38,4	43,9	64,2	90	18,1	36,3	1,4	50,2
Ind33	0,58	0,55	0,57	0,57	0,65	0,61	0,72	0,62	0,56	0,51	0,56
Ind34	16,95	2,3	5,7	0	6,9	1,75	15,75	2,3	6,97	2,4	28,84
Ind35	4283,33	3640,67	3832,06	4567,27	11142,2	533876	10147,21	7059,14	3795,82	3881,8	5157,97
Ind36	1	1	1	1	1	1	0,8	1	1	1	1
Ind37	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3
Ind38	3,8	3,3	3,35	4,35	3,65	3,55	3,55	3,35	2,95	3	2,85
Ind39	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	0,5	0,5
Ind40	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0

CONTINUAÇÃO TABELA B1

	Montadas	Natuba	Pocinhos	Puxinanã	Queimadas	Riacho de Santo Antônio	Santa Cecília	Umbuzeiro	MIN.	MÁX.	PADRÃO
Ind1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Ind2	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
Ind3	0,31	0	0	0,21	0	13,23	0	0	0	13,23	0
Ind4	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1
Ind5	0,003	0,002	0	0,007	0,008	0,025	0,004	0,003	0	0,089	0,036
Ind6	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
Ind7	0	0	0	0,42	0,87	0	0,25	0,86	0	1	0,04
Ind8	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Ind9	598800	1584900	2554800	1938450	6157350	206640	798960	1115760	206640	96303250	628680
Ind10	0,74	0,82	0,57	0,69	0,86	0,7	0,82	0,85	0,01	0,89	0,88
Ind11	0,02	0,07	0,03	0,06	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,42	0,02
Ind12	0,18	0,06	0,09	0,2	0,09	0,06	0,08	0,07	0,03	0,27	0,04
Ind13	0,03	0,02	0,21	0,02	0,02	0,12	0,04	0,03	0,01	0,25	0,04

Ind14	0,04	0,03	0,1	0,02	0,01	0,08	0,03	0,02	0,01	0,2	<b>0,02</b>
Ind15	0	3275,15	0,83	23,97	45,8	0	1,24	23,52	0	3275,15	<b>0</b>
Ind16	16,07	17,48	19,63	35,19	38,35	6,59	8,08	11,24	5,2	898,41	<b>250,31</b>
Ind17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<b>0</b>
Ind18	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	<b>0</b>
Ind19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<b>0</b>
Ind20	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	<b>1</b>
Ind21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	<b>0</b>
Ind22	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	<b>0</b>
Ind23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	<b>0</b>
Ind24	4	4	4	4	4	4	0	2	0	4	<b>0</b>
Ind25	2	0	0	0	1	1	4	1	0	4	<b>4</b>
Ind26	13,3	0,3	13,9	8,4	20,9	2,7	0,9	20,1	0,2	66,6	<b>0,5</b>
Ind27	388,36	370,12	413,42	333,1	289,12	865,55	345,82	280,26	208,37	865,55	<b>445,08</b>
Ind28	2196,77	1556,39	1372,45	1180,3	1150,14	4798,98	1675,65	1199,88	236,9	4798,98	<b>1971,99</b>
Ind29	0	23,43	8,26	0	4,96	0	0	0	0	101,19	<b>0</b>
Ind30	0	0	0	0	0	0	15,45	0	0	47,96	<b>47,96</b>
Ind31	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5	<b>0</b>
Ind32	47,8	22	47,4	38,2	38,3	59,8	15	26	1,4	90	<b>34,5</b>
Ind33	0,59	0,54	0,59	0,62	0,61	0,59	0,52	0,58	0,51	0,72	<b>0,58</b>
Ind34	2,7	3,2	2	17,8	6,8	0	0	2,9	0	28,84	<b>16,95</b>
Ind35	4185,33	4348,64	415812	4485,73	4832,45	6052,27	3940,49	4133,5	3640,67	533876	<b>4283,33</b>
Ind36	1	1	1	1	1	1	1	1	0,8	1	<b>1</b>
Ind37	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	<b>3</b>
Ind38	3,45	3,5	3,7	3,8	3,8	4	3,7	3,35	2,85	4,35	<b>3,8</b>
Ind39	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0,5	<b>0,5</b>
Ind40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<b>0</b>

APÊNDICE C1 – VALORES DOS ATRIBUTOS E CENÁRIO PADRÃO PARA O ESTUDO DE CASO GAMA

	<b>BV</b>	<b>BO</b>	<b>CG</b>	<b>IT</b>	<b>QU</b>	<b>PU</b>	<b>SR</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>PADRÃO</b>
Ind1	1,2	0,832	1,23	1,2	0,764	1,4	1,6	1,6	0,764	<b>0,764</b>
Ind2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Ind3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Ind4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Ind5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Ind6	0	0	1	0	1	0	0	1	0	<b>1</b>
Ind7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Ind8	1	1	0	1	0	1	1	1	0	<b>0</b>
Ind9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Ind10	100	100	100	90	100	100	100	100	90	<b>100</b>
Ind11	0,51	0,71	0,95	0,52	0,54	0,48	0,51	0,95	0,48	<b>0,95</b>
Ind12	3,7	8,5	8,4	8,8	7,7	5,3	13,8	13,8	3,7	<b>3,7</b>
Ind13	1	1	0	1	1	0	1	1	0	<b>0</b>
Ind14	1	1	1	0	1	1	1	1	0	<b>0</b>
Ind15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Ind16	0	0	47	0	0	0	0	47	0	<b>47</b>
Ind17	0	0	0	0	1	0	0	1	0	<b>1</b>
Ind18	56,3	72,8	94,8	55,8	66,5	69,1	58,2	94,8	55,8	<b>94,8</b>
Ind19	2	3	3	7	3	3	7	7	2	<b>7</b>
Ind20	3	7	7	7	3	7	7	7	3	<b>7</b>
Ind21	0,004364	0,001916	0,000528	0,001679	0,003083	0,000495	0,002217	0,004364	0,000495	<b>0,000495</b>
Ind22	0	0	1	0	1	0	0	1	0	<b>1</b>
Ind23	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	<b>SEM DADOS</b>
Ind24	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	<b>SEM DADOS</b>



Ind25	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	<b>SEM DADOS</b>
Ind26	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	<b>SEM DADOS</b>
Ind27	1	1	1	0	0	1	0	1	0	<b>1</b>
Ind28	0	0	0,5	0	0,5	1	0	1	0	<b>0</b>
Ind29	0	0	1	0	0	0	0	1	0	<b>0</b>
Ind30	0,005975	0,004105	0,001667	0,004058	0,006208	0,001253	0,001905	0,006208	0,001253	<b>0,001253</b>
Ind31	0	0	1	0	1	1	0	1	0	<b>0</b>
Ind32	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0	1	0	<b>0</b>
Ind33	0	0	0	1	0	0	0	1	0	<b>0</b>
Ind34	1	1	1	0	1	1	1	1	0	<b>0</b>
Ind35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Ind36	100	100	100	100	100	100	100	100	100	<b>100</b>
Ind37	20	0	8,45	0	15,62	0	0	20	0	<b>20</b>
Ind38	1	1	1	0	1	0	0	1	0	<b>1</b>
Ind39	0	0	1	1	0	0	0	1	0	<b>1</b>
Ind40	0	0	1	0	0	0	0	1	0	<b>1</b>
Ind34	65,65	30,1	42,2	42,92	41,8	15,46	31,6	65,65	15,46	<b>65,65</b>
Ind35	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	SEM DADOS	0	0	<b>SEM DADOS</b>
Ind36	8,3	3,33	32,98	0	0	0	0	32,98	0	<b>8,3</b>
Ind37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Ind38	1	0	1	0	0	1	0	1	0	<b>1</b>
Ind39	661,73	487,99	133,02	538,58	425,14	301,14	584,48	661,73	133,02	<b>661,73</b>
Ind40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>

APÊNDICE A2 - TABELA DE PESOS ESTUDO DE CASO ALPHA

DIMENSÃO			CATEGORIA				CRITÉRIO			PESO FINAL
NOME	VALOR	NORMALIZADO	NOME	VALOR	NORMALIZADO	RELACIONADO	NOME	VALOR	NORMALIZADO	
	$\Omega_k$	$\Omega'_k$		$\omega_{j,k}$	$\omega'_{j,k}$	$\omega''_{j,k}$		$W_{i,j,k}$	$W'_{i,j,k}$	$w_i$
FINANCEIRO	1,00	0,25000	CUSTO	1,00	0,50000	0,12500	Ind1	1,00	0,50000	0,06250
							Ind2	1,00	0,50000	0,06250
			LUCRO	1,00	0,50000	0,12500	Ind3	1,00	0,50000	0,06250
							Ind4	1,00	0,50000	0,06250
SOCIAL	1,00	0,25000	GERAÇÃO DE EMPREGO	1,00	0,25000	0,06250	Ind5	1,00	0,50000	0,03125
							Ind6	1,00	0,50000	0,03125
			GERAÇÃO DE RENDA	1,00	0,25000	0,06250	Ind7	1,00	0,50000	0,03125
							Ind8	1,00	0,50000	0,03125
			ABASTECIMENTO URBANO	1,00	0,25000	0,06250	Ind9	1,00	0,06250	0,06250
			PROLIFERAÇÃO DE DOENÇAS	1,00	0,25000	0,06250	Ind10	1,00	0,06250	0,06250
AMBIENTAL	1,00	0,25000	IMPACTO NO MEIO BIÓTICO	1,00	0,50000	0,12500	Ind11	1,00	0,50000	0,06250
							Ind12	1,00	0,50000	0,06250
			IMPACTO NO MEIO ABIÓTICO	1,00	0,50000	0,12500	Ind13	1,00	0,33333	0,04167
							Ind14	1,00	0,33333	0,04167
							Ind15	1,00	0,33333	0,04167
TÉCNICO OPERACIONAL	1,00	0,25000	RISCOS	0,75	0,42857	0,10714	Ind16	1,00	0,20000	0,02143
							Ind17	1,00	0,20000	0,02143
							Ind18	1,00	0,20000	0,02143
							Ind19	1,00	0,20000	0,02143
							Ind20	1,00	0,20000	0,02143
							Ind21	1,00	0,12500	0,01786
			DESEMPENHO DO RESERVATÓRIO	1,00	0,57143	0,14286	Ind22	1,00	0,12500	0,01786
							Ind23	1,00	0,12500	0,01786
							Ind24	1,00	0,12500	0,01786
							Ind25	1,00	0,12500	0,01786
							Ind26	1,00	0,12500	0,01786
							Ind27	1,00	0,12500	0,01786
							Ind28	1,00	0,12500	0,01786
Fonte: Elaboração do Autor									SOMA	1,00000

Fonte: Elaboração do Autor

APÊNDICE B2 - PESOS ESTUDO DE CASO BETA

DIMENSÃO			CATEGORIA				CRITÉRIO			PESO FINAL
NOME	VALOR	NORMALIZADO	NOME	VALOR	NORMALIZADO	RELACIONADO	NOME	VALOR	NORMALIZADO	
	$\Omega_k$	$\Omega'_k$		$\omega_{j,k}$	$\omega'_{j,k}$	$\omega''_{j,k}$		$W_{i,j,k}$	$W'_{i,j,k}$	
FONTES D'ÁGUA	1,00	0,1666667	Rios	1,00	0,33333	0,05556	Ind1	1,00	1	0,05555556
			Reservatórios	1,00	0,33333	0,05556	Ind2	1,00	0,3333333	0,01851852
							Ind3	1,00	0,3333333	0,01851852
							Ind4	1,00	0,3333333	0,01851852
							Ind5	1,00	0,25	0,01388889
			Poços	1,00	0,33333	0,05556	Ind6	1,00	0,25	0,01388889
							Ind7	1,00	0,25	0,01388889
							Ind8	1,00	0,25	0,01388889
DEMANDA DE ÁGUA	1,00	0,1666667	Humana	1,00	0,20000	0,03333	Ind9	1,00	1	0,03333333
			Animal	1,00	0,20000	0,03333	Ind10	1,00	0,2	0,00666667
							Ind11	1,00	0,2	0,00666667
							Ind12	1,00	0,2	0,00666667
							Ind13	1,00	0,2	0,00666667
							Ind14	1,00	0,2	0,00666667
			Irrigação	1,00	0,20000	0,03333	Ind15	1,00	0,5	0,01666667
							Ind16	1,00	0,5	0,01666667
			Piscicultura	1,00	0,20000	0,03333	Ind17	1,00	0,5	0,01666667
							Ind18	1,00	0,5	0,01666667
			Energia	1,00	0,20000	0,03333	Ind19	1,00	1	0,03333333
GESTÃO DA ÁGUA	1,00	0,1666667	Comitê	1,00	0,33333	0,05556	Ind20	1,00	1	0,05555556
			Outorga	1,00	0,33333	0,05556	Ind21	1,00	0,3333333	0,01851852
							Ind22	1,00	0,3333333	0,01851852
							Ind23	1,00	0,3333333	0,01851852
			Tratamento e Distribuição	1,00	0,33333	0,05556	Ind24	1,00	0,5	0,02777778
							Ind25	1,00	0,5	0,02777778
GESTÃO DAS	1,00	0,1666667	Esgotos	1,00	0,33333	0,05556	Ind26	1,00	1	0,05555556
			Gestão Financeira	1,00	0,33333	0,05556	Ind27	1,00	0,25	0,01388889

CIDADES EM RELAÇÃO À ÁGUA							Ind28	1,00	0,25	0,01388889
							Ind29	1,00	0,25	0,01388889
							Ind30	1,00	0,25	0,01388889
			Resíduos Sólidos	1,00	0,33333	0,05556	Ind31	1,00	0,5	0,02777778
							Ind32	1,00	0,5	0,02777778
IMPACTOS			Sociais	1,00	0,33333	0,05556	Ind33	1,00	0,5	0,02777778
			Econômico	1,00	0,33333	0,05556	Ind34	1,00	0,5	0,02777778
							Ind35	1,00	1	0,05555556
			Ambientais	1,00	0,33333	0,05556	Ind36	1,00	0,5	0,02777778
							Ind37	1,00	0,5	0,02777778
PROTEÇÃO AMBIENTAL			Educação Ambiental	1,00	0,50000	0,08333	Ind38	1,00	1	0,08333333
			Proteção das fontes	1,00	0,50000	0,08333	Ind39	1,00	0,5	0,04166667
							Ind40	1,00	0,5	0,04166667

APÊNDICE C2 – TABELA DE PESOS DO ESTUDO DE CASO GAMA

DIMENSÃO			CATEGORIA				CRITÉRIO			PESO FINAL
NOME	VALOR	NORMALIZADO	NOME	VALOR	NORMALIZADO	RELACIONADO	NOME	VALOR	NORMALIZADO	
$\Omega_k$		$\Omega'_k$		$\omega_{j,k}$	$\omega'_{j,k}$	$\omega''_{j,k}$	$W_{i,j,k}$	$W'_{i,j,k}$	$w_i$	
<b>AMBIENTAL/ ECOLÓGIA</b>	<b>1,00</b>	<b>0,25</b>	Geração de RSU	1,00	0,333333	0,083333	Ind1	1,00	1	<b>0,08333</b>
			Coleta seletiva e triagem	1,00	0,333333	0,083333	Ind2	1,00	0,25	<b>0,02083</b>
							Ind3	1,00	0,25	<b>0,02083</b>
							Ind4	1,00	0,25	<b>0,02083</b>
							Ind5	1,00	0,25	<b>0,02083</b>
			Forma de disposição final dos RSU coletados	1,00	0,333333	0,083333	Ind6	1,00	0,25	<b>0,02083</b>
							Ind7	1,00	0,25	<b>0,02083</b>
							Ind8	1,00	0,25	<b>0,02083</b>
							Ind9	1,00	0,25	<b>0,02083</b>
<b>SOCIAL</b>	<b>1,00</b>	<b>0,25</b>	Dados Demográficos	1,00	0,333333	0,083333	Ind10	1,00	0,5	<b>0,04167</b>
			Inclusão social de catadores de material reciclável	1,00	0,333333	0,083333	Ind11	1,00	0,5	<b>0,04167</b>
							Ind12	1,00	1	<b>0,08333</b>
							Ind13	1,00	0,2	<b>0,01667</b>
							Ind14	1,00	0,2	<b>0,01667</b>
							Ind15	1,00	0,2	<b>0,01667</b>
							Ind16	1,00	0,2	<b>0,01667</b>
							Ind17	1,00	0,2	<b>0,01667</b>
<b>TÉCNICO- OPERACIONAL</b>	<b>1,00</b>	<b>0,25</b>	Sistema de Transporte dos RSU	1,00	0,142857	0,035714	Ind18	1,00	0,2	<b>0,00714</b>
							Ind19a	1,00	0,2	<b>0,00714</b>
							Ind19b	1,00	0,2	<b>0,00714</b>
							Ind20	1,00	0,2	<b>0,00714</b>
			Infraestrutura e operação do Aterro Sanitário	1,00	0,142857	0,035714	Ind21	1,00	0,2	<b>0,00714</b>
							Ind22	1,00	0,25	<b>0,00893</b>
							Ind23	1,00	0,25	<b>0,00893</b>
							Ind24	1,00	0,25	<b>0,00893</b>
			Execução da gestão de RSU	1,00	0,142857	0,035714	Ind25	1,00	0,25	<b>0,00893</b>
							Ind26	1,00	0,333333	<b>0,01190</b>

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

APÊNDICE A3– TABELA DE CORRELAÇÕES ENTRE OS ATRIBUTOS DAS ALTERNATIVAS PARA O ESTUDO DE CASO ALPHA

FLUXOS	AÇUDE 03	AÇUDE 44	AÇUDE 51	AÇUDE 71	AÇUDE 72	AÇUDE 73	AÇUDE 75	AÇUDE 132	AÇUDE 144	AÇUDE 181	AÇUDE 184	AÇUDE 191	AÇUDE 238	AÇUDE 248	AÇUDE 255	AÇUDE 277	AÇUDE 401	AÇUDE 433	AÇUDE 438	AÇUDE 628
AÇUDE 03	1,000	0,541	0,561	0,568	0,562	0,559	0,554	0,560	0,566	0,601	0,562	0,548	0,550	0,555	0,557	0,544	0,541	0,539	0,563	0,530
AÇUDE 44	0,541	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
AÇUDE 51	0,561	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
AÇUDE 71	0,568	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,999	1,000	0,999
AÇUDE 72	0,562	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
AÇUDE 73	0,559	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
AÇUDE 75	0,554	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
AÇUDE 132	0,560	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
AÇUDE 144	0,566	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	0,999
AÇUDE 181	0,601	0,997	0,998	0,999	0,998	0,998	0,997	0,998	0,998	1,000	0,999	0,997	0,998	0,998	0,998	0,997	0,997	0,996	0,998	0,996
AÇUDE 184	0,562	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	0,999
AÇUDE 191	0,548	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
AÇUDE 238	0,550	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
AÇUDE 248	0,555	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
AÇUDE 255	0,557	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
AÇUDE 277	0,544	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
AÇUDE 401	0,541	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
AÇUDE 433	0,539	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,996	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
AÇUDE 438	0,563	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
AÇUDE 628	0,530	1,000	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,996	0,999	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000

APÊNDICE B3 – TABELA DE CORRELAÇÕES ENTRE OS ATRIBUTOS DAS ALTERNATIVAS PARA O ESTUDO DE CASO BETA

	Alcantil	Aroreiras	Barra de Santana	Barra de S. Miguel	Boa Vista	Boqueirão	Campina Grande	Caturité	Fagundes	Gado Bravo	Itatuba	Montadas	Natuba	Pocinhos	Puxinanã	Queimadas	Riacho de S. Antônio	Santa Cecília	Umbuzeiro
Alcantil	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Aroreiras	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Barra de Santana	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Barra de São Miguel	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Boa Vista	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Boqueirão	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,03	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Campina Grande	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	1,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
Caturité	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Fagundes	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Gado Bravo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Itatuba	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Montadas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Natuba	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Pocinhos	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,14	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Puxinanã	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Queimadas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,03	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Riacho de S. Antônio	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Santa Cecília	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Umbuzeiro	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00



APÊNDICE C3 – TABELA DE CORRELAÇÕES ENTRE OS ATRIBUTOS DAS ALTERNATIVAS PARA O ESTUDO DE CASO BETA

	Boa Vista	Boqueirão	Campina Grande	Itatuba	Queimadas	Puxinanã	Serra Redonda
Boa Vista	1	0,99424	0,73652	0,99828	0,99175	0,96411	0,99774
Boqueirão	0,99424	1	0,7853	0,99806	0,99805	0,98553	0,99788
Campina Grande	0,73652	0,7853	1	0,75536	0,80592	0,8604	0,74795
Itatuba	0,99828	0,99806	0,75536	1	0,99525	0,97484	0,99954
Queimadas	0,99175	0,99805	0,80592	0,99525	1	0,98921	0,99398
Puxinanã	0,96411	0,98553	0,8604	0,97484	0,98921	1	0,97374
Serra Redonda	0,99774	0,99788	0,74795	0,99954	0,99398	0,97374	1