



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

**Aplicação do Índice de Sustentabilidade de Bacias
Hidrográficas no Rio Piranhas-Açu a partir dos Métodos
Multicritério e Multidecisor**

Área de concentração: Sociedade e Recursos Naturais

Linha de Pesquisa: Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas

Aluno: Danilo Duarte Costa e Silva

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo de Vasconcelos Baracuhy (UFCG)

Co-orientador: Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves (UNB)

CAMPINA GRANDE - PB

2017

Aplicação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas no Rio Piranhas-Açu a partir dos Métodos Multicritério e Multidecisor

Tese apresentada ao
Programa de Pós-graduação
em Recursos Naturais,
da Universidade
Federal de Campina Grande
para a obtenção do título de
Doutor.

Aluno: Danilo Duarte Costa e Silva

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo de Vasconcelos Baracuhy (UFCG)

Co-orientador: Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves (UNB)

CAMPINA GRANDE - PB

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

BANCA EXAMINADORA

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu Senhor, Amigo e Salvador Jesus Cristo, maior responsável pelo meu viver e para que tenho vivido. Dedico a minha esposa Carla pela ajuda e paciência em todos os momentos um verdadeiro presente de Deus em minha vida. Dedico aos meus pais Francisco das Chagas Silva e Maria das Graças Costa e Silva, dois presentes que Deus me deu.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, sem o qual a vida não faz sentido e através dEle e para Ele esta tese foi escrita. Agradeço aos alunos do programa de pós-graduação em Recurso Naturais pelos bons momentos de conversas e aprendizado. Agradeço aos professores do Programa de Pós graduação em Recursos Naturais em especial aos professores Gesinaldo Candido pela ajuda e incentivo na temática da presente tese, professora Marcia Rios pela disponibilidade de tempo e conselhos sobre a temática, ao professor Valterlin pelo tempo e boas conversas acerca da questão hídrica, ao professor Wilson Curi que não mediu esforços para me ajudar com todo o tempo disponível para a presente tese, sendo neste sentido um verdadeiro presente para mim como pessoa. Agradeço imensamente ao professor Henrique Chaves da Universidade de Brasília pelo apoio, cooperação, disponibilidade e ajuda em diversos momentos, um grande docente e um privilégio em tê-lo como co-orientador. Agradeço muito ao Professor Baracuhy e penso que a academia precisa de mais homens como ele, alguém que para além do amplo conhecimento que possui, tem sido um exemplo em como materializar este conhecimento em ações práticas para o semiárido.

Muito obrigado a todos.

EPÍGRAFE

“Porei águas no deserto e rios no ermo
para dar de beber ao meu povo, ao
meu escolhido”

Isaías 43.20

RESUMO

A problemática dos recursos hídricos no mundo hoje e em especial nas regiões semiáridas é uma questão crucial para superação dos obstáculos do desenvolvimento sustentável. O problema antes tratado de forma setorializada hoje com o avanço do pensamento científico quanto à questão tem apontado para uma análise voltada para a bacia hidrográfica como unidade de gestão em todos os seus aspectos e em especial no que se refere a participação popular no processo de tomada de decisão. Como alternativa para este fato tem-se buscado a elaboração de indicadores voltados para tentar mensurar a sustentabilidade e para além das metodologias elaboradas percebe-se que há uma carência de metodologias que além de contemplar a bacia hidrográfica possibilite a participação pública na tomada de decisão. Com o objetivo de apresentar uma alternativa para este problema a presente pesquisa objetivou desenvolver uma metodologia baseada nos indicadores do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (Watershed Sustainability Index - WSI) aplicado juntamente com análise Multicritério e Multidecisor com vistas a contemplar uma maior participação pública na construção da tomada de decisão. O modelo desenvolvido foi composto por quinze indicadores distribuídos em três dimensões (Pressão-Estado-Resposta), tendo uma fase inicial composta pelo cálculo dos indicadores do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas, seguido pela aplicação de análise Multicritério (método PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation II) e Multidecisor (método de COPELAND) com base nos valores dos indicadores. O local de aplicação foi a bacia hidrográfica Piranhas-Açu (mais especificamente as suas onze sub-bacias hidrográficas), localizada por completo no semiárido brasileiro considerado o mais problemático do mundo. Os resultados demonstram que a aplicabilidade dos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas juntamente com o método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation) II e o método de COPELAND para definição de uma escala de avaliação, ou índice, trazem resultados relevantes a esse contexto. A ordenação obtida através do método enfatiza que existe desigualdade entre as sub-bacias hidrográficas parte da bacia Piranhas-Açu, destacando-se a sub-bacia hidrográfica Pataxó como menos sustentável e a sub-bacia hidrográfica Médio Piranhas Potiguar como mais sustentável. Nota-se que este cenário ainda se apresenta longe do ideal em relação à gestão dos recursos hídricos mesmo nas sub-bacias hidrográficas que apresentam níveis satisfatórios.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável, Gestão dos Recursos Hídricos, Sistema de Apoio a Decisão.

ABSTRACT

The issue of water resources in the world today and especially in semi-arid regions is a crucial issue in overcoming obstacles to sustainable development. The problem previously dealt with in a sector nowadays with the advancement of scientific thinking on the issue has pointed to an analysis focused on the watershed as a unit of management in all its aspects and especially with regard to popular participation in the process of decision-making. As an alternative to this fact, we have sought the elaboration of indicators aimed at trying to measure sustainability and, besides the elaborated methodologies, it is perceived that there is a lack of methodologies that besides contemplating the watershed make possible the public participation in the decision making. With the objective of presenting an alternative to this problem, the present research aimed to develop a methodology based on the indicators of the Watershed Sustainability Index (WSI) applied together with Multicriteria and Multidecisor analysis to contemplate a greater public participation in the Decision-making. The developed model was composed of fifteen indicators distributed in three dimensions (Pressure-State-Response), having an initial phase composed by the calculation of the indicators of the Watershed Sustainability Index, followed by the application of Multicriteria analysis (method PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation II) and Multidecisor (COPELAND method) based on the values of the indicators. The site of application was the Piranhas-Açu basin (more specifically, its eleven sub-basins), located entirely in the Brazilian semi-arid considered the most problematic in the world. The results demonstrate that the applicability of Watershed Sustainability Index indicators together with the Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation (II) method and the COPELAND method for the definition of an evaluation scale, or index, bring relevant results to This context. The ordering obtained through the method emphasizes that there is inequality between the sub-basins part of the Piranhas-Açu basin, highlighting the Pataxó sub-basin as less sustainable and the Média Piranhas Potiguar sub-basin as more sustainable. It should be noted that this scenario is still far from ideal in terms of water resources management even in sub-basins that present satisfactory levels.

Key-words: Sustainable development, Management of Water Resources, Decision Support System.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	22
CAPÍTULO II -OBJETIVOS, ORIGINALIDADE E EVOLUÇÃO	26
2.1 Objetivo geral.....	26
2.2 Objetivos específicos.....	26
2.3 Evolução da tese, Originalidade e contribuição.....	27
2.3.1 Evolução da tese.....	27
2.3.2 Originalidade metodológica e em termos de região de aplicação.....	30
2.4 Estruturação da tese.....	32
CAPÍTULO III - RECURSOS HÍDRICOS, INTERDISCIPLINARIDADE E SUSTENTABILIDADE	34
3.1 A Bacia hidrográfica como unidade de gestão	34
3.2 A evolução no processo de gestão de bacias hidrográficas e a interdisciplinaridade.....	35
3.3 Evolução da interdisciplinaridade e sua relação com os recursos naturais.....	42
3.4 Sustentabilidade e Recursos Hídricos	47
3.4.1 Sustentabilidade: Evolução ao longo da história	47
3.4.2 Sustentabilidade: Características e princípios	49
3.4.3 Sustentabilidade em recursos hídricos: conceituação.....	56
3.4.4 Apontamentos contemporâneos em termos sustentabilidade em recursos hídricos	57
CAPÍTULO IV - INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM RECURSOS HÍDRICOS	69
4.1 Indicadores de sustentabilidade e os desafios de mensuração.....	69
4.2 Características e componentes de indicadores e índices de sustentabilidade	71
4.3 Tipos de Indicadores e Índices de sustentabilidade	74
4.4 Índices de sustentabilidade em recursos hídricos	79
4.5 Índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (WSI – Watershed Sustainability Index).....	88

CAPÍTULO V - SISTEMAS VOLTADOS PARA DECISÃO APLICADOS AOS RECURSOS HÍDRICOS	99
5.1 Uma síntese dos sistemas voltados para decisão em recursos hídricos.....	99
5.2 Paradigmas científicos na modelagem de um sistema voltado para decisão	103
5.3 Metodologias multicritério de apoio à decisão	107
5.3.1 Metodologias PROMETHEE - Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation.....	110
5.4 Metodologias voltadas para situações onde existam diversos decisores “multidecisor”	114
5.4.1 Método da Borda.....	115
5.4.2 Método de Condorcet.....	117
5.4.3 Método de Copeland.....	118
CAPÍTULO VI - (IN) SUSTENTABILIDADE DO SEMIÁRIDO.....	121
6.1 Problemática do Semiárido Brasileiro.....	121
6.2 Problemática da bacia hidrográfica do Piranhas-Açu.....	123
CAPÍTULO VII – METODOLOGIA	131
7.1 Bacia hidrográfica do Piranhas-Açu	131
7.1.1 Características gerais.....	131
7.2 Procedimentos Metodológicos.....	132
7.2.1 Indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (WSI – Watershed Sustainability Index).....	134
7.2.2 Método multicritério Promethee	137
7.2.2.1 Definição da função de preferência	137
7.2.2.2 Definição dos pesos dos indicadores.....	140
7.2.3 Método multidecisor Copeland	140
7.3 Classificação metodológica da pesquisa	141
7.3.1 Amostragem, escala temporal e geográfica	141
CAPÍTULO VIII - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS...144	

8.1 Apresentação do Modelo e Validação na Área de Estudo.....	144
8.1.1 Caracterização dos participantes da pesquisa.....	144
8.1.2 Detalhamento dos participantes da pesquisa.....	145
8.1.3 Etapa 1 - Indicadores do Índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas.....	147
8.1.3.1 Indicadores de Hidrologia.....	149
8.1.3.1.1 Variação na disponibilidade hídrica.....	149
8.1.3.1.2 Disponibilidade hídrica.....	150
8.1.3.1.3 Demanda bioquímica de oxigênio.....	154
8.1.3.2 Indicadores de Meio Ambiente.....	156
8.1.3.2.1 Índice de Pressão Ambiental e percentual de área florestal.....	156
8.1.4 Indicadores de Vida e política.....	172
8.1.4.1 Estudo da estimativa de parâmetros.....	172
8.1.4.2 Indicadores qualitativos	185
8.1.4.3 Peso dos indicadores a partir da avaliação dos membros do Comitê de Bacia Hidrográfica.....	188
8.1.5 Matriz de avaliação.....	191
8.1.6 Etapa 2 – Resultado da aplicação da análise multicritério.....	194
8.1.6.1 Resultados da aplicação do modelo multicritério para classificação do desempenho das Sub-Bacias Hidrográficas em relação à sustentabilidade.....	194
8.1.6.1.1 Cenário do Decisor 1.....	195
8.1.6.1.2 Cenário do Decisor 2.....	198
8.1.6.1.3 Cenário do Decisor 3	200
8.1.6.1.4 Cenário do Decisor 4	202
8.1.6.1.5 Cenário do Decisor 5	204
8.1.6.1.6 Cenário do Decisor 6	206
8.1.6.1.7 Cenário do Decisor 7	208
8.1.6.1.8 Cenário do Decisor 8	210
8.1.6.1.9 Cenário do Decisor 9	212
8.1.6.1.10 Cenário do Decisor 10	214

8.1.6.2 Resultados da aplicação do modelo multicritério para classificação do desempenho das Sub-Bacias Hidrográficas em relação à Gestão dos Recursos Hídricos (Decisores 11 ao 20)	216
8.1.6.2.1 Cenário do Decisor 11	217
8.1.6.2.2 Cenário do Decisor 12	219
8.1.6.2.3 Cenário do Decisor 13	221
8.1.6.2.4 Cenário do Decisor 14	223
8.1.6.2.5 Cenário do Decisor 15	225
8.1.6.2.6 Cenário do Decisor 16	227
8.1.6.2.7 Cenário do Decisor 17	229
8.1.6.2.8 Cenário do Decisor 18	231
8.1.6.2.9 Cenário do Decisor 19	233
8.1.6.2.10 Cenário do Decisor 20	235
8.1.6.3 Resultados da aplicação do modelo multicritério para classificação do desempenho das Sub-Bacias Hidrográficas em relação à Gestão dos Recursos Hídricos (Decisores 21 ao 27)	237
8.1.6.3.1 Cenário do Decisor 21	238
8.1.6.3.2 Cenário do Decisor 22	240
8.1.6.3.3 Cenário do Decisor 23	242
8.1.6.3.4 Cenário do Decisor 24	244
8.1.6.3.5 Cenário do Decisor 25	246
8.1.6.3.6 Cenário do Decisor 26	248
8.1.6.3.7 Cenário do Decisor 27	250
8.1.5.2 Etapa 3 – Resultado da Aplicação do Método Multidecisor de ordenação de Copeland	252
8.1.5.2.1 Comparativo entre a aplicação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas e o Índice proposto	255
8.1.5.2.2 Delineamentos teóricos a partir da comparação e nomenclatura.....	260
CAPÍTULO IX - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	264
9.1 Análise da aplicação dos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas	264
9.1.1 Considerações sobre dados disponíveis	264

9.1.2 Resultados observados em termos de sustentabilidade da bacia hidrográfica	266
9.2 Método multicriterial PROMETHEE	267
9.3 Análise do Método multidecisor COPELAND	268
9.4 Recomendações para trabalhos futuros	268

REFERÊNCIAS

ANEXOS

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos de desenvolvimento sustentável (adaptado do CEI, 2007).....	51
Tabela 2. Princípios da Carta da Terra (EARTH, 2004).....	55
Tabela 3. Resumo dos apontamentos em termos de desenvolvimento sustentável e recursos hídricos.....	66
Tabela 4. Principais indicadores presentes na literatura atual (adaptado do Hak, 2007).....	75
Tabela 5. Comparativo dos índices (adaptado de Juwana et al, 2012).....	82
Tabela 6. Relação positiva e negativa para análise das variáveis (Carvalho et al, 2011).....	83
Tabela 7. Indicadores hidro-ambientais usados no estudo (adaptado do CARVALHO ET AL, 2011).....	84
Tabela 8. Resumo do cálculo do ISBHi (Fonte: ISAÍAS, 2008).....	87
Tabela 9. Indicadores e parâmetros do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográfica (CHAVES E ALIPAZ, 2007).....	89
Tabela 10. Parâmetros de pressão do WSI.....	91
Tabela 11. Parâmetros de estado do WSI.....	92
Tabela 12. Parâmetros de resposta do WSI.....	93
Tabela 13. Comparativo dos paradigmas voltados à decisão.....	104
Tabela 14. Organizações de gestão de recursos hídricos em alguns cenários internacionais	106
Tabela 15. Comparativo entre as Escolas.....	108
Tabela 16. Comparativo entre a Escola Francesa e a Escola Americana	110
Tabela 17. Tipos de metodologia PROMETHEE.....	111

Tabela 18. Detalhamento dos fluxos.....	112
Tabela 19. Matriz de aplicação do método da borda.....	116
Tabela 20. Aplicação do método Copeland em diversas áreas do conhecimento	119
Tabela 21. Reservatórios da Bacia Piranhas-Açu.....	123
Tabela 22. Levantamento fotográfico georreferenciado da problemática da Bacia Piranhas-Açu	128
Tabela 23. Indicadores e parâmetros do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (CHAVES E ALIPAZ, 2007).....	135
Tabela 24. Detalhamento do PROMETHEE.....	138
Tabela 25. Definição dos pesos dos indicadores.....	140
Tabela 26. Fonte de dados para composição do índice WSI.....	143
Tabela 27. Indicadores, fonte e origem dos dados da aplicação do Índice.....	147
Tabela 28. Variação na disponibilidade hídrica.....	149
Tabela 29. Variação na disponibilidade hídrica (menor para maior).....	150
Tabela 30. Disponibilidade hídrica.....	151
Tabela 31. Gráficos de disponibilidade hídrica das sub-bacias hidrográficas.....	152
Tabela 32. Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	154
Tabela 33. Imagens de satélite.....	156
Tabela 34. Estudo de uso do solo das sub-bacias hidrográficas do Piranhas-Açu.....	157
Tabela 35. Mapa de uso do solo.....	161
Tabela 36. Sub-bacia Hidrográfica do Piancó.....	173
Tabela 37. Sub-bacia Hidrográfica do Peixe.....	174

Tabela 38. Sub-bacia Hidrográfica do Seridó.....	175
Tabela 39. Sub-bacia Hidrográfica do Pataxó.....	176
Tabela 40. Sub-bacia hidrográfica do Paraú.....	177
Tabela 41. Sub-bacia Hidrográfica do Médio Piranhas-Potiguar.....	178
Tabela 42. Sub-bacia Hidrográfica do Médio Piranhas Paraibano Potiguar.....	179
Tabela 43. Sub-bacia Hidrográfica Médio Piranhas Paraibano.....	180
Tabela 44. Sub-bacia Hidrográfica do Espinharas.....	181
Tabela 45. Sub-bacia Hidrográfica Difusas do Baixo Piranhas.....	182
Tabela 46. Sub-bacia Hidrográfica do Alto Piranhas.....	183
Tabela 47. Variação no IDHM renda e educação.....	184
Tabela 48. IDHM por sub-bacia hidrográfica.....	185
Tabela 49. Consulta aos membro do Comitê sobre os indicadores de resposta.....	186
Tabela 50. Peso dos indicadores do índice de Sustentabilidade de Bacia Hidrográficas segundo a percepção dos membros do Comitê.....	189
Tabela 51. Matriz de avaliação.....	192
Tabela 52. Resultado do cenário do decisor 1	196
Tabela 53. Resultado do cenário do decisor 2.....	198
Tabela 54. Resultado do cenário do decisor 3.....	200
Tabela 55. Resultado do cenário do decisor 4	202
Tabela 56. Resultado do cenário do decisor 5.....	204
Tabela 57. Resultado do cenário do decisor 6.....	206
Tabela 58. Resultado do cenário do decisor 7.....	208
Tabela 59. Resultado do cenário do decisor 8.....	210

Tabela 60. Resultado do cenário do decisor 9.....	212
Tabela 61. Resultado do cenário do decisor 10.....	214
Tabela 62. Resultado do cenário do decisor 11	217
Tabela 63. Resultado do cenário do decisor 12.....	219
Tabela 64. Resultado do cenário do decisor 13.....	221
Tabela 65. Resultado do cenário do decisor 14.....	223
Tabela 66. Resultado do cenário do decisor 15.....	225
Tabela 67. Resultado do cenário do decisor 16.....	227
Tabela 68. Resultado do cenário do decisor 17.....	229
Tabela 69. Resultado do cenário do decisor 18.....	231
Tabela 70. Resultado do cenário do decisor 19.....	233
Tabela 71. Resultado do cenário do decisor 20.....	235
Tabela 72. Resultado do cenário do decisor 21.....	238
Tabela 73. Resultado do cenário do decisor 22.....	240
Tabela 74. Resultado do cenário do decisor 23.....	242
Tabela 75. Resultado do cenário do decisor 24.....	244
Tabela 76. Resultado do cenário do decisor 25.....	246
Tabela 77. Resultado do cenário do decisor 26.....	248
Tabela 78. Resultado do cenário do decisor 27.....	250
Tabela 79. Resultado final da análise COPELAND.....	252
Tabela 80. Resultado final.....	253
Tabela 81. Dados dos Indicadores.....	255
Tabela 82. Resultado WSI por sub-bacia hidrográfica e global	257
Tabela 83. Comparativo	260

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas e interações (adaptado de Tucci, 2000).....	65
Figura 2. Esquema hierárquico dos índices e indicadores (BRAAT, 1991).....	73
Figura 3. Correlação da tolerância máxima dos limites de qualidade hídrica e a demanda bioquímica de oxigênio (adaptato de CHAVEZ E ALIPAZ, 2007)	95
Figura 4. Funções de preferência - Promethee (Adaptado de CAVASSIN, 2004)	113
Figura 5. Localização da Bacia hidrográfica do Piranhas-Açu (Fonte: autor)	131
Figura 6. Modelo proposto.....	134
Figura 7. Aplicação do questionário com vistas à análise dos pesos na 14ª Reunião do Comitê de Bacia Hidrográfica da Bacia Piranhas-Açu	145
Figura 8. Profissão dos participantes da pesquisa.....	146
Figura 9. Lista de presença do Comitê na reunião ordinária.....	146
Figura 10. Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	155
Figura 11. Ilustração das posições das sub-bacias por decisor (10 primeiros).....	195
Figura 12. Representação dos fluxos (Decisor 1)	197
Figura 13. Representação dos fluxos (Decisor 2).....	199
Figura 14. Representação dos fluxos (Decisor 3)	201
Figura 15. Representação dos fluxos (Decisor 4).....	203
Figura 16. Representação dos fluxos (Decisor 5).....	205
Figura 17. Representação dos fluxos (Decisor 6).....	207
Figura 18. Representação dos fluxos (Decisor 7).....	209

Figura 19. Representação dos fluxos (Decisor 8)	211
Figura 20. Representação dos fluxos (Decisor 9).....	213
Figura 21. Representação dos fluxos (Decisor 10).....	215
Figura 22. Ilustração das posições das sub-bacias por decisor (11 ^o ao 20 ^o).216	
Figura 23. Representação dos fluxos (Decisor 11)	218
Figura 24. Representação dos fluxos (Decisor 12).....	220
Figura 25. Representação dos fluxos (Decisor 13).....	222
Figura 26. Representação dos fluxos (Decisor 14).....	224
Figura 27. Representação dos fluxos (Decisor 15).....	226
Figura 28. Representação dos fluxos (Decisor 16).....	228
Figura 29. Representação dos fluxos (Decisor 17).....	230
Figura 30. Representação dos fluxos (Decisor 18).....	232
Figura 31. Representação dos fluxos (Decisor 19).....	234
Figura 32. Representação dos fluxos (Decisor 20).....	236
Figura 33. Ilustração das posições das sub-bacias por decisor (21 ^o ao 27 ^o).237	
Figura 34. Representação dos fluxos (Decisor 21).....	239
Figura 35. Representação dos fluxos (Decisor 22).....	241
Figura 36. Representação dos fluxos (Decisor 23).....	243
Figura 37. Representação dos fluxos (Decisor 24).....	245
Figura 38. Representação dos fluxos (Decisor 25).....	247
Figura 39. Representação dos fluxos (Decisor 26).....	249
Figura 40. Representação dos fluxos (Decisor 27).....	251
Figura 41. Resultado final do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas aplicado com os Métodos Promethee e Copeland.....	254
Figura 42. Watershed Sustainability Index.....	258

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional de Águas
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CF	Constituição Federal
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional Do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la REalité I
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
MCDA	Multiple-Criteria Decision Analysis
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PROMETHEE	Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation
SAD	Sistema de Apoio a Decisão
SSD	Sistema de Suporte a Decisão

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem sido foco de amplos debates nas últimas décadas e em meio a uma busca desenfreada pelo desenvolvimento, críticas foram desenvolvidas de modo a alertar a sociedade dos perigos eminentes que estavam sujeitos (RACHEL, 2002; HARDIN, 1968). Nestes termos, diante desta preocupação, o desafio observado relativo ao meio ambiente com sua complexidade inerente, passou a ser foco de análises que pudessem ir além, contemplando assim as mais diversas áreas de forma interdisciplinar e levando à uma revisão nos conceitos ligados ao desenvolvimento (LEFT, 2000; MORIN, 2007). Nestes termos a reflexão em volta do tema culminou no avanço de estratégias de desenvolvimento que levassem em conta as necessidades das gerações atuais sem desprezar as futuras, ou seja, um desenvolvimento sustentável (SACHS, 1995; WCED, 1987; LELE, 1991; MEBRATU, 1988).

Em torno disto em época recente a temática ligada ao desenvolvimento sustentável tem se ampliado para diversas áreas e em termos de recursos hídricos, os avanços tem gerado a elaboração de conceitos voltados para definir a “sustentabilidade hídrica”. Com vistas a busca pelo entendimento da sustentabilidade em termos de recursos hídricos vários autores tem elaborado definições voltadas para sustentabilidade hídrica e nestes termos tais definições tem procurado contemplar os mais diversos aspectos em busca de se entender melhor a realidade (MAYS, 2007, GLEICK ET AL, 1995, LOUCKS, 2000). Gleick et al. (1995) conceituam sustentabilidade hídrica como “o uso de água para suporte e habilidade da sociedade humana para fortalecer e florescer em um futuro indefinido sem prejudicar a integridade do ciclo hidrológico ou do sistema ecológico que depende dele”. Vieira (2002) por sua vez define sustentabilidade hídrica como “o atendimento continuado e consistente das demandas da sociedade através de uma oferta hídrica garantida, em quantidade e qualidade”. Para Mays (2007) sustentabilidade hídrica é “a habilidade para prover e manejar a água em termos de quantidade e qualidade e da mesma forma a encontrar as necessidades humanas e ambientais atuais, enquanto não impede as futuras

gerações de fazer o mesmo“. Loucks (2000) por sua vez define sustentabilidade hídrica como “a designação e planejamento dos recursos hídricos com vistas a contribuir completamente com os objetivos da sociedade agora e no futuro, enquanto mantém sua integridade ecológica, ambiental e hidrológica”.

Para além de tais avanços recentes na temática relativa a definição de sustentabilidade hídrica o desafio maior, contudo, tem se ampliando em como medi-la e neste sentido como resposta à necessidade de mensurar o “desenvolvimento sustentável”, indicadores de sustentabilidade têm sido desenvolvidos a partir de um olhar amplo para tentar contemplar os desafios da complexidade ambiental e tendo como intuito se tornar uma importante alternativa para contribuir com o processo de gestão, seja no setor público, seja no setor privado (BOSSEL, 1999; VAN BELEN, 2007; VEIGA, 2010; PINTÉR, 2012; BELL E MORSE, 2000). Tais avanços contudo ainda são incipientes em termos de desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade especificamente para mensurar a sustentabilidade hídrica e neste sentido percebe-se que há uma clara necessidade de elaboração de índices que possam servir de base para análise comparativa, tanto no país quanto fora (CHAVES E ALIPAZ, 2007).

Nestes termos em época recente a Organização das Nações Unidas¹ (ONU) promoveu a criação de um índice voltado para análise de sustentabilidade de recursos hídricos a partir da bacia hidrográfica conhecido como o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (Watershed Sustainability Index - WSI) que tem contemplado um campo de aplicação amplo e a partir de tal, fronteiras internacionais têm sido abarcadas de modo que a aplicação do índice tem contribuído para uma análise mais ampla em todo o mundo. Em termos de Brasil o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) teve uma aplicação recente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste e embora a maior problemática ligada aos recursos hídricos esteja localizada na região Nordeste, considerada por alguns como possuindo o semiárido mais problemático do mundo (CIRILO, 2008), ainda não houve um avanço quanto à sua aplicação.

¹Programa hidrológico da UNESCO (Organização das Nações Unidas de Educação, Ciência e Cultura)

Para além das vantagens do índice (WSI)² Juwana, Muttill e Pereira (2012) em estudo recente onde compararam os índices de sustentabilidade voltados para água mais conhecidos no mundo destacaram certa limitação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) no que se refere à participação pública (na estruturação do mesmo, em específico na composição dos pesos).

Pensar em participação pública hoje tem sido a marca dos atuais sistemas de gestão de recursos hídricos, marcados por modelos de gestão que buscam contemplar a complexidade a partir de um processo participativo em construção (GREICK, 1998; POSTEL, 2000, LOUCKS, 2000; MAYS, 2007; TUCCI, 2000; TUNDISI, 2003; VIEIRA, 2002). De acordo com GWP (2009) o Brasil, seguindo a lógica que vem sendo adotada no mundo, atualmente tem um sistema de gestão descentralizada onde a participação pública (como se observa no Comitê de Bacia Hidrográfica) é de importância ímpar para a eficácia do processo.

Neste sentido de acordo com Laura (2004) diante dos paradigmas que tem marcado a decisão em recursos hídricos, a busca por uma lógica construtivista no Sistema de Apoio à Decisão (SAD) em detrimento à lógica racionalista (oriunda do Sistema de Suporte à Decisão - SSD) tem sido amplamente recomendada para o processo atual de gestão de recursos hídricos em vários países. Dentre as metodologias elaboradas a partir da lógica construtivista, se destaca a análise multicritério e neste sentido, dentre os diversos métodos de apoio a decisão (com escolas americanas e francesas em destaque), a família Promethee³ (Preference ranking organization method for enrichment evaluation)(BRANS ET AL, 1986; POMEROL, BARBA-ROMERO; 2012) de apoio à decisão, tem se sobressaído em estudos comparativos com outros métodos, tanto da escola francesa, quanto americana (LEITE, 2012), principalmente quando aplicados juntamente com metodologias ordinais de

²Dentre as quais o fato da sua originalidade em claramente possuir a bacia hidrográfica como base para sua aplicação.

³ Aqui a metodologia Promethee é usada com vistas a “otimizar o processo” e neste sentido se distancia um pouco da lógica aplicada, por exemplo por alguns pesquisadores (CARVALHO, 2013; SANTOS, 2008) que usaram a metodologia também para seleção de indicadores. A natureza “participativa” e portanto “construtivista” ainda permanece contudo, haja vista, o “comitê de bacia hidrográfica” ter sido responsável tanto pela ponderação dos pesos dos indicadores (atribuindo a importância a cada um), quanto pela resolução de indicadores qualitativos.

agregação (CARVALHO, 2013⁴; SILVINO, 2008; SANTOS, 2009; ARAÚJO, 2016), permitindo o estabelecimento de uma ordem final, altamente relevante para o estabelecimento do apoio à decisão (NARDO ET AL, 2005).

A presente pesquisa vem de forma pioneira propor a aplicação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) (CHAVEZ E ALIPAZ, 2007) em uma bacia hidrográfica localizada no semiárido brasileiro (bacia hidrográfica do Piranhas-Açu) a partir de uma adaptação do índice (Watershed Sustainability Index - WSI) com a inclusão de análise multicritério (Preference ranking organization method for enrichment evaluation – PROMETHEE) aplicada juntamente com metodologia de agregação multidecisor de ordenação (COPELAND), com vistas a contemplar de forma mais ampla a participação pública no processo de composição do índice, levando o índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas à um avanço em termos metodológicos.

⁴Carvalho (2013) usou a análise multicritério aliada à análise multidecisor com sucesso em metodologia voltada para sustentabilidade hídrica de municípios. Embora se perceba aí um avanço em termos de recursos hídricos, contudo o limite geográfico (municípios) tem sido preterido em relação a “bacia hidrográfica”, unidade aceita internacionalmente na gestão de recursos hídricos. A presente tese tem como base a unidade espacial “bacia hidrográfica”.

CAPÍTULO II -OBJETIVOS, ORIGINALIDADE E EVOLUÇÃO

2.1 Objetivo geral

Elaborar metodologia baseada na análise multicritério e multidecisor a partir de indicadores voltados para sustentabilidade de Bacias Hidrográficas aplicando-a na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu

2.2 Objetivos específicos

- I. Analisar a sustentabilidade da Bacia Hidrográfica do Piranhas-Açu;
- II. Compilar os dados hidrológicos, sociais, ambientais e proceder os devidos estudos inerentes à aplicação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas na Bacia Hidrográfica do Piranhas-Açu;
- III. Identificar o grau de importância dos indicadores a partir da percepção diferenciada dos membros do Comitê de Bacia Hidrográfica da Bacia Piranhas-Açu;
- IV. Realizar uma análise comparativa multicriterial, via método PROMETHEE II, entre o desempenho de sub-bacias hidrográficas quanto aos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, destacando-se hidrologia (qualidade e quantidade), meio ambiente (uso da terra e índice de pressão ambiental), vida e política;
- V. Agregar os cenários obtidos a partir da preferência dos vários decisores que foram consultados através do método multidecisor de Copeland;
- VI. Construir um *ranking* final que permita identificar a sustentabilidade dos recursos hídricos das sub-bacias hidrográficas em estudo e comparar com os valores de aplicação direta do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas.

2.3 Evolução da tese, Originalidade e contribuição

2.3.1 Evolução da tese

A presente tese nasce, dentre outros aspectos, a partir de uma necessidade de ir além das fronteiras já previamente delimitadas. De início o contato inicial com a temática se deu muito antes do doutorado a partir de conhecimento de metodologia voltada para manejo integrado de bacias hidrográficas, já bem difundida na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), conhecida como “manejo integrado de bacias hidrográficas”. Tal enfoque metodológico foi fruto de um trabalho bem sucedido em torno de bacias hidrográficas desenvolvido pelo Professor José Geraldo Baracuhy (orientador da presente tese) onde a partir de pesquisa junto à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) durante a última década (BARACUHY, 2001; BARACUHY ET AL, 2003), realizou e difundiu através de pesquisa e extensão a intervenção em microbacias hidrográficas na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Tal difusão metodológica alcançou o autor do presente trabalho de modo que durante o mestrado junto à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) o discente aplicou de forma localizada parte da metodologia.

Nesta aplicação o discente realizou a aplicação dos diagnósticos (físico-conservacionista, socioeconômico e ambiental) e posterior a esta aplicação procedeu a introdução do “manejo integrado de bacias hidrográficas” de forma parcial com a introdução de uma barragem subterrânea como conclusão da pesquisa (a exemplo da metodologia aplicada de forma mais ampla pelo professor Baracuhy, só que não com a mesma extensão [Baracuhy (2001) analisou diversas barragens subterrâneas, em ações de manejo na sua pesquisa]). Na ocasião (pesquisa de mestrado do discente) a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, na pessoa do professor Arthur Mattos esteve à frente da orientação e processo de pesquisa.

No ano de 2013 o discente participou do processo seletivo para o doutorado na Universidade Federal de Campina Grande e foi aceito. Na ocasião o projeto aprovado no processo seletivo junto a Universidade Federal de Campina Grande (tendo como orientador o professor José Geraldo de V. Baracuhy) foi a ampliação da pesquisa de mestrado, desta vez aplicando os

diagnósticos pós introdução da tecnologia (barragem subterrânea). E assim analisando o efeito para a sociedade da introdução da barragem subterrânea (e outras técnicas agrícolas que complementam o manejo integrado).

Na ocasião já no programa de doutorado da Universidade Federal de Campina Grande, o intuito era analisar a introdução de barragens subterrâneas, na sub-bacia do Seridó (região de pesquisa do mestrado) com vistas a análise do antes e depois (no mestrado tais diagnósticos foram aplicados antes e no doutorado, dando continuidade a pesquisa de doutorado, poderiam, aplicados depois, ou caso necessário, aplicados em alguma comunidade antes, em que a margem de erro estatística fosse considerável). Neste momento da pesquisa inicial a co-orientadora Professora Silvia Kurtz (autora do livro que é a base da metodologia (ROCHA E KURTZ, 2007)) em 2014 deixou a co-orientação devido problemas de saúde na família e o avanço nas pesquisas ficou nesta fase inicial limitado.

Diante do referido cenário (com a impossibilidade da co-orientação da professora Silvia Kurtz) o professor José Geraldo Baracuhy juntamente com o autor deste trabalho buscaram alçar horizontes junto a Universidade de Brasília (UNB) (reconhecida no Brasil pela excelência na pesquisa em torno da sustentabilidade) com vistas ao estabelecimento de uma parceria em pesquisa em termos de indicadores de sustentabilidade que contemplassem a bacia hidrográfica (aplicando metodologia distinta da criada pela professora Kurtz, porém também voltada para gestão de bacias hidrográficas, sendo por sua vez mais reconhecida internacionalmente). Neste cenário então houve o contato com o professor Henrique Marinho Chaves (pesquisador na temática de bacias hidrográficas) e responsável por um relevante avanço metodológico em termos de indicador de sustentabilidade para bacias hidrográficas no mundo (BROWN E MATLOCK, 2011; JUWANA ET AL, 2012; CORTES ET AL, 2012; CHAVES E ALIPAZ, 2007). Com tal contato firmou-se uma parceria em termos de pesquisa e o autor da presente tese foi enviado para a Universidade de Brasília com vistas a se tornar discente em disciplina voltada para a temática, bem como ser orientado pelo professor Henrique Chaves no percurso inicial da presente tese (que por sua vez desde então se tornou o co-orientador do autor da presente

tese). Neste sentido o segundo semestre de 2014 foi dedicado a esta enriquecedora experiência junto a Universidade de Brasília (UNB).

Posterior então ao início do percurso junto ao professor Henrique Chaves, foi definido para enfoque da pesquisa a sub-bacia hidrográfica do Seridó e neste sentido basicamente se pretendia aplicar de forma pioneira o índice no semiárido brasileiro e fazer uma adaptação localizada em um dos seus indicadores. Analisando assim no modelos pressão-estado-resposta o período de 2010 a 2015 a sustentabilidade da bacia, desde aspectos hídricos, sociais, ambientais e ações de Boas Práticas de Manejo (BMP's), etc.

Diante deste cenário contudo, a partir da recomendação de alguns docentes (que participaram do exame de qualificação onde foi apresentado o projeto da presente tese) houve um contato com o professor Wilson Fadlo Curi que tem coordenado grupo de pesquisa na área de otimização (G.O.T.A/ Grupo de Otimização Total da Água) na Universidade Federal de Campina Grande e detentor de uma considerável *expertise* no que concerne ao estudo de bacias hidrográficas. Neste momento se iniciou uma segunda fase na pesquisa onde foi proposta a ampliação na aplicação do índice para toda a bacia hidrográfica do Piranhas-Açu (a sub-bacia Seridó objeto do que seria o projeto da tese inicial é apenas uma das 11 sub-bacias da bacia hidrográfica Piranhas-Açu). Nesta nova realidade o desafio se ampliou de forma considerável (a pesquisa em apenas uma sub-bacia foi estendida para todas, as onze, que compõe a bacia Piranhas-Açu). Basicamente a sugestão do professor Wilson Curi foi trabalhar os indicadores do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográfica juntamente com análise multicritério e multidecisor, permitindo assim avançar em termos metodológicos e agregar valor acadêmico à pesquisa. Testando algo ainda não tentado em termos acadêmicos.

Assim com a motivação de estudar pela primeira vez a sustentabilidade de toda a bacia Piranhas-Açu (localizada por completo no semiárido considerado o mais problemático do mundo) (CIRILO, 2008), juntamente com a possibilidade de avançar metodologicamente a partir de um estudo elaborado juntamente com análise multicritério e multidecisor (permitindo assim dentre outros aspectos contemplar de forma mais aproximada a participação dos decisores) foi aceito o

desafio por parte do discente e procedido o avanço nesta nova fase da pesquisa. Nestes termos, tal necessidade de ampliação do estudo se configurava não apenas pelo valor científico que tal ampliação poderia ter, mas sobretudo, pelo fato de estabelecer um avanço metodológico na composição do índice com a inclusão de análise multicritério e multidecisor levando em conta os decisores da bacia Piranhas-Açu presentes no comitê da bacia hidrográfica. Nesta segunda fase, portanto de um lado se tinha um bom índice já aplicado em alguns cenários no mundo e de outro se tinha *expertise* acadêmica (ligada ao GRUPO DE ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO TOTAL DA ÁGUA – GOTA/UFCG) para avançar ainda mais em termos metodológicos no índice, gerando assim uma boa parceria com o último docente (Prof. Wilson Curi).

A presente tese portanto passou a contemplar, por fim, o estudo de toda a bacia Piranhas-Açu (estudando todas as suas 11 sub-bacias) juntamente com a aplicação de uma análise (multicritério e multidecisor) que tem se destacado no mundo no estudo da complexidade ambiental presente em bacias hidrográficas e aplicada de forma pioneira aliado à um poderoso indicador de sustentabilidade de bacia hidrográfica.

Uma vez delineado os aspectos de evolução na tese a seguir será apresentada de forma mais específica o detalhamento de sua originalidade metodológica e em termos de região de aplicação.

2.3.2 Originalidade metodológica e em termos de região de aplicação

Em termos de originalidade pode-se afirmar que a mesma se desenvolve em duas linhas: a) Em termos metodológicos; b) Em torno do pioneirismo na região de aplicação. Com intuito então de apresentar este aspecto inicialmente convém destacar o papel que o índice de desenvolvimento de bacias hidrográficas (WSI) vem tendo recentemente na análise de bacias hidrográficas ao redor do mundo. Criado pelo professor da Universidade de Brasília Henrique Marinho Chaves e pela Engenheira Suzana Alipaz para órgão ligado à Organização das Nações Unidas (ONU) a partir da observação da carência de metodologias que contemplassem a sustentabilidade de recursos hídricos

(CHAVEZ E ALIPAZ, 2007), o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) vem se difundindo ao redor do mundo com bons resultados em aplicações recentes, sobretudo na Ásia. Juwana et al (2012) em pesquisa recente o coloca entre os principais índices para análise de recursos hídricos do mundo. Embora que, conforme já mencionado, na análise comparativa de índices eles apontem certa limitação do índice no que concerne à ausência de participação popular na composição dos pesos do indicadores, direção oposta ao que se vinha observando nos outros índices objeto de comparação (JUWANA ET AL, 2012).

Em torno disto entretanto, os avanços nas pesquisa voltadas para o meio ambiente tem recorrido ao uso de análise multicritério (com vistas a ponderação dos pesos, atribuídos pelos decisores) e multidecisor (para estabelecimento da ordem final das unidades pesquisadas) para contemplar (dentre outros aspectos) a participação da população na composição de indicadores.

A originalidade em termos metodológicos do presente trabalho, portanto está em trabalhar a aplicação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas juntamente com a aplicação de análise multicritério e multidecisor, com vistas a contemplar (dentre outros aspectos) a opinião dos participantes do Comitê de Bacia Hidrográfica na composição dos indicadores do índice e assim suprir certa limitação apresentada por Juwana et al (2012).

Em relação a originalidade em termos de região de aplicação, a presente aplicação do índice é pioneira em termos de bacia hidrográfica localizada no semiárido considerado por alguns como o mais problemático do mundo (CIRILO, 2008) e neste sentido embora o índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas já venha sendo aplicado em algumas regiões do mundo, contudo ainda não tinha sido aplicado no semiárido brasileiro.

2.4 Estruturação da tese

A tese está estruturada em nove capítulos incluindo a introdução. O Capítulo primeiro apresenta aspectos introdutórios, com a delimitação resumida da problemática, bem como o destaque aos procedimentos metodológicos.

O capítulo segundo, por sua vez é onde são apresentados os objetivos da pesquisa, tanto o geral, quanto os específicos. Neste capítulo é apresentada a originalidade da pesquisa e por fim a própria estruturação da tese.

No capítulo terceiro se inicia a “fundamentação teórica” (que continua durante os quatro capítulos seguintes) onde são delineados os aspectos teóricos necessários a uma melhor contextualização na temática. Especificamente no capítulo 3, há um aprofundamento nos aspectos relativos à interdisciplinaridade e recursos hídricos (uma das temáticas centrais inerentes ao programa de pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande). Aqui são apresentados os aspectos que compõe de forma ampla a discussão em torno da interdisciplinaridade, juntamente com a relação com a gestão dos recursos hídricos.

No quarto capítulo é feito um aprofundamento na própria questão dos indicadores de sustentabilidade. Aqui é apresentado o desafio maior de mensuração, apresentada as características que tem norteado os indicadores, os indicadores específicos em recursos hídricos e por fim é apresentado o próprio índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas.

Feita a discussão maior sobre recursos hídricos e sustentabilidade, a fundamentação teórica parte então (no capítulo quinto) para discutir o próprio processo da decisão. Aqui é apresentado uma síntese dos sistemas voltados para decisão em recursos hídricos, seguindo por uma importante discussão em torno do paradigma do construtivismo em detrimento aos “prescritivos”. Por fim são apresentados detalhes das metodologias de base construtivista (análise multicritério e multidecisor).

O sexto capítulo tem como enfoque a sustentabilidade (ou “insustentabilidade”) dos semiárido brasileiro. Neste capítulo são apresentados alguns aspectos mais amplos que introduzem a problemática do semiárido

brasileiro, considerado por alguns como o mais problemático entre os semiáridos do mundo.

O capítulo sétimo tem como enfoque a metodologia aplicada na tese. Aqui ganha destaque os indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, o método Promethee II (multicritério) e o método de agregação ordinal de Copeland (multidecisor).

No oitavo capítulo são apresentados os resultados da tese a partir da aplicação do método. De forma inicial é feita a exposição dos resultados da aplicação dos questionários (para uso dos métodos multicritério e multidecisor) seguido pela apresentação dos resultados dos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas. Em seguida é apresentado o resultado da aplicação do método Promethee II, seguido pelo ranking final da aplicação do método Copeland.

No último capítulo é elaborada a conclusão final da tese com destaque para a sequência (ranking final) encontrada após conclusão da introdução da metodologia.

A seguir se inicia uma discussão mais ampla em termos de sustentabilidade, sobretudo em recursos hídricos. Tais aspectos teóricos, embora não esgotados na presente tese, são de importância impar para a formação de um pensamento crítico em relação a temática, foco de amplos debates no mundo atual.

CAPÍTULO III - RECURSOS HÍDRICOS, INTERDISCIPLINARIDADE E SUSTENTABILIDADE

3.1 A Bacia hidrográfica como unidade de gestão

Tanto no Brasil quanto fora a bacia hidrográfica tem se configurado como unidade preferencial para se trabalhar a intervenção em termos de recursos hídricos, e isto no Brasil tem sido preconizado pela lei 9.433 (de 8.1.1997). DeBarry (2004) defende o uso da bacia hidrográfica, como a melhor unidade para intervenção, argumentando que a problemática que afeta a bacia (poluição no fluxo de água, dentre outros...) não segue um limite político e sim natural. Tal entendimento do uso da bacia hidrográfica como unidade preferencial para a intervenção tem sido amplamente discutido por diversos autores ao redor do mundo (DEBARRY, 2004; TUNDISI, 2003; DARGHOUTH, 2008; TUCCI, 2000). Em termos de definição Tucci (1995) apresenta bacia hidrográfica como “uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída”. Rocha (1997) por sua vez a define⁵ como “uma área que drena as águas de chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago”. Darghouth et al (2008) apresenta bacia hidrográfica como “uma área de drenagem voltada para um destino comum”. Já de acordo com o DeBarry (2004) bacia hidrográfica é “uma área da terra que captura água de alguma maneira, tal como chuva, neve, orvalho, e drena a água para um corpo de água comum, ou seja, córrego, rio ou lago”.

⁵ O conceito de sub-bacia hidrográfica é o mesmo de Bacia Hidrográfica, acrescido de que o deságüe se dá também em outro rio. Que por sua vez é sub-dividida em microbacias menores que 20.000 ha (ROCHA e KURTZ, 2007: 11)

3.2 A evolução no processo de gestão de bacias hidrográficas e a interdisciplinaridade

De acordo com Lanna (1997) a gestão dos recursos hídricos no Brasil se inicia a partir de um modelo voltado para instrumentos burocráticos com a centralização e a tendência legalista como características principais. Tal modelo começou a ser implantado no final do século XIX, sendo seu marco referencial estabelecido no Brasil no início da década de 30 com a aprovação do Decreto no 24.643 de 10 de Junho de 1930, denominado Código de Águas. Nele, o objetivo predominante do administrador público foi cumprir e fazer cumprir os dispositivos legais e teve como principais características a racionalidade e a hierarquização. Para instrumentalização deste processo, em face da complexidade e abrangência dos problemas das águas, foi gerada uma grande quantidade de leis, decretos, portarias, regulamentos e normas sobre uso e proteção, alguns dos quais se tornam inclusive objeto de disposições constitucionais. Como consequência, a autoridade e o poder tendem a concentrar-se gradualmente em entidades públicas, de natureza burocrática, que trabalhavam com processos casuísticos e reativos destinados a aprovar concessões e autorizações de uso, licenciamento de obras, ações de fiscalização, de interdição ou multa, e demais ações formais de acordo com as atribuições de diversos escalões hierárquicos (LANNA, 1997; SETTI ET AL, 2001).

Segundo Setti et al (2001) um segundo modelo adotado no Brasil foi o modelo Econômico-Financeiro. Tal modelo pode ser considerado como um desdobramento da política econômica preconizada por John Maynard Keynes que destacava a relevância do papel do Estado como empreendedor, utilizada na década de 30 para superar a grande depressão capitalista e que teve como uma das consequências a criação nos Estados Unidos da Tennessee Valley Authority em 1933, como a primeira Superintendência de Bacia Hidrográfica. Foi também fruto do momento de ápice da análise custo-benefício, cujas bases de aplicação aos recursos hídricos foram estabelecidas pelo Flood Control Act, novamente nos Estados Unidos, em 1936. No Brasil teve como marco de sua aplicação a criação, em 1948, da Companhia de Desenvolvimento do Vale do

São Francisco (CODEVASF). Este modelo que foi caracterizado pelo emprego de instrumentos econômicos e financeiros, ministrados pelo poder público, para promoção do desenvolvimento econômico nacional ou regional, e indução à obediência das disposições legais vigentes, se apresenta com duas orientações. A primeira alicerçada em prioridades setoriais do governo e teve como força motora programas de investimentos em setores usuários dos recursos hídricos, como saneamento, irrigação, eletrificação, bem como entidades privilegiadas, autarquias e empresas públicas. Na outra segunda orientação, mais moderna, foi buscado o desenvolvimento integral e, portanto, multisetorial da bacia hidrográfica. Esta segunda orientação foi mais rara devido a organização institucional do Estado ser orientada por setores econômicos, dificultando e até inviabilizando o preparo de planos multisetoriais. As Superintendências de Bacia Hidrográfica ficavam vinculadas, via de regra, à ministério ou secretaria estadual setorial cujas atribuições são limitadas ao setor específico.

Setti et al (2001) destaca que a principal falha desse modelo é que adota concepção relativamente abstrata para servir de suporte para a solução de problemas contingenciais. Neste sentido uma vez que o ambiente é mutável e dinâmico o mesmo exige grande flexibilidade do sistema de gerenciamento para adaptações freqüentes e diversas, e isto o modelo não conseguiu resolver. No caso do gerenciamento das águas ele esbarrou na necessidade de criar um enorme sistema que compatibilize as intenções espaciais e temporais de uso e proteção das águas, ficando ainda mais evidenciada a necessidade de flexibilidade. Esta dificuldade levou à definição de sistemas parciais, relativamente fechados, como demonstra a experiência brasileira. Nessa orientação, a injeção de recursos financeiros acarretou o desenvolvimento dos setores selecionados pelos programas governamentais. Isto pode causar um desbalanceamento entre os diversos usos dos recursos hídricos e destes usos com os objetivos de proteção das águas. Pode ocorrer uma apropriação excessiva e, mesmo, perdulária, por certos setores, o que restringe a utilização social e, mesmo, economicamente ótima da água, por um lado. Também possibilitou a intensificação do uso setorial não integrado em certas bacias de importância econômica acarretando quase sempre os mesmos conflitos do modelo burocrático, agora com caráter intersetorial e, até mesmo, intrassetorial.

Finalmente, tendeu a subdimensionar a questão ambiental, ou a superdimensioná-la, no processo do planejamento integrado da bacia, dando origem a processos traumáticos e muitas vezes inadequados de contestação por parte de grupos desenvolvimentistas ou ambientalistas.

Não obstante estas críticas, este modelo, mesmo com a orientação setorial adotada, representou um avanço em relação ao anterior já que, pelo menos setorial e circunstancialmente, possibilitou a realização do planejamento estratégico da bacia e canalizou recursos financeiros para implantação dos respectivos planos diretores. Isto permitiu a ocorrência de um certo grau de desenvolvimento no uso, no controle ou na proteção das águas. Pode falhar porém na promoção do gerenciamento integral, pois não assegurou o tratamento global de todos os problemas e oportunidades de desenvolvimento e proteção já que depende das diretrizes estabelecidas pelo poder público que eventualmente é distante e insensível aos problemas locais e organizacionalmente é restrito ao tratamento setorial. Tendeu a criar entidades públicas com grandes poderes que estabelecem conflitos com outras preexistentes, resultando em impasses políticos de difícil solução (LANNA, 1997).

As críticas a esse modelo podem ser contestadas pela argumentação de que algumas bacias brasileiras apresentam tal grau de carência quantitativa ou de deterioração qualitativa, real ou potencial, que somente programas de desenvolvimento ou proteção, envolvendo grandes investimentos, poderiam solucioná-los. O estabelecimento de programas de investimentos não é aqui condenado, o problema é que o gerenciamento das águas não pode ser efetivado exclusivamente por programas setoriais, através da mediação do poder executivo. Há necessidade de estabelecimento de um modelo de gerenciamento que possibilite o desenvolvimento econômico integral, ou seja, multi-setorial da bacia, socialmente eficiente e ambientalmente sustentável, o que implica no fomento, articulação e coordenação dos programas que sejam necessários para atender demandas e oportunidades de curto e longo prazo, e não apenas a implementação de programas setoriais não integrados e de caráter transitório. Um modelo que aumente a eficácia da geração e emprego de instrumentos legais, ao contrário de produzir uma legislação caótica. Enfim, há

necessidade de um modelo de gerenciamento das águas com a capacidade de abordar a totalidade dos problemas e oportunidades de desenvolvimento (crescimento econômico, equidade social e sustentabilidade ambiental), gerando e aplicando com eficiência os instrumentos legais e econômicos necessários, integrando e articulando as instituições públicas, privadas e comunitárias interessadas, dentro de uma concepção sistêmica, e por isto multi e inter-setorial, do gerenciamento (SETTI EL AL, 2001; LANNA, 1997).

Com base nesta constatação posteriormente o modelo que sucedeu o “econômico financeiro” foi o Modelo Sistêmico de Integração Participativa. De acordo com Lanna (1999) e Setti et al (2001) trata-se do modelo mais moderno de gerenciamento das águas, cujo objetivo estratégico de qualquer reformulação institucional e legal é bem conduzida. Ele é caracterizado pela:

- a) Transformação das águas em bem público, sobre o qual o Estado assume seu domínio legal ou para efeitos práticos;
- b) Descentralização de seu gerenciamento, através do qual o Estado, sem abrir mão de seu domínio sobre a água, permite que o seu gerenciamento seja realizado de forma compartilhada com a sociedade, mediante a participação de entidades especialmente implementadas;
- c) Adoção do planejamento estratégico na unidade de intervenção da bacia hidrográfica; d) Utilização de instrumentos normativos e econômicos no gerenciamento das águas, de acordo com diretrizes do planejamento estratégico.

Lanna (1997) destaca que um bem estratégico como a água, na medida em que seja abundante, pode ser tratado como um bem livre, ou seja, qualquer um pode usá-lo na quantidade que necessite sem causar problemas aos demais usuários. Esta situação existia no passado, antes que o uso da água assumisse as proporções que hoje apresenta nas regiões mais desenvolvidas. Quando este bem se torna escasso há necessidades de serem estabelecidas formas de controle desta apropriação. Uma delas é permitir o estabelecimento de direitos de propriedade e de comercialização sobre a água deixando ao mercado o seu controle. Devido a diversos problemas de obtenção de eficiência social neste tipo

de controle, uma outra forma de controle é adotada, isoladamente ou em conjunto com a anterior. Nela, o Estado assume o domínio da água. Isto ocorre no Brasil, de forma constitucional. Diante das dificuldades que um controle centralizado poderia acarretar o Estado, apesar de manter o domínio sobre a água, descentraliza o seu gerenciamento permitindo a participação da sociedade através de entidades especialmente implementadas. Neste sentido, para além da participação da sociedade, observa-se a busca por uma postura mais holística possível, que possa de fato fornecer os parâmetros necessários com a realidade.

Observando de forma mais ampla para a evolução dos modelos de gestão, percebe-se que de um enfoque meramente centralizado e burocrático, houve uma evolução para um modelo que busca contemplar toda a complexidade que o envolve. Segundo Lanna (1997) pode-se inferir que os modelos de gestão adotados no Brasil ao longo da história recente de gestão, tem demonstrando um caminho rumo à totalidade, uma vez que evoluem partindo inicialmente de uma postura centralizada e localizada, para uma postura atual voltada para um olhar holístico. Neste sentido Lanna (1997) destaca que é impossível contemplar tal totalidade sem romper com o recorte disciplinar. Nestes termos, de acordo com Tucci (2000) embora historicamente disciplinas setorializadas têm sido protagonistas na gestão de recursos hídricos, o olhar mais coerente com a complexidade da temática tem levado a diversos apontamentos destacando a necessidade de uma abordagem que vá além do olhar disciplinar. Ou seja, o olhar holístico (totalizador) que busca contemplar os mais diversos aspectos relacionados ao tema.

Esta evolução em termos de gestão de recursos hídricos observada no Brasil refletiu uma tendência que aconteceu em outras nações no mundo afora. Segundo Rijsberman (2006) no passado em diversos países a resposta de engenharia para a escassez de água foi a construção de infraestrutura, particularmente barragens, para aumentar o controle humano sobre os recursos hídricos e assim estabelecer uma parcela maior do total de recursos renováveis disponíveis para uso humano, ou seja, um enfoque setorializado (a exemplo do Brasil). Enquanto essa abordagem, de modo geral, foi bem sucedida em produzir alimento a um preço acessível, prestação de serviços como o abastecimento de

água e saneamento a um grande número de pessoas, houve por outro lado o fato que muitas pessoas não tiveram acesso seguro de abastecimento de água. E apesar dos enormes investimentos, perto de metade da população mundial não tiveram acesso à saneamento básico, muitos pobres das zonas rurais não tiveram acesso à água para fins produtivos, bem como níveis de água subterrânea nos principais aquíferos decaíram rapidamente e muitos rios deixaram de alcançar o mar. Ao longo das últimas décadas, isto deu origem a uma reação contra os investimentos de infraestrutura de água e o fomento de uma literatura bem estabelecida que exige mudanças da gestão da oferta (que marcou o período inicial setorizado) para a gestão da demanda (que contempla um olhar mais amplo, holístico). Uma expressão dessa mudança de pensamento foi a criação do movimento "gestão integrada dos recursos hídricos", que deu origem à organizações como o Conselho Mundial da Água e da Global Water Partnership. As propostas mais concretas que saíram dessa direção foram: (a) Envolver mais os usuários na gestão da água, muitas vezes através da criação de formas de associações de usuários de água; (b) Valorar a água (outorga) e / ou torná-la uma "commodity" de negociação; e (c) Criar entidades de bacias hidrográficas que integram as responsabilidades do governo, geralmente fragmentadas em uma única autoridade responsável por uma área definida como "bacia hidrográfica". Todas estas três abordagens têm sido empregadas com sucesso em algumas áreas no mundo, culminando assim em um avanço em busca do olhar mais amplo (totalizador).

Este enfoque de gestão de bacias hidrográficas que transpassou o setorizado para o totalizador por sua vez tem gerado a necessidade de contribuição de um arcabouço cada vez maior de disciplinas (TUCCI, 2000; LANNA, 1997; SETII ET AL, 2001). Assis (2000) em sua análise dentre diversos setores, onde se faz necessário o conhecimento que vá além do disciplinar, destaca a gestão de bacias hidrográficas como o primeiro setor que deve-se promover este tipo de conhecimento. Para Tucci (2000) para atender os desafios de mundo moderno, a ciência hidrológica, que iniciou com uma visão disciplinar de geógrafos e engenheiros civis, tem passado por uma grande ampliação interdisciplinar em função de diferentes conhecimentos que interagem de alguma forma na natureza do sistema aquático e daqueles que o influenciam. Neste

sentido para Tucci (2000) os meios naturais que compõe o sistema hídrico hoje envolvem disciplinas dentre as quais: meteorologia, limnologia, hidrogeologia, hidráulica, hidrossedimentologia, qualidade da água.

Para Tucci (2000) face os desafios do mundo complexo atual não interessam as querelas corporativistas das disciplinas e profissionais. Para buscar soluções adequadas e produtivas é necessário transitar e interagir nas diferentes disciplinas sem preconceitos e com linguagem comum. Para tanto é preciso formar um novo tipo de profissional, com uma visão específica de uma área, mas com o conhecimento básico e suficientemente amplo para transitar entre as diferentes áreas de conhecimento necessário ao gerenciamento adequado dos recursos hídricos. Neste sentido para além da graduação Tucci (2001) comenta que é necessário se conceberem programas que introduzam profissionais de diferentes áreas em recursos hídricos nos aspectos interdisciplinares.

De acordo com Postel (2000) os desafios hídricos que se observa hoje em termos de gestão conduzem à necessidade de novas formas criativas de alocação de recursos hídricos com vias a fomentar benefícios tanto em termos de commodities quanto em relação à necessária alocação de recursos hídricos para os ecossistemas. De acordo com a autora para desenvolver e implementar estas opções, serão necessárias novas parcerias e alianças que contam com a expertise de profissionais de diversas disciplinas, incluindo biologia, ecologia, engenharia, hidrologia, economia, antropologia e demografia. Exigirá também uma vontade de profissionais para atravessar não só as fronteiras disciplinares, mas as fronteiras profissionais fazendo com que acadêmicos se unam à profissionais, e ambos os grupos por sua vez interajam com os decisores políticos (POSTEL, 2000).

Para Wolf (1998) a água é por sua natureza um recurso interdisciplinar e as disputas de atendimento só podem ser resolvidas por meio do diálogo ativo entre disciplinas. Assim como a água ignora totalmente as fronteiras políticas, o mesmo acontece com relação a sua gestão e a mesma vai além das capacidades dos limites institucionais. De acordo com Wolf (1998) nenhuma disciplina, nem a lei, nem a economia, nem de engenharia, irá fornecer todas as

respostas para resolver disputas de água. Em vez disso, os políticos e suas instituições terão de promover um diálogo ativo entre todas as abordagens ligadas à este recurso crítico.

Portanto, a evolução do pensamento em relação à gestão de bacias hidrográficas tem exigido esforços que estejam voltados para contemplar a complexidade que envolve a bacia hidrográfica e neste sentido a interdisciplinaridade tem se configurado como um caminho a ser trilhado. Contudo, com vistas a se fomentar um entendimento mais aproximado da interdisciplinaridade e sua relação com os recursos hídricos, dado o amplo arcabouço de definições e dúvidas quanto ao tema (COIMBRA, 2000; FAZENDA, 2009) se faz necessário um aprofundamento quanto aos principais aspectos relativos à interdisciplinaridade, seus significados e evoluções.

3.3 Evolução da interdisciplinaridade e sua relação com os recursos naturais

Embora por vezes se aponte equivocadamente que a interdisciplinaridade é uma temática recente, uma simples incursão na história demonstra que as raízes de tal pensamento remontam épocas antigas e que a mesma serviu de alicerce para o pensamento da humanidade, muito antes de qualquer forma partilhada de conhecimento científico.

Neste sentido Coimbra (2000) apresenta o desenvolvimento do pensamento interdisciplinar através da história, isto comprovado desde os primeiros filósofos do Ocidente, conhecidos por olhar para o mundo natural a partir de uma visão de síntese (holística). Platão (429-347 a. C.), ao fundar a sua Academia, e Aristóteles (384-322 a. C.), ao criar o Liceu, tiveram crescente preocupação em dar unidade ao saber e foram, inegavelmente, “interdisciplinares” e “transdisciplinares” em suas sínteses.

Na Idade Média segundo Coimbra (2000) os conhecimentos (precursores da ciência moderna) agrupavam-se em dois grandes blocos (rumo ao holismo). O primeiro bloco conhecido como “Quadrivium”, era constituído por Geometria,

Aritmética, Astronomia e Música, como a parte “científica” do “Septivium”. O segundo bloco era o Trivium, construção superior, que compreendia Gramática, Retórica e Dialética. Esses sete conhecimentos habilitavam o estudioso aos graus acadêmicos para a docência (bacharelado, licenciatura e doutorado). Já à época posterior, conhecida como Renascimento, destacou-se por buscar uma síntese com base no humanismo. Comenius foi típico representante desta época, impregnado de uma preocupação unificadora em suas numerosas obras (COIMBRA, 2000).

O Iluminismo porém foi a época onde (a partir do paradigma cartesiano-newtoniano) se desenvolveu o desencadeamento das infundáveis especializações disciplinares com base na visão mecanicista do mundo. Nestes termos a natureza, como uma máquina a ser conhecida, deveria ser “desmontada” por estudos cada vez mais específicos dos seus elementos. Destacando-se assim que a Era Industrial, com suas exigências cada vez mais numerosas e específicas, empurrou a ciência para caminhos sempre mais fragmentários. Com isso, o conhecimento foi se tornando marcadamente disciplinar, sempre com novas especialidades e subespecialidades. Não se pode ignorar também o papel do Positivismo, em particular nas últimas décadas do século XIX e nas primeiras do século XX. Ele pretendeu conferir um novo estatuto ao saber, acentuando enfaticamente a “ordem e progresso” através das ciências positivas, privilegiando o absolutismo das Ciências Exatas (apesar de ter estado presente ao nascimento da Sociologia). Tais fatores em suma foram, sem dúvida, um golpe na interdisciplinaridade, ao menos sob o ponto de vista epistemológico e holístico (COIMBRA, 2000).

Impulsionado, porém, por uma “crise na ciência”(LEFT, 2000) o retorno ao pensamento interdisciplinar posterior à referida ênfase disciplinar se deu apenas em meados do século XX, em uma retomada datada de meados da década de 1960, ressurgindo na Europa, principalmente na França e na Itália, época em que se insurgem os movimentos estudantis, reivindicando um novo estatuto de universidade e de escola. Aparece, inicialmente, como tentativa de elucidação e de classificação temática das propostas educacionais que começavam a aparecer na época, evidenciando-se, através do compromisso de alguns

professores em certas universidades, que buscavam à duras penas o rompimento à uma educação disciplinar (FAZENDA, 2009).

Esse posicionamento nasceu como oposição a todo conhecimento que privilegiava o capitalismo epistemológico de certas ciências, como oposição à alienação da Academia às questões da cotidianidade, às organizações curriculares que evidenciavam a excessiva especialização e a toda e qualquer proposta de conhecimento que incitava o olhar do aluno à uma única, restritiva e limitada direção, à uma patologia do saber. Segundo Fazenda (2009) o destino da ciência multipartida seria a falência do conhecimento, pois na medida em que se distanciassem de um conhecimento em totalidade, se estaria decretando a falência do humano, a agonia de nossa civilização. Toda esta discussão teórica da década de 1970 a respeito do papel humanista do conhecimento e da ciência, acabou por encaminhar as primeiras discussões sobre a interdisciplinaridade de que temos notícia. A categoria mobilizadora dessas discussões sobre interdisciplinaridade na década de 1970 foi a totalidade.

A totalidade como categoria de reflexão foi o tema por excelência de um dos principais percussores do movimento em prol da interdisciplinaridade, o Georges Gurdorf, que em 1961 apresentou à Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) um projeto de pesquisa interdisciplinar para as ciências humanas. A ideia central do projeto seria reunir um grupo de cientistas de destaque para realizar um projeto de pesquisa interdisciplinar nas ciências humanas. Tal projeto previa a diminuição da distância teórica entre as ciências humanas. Essa ideia foi retomada em outras diretrizes por um grupo patrocinado pela UNESCO, cujo trabalho foi publicado em 1968 e dele fizeram parte estudiosos das principais universidades europeias e em diferentes áreas de conhecimento. A hipótese de trabalho desse grupo era indicar as principais tendências da pesquisa nas ciências do homem no sentido de sistematizar a metodologia e os enfoques das pesquisas realizadas pelos pesquisadores em exercício no ano de 1964. Com este estudo a pretensão seria o levantamento de questões para a construção das ciências em movimento, em ação, aquelas que realmente se exerciam.

Paralelamente a esses estudos da UNESCO, em Louvain, 1967, houve a realização de um colóquio, cuja finalidade era refletir sobre o estatuto

epistemológico da teologia. Esse exercício acabou por indicar as dificuldades e explicitar caminho para a interdisciplinaridade a partir de um problema proposto que era a necessidade de pesquisas de relações IGREJA/MUNDO. Dele fizeram parte futuros teóricos da interdisciplinaridade tais como Hourtart, Tolt, Ladriere, Palmade que se dispuseram a definir o sentido da reflexão, os métodos convenientes e os meios necessários à execução do referido projeto (FAZENDA, 2009).

Posterior à esta época no início da década de 1970 o I Seminário internacional sobre Pluri e Interdisciplinaridade, realizado na Universidade de Nice (França) nos dias 7 a 12 de setembro contribui de forma conceitual para o avanço na temática (ALVARENGA ET AL, 2011). Neste seminário além do aprofundamento da discussão teórica e aplicação de dois termos (pluri e interdisciplinaridade) surge pela primeira vez o termo “transdisciplinaridade”, definido como a “coordenação de todas as disciplinas e interdisciplinaridades do sistema de ensino/ inovação sobre a base de uma axiomática geral”. Neste seminário dentre outros se destacam as contribuições de Jantsch e Jean Piaget onde ambos apresentaram modelos voltados para conceituar interdisciplinaridade, definida por Piaget como uma “colaboração entre disciplinas diversas, ou entre setores heterogêneos de uma mesma ciência que conduz a interações propriamente ditas, isto é, uma certa reciprocidade dentro das trocas de maneira que haja aí um total enriquecimento mútuo” e pelo Jantsch como uma “Axiomática comum de grupo de disciplinas conexas, definida em nível ou sub-nível hierárquico imediatamente superior” (ALVARENGA ET AL, 2001).

No ano seguinte (1971) instalou-se sob o patrocínio da Organização para Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) um comitê de experts entre eles Guy Berger, Leo Apostel, Asa Briggs, Guy Michaud, com o propósito de redigir um documento que viesse contemplar os principais problemas do ensino e da pesquisa nas universidades. Essa tentativa convergiu para a organização de uma nova forma de conceber universidade, na qual as barreiras entre disciplinas poderiam ser minimizadas, nela seriam estipuladas as atividades de pesquisa coletiva e inovação no ensino.

O esforço empreendido na década de 1970 revelou que os pressupostos de uma epistemologia convencional não conduziram ao avanço na compreensão das implicações teóricas da interdisciplinaridade. Não se trata mais de adotar uma posição fechada pela utilização de aspectos ou níveis de uma mesma variável. Assim o movimento da história na década de 1980 foi um movimento que caminhou na busca por epistemologias que explicitassem o teórico, o abstrato, a partir do prático, do real. Muitas foram as contribuições nesse sentido, entretanto, um dos documentos mais importantes surgido na década de 1980 sobre essas questões intitula-se “interdisciplinaridade em ciências humanas” elaborado por Gusdorf, Apostel, Bottomore, Dufrenne, Mommsen, Morin, Palmarini, Smirnov e Ui. Neste período segundo Fazenda (2009) a busca maior estava voltada para explicitar um método para a interdisciplinaridade. De acordo com Fazenda (2009) os anos 90 por sua vez tem como enfoque a construção de uma teoria, ou seja, de uma nova epistemologia, “a própria interdisciplinaridade”.

De acordo com Left (2000) a problemática contemporânea relacionada à interdisciplinaridade teve na questão ambiental uma alavanca que, dentre outros aspectos, compartilhava do sintoma de uma crise de civilização, que se manifesta pelo fracionamento do conhecimento e pela degradação do ambiente, marcados pelo logocentrismo da ciência moderna e pelo transbordamento da economização do mundo guiado pela racionalidade tecnológica e pelo livre mercado. Nestes termos a crise ambiental e a crise do saber surgem como a acumulação de “externalidades” do desenvolvimento do conhecimento e do crescimento econômico. Surgem como um campo do real negado e do saber desconhecido pela modernidade, reclamando a “internalização” de uma “dimensão ambiental” através de um “método interdisciplinar”, capaz de reintegrar o conhecimento para apreender a realidade complexa (LEFT, 2000).

Portanto, a evolução desta crise do saber juntamente com a percepção do olhar sobre meio ambiente complexo teve inferência direta sobre o processo de gestão dos recursos naturais e neste sentido se configurou como uma certa base para se pensar de forma mais ampla a situação dos recursos naturais. Tal postura, assim culminou em uma evolução (conforme já visto) no processo de gestão (em especial dos recursos hídricos) que tiveram com isto uma ampliação

da maneira como era realizada sua gestão. Tucci (2001), contudo, analisando este amplo cenário holístico (e por natureza interdisciplinar) voltado para gestão de recursos hídricos destaca que, nos últimos anos, esta evolução tem sido marcada por um outro aspecto não menos importante: a busca pela sustentabilidade.

3.4 Sustentabilidade e Recursos Hídricos

3.4.1 Sustentabilidade: Evolução ao longo da história

Dentre outros aspectos o desenvolvimento sustentável tem sido recebido no último século a partir de uma crescente preocupação com o ambiente. Contribuições como a de Rachel (2002) (*silence spring*) que enfatizou a necessidade de se repensar a forma como a humanidade estava buscando desenvolvimento agrícola usando indiscriminadamente agrotóxicos sem a mínima preocupação ambiental, a do Hardin (1968) que destacava a necessidade de entender que a maximização de ações por parte dos comuns pode culminar em uma catástrofe ambiental e a obra *colapso (collapse)* do Diamond (2005) que destacou o colapso de civilizações oriundo do descaso com o uso dos recursos naturais, dentre outras, levantaram a ideia da finitude dos recursos naturais e da necessidade de uma conscientização ambiental. Nestes termos Boff (2013) afirmou que, para além de tais obras, foi no início da década de 1970 com a criação do Clube de Roma que houve um avanço considerável no fomento da visão de desenvolvimento sustentável. Neste sentido o documento produzido pelo Clube de Roma cujo título era “limites do crescimento” (*limits of growing*) provocou uma ampla reflexão no meio científico e na sociedade e a partir deste relatório a Organização Das Nações Unidas (ONU) criou a primeira conferência mundial sobre o homem e meio ambiente, realizada em Estocolmo em junho de 1972. Tal conferência embora limitada em alguns pontos teve como principal fruto a criação do Programa Das Nações Unidas Para o Meio Ambiente (PNUMA). Segundo Mebratu (1998) esta conferência foi tão importante para o avanço do desenvolvimento sustentável que pode-se colocar esta conferência como ponto de referência e assim discutir a noção de sustentabilidade antes e depois da mesma.

De acordo com Boff (2013) doze anos mais tarde da primeira conferência de Estocolmo outra conferência, promovida pela Organização das Nações Unidas, deu origem à Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Os trabalhos da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (World Commission on Environment and Development - WCED), composta por diversos especialistas encerraram-se em 1987 com o relatório da primeira ministra norueguesa Gro Harlem Brundland com o título “nosso futuro comum”. Neste relatório aparece a expressão “desenvolvimento sustentável” definido como “aquele que atende às necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas necessidades e aspirações” (WCED, 1987). Em consequência deste relatório a Assembleia das Nações Unidas decidiu dar continuidade à discussão convocando a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente no Rio de Janeiro em julho de 1992.

Dos vários documentos produzidos na conferência do Rio de Janeiro o de maior impacto foi a Agenda 21 (com seus 40 capítulos) influenciando de forma direta a política de diversas nações (BOFF, 2013). Outro documento que se destacou na Conferência do Rio de Janeiro foi a “Carta do Rio de Janeiro” contribuindo então para o desenvolvimento sustentável adquirir plena cidadania e constituiu o eixo de todas as discussões. Nesta carta foi claramente definido que “todos os estados e todos os indivíduos devem, como requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável, cooperar na tarefa de erradicar a pobreza, de forma a reduzir as disparidades nos padrões de vida e melhor atender às necessidades da maioria da população do mundo”.

Cinco anos mais tarde, na Conferência Rio+5 realizada também no Rio de Janeiro em 1997, a declaração da “Carta do Rio de Janeiro” (criada na conferencia anterior) contribui para reafirmar o comprometimento dos países em qualificar seu desenvolvimento para que a sustentabilidade fosse garantida (BOFF, 2013). Neste sentido o modo de produção capitalista com suas disparidades em termos de desenvolvimento a todo custo gerou a necessidade de uma nova convocação. Nestes termos Johannesburgo no ano de 2002 foi o local escolhido para promoção do encontro denominado de “Cúpula da Terra”.

Aqui, diferente do que aconteceu no Rio em 1992, houve o predomínio de preocupações corporativistas e o lema “desenvolvimento sustentável” ficou por vezes às margens das verdadeiras discussões. Nesse interim a expressão desenvolvimento sustentável passou a ser usada de forma irrestrita e, de certa forma, tal postura levou a um certo enfraquecimento do conceito.

Em 2012, outra megaconferência foi promovida pela Organização das Nações Unidas, intitulada Rio+20, com vias a buscar corrigir certos equívocos desta problemática e assim gerando um balanço do binômio “desenvolvimento e sustentabilidade”. De acordo com Boff (2013) infelizmente o documento final da Rio+20 “que futuro queremos”, por falta de consenso não chegou a propor nenhuma meta concreta para erradicar a pobreza, controlar o aquecimento global e salvaguardar os ecossistemas do planeta.

Uma vez apresentada a evolução histórica do desenvolvimento sustentável, com vista à promover o aprofundamento em relevantes aspectos da sustentabilidade para os dias atuais, a seguir será apresentada as principais características relacionadas à promoção da sustentabilidade.

3.4.2 Sustentabilidade: Características e princípios

Hoje em dia vários aspectos distintos têm caracterizado o que se entende por sustentabilidade, bem como críticas têm sido elaboradas quanto à questão (SACHS, 1995; LELE, 1991; MEBRATU,1998; PEZZEY, 1992). Lelé (1991) comenta que para que de fato se tenha um desenvolvimento “sustentável” é preciso: a) Rejeitar de forma explícita a ideia do que crescimento econômico ou sustentabilidade significa só a remoção da pobreza; b) Reconhecer as inconsistências e inadequações da teoria econômica neoclássica; c) Aceitar a existência de casos estruturais, tecnológicos e culturais de pobreza e degradação ambiental; d) Entender as múltiplas dimensões da sustentabilidade e desenvolver critérios, mensurações e princípios para tal; e) Explorar que padrões e níveis da demanda dos recursos irão ser compatíveis com diferentes formas e níveis de sustentabilidade ecológica e social. Pezzey (1992) por sua vez observou que quase todas as abordagens ligadas ao desenvolvimento

sustentável contêm os mesmos enfoques em termos de ética e equilíbrio intergerações, e destaca que esta ética, contudo, é altamente dependente do contexto e que sua relação com a teoria econômica neoclássica deve ser repensada. Sachs (1995) por sua vez apresenta a necessidade de se repensar o desenvolvimento e apresenta a necessidade da busca por novas estratégias de desenvolvimento que possam contemplar a relação natureza-humanidade.

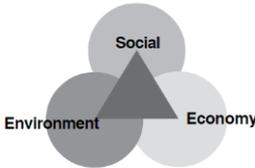
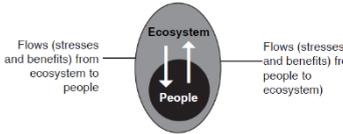
Para além de tais críticas uma primeira característica que pode-se destacar em termos de sustentabilidade é a relação da mesma com a economia. Neste sentido Bell e Morse (2000) apresentam duas visões de sustentabilidade: a fraca e a forte. A sustentabilidade forte é a visão de sustentabilidade onde há pouca ou nenhuma consideração acerca de aspectos financeiros relativos à sustentabilidade. Equivale ao que alguns chamam de sustentabilidade ecológica e o foco principal é o meio ambiente. Neste caso, a qualidade do sistema é tocada em termos de mensuração física (erosão do solo, biodiversidade, população). Já a sustentabilidade fraca é caracterizada por ter como ênfase os aspectos financeiros e tem como base a análise de custo benefício. Neumayer (2003) afirma que o conceito de sustentabilidade fraca baseado no trabalho de dois economistas neoclássicos (Robert Solow, ganhador do premio Nobel, e Jonh Hartwick) pode ser interpretada como uma extensão da teoria neoclássica econômica do bem-estar e é baseada na crença que “ o importante para as futuras gerações é apenas o estoque total agregado dos bens humanos e capital natural⁶ (tendo possivelmente outras formas de capital como fonte), mas não o capital natural como o tal. Neste sentido não importa se a geração atual usa recursos não renováveis uma vez que em compensação estão sendo construídas estradas, portos e outros bens. Neste termos o capital natural é trabalhado no sentido de substituição do uso e benefício o chamado “paradigma substitutivo”. Em oposição a este idéia temos a chamada “sustentabilidade forte” onde o capital natural é tido como não substitutivo, ou seja, este tipo de sustentabilidade parte do pressuposto que o meio ambiente não pode ser usado

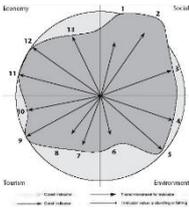
⁶ O capital natural é uma metáfora para os recursos naturais, como água, terra e os minerais, quando vistos como meios de produção. Podem ser renováveis ou não.

de forma irrestrita e portanto deve-se desenvolver uma preocupação quanto a isto.

CEI (2007) por sua vez destaca que para se entender as características da sustentabilidade deve-se fazer uma divisão entre modelos de desenvolvimento sustentável e princípios de desenvolvimento sustentável (CEI, 2007). Modelos de acordo com CEI (2007) ajudam a entender os conceitos de sustentabilidade de uma forma mais aproximada, funcionando assim como um tipo de estratégia heurística. Encontrar desenvolvimento sustentável requer associações mais efetivas, abertas e produtivas entre pessoas. Modelos contribuem para obter, compartilhar e analisar informações, e socorrem trabalhos de coordenação e educação, com vias a contribuir com o processo de gestão e auxílio ao público em geral. A seguir o quadro apresenta os principais modelos de desenvolvimento sustentável.

Tabela 1. Modelos de desenvolvimento sustentável (adaptado do CEI, 2007)

Modelo	Característica	Ilustração
Três dimensões (pilares)	É um dos mais conhecidos. Baseado na interrelação entre as três dimensões: economia, meio ambiente e sociedade. Este diagrama mostra três círculos conectados a um triângulo na três dimensões. O triângulo das dimensões do meio ambiente (conservação), economia (crescimento) e social (equilíbrio). O desenvolvimento sustentável é modelado em torno destes três pilares. Este modelo é chamado de três pilares ou três círculos. É baseado na consideração da sociedade mas não explicitamente no que se refere à qualidade de vida.	<p>Dimension of Sustainability</p>  <p>The diagram shows three overlapping circles labeled 'Social', 'Environment', and 'Economy'. A dark grey triangle is inscribed within the intersection of these three circles.</p>
Ovo	Ilustra o relacionamento entre pessoas e ecossistemas como um círculo dentro do outro como a gema de um ovo. Isto implica que pessoas estão dentro do ecossistema e que um está totalmente dependente do outro. Um ovo só é bom se ambos a clara e a gema estiverem bons, da mesma forma a sociedade está bem e sustentável apenas se ambos, pessoas e ecossistemas, estiverem bem. Desenvolvimento social e econômico pode apenas avançar se o meio ambiente oferecer recursos necessários dentre os quais: espaço para novas	<p>The Egg of Sustainability</p>  <p>The diagram shows a large circle labeled 'Ecosystem' containing a smaller circle labeled 'People'. Two vertical arrows connect the circles: a downward arrow from 'Ecosystem' to 'People' and an upward arrow from 'People' to 'Ecosystem'. Text on the left reads 'Flows (stresses and benefits) from ecosystem to people' and text on the right reads 'Flows (stresses and benefits) from people to ecosystem'.</p>

	<p>produções e trabalhos, avanços constitucionais (recreação, saúde, etc.), materiais recicláveis. O ecossistema é todavia recuperado como um sistema coordenado com outras dimensões do triângulo ou prisma: social, econômico e institucional. Este último pode apenas ir adiante se ele estiver adaptado nos limites da capacidade de suporte. De acordo com este modelo: desenvolvimento sustentável é igual a bem-estar humano mais bem-estar do ecossistema.</p>	
<p>Pirâmide de Atkisson</p>	<p>Avalia a sustentabilidade através da análise, tempestade de idéias e concordâncias para um plano de ação. A estrutura da pirâmide inicialmente é construída através de um processo de coleta de informações e idéias, buscando o que é importante, efetivo, reforçado e algo que possa contemplar a concordância das partes. O processo de desenvolvimento sustentável a partir da pirâmide é formado pelas cinco etapas a seguir: Nível 1: Indicadores – Mensurando a tendência. Nível 2: Sistemas – Fazendo conexões. Nível 3 – Inovações – Idéias para fazer a diferença. Nível 4 – Estratégias: Da idéia para a realidade. Nível 5 – Concordância: Do plano de trabalho para o mundo real.</p>	
<p>Prisma</p>	<p>O modelo foi desenvolvido pelo instituto alemão Wuppertal e define desenvolvimento sustentável a partir de quatro componentes: economia, meio ambiente, sociedade e instituição. Este modelo é interligado com aspectos como cuidado, acesso, democracia e eco-eficiência necessário para ser olhado de forma mais aproximada a partir do momento que mostra a relação entre as dimensões. Isto pode influenciar e pressionar os aspectos políticos. Em cada uma das dimensões do prisma, existe imperativos (tal como normas para ação). Indicadores são usados para medir o quando determinado parâmetro está longe do desenvolvimento sustentável.</p>	 <p>Kain (2000, p. 25) had however criticized this prism, arguing that 'the economic dimension</p>
<p>Amoeba</p>	<p>O modelo amoeba é uma abordagem que visualmente acessa o sistema de condições relativa à condição de otimização. O modelo é circular com varios indicadores posicionados ao redor do círculo. Linhas circulam o centro do indicador, em uma continuação de insustentabilidade (no centro) para sustentabilidade (do lado de fora do círculo). O círculo irá indicar a condição ótima. Esse tipo de modelo segue simultaneamente a avaliação de diversos indicadores, e é de fácil comparação entre os componentes do seu sistema. O modelo Amoeba é uma poderosa técnica para acelerar o</p>	

processo de inovação e treinamento visando uma busca pela sustentabilidade.	
---	--

Em termos de princípios que devem nortear a sustentabilidade se destacam os “princípios de Bellágio” (CEI, 2007; VAN BELEN, 2007; PINTÉR, 2012). De acordo com CEI (2007) os princípios de Bellágio foram criados pelo Instituto Internacional de Desenvolvimento Sustentável, com a colaboração de especialistas de todo o mundo no ano de 1996 e servem de guia para iniciar e fortalecer as atividades de instituições que desejam trabalhar com desenvolvimento sustentável. Tais princípios têm sido explorados por diversos pesquisadores com vistas a se ter um parâmetro para entender a maneira como está se procedendo o desenvolvimento (CEI, 2007; VAN BELEN, 2007; PINTÉR, 2012). A seguir a apresentação dos princípios: 1) O desenvolvimento sustentável deve ser claramente definido; 2) A sustentabilidade deve ser observada em uma perspectiva holística, incluindo componentes econômico, social e ecológico; 3) A noção de equilíbrio deve ser incluída; 4) O horizonte de tempo está voltado tanto para a escala humana, como para o ecossistema. Tal escala deve ir além do local, alcançando distâncias mais amplas; 5) O progresso do desenvolvimento sustentável deve ser baseado em um número limitado de indicadores, baseados em medidas padronizadas; 6) Métodos e dados empregados devem estar acessíveis a todos; 7) O progresso deve ser efetivamente comunicado para todos; 8) Deve haver participação; 9) A mensuração deve ser repetida, com vias a incorporar as tendências e os resultados da experiência; 10) A capacidade institucional de monitoramento do progresso deve ser assegurada.

Para além dos princípios de bellágio, Sachs (1993) apresenta cinco dimensões da sustentabilidade, a saber: 1º) Sustentabilidade social, que se entende como a criação de um processo de desenvolvimento que seja sustentado por um crescimento voltado para uma visão do que seja uma sociedade boa (equilibrada). A meta é construir uma civilização com maior equidade na distribuição de renda e de bens, de modo a reduzir o abismo entre os padrões dos ricos e dos pobres; 2º) Sustentabilidade econômica, que deve

ser tornada possível através da alocação e do gerenciamento mais eficiente dos recursos e de um fluxo constante de investimentos públicos e privados. Uma condição importante é a de ultrapassar as configurações externas negativas resultantes do ônus do serviço da dívida e da saída líquida de recursos financeiros dos países do Sul, dos termos de troca desfavoráveis, das barreiras protecionistas ainda existentes nos países do Norte e dos acréscimos limitados à ciência e à tecnologia. A eficiência econômica deve ser avaliada em termos macrossociais, e não apenas através dos critérios da rentabilidade empresarial, do caráter microeconômico; 3º) Sustentabilidade ecológica, que pode ser melhorada a partir da ampliação da capacidade de carga, dentre as quais: a) Através da intensificação do uso potencial dos recursos dos diversos ecossistemas; b) Através da limitação do consumo de combustíveis fósseis e de outros recursos e produtos que são facilmente esgotados ou danosos ao meio ambiente); c) Através da redução do volume de resíduos e de poluição. Através da promoção de uma autolimitação no consumo de materiais por partes dos países ricos e dos indivíduos. d) Através da intensificação da pesquisa para obtenção e tecnologia de baixo teor de resíduos e usos eficiente de recursos para desenvolvimento urbano, rural e industrial. e) Através da definição de normas de proteção ambiental; 4º) Sustentabilidade espacial, que deve ser dirigida para a obtenção de uma configuração rural-urbana mais equilibrada e uma melhor distribuição territorial dos assentamentos humanos e das atividades econômicas, com ênfase em: a) Reduzir a concentração excessiva nas áreas metropolitanas; b) Frear a destruição de ecossistemas frágeis; c) explorar o potencial da industrialização descentralizada, acoplada com uma nova geração de tecnologias; d) criar uma rede de reservas naturais e de biosfera para proteger a biodiversidade; 5º) Sustentabilidade cultural, incluindo a procura de raízes endógenas de processo de modernização e de sistemas agrícolas integrados, processos que busquem mudanças dentro da continuidade cultural e que traduzam o conceito normativo de eco-desenvolvimento em um conjunto de soluções específicas.

Os alvos de desenvolvimento do milênio (Millenium Development Goals) têm sido outro importante parâmetro para promover a sustentabilidade. Neste sentido a Organização Mundial de Saúde (WHO et al, 2008) apresenta como

alvos de desenvolvimento para o milênio: 1º Erradicar a extrema pobreza e fome; 2º Educação primária universal para todos; 3º Promover a igualdade de gênero e fortalecimento da mulher; 4º Reduzir a mortalidade infantil; 5º Fortalecer a saúde materna; 6º Combater Aids, malária e outras doenças; 7º Fortalecer a sustentabilidade ambiental; 8º Desenvolver uma parceria global para o desenvolvimento.

Por fim em termos de princípios voltados para sustentabilidade convém destacar a Carta da Terra (EARTH, 2004) formada por quatro pilares e dezesseis princípios apresentados no quadro, a seguir.

Tabela 2. Princípios da Carta da Terra (EARTH, 2004)

Princípio	Pilar	Característica
1º princípio	RESPEITO E CUIDADO COM A COMUNIDADE DA VIDA	Respeitar a terra e a vida com toda a sua diversidade
2º princípio		Cuidar da comunidade de vida com compreensão, compaixão e amor
3º princípio		Construir democraticamente as sociedades que sejam justas, participativas, sustentáveis e pacíficas
4º princípio		Garantir a segurança do planeta e beleza para as gerações presentes e futuras
5º princípio –	INTEGRIDADE ECOLÓGICA	Proteger e restaurar a integridade ecológica da terra, com especial preocupação com a diversidade biológica e processo natural que sustenta a vida
6º princípio		Prevenir danos como melhor método de proteção ambiental e, quando o conhecimento for limitado, aplicar a abordagem da precaução

7º princípio		Adotar padrões de produção, consumo e reprodução que salvaguarde a regeneração do planeta, direitos humanos e o bem estar da comunidade
8º princípio		Avançar o estudo da sustentabilidade ecológica e promover uma abertura de troca e rede de aplicação do conhecimento adquirido
9º princípio	JUSTIÇA ECONÔMICA E SOCIAL	Erradicar a pobreza com um imperativo étnico, social e ambiental
10º princípio		Garantir a economia e a atividade de instituições de modo a promover em todos os níveis o desenvolvimento humano de forma equilibrada e sustentável

Fonte: adaptado de Earth (2004)

Para além de características e princípios mais amplos que tem acompanhado a sustentabilidade, em termos especificamente de recursos hídricos tem havido importantes avanços quanto ao tema. A seguir será apresentado os principais conceitos relativo à esta relação e os principais apontamentos contemporâneos.

3.4.3 Sustentabilidade em recursos hídricos: conceituação

Em termos de recursos hídricos a sustentabilidade tem sido discutida por diversos autores (GREICK, 1998; POSTEL, 2000; LOUCKS, 2000; MAYS, 2007; TUCCI, 2000; TUNDISI, 2003; VIEIRA, 2002) com vistas a buscar seus limites e características. De acordo com Gleick (1998) água não é apenas essencial para sustentar a vida, mas também desempenha um papel fundamental no apoio aos ecossistemas, no desenvolvimento econômico, no bem-estar da comunidade e nos valores culturais. Um ponto de partida então para se buscar entender esta relação é a própria definição de sustentabilidade hídrica e neste sentido alguns

autores têm desenvolvido definições que tem contemplado esta relação (MAYS, 2007, GLEICK ET AL, 1995, LOUCKS, 2000).

Para Mays (2007) sustentabilidade hídrica⁷ é “a habilidade para prover e manejar a água em termos de quantidade e qualidade e da mesma forma a encontrar as necessidades humanas e ambientais atuais, enquanto não impede as futuras gerações de fazer o mesmo”. Loucks (2000) por sua vez define sustentabilidade hídrica como “a designação e planejamento dos recursos hídricos com vistas a contribuir completamente com os objetivos da sociedade agora e no futuro, enquanto mantém sua integridade ecológica, ambiental e hidrológica”. Já o Gleick et al (1995) conceitua como “o uso de água para suporte e habilidade da sociedade humana para fortalecer e florescer em um futuro indefinido sem prejudicar a integridade do ciclo hidrológico ou do sistema ecológico que depende dele”. Vieira (2002) por sua vez define sustentabilidade hídrica como “o atendimento continuado e consistente das demandas da sociedade através de uma oferta hídrica garantida, em quantidade e qualidade”.

3.4.4 Apontamentos contemporâneos em termos sustentabilidade em recursos hídricos

A partir da conceituação de recursos hídricos sustentáveis, nos últimos tempos amplas reflexões têm sido trabalhadas em torno da temática por diversos autores, de modo a apresentar os principais aspectos e características desta relação (KUNDZEWICZ, 1997; GLEICK, 1998; MAYS, 2007; TUCCI, 2000; TUNDISI, 2008; WOLF, 1998; FLINT, 2004; LOUCKS, 2000). Nestes termos a sustentabilidade do sistema atual tem sido questionada e apontamentos tem sido elaborados quanto à questão.

Para se chegar à sustentabilidade em recursos hídricos de acordo com Mays (2007) deve-se levar em consideração: a) A disponibilidade de água em meio à períodos de mudanças climáticas, secas prologadas, crescimento

⁷Water resources sustainability

populacional e a relação de tais fatores com o suprimento hídrico de gerações futuras; b) Ter infraestrutura suficiente para prover água para consumo humano, fornecimento de alimento e proteção para o excesso hídrico, tal como inundações e outros desastres naturais; c) Ter infraestrutura para água limpa e para tratamento de água de esgoto; d) Ter instituições adequadas para providenciar tanto o manejo de recursos hídricos quanto do excedente; e) Ter uma definição que abranja os recursos locais, regionais, nacionais e internacionais. Neste sentido Mays (2007) apresenta sete critérios com vistas a buscar a sustentabilidade em recursos hídricos, dentre os quais: a) As necessidades hídricas básicas devem ser garantidas para todos os seres humanos para mantimento da saúde; b) As necessidades hídricas dos ecossistemas devem ser garantidas; c) A qualidade dos recursos hídricos devem estar adequados a padrões mínimos (variando a partir de cada contexto); d) Ações antrópicas não devem impedir a renovação dos recursos hídricos (em termos de fluxo e estoque); e) Disponibilidade de recursos hídricos (uso e quantidade) acessível para todas as partes; f) Mecanismos institucionais devem ser desenvolvidos para prevenir e resolver conflitos em torno da água; g) O planejamento dos recursos hídricos, bem como as decisões, deverão ser democráticas fortalecendo a participação de todas as partes envolvidas.

Gleik (1998) também apresenta uma série de critérios com vistas à contemplar os recursos hídricos e de acordo com o autor para se tomar decisões sobre como alocar e utilizar recursos hídricos, outros objetivos e critérios precisam ser identificados. Critérios e metas para a sustentabilidade dos recursos hídricos cujo alvo é traçar prioridades humanas e ambientais para o uso da água, tendo em conta não só as necessidades das populações atuais, mas também as das gerações futuras. A seguir os critérios (caminhos, “paths”) apresentados pelo autor para a sustentabilidade em recursos hídricos:

- 1) Definir a quantidade básica de água necessária para os seres humanos;
- 2) Definir a quantidade básica de água necessária para satisfazer as necessidades essenciais dos ecossistemas naturais. Este objetivo também foi apoiado como parte dos requisitos e necessidades básicas

da Agenda 21 das Nações Unidas. Embora foram limitados os esforços para estabelecer requisitos mínimos para determinados ecossistemas ameaçados, contudo alguns critérios foram estabelecidos, principalmente no mundo em desenvolvimento;

- 3) Cuidado com a renovabilidade de recursos hídricos sendo utilizados de uma forma que não afetem a disponibilidade de longo prazo da mesma fonte;
- 4) Deve haver coleta de dados e disponibilidade, uma vez que para que o planejamento e a gestão da água sejam democráticos e eficazes, os dados sobre todos os aspectos do ciclo da água devem ser recolhidos e disponibilizados de forma irrestrita;
- 5) Fomento de instituições de gestão e resolução de conflitos. Neste sentido os critérios de sustentabilidade não são apenas sobre medição de indicadores biológicos ou físicos apropriados. Eles também devem fornecer orientações para as instituições para resolver conflitos sobre a água e lidar com as incertezas inevitáveis e riscos na tomada de decisão. Os maiores debates sobre a água nas últimas décadas têm-se centrado sobre a forma de alcançar objetivos específicos. O debate sobre a água deve agora ser ampliado para abordar os meios pelos quais esses objetivos estão definidos. Assim, os critérios de sustentabilidade também se aplicam à gestão dos recursos hídricos, em especial para assegurar a representação democrática de todas as partes envolvidas na tomada de decisão, de acesso livre e equitativo à informação sobre os recursos e as opções para alocar esses recursos.

Postel (2000) a exemplo do Gleick (1998) também apresenta alguns caminhos para vencer os desafios em torno da água e sustentabilidade. Para a autora nas próximas décadas será preciso um esforço global para garantir que os ecossistemas recebam recursos hídricos em termos de quantidade, qualidade em fluxos necessários para o desempenho de suas funções ecológicas e para

dobrar a produtividade da água; ou seja, para obter o dobro de serviço, satisfação e benefício de cada unidade de água extraída dos rios, córregos, lagos e aquíferos. Para tanto Postel (2000) apresenta a seguir os caminhos:

- 1) Reserva de água para os ecossistemas. Postel (2000) destaca que na maior bacia hidrográfica da Austrália, a Murray-Darling, os estados da bacia concordaram em destinar 25% do fluxo natural do rio para manter a saúde ecológica do sistema. Nos Estados Unidos, uma série de iniciativas em andamento para desenvolver os recursos hídricos passaram a ser alocadas a fim de restaurar e proteger as funções ecológicas. No final de 1992, o Congresso dos EUA aprovou uma lei que reestrutura o funcionamento do Projeto Central Valley, na Califórnia, a fim de restaurar o habitat e a saúde ecológica para o sistema do Rio Sacramento-San Joaquin;
- 2) Dobrar a produtividade da água. Oportunidades para proteger e restaurar os sistemas naturais de água doce serão limitadas sem um esforço centrado para reduzir a demanda humana por água. Dadas as tendências demográficas previstas e o estado já grave de degradação de muitos ecossistemas de água doce, a sociedade necessitará produzir o dobro de água ao longo das próximas três décadas.
- 3) Uma gestão da água de benefício múltiplo. Enfrentar os desafios de água do século 21 vão exigir novas formas de pensar o uso e a gestão da água. Conciliar a crescente tensão entre as necessidades de água em termos ecológicos e as necessidades de água extrativistas exigirão abordagens novas e criativas. Ao longo da competência dos engenheiros, o planejamento e gestão de recursos hídricos requerem cada vez mais a entrada de muitas profissões diferentes e partes interessadas. Não é mais suficiente para os gestores projetarem as demandas futuras e, em seguida, construir novos projetos para atender à essas demandas. Os custos econômicos crescentes, ecológicos, sociais e políticos de muitos projetos hídricos exigem uma nova abordagem, que se baseia na idéia de que a água pode ser gerenciada para fornecer múltiplos benefícios

simultâneos ou sequencialmente, o que, por sua vez, oferece oportunidades para desarmar as tensões entre utilizações concorrentes de água. Ao invés de irrigantes, ambientalistas, pensadores e outros usuários de água, cada um batalhando por uma fatia maior do “bolo” de água, eles podem ser capazes de atingir seus objetivos distintos em conjunto e de forma cooperativa, obtendo vários benefícios a partir da mesma água.

Já para Loucks (2000) há um desafio posto em termos de medir e definir a sustentabilidade em relação aos recursos hídricos e para se conseguir avançar nestes termos, separa seis temas que podem contribuir de maneira direta com este desafio:

1º) Sustentabilidade e mudança- Para ser sustentável os sistemas de recursos hídricos devem estar abertos à mudanças. A transição de novas tecnologias, novas práticas de gestão, e novas instituições devem ser trabalhadas de forma organizada e de maneira equilibrada. Nestes termos continuidade e confiança em novos sistemas são pré-requisitos para sustentabilidade.

2º) Sustentabilidade e escala -É preciso considerar uma escala temporal quando consideramos a sustentabilidade de sistemas de recursos hídricos específicos. Nestes termos, contudo, o fato da existência de altos níveis de sistemas de recursos hídricos sustentáveis não elimina a possibilidade de alguma falha no futuro. Secas ou enchentes podem aparecer de forma inesperada contrariando alguma escala temporal e desta forma influenciando os aspectos ecológicos que tem relação direta com tal escala. Neste sentido um dos maiores desafios é identificar uma escala temporal apropriada e o tipo de medida.

3º) Índices de sustentabilidade e orientação -Índices de sustentabilidade provêm caminhos onde pode-se quantificar níveis relativos de sustentabilidade. Eles podem estar definidos em inúmeros caminhos, e um caminho possível é a expressão de níveis de sustentabilidade com diferentes pesos combinando

reabilitação, resiliência e vulnerabilidade a partir de vários critérios formulados com vias a contribuir com o bem estar humano e a variabilidade de tempo e espaço. Tais critérios podem ser econômicos, ambientais, ecológicos e sociais. Já em termos de orientação para direcionar o planejamento e gestão de sustentabilidade de recursos hídricos incluem aspectos como integrar os melhores aspectos científicos voltados para o processo de decisão, monitoramento e avaliação, desenvolvimento de abordagens apropriadas, etc.

4º) Sustentabilidade e risco - Sustentabilidade implica que as severidades de ameaças decaem durante o tempo. Ela implica a condição em que nosso ambiente e ecossistemas estão sendo manejados em caminhos que permitem os seres humanos passar por problemas, quando eles ocorrerem.

5º) Sustentabilidade e treinamento -A chave da sustentabilidade da gestão de recursos hídricos é a existência de pessoal treinado em todas as disciplinas necessárias para o desenvolvimento, planejamento e manejo.

Kundzewicz (1997) por sua vez comenta que a relação entre desenvolvimento sustentável e recursos hídricos requer uma abordagem integrada em uma perspectiva holística em que a estrutura esteja ligada com os diversos componentes. Uma estrutura que contenha não apenas hidrologia ou componentes de recursos hídricos, mas também outros componentes dentre os quais, o meio ambiente, economia, demografia, aspectos socioculturais e subsistemas institucionais. Aspectos institucionais são parte extremamente importante do desenvolvimento sustentável. Tipicamente, manejo de recursos hídricos estão fragmentados entre diversas instituições. Em relação aos países, a existência de uma instituição central de recursos hídricos, tal como o ministério de Recursos Hídricos, que tem como alvo os aspectos ligados a gestão de recursos hídricos é muito rara. Normalmente ministérios gerais (como meio ambiente, agricultura, floresta, indústria, navegação, construção etc.) mantêm a responsabilidade por problemas ligados à água. Frequentemente a coordenação entre os recursos hídricos nacionais é limitada ou até não existe. Nestes termos o advento de uma agência forte voltada para os recursos hídricos é muito bem-vinda. Devido aos aspectos multifacetados dos recursos hídricos, embora necessário, por vezes é um trabalho difícil a agência operar para além das

fronteiras disciplinares. No panorama internacional se observa uma certa fragmentação em termos de gestão de agências adequadas voltadas para a gestão de recursos hídricos. Nestes termos percebe-se certa ausência de agências que sejam poderosas em termos de trato com os recursos hídricos. Água não é um bem livre e está bem além do que um simples bem econômico. Neste sentido em busca da sustentabilidade é preciso uma mudança de filosofia, mais que tentar contemplar a demanda por completo arcar com novos custos voltados para suprir a demanda, deve-se buscar uma eficiência no uso da água, ou seja, “fazer mais com menos” (KUNDZEWICZ, 1997).

Outro aspecto importante para se buscar a sustentabilidade está ligada à valorar o recurso hídrico, cobrindo não só o custo do desenvolvimento e suprimento de água, mas também o custo do recurso em si, em relação aos diversos usos. Estabelecer, portanto, um valor para o recurso hídrico torna-se um instrumento importante neste processo de gestão (KUNDZEWICZ, 1997).

Por fim para Kundzewicz (1997) existe muitos outros casos recentes de comportamento que a série hidrológica difere significativamente do seu significado histórico. Tais fatores têm sido causados por razões antropogênicas dentre as quais atividades humanas como o desmatamento, urbanização, etc. Entretanto, muitos pesquisadores atribuem tais alterações à fatores ligados ao clima, como as mudanças climática (efeito estufa) e sua variabilidade. Como exemplo, pode-se destacar que tem sido observado o decréscimo de precipitação e vazão nos rios e lagos africanos. O aumento da seriedade de eventos extremos, tal como o exemplo recente da inundação no Mississippi e no Rhine. Alguns especialistas apresentam explicações voltadas para alterações em fenômenos climáticos como padrões de circulação da atmosfera. Nestes termos de acordo com o autor a possibilidade de mudança climática deve adicionar outra dimensão no contexto do desenvolvimento sustentável (KUNDZEWICZ, 1997).

Já pra Cirilo (2008) para que o uso dos recursos naturais ocorra de forma sustentável é preciso que o desenvolvimento seja fomentado a partir da capacidade produtiva dos recursos. Quando mal utilizados a produtividade agrícola é reduzida, os processos de desertificação avançam, sustento das

populações reduz, cresce a pobreza. Neste sentido para haver a sustentabilidade segundo o autor é preciso obedecer o princípio que as diversas formas de uso da terra e água não excedam sua capacidade de renovação. Para além destes aspectos para se ter sustentabilidade Cirilo (2008) destaca a necessidade de políticas públicas adequadas.

Tucci (2000) apresentando a relação entre recursos hídricos e sustentabilidade, destaca que o sistema natural é formado pelo conjunto dos elementos físico, químicos e biológicos que caracterizam o sistema natural da bacia hidrográfica e dos recursos hídricos formado pelos rios, lagos. A complexidade inerente a tais sistema é um dos principais problemas. Nestes termos com vias a ilustrar esta questão na figura a seguir, são expostos dois caminhos para a interação entre o socioeconômico e o sistema natural. O primeiro pressiona o sistema buscando somente atingir interesses de curto prazo para sociedade, sem preocupações ambientais (representados pela cor preta), o segundo propôs o uso de medidas sustentáveis (representados pela cor cinza) que resultam no desenvolvimento sustentável. Para o autor o entendimento da sustentabilidade está no aprimoramento de ações que permitam usar o espaço da bacia e do sistema aquático sem que tais ações prejudiquem a própria sociedade ou comprometam o ecossistema existente.

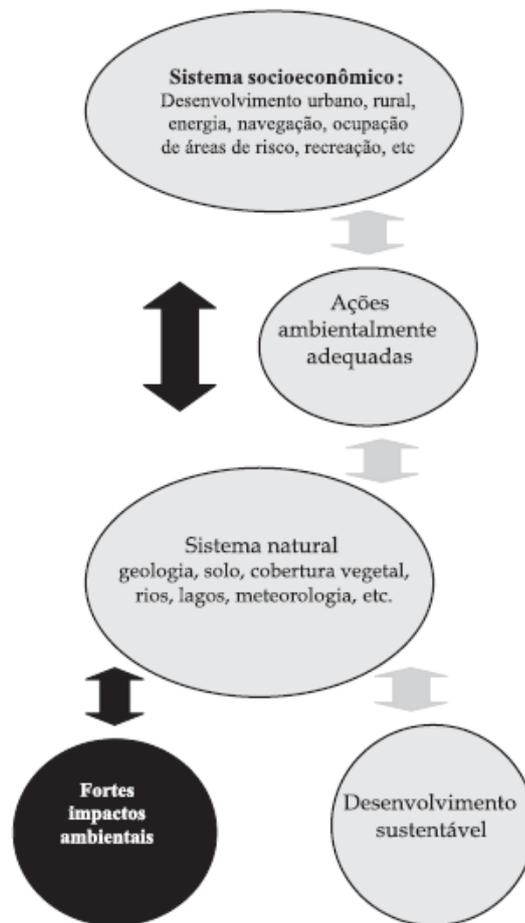


Figura 1. Sistemas e interações (adaptado de Tucci, 2000)

De acordo com Tundisi (2008) para se chegar a sustentabilidade em recursos hídricos é preciso: a) Uma abordagem de gerenciamento, pesquisa e elaboração de banco de dados a partir da bacia hidrográfica que deve incluir uma valoração dos "serviços" dos ecossistemas aquáticos e dos recursos hídricos, uma capacidade preditiva baseada em um programa denso e tecnicamente avançado de monitoramento e um sistema adequado de governança de água com a finalidade de promover oportunidades de desenvolvimento regional e sustentável a partir da água disponível e da demanda; b) Gerenciamento integrado, preditivo com alternativas e otimização de usos múltiplos deve ser implantado no nível de bacias hidrográficas com a finalidade de descentralizar o gerenciamento e dar oportunidades de participação de usuários, setor público e privado; c) Educação da comunidade em todos os níveis e preparação de

gestores com novas abordagens é outro necessário desenvolvimento da gestão de recursos hídricos no século XXI.

Wolf (1998) a exemplo do que propôs os outros autores também analisa a questão da sustentabilidade em termos de recursos hídricos em um panorama de conflito hídrico. Nesse sentido o autor discute alguns temas básicos que ao seu ver tem relação direta com a temática: a) Necessidade de instituições de gestão e resolução de conflitos; b) Necessidade de se observar a água como um recurso de natureza interdisciplinar; c) Necessidade de um processo descentralizado de gestão.

Com vistas a entender de forma mais ampla os aspectos relacionados à sustentabilidade e recursos hídricos, a seguir um resumo dos principais apontamentos contemporâneos.

Tabela 3.Resumo dos apontamentos em termos de desenvolvimento sustentável e recursos hídricos

Autor	Publicação	Resumo do apontamento
<i>Peter Gleick</i>	Artigo	Destaca a necessidade de uma gestão de distribuição capaz de contemplar oferta e demanda, e apresenta sete critérios com vistas a propor uma sustentabilidade em recursos hídricos. Dentre os quais a definição da quantidade de água básica para satisfazer as necessidades humanas e do ecossistema.
<i>Larry Mays</i>	Livro	O autor apresenta questionamentos e critérios em termos de sustentabilidade em recursos hídricos. Dentre os quais disponibilidade de recursos hídricos acessível para todas as partes e instrumentos voltados para a gestão.

Sandra Postel	Artigo	Para se chegar a sustentabilidade a autora destaca a necessidade de: 1) reserva de água para os ecossistemas; 2) dobrar a produtividade da água; 3) busca pela interdisciplinaridade.
Kundzewicz	Artigo	O autor com vista a se buscar o desenvolvimento sustentável apresenta a necessidade de uma agência de recursos hídricos, que possa colocar em prática instrumentos de gestão como valorar o uso (outorga). Outro apontamento levantado pelo autor é a necessidade da busca pelo entendimento da mudança climática em termos de influência em alterações na série hidrológica. E por fim o autor também faz menção da interdisciplinaridade que está envolvendo o tema.
José Almir Cirilo	Artigo	Obedecer a capacidade de suporte dos ecossistemas e ter políticas públicas adequadas em termos de gestão.
José Tundisi	Artigo	Formação de banco de dados, uso de instrumento de gestão (outorga) e gerenciamento descentralizado e educação ambiental.
Daniel Loucks	Artigo	O autor analisa a sustentabilidade a partir de seis temáticas: 1) mudança; 2) escala; 3) índice de sustentabilidade e orientação; 4) tecnologia; 5) contemplar o risco e 6) treinamento.
Carlos Tucci	Capítulo de livro	Destaca um esquema onde a sustentabilidade deve estar em

		uma linha que contemple de um lado as ações humanas e de outro o cuidado com o ecossistema.
Eric Wolf	Artigo	Ênfase em resolução de conflito a partir de uma abordagem integrada e de uma análise de natureza interdisciplinar.

Segundo Flint (2004) a busca pela sustentabilidade em recursos hídricos se inicia a partir de uma coerente discussão teórica voltada para o tema, com o fomento de definições adequadas, e culmina na mensuração da mesma a partir da escolha e definição de índices e indicadores adequados, que possam refletir o mais próximo possível da realidade desejada.

Uma vez apresentada a temática relativa a sustentabilidade em recursos hídricos, torna-se necessária a observação dos desafios oriundos a sua mensuração e isso de forma prática leva a análise de indicadores de sustentabilidade. Neste termos no capítulo que segue será aprofundado a temática relativa aos indicadores de sustentabilidade e neste sentido será feito o detalhamento das principais metodologias.

CAPÍTULO IV - INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM RECURSOS HÍDRICOS

4.1 Indicadores de sustentabilidade e os desafios de mensuração

Como tudo que se deseja fazer a partir de aferições subjetivas para aplicação sobre um espaço amplo e objetivo, a seleção e medição dos indicadores de sustentabilidade tem uma difícil adequação e está sujeita à diversas pressões.

De acordo com Bell e Morse (2000) governos por vezes desejam retratar a si mesmos de uma melhor forma possível e nestes termos tais instituições podem tratar indicadores e índices de formar a seu benefício próprio. Para além desta questão segundo os autores deve se ter em mente que a aplicação e desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade pode culminar em algo irreal. Uma das maiores críticas aos indicadores de sustentabilidade está no seu intuito de buscar mensurar um ambiente complexo em um índice objetivo.

Bossel (1999) discute esta dificuldade enfrentada pelos indicadores em meio à complexidade ambiental, uma vez que está em jogo, por vezes, incontáveis variáveis ambientais envolvidas e destaca que o mundo é composto de uma diversidade de sistemas que se interagem em vários caminhos. Enquanto um tem certa medida de autonomia, outro pode depender da função de um outro sistema e ser parte de suporte de um outro sistema, bem como do sistema como um todo. Plantas reciclam dióxido de carbono (o resíduo produzido por todos os organismos e tecnologia humana) em biomassa com o auxílio da energia solar. Biomassa por sua vez serve como alimento e combustível para outros animais e humanos. Microrganismos no solo e água decompõe resíduos em seus constituintes minerais que por sua vez servem de nutriente para as plantas. Em diferentes organismos a cooperação faz um sistema viável em um ambiente particular. Indivíduos humanos formam sistemas tal como famílias, comunidade, organizações, corporações estados e culturas. Quando se fala em

desenvolvimento sustentável deve-se incluir variáveis como economia, tecnologia, social, político e aspectos físicos. Tais sistemas estão ligados em vários outros e caminham juntos na complexidade ambiental.

Bell e Morse (2000) afirmam contudo que fazer medições em meio à complexidade ambiental não é um problema novo. O mundo é um ambiente complexo e pessoas tem tentando estabelecer análises sobre ele antes mesmo do estabelecimento dos indicadores de sustentabilidade. A ciência busca dividir o mundo em diversas partes e por vezes juntá-las para observar suas interações e isto, embora venha sendo por alguns, classificado como uma abordagem reducionista (uma vez que o uma realidade complexa com diversas interações nos impendem de uma forma exata analisar de modo a contemplar tudo), todavia, ciências como a biologia tem lidado por anos com a mesma realidade complexa e não tem deixado de usar indicadores como ferramenta para se obter algo mais aproximado do que seria a mitigação da problemática dos seres vivos.

Aliado à esta crítica há também a crítica ao fato dos indicadores de sustentabilidade serem apresentados de forma quantitativa (para além dos aspectos qualitativos que fazem parte dos mesmos). Bell e Morse (2000) contrapõem esta segunda crítica afirmando que não há neste mundo complexo um problema (não só os problemas ligados à sustentabilidade) que não estejam sendo influenciados pela natureza complexa do mundo e portanto acrescido de uma “dose” de incerteza. Nestes termos cientistas têm que simplificar (e quantificar por vezes) para sobreviver. Levando então à discussão não para uma certa simplificação mas para até que ponto a mesma é aceitável. Os autores afirmam que por um lado há a necessidade de simplificação e por outro ter indicadores de sustentabilidade que de fato sejam condizentes com a realidade (e tenham cuidado com simplificações). Aqui vale a pena olhar para o que a ecologia tem feito com vistas à enfrentar o mesmo problema. Neste sentido embora alguma simplificação limite a capacidade de ter conclusões aproximadas, contudo a tal ciência não é a única a lidar com esta situação, os autores destacam que todas as ciências lidam com a necessidade de analisar partes distintas e a partir de tal estabelecer conclusões que contemple o todo.

4.2 Características e componentes de indicadores e índices de sustentabilidade

A pesquisa de indicadores de sustentabilidade apropriados tem sido conduzida por vários anos de várias formas e em diferentes níveis de organização social, dentre as quais: pequenas comunidades, cidades, regiões, países e o mundo como um todo. Nestes termos é preciso ir à um número relevante de indicadores com vias à contemplar todos os aspectos importantes do desenvolvimento sustentável na aplicação particular.

De acordo com CEI (2007) indicadores de sustentabilidade contribuem para o entendimento de onde se está, e que caminho se está trilhando para alcançar o valor proposto. Eles alertam acerca do problema e contribui para reconhecer soluções para o problema. Indicadores de sustentabilidade são diferentes de indicadores tradicionais de economia, social e ambiental. Indicadores tradicionais mensuram mudanças na comunidade como se ela fosse totalmente independente de outras partes. Indicadores de sustentabilidade por vez refletem a realidade onde estes três segmentos estão interconectados.

Segundo Bossel (1999) a definição deste número de indicadores não tem sido tarefa fácil. Por um lado se poucos indicadores são definidos, alguma situação relevante corre o risco de não ser mensurada. Por outro lado, se números consideráveis de indicadores são escolhidos, podem culminar em um gasto equivocado de tempo e finanças. Na prática, obviamente, indicadores não podem incluir tudo e para se ter de fato o que se deseja é preciso prover indicadores que completem de fato o que se deseja no referido caso. Bossel (1999) afirma contudo que existem determinadas características pertinentes a um adequado indicador de sustentabilidade, dentre as quais: a) Indicadores como instrumentos de orientação de políticas e decisões devem estar adequados à aplicações em todos os níveis da sociedade: povoados, cidades, países, estados, nações, continentes e mundo. B) Indicadores devem representar as preocupações relevantes, uma vez que uma abordagem deve olhar para a interação entre sistemas e o seu meio ambiente. C) O número de indicadores pode ser menor o quanto possível, entretanto não pode ser menor que o necessário. Ou seja, o

indicador dever ser compreensível e compacto, cobrindo todos os aspectos relevantes. D) Os indicadores devem estar claramente definidos, reproduzíveis, não contraditórios, inteligíveis e práticos, e refletir a visão da sociedade E) Ao olhar para estes indicadores deve ser possível deduzir a viabilidade e sustentabilidade, bem como comparar com outras alternativas de desenvolvimento. F) É preciso um plano de trabalho, um processo e critérios para encontrar indicadores adequados.

Veiga (2010) por sua vez comenta que para se buscar bons indicadores de sustentabilidade deve-se ter como premissa o fato de que medir sustentabilidade difere da prática estatística padrão e para que os mesmos sejam adequados, são necessárias projeções e não apenas observações. Outro aspecto é que indicadores exigem necessariamente algumas respostas prévias à questões normativas. Indicadores também envolvem outra dificuldade no contexto internacional, pois não se trata apenas de avaliar sustentabilidades de cada país em separado, uma vez que o problema é global, sobretudo em sua dimensão ambiental, o que realmente mais interessa é a contribuição que cada país pode estar dando para a insustentabilidade global. Nestes termos de acordo com Veiga (2010): a) A avaliação da sustentabilidade requer um pequeno conjunto bem escolhido de indicadores, onde os componentes desse conjunto devem permitir a possibilidade de interpretá-los como variações de estoques e não de fluxos; b) Um índice monetário de sustentabilidade (caso faça parte) deve permanecer exclusivamente focado na dimensão estritamente econômica da sustentabilidade; d) Os aspectos ambientais da sustentabilidade exigem acompanhamento específico por indicadores físicos.

Para Van Bellen (2007) existem diferentes concepções a respeito das dimensões voltadas para sustentabilidade e a escolha e a utilização desta ferramenta constituem um fator importante quando se pensa medir o grau de sustentabilidade do desenvolvimento. Neste sentido a dimensão ecológica torna-se preponderante e é esta dimensão ecológica (não limitada entretanto a um único escopo) que contribui efetivamente para determinar o grau de sustentabilidade de um sistema. Um número amplo entretanto de dimensões, de acordo com Van Bellen (2007) para além de fornecer um cenário mais amplo da

realidade, pode culminar em um cenário onde dimensões podem perder o “poder” de apresentar a realidade. Ou seja, um escopo que seja formado por muitas dimensões pode ser um obstáculo para de fato se entender a sustentabilidade local.

Braat (1991) concentra seu esforço em analisar a composição do indicador de sustentabilidade e neste sentido apresenta uma diferenciação em relação à sua constituição. Nestes termos a etapa inicial está voltada para aquisição de dados, etapa onde o pesquisador reúne informações pertinentes ao interesse foco (conforme apresentado na figura a seguir). Estas informações iniciais formam a base da pirâmide e tem como alvo o fomento de uma base de conteúdo com vista à análise. A etapa posterior é a consequente análise de tais dados, nesta fase os mesmos são compilados e neste sentido uma reflexão é feita em termos de seleção de informações pertinentes. Uma vez realizada esta análise a etapa posterior é agregação dos mesmos (de maneira por vezes quantitativa) em um indicador, cujo alvo principal é otimizar a complexidade observada em uma unidade que possa de forma objetiva passar informação acerca do tema observado. Por fim já com indicadores definidos e portanto informações acerca de variáveis pertinentes ao fenômeno a etapa posterior é a agregação dos mesmos em um índice, que por sua vez de acordo com o esquema exposto pelo Braat (1991) na figura a seguir, seria a etapa final, onde a apresentação de um valor contemplaria o objetivo maior da análise.

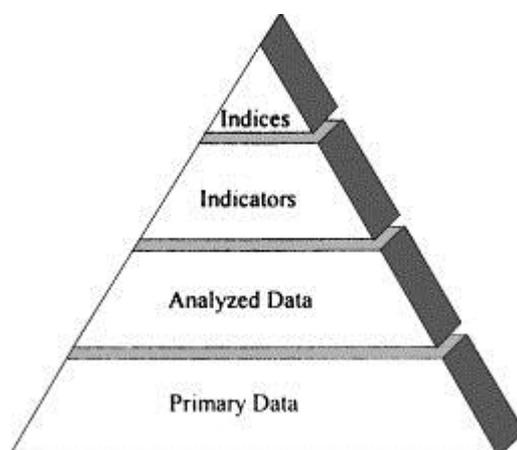


Figura 2. Esquema hierárquico dos índices e indicadores (BRAAT, 1991)

A apresentação da constituição do índice acima tem servido de base para a construção de mais diversos tipos de índices pelo mundo afora. Seja a partir de uma constituição mais ampla, seja aplicado à setores específicos, índices de sustentabilidade têm sido elaborados e hoje tem constituído uma considerável tipologia.

4.3 Tipos de Indicadores e Índices de sustentabilidade

Juwana et al (2012) estabelece uma divisão entre índices de sustentabilidade gerais e específicos. De acordo com os autores em termos de índices gerais de sustentabilidade podem-se classificar o Índice de Sustentabilidade do Meio Ambiente (Environmental Sustainability Index – ESI), Barômetro da Sustentabilidade (Barometer of Sustainability), Índice de Pressão Ambiental (Environmental Pressure Índices) dentre outros e em termos de índices voltados para áreas específicas, os autores exemplificam com: o índice de sustentabilidade agrícola, índice de sustentabilidade de combustível fóssil, índices de sustentabilidade de recursos hídricos, dentre outros.

Indicadores de sustentabilidade tem se difundido nas últimas década e contemplado diversos setores. Nestes termos, contudo ainda permanece uma dificuldade quanto à difusão de indicadores no contexto internacional (VAN BELLEN, 2007). Nestes sentido alguns levantamentos tem sido desenvolvido de modo a contemplar esta lacuna (VAN BELLEN, 2007; CEI, 2007; HAK, 2007; MORI E; CHRISTODOULOU, 2012).

Van Bellen (2007) com vistas à comparar os principais indicadores de desenvolvimento sustentável em meio à um panorama internacional (posterior à levantamento a partir da aplicação de 80 questionários com especialistas de várias regiões do mundo) selecionou os três indicadores: a) barômetro de sustentabilidade, b) painel de sustentabilidade e; c) pegada ecológica.

CEI (2007) por sua vez apresenta, entre os índices de sustentabilidade, o Gross National Happiness (GNH), Human Development Index (HDI), Ecological Footprint (EF) e Happy Planet Index (HPI).

Mori e Christodoulou (2012) em uma revisão recente apresentam como índices mais usados no contexto internacional: Pegada Ecológica (Ecological Footprint - EF), Índice de Sustentabilidade Ambiental (Environmental Sustainability Index -ESI), Painel de Sustentabilidade (Dashboard of Sustainability - DS), Índice de Bem-estar (Welfare Index), Indicador de Progresso Genuíno (Genuine Progress Indicator -GPI), Índice de Sustentabilidade de Bem-estar Econômico (Index of Sustainable Economic Welfare), Índice de Desenvolvimento da Cidade (City Development Index), Índice de Desenvolvimento Humano (Human Development Index - HDI), Índice de Vulnerabilidade Ambiental (Environmental Vulnerability Index -EVI), Índice de Política Ambiental (Environmental Policy Index -EPI), Índice de Vida do Planeta (Living Planet Index -LPI), Índice de Ajuste Ambiental do Produto Doméstico (Environmentally-adjusted Domestic Product -EDP), Índice de Salvação Genuína (Genuine Saving -GS).

Por fim dentre outras revisões pode-se destacar a revisão apresentada (na tabela a seguir) pelo Hak (2007) onde para além de citar ele apresenta um breve detalhamento de cada um dos principais indicadores.

Tabela 4. Principais indicadores presentes na literatura atual (adaptado do Hak, 2007)

Tipo	Descrição	Comentário
<i>Painel da Sustentabilidade (Dashboard of Sustainability – DS) desenvolvido pelo Centro Europeu de Pesquisa em Ispra.</i>	O painel da sustentabilidade apresenta um complexo relacionamento entre economia, social e meio ambiente em um amplo formato de comunicação objetivando os gestores e os interesses do público em termos de desenvolvimento	-Uma ferramenta, não um indicador por si mesmo; -Alinha vários mecanismos de agregação; -Usado livremente;

	sustentável. Contém vários indicadores incluindo UNCSO e MGD.	-Incluem ferramentas e estatísticas para testar hipóteses simples; -Desenho atrativo; -Alinha boas ligações entre os “pilares” (social, ambiental, etc..)
<i>Pegada Ecológica (Ecological Footprint -EF) introduzido pelo Redefinindo Progresso (Redefining Progress)</i>	A pegada ecológica corresponde à área de terra produtiva e ecossistemas aquáticos necessária para produzir recursos para o uso (e assimilação de resíduos produzidos) por uma população específica em um padrão material de vida específico. A pegada ecológica mede a carga imposta por dada população na natureza.	Tem como alvo vários aspectos importantes em termos de sustentabilidade (capacidade de suporte, super consumo e bio-capacidade), todavia cobre apenas o “ pilar” ecológico; Possui um alto grau de agregação (informação menos acessível); Método não unificado; Qualidade dos dados varia em relação aos países; Mais usado na escala nacional (embora possa ser usado em escala menores)
<i>O Índice de Percepção da Corrupção (Corruption Perceptions Index – CPI), desenvolvido pela Transparência Internacional (TI).</i>	O índice de corrupção estabelece um ranking de países baseados na percepção da corrupção (através de pesquisa). Ele mede toda a extensão da corrupção e sua quantidade. Ranqueados 146 países no ranking.	Tem como foco a corrupção no setor público/político (que por sua vez significa o abuso do ofício público para ganho privado). As fontes não fazem distinção entre corrupção política e administrativa ou entre pequena e ampla corrupção.
<i>Indicadores de Fluxo de Material da Rede Econômica (Economic-wide Material Flow Indicators). Um trabalho agregando indicadores de pressão padronizados pela Eurostat.</i>	O fluxo de material é baseado na economia nacional e das economias estrangeiras na base das massas de material total fluindo através das fronteiras na economia nacional.	Usado para diferentes escalas (nacional, internacional, local); Método discutido pela comunidade científica; Indicadores altamente agregados; Qualidade de dados diferente entre indicadores; Não existe ranking todavia há possíveis aglomerados de países;

		Voltado para longo prazo.
Conjunto de Indicadores Centrais da Agência Europeia (EEA). Conjunto de Indicadores Ambientais Desenvolvidos pela (EEA).	No início de 2004 a agência europeia propôs seu conjunto de indicadores. Estes cobrem principalmente os pilares de desenvolvimento sustentável. Tais indicadores são classificados em dez grupos, dentre os quais: clima, agricultura, energia, etc.	Os indicadores irão ser internacionalmente avaliados (baseados em 11 critérios como disponibilidade de dados, representatividade etc.); Um conjunto padrão de indicadores; Algumas questões importantes não são cobertas como: florestas e solos (erosão).
Índice de Sustentabilidade Ambiental (Environment Sustainability Index – ESI). Índice desenvolvido pelo YALE CENTER para meio ambiente, gestão e o Centro Internacional de Informação de Ciências da Terra (CIESIN) da Universidade de Columbia.	Este é um índice agregado que abarca a dimensão ambiental da sustentabilidade. Baseado em 21 núcleos de indicadores, cada um com 3 combinações, 6 variáveis em um total de 76 variáveis.	Alta agregação; Cobre o domínio ambiental do desenvolvimento; Variáveis arbitrariamente selecionadas; Mistura de variáveis e componentes de partes diferente; Boa comunicação, e inserção na mídia;
Indicadores de Desenvolvimento da Eurostat (Eurostat Sustainable Development Indicators). Um conjunto de indicadores desenvolvidos pela Eurostat.	Os conjuntos contem 63 indicadores, com 22 sociais, 21 econômicos e 16 ambientais. A lista está estruturada em torno de uma orientação voltada para gestão, contemplando dimensões relevantes de sustentabilidade (4), temas (15) e subtemas (38).	O conjunto é composto de uma lista da UNCSD; Direcionado para a disponibilidade de dados no nível europeu; Baseado na existência de trabalho de pressão e indicadores setoriais; Mais atenção para indicadores estruturais.
Índice de Liberdade do Mundo (Freedom in the World). Índice desenvolvido pela Freedom House.	É um comparativo anual mundial de acesso à direitos políticos e liberdades civis. As pesquisas incluem tanto uma análise quanto classificação de 192 países.	Mede liberdade de acordo com duas categorias: direitos políticos e liberdade civis; A pesquisa estabelece padrões universais que são derivados da declaração universal de direitos humanos;

		<p>Um elemento de subjetividade é encontrado na pesquisa;</p> <p>Contribui com gestores políticos e com a mídia na monitoração;</p>
<p>Indicador Ambiental Global de Perspectivas (GEO). Um conjunto de indicadores chave para o meio ambiente desenvolvido pela UNEP.</p>	<p>Um conjunto de 18 indicadores publicados pelo GEO YEAR BOOK em 2003. Eles cobrem questões globais e locais em termos ambientais e estão estruturados em: a) atmosfera; b) desastres naturais; c) florestas; d) biodiversidade; e) costa marinha; f) água potável.</p>	<p>Prover uma visão anual dos maiores problemas ambientais;</p> <p>Indicadores não muito bem balanceados, muitos indicadores são esquecidos.</p>
<p>Índice do Bem Estar (Barômetro da Sustentabilidade). Well-being Index (Barometer of Sustainability) um índice introduzido e publicado pelo IUCN.</p>	<p>Este índice combina 36 indicadores de saúde, população, riqueza, educação e equidade no bem-estar humano e 51 indicadores de solos, áreas protegidas, qualidade de água, suprimento de água, qualidade do ar, diversidade de espécies, uso de energia, pressão sobre recursos em um índice de bem-estar do ecossistema.</p>	<p>Aplica de forma igualitária o tratamento de pessoas e ecossistemas;</p> <p>Panorama ilustrado em um ovo onde sua gema são os humanos e a clara o ecossistema;</p> <p>Escala relativa dos resultados usados na sustentabilidade (má, pobre, média, razoável e boa).</p>
<p>Índice de Desenvolvimento Humano (Human Development Index- HDI). Um índice desenvolvido pela UNDP.</p>	<p>O índice é um composto que mede a taxa de cada nação em 3 requisitos básicos em termos de qualidade de vida: a) longevidade; conhecimento; padrões de vida.</p>	<p>Integra um pequeno número de variáveis;</p> <p>Alta qualidade de dados;</p> <p>Uso em nível nacional;</p> <p>Não mede qualidade ambiental;</p> <p>Fácil comunicação;</p> <p>Usado de forma frequente em países em desenvolvimento.</p>
<p>Índice de Vivência no Planeta (Living Planet Index - LPI). Um índice agregado promovido pelo World Wildlife Fund.</p>	<p>É um indicador que apresenta o estado da biodiversidade no mundo. Ele mede a tendência da população de espécies de vertebrados vivendo no meio terrestre, aquático e</p>	<p>Questões que envolvem alta relevância em termos de gestão;</p> <p>Incluem dados nacionais e locais em termos de pressão sobre os ecossistemas naturais;</p>

	<p>ecossistemas marinhos. O índice é formado de 3 índices separados medindo a mudança em termos de abundância nas 555 espécies terrestres, 323 espécies de água doce e 267 espécies marinhas no mundo.</p>	<p>Todos os 3 componentes básicos têm mesmo peso;</p> <p>Processo participativo;</p> <p>Medidas simples.</p>
--	--	--

4.4 Índices de sustentabilidade em recursos hídricos

A avaliação de sustentabilidade com base em indicadores ambientais tem como objetivo fornecer informações relevantes para as partes interessadas em todo o mundo por meio de índices existentes, para personalizar os índices para as suas aplicações e para o desenvolvimento de novos índices de sustentabilidade. O desenvolvimento contudo de índices voltados para áreas específicas, como o caso dos recursos hídricos ainda é recente e carece de aprofundamentos. Nestes sentido a exemplo do que foi feito em termos de levantamento de índices de sustentabilidade gerais(VAN BELLEN, 2007; CEI, 2007; HAK, 2007; MORI E; CHRISTODOULOU, 2012) alguns levantamentos comparativos recentes, voltados para comparar índices, tem sido desenvolvido de modo a entender e analisar quais são suas vantagens e desvantagens (JUWANA ET AL, 2012; BROWN E MATLOCK, 2011).

De acordo com Brown e Matlock (2011) nos últimos anos houve um avanço na elaboração de indicadores voltados para mensurar aspectos relacionados aos recursos hídricos e em revisão recente apresentaram alguns dos índices mais conhecidos na esfera internacional relacionados à água⁸, e para tanto fizeram uma caracterização dos diversos índices destacando categorias onde tais índices são classificados. Uma primeira categoria é de índices voltados para necessidades humanas básicas. Nesta categoria os autores colocam o índice do Falkenmark, o Índice de Necessidades Humanas Básicas e o Índice de Disponibilidade de Recursos Hídricos e Cereais Importados. Na segunda categoria estão os índices voltados para

⁸Aqui os autores selecionaram diversos índices voltados para água e não necessariamente índices voltados para sustentabilidade em recursos hídricos.

vulnerabilidade dos recursos hídricos e nesta categoria estão os Índices de Uso e Reuso Relativo Local da Água, O Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI), O Índice de Suprimento de Stress Hídrico e o Índice de Escassez Hídrico Físico e Econômico. Uma terceira categoria por sua vez é formada por índices voltados para incorporar as necessidades ambientais hídricas. Nesta categoria se destacam o Índice de Impacto de Crescimento da População na Disponibilidade Hídrica e o índice voltado para acessar o suprimento hídrico a partir do Indicador de Estresse Hídrico. Por fim os autores estabelecem uma categoria própria para a Pegada Hídrica, destacando os diversos aspectos que fazem parte do índice dentre os quais, a análise dos impactos sociais e ambientais.

Juwana et al (2012) por sua vez elaborou outra revisão de índices, com enfoque contudo especificamente voltado para recursos hídricos em termos sustentáveis. Aqui os autores buscaram colocar lado a lado índices especificamente voltados para análise de recursos hídricos em termos de sustentabilidade. Neste sentido Juwana et al (2012) fez um levantamento dos índices de relevância em termos internacionais e apresentou o: Índice Canadense de Sustentabilidade Hídrica (Canadian Water Sustainability Index — CWSI), Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (Watershed Sustainability Index — WSI), Índice de Sustentabilidade Hídrica de Java do Oeste (West Java Water Sustainability Index — WJWSI) e o Índice de Pobreza Hídrica (Water Poverty Index – WPI).

Segundo Juwana et al (2012) o Índice de Pobreza Hídrica (Water Poverty Index - WPI) foi desenvolvido para avaliar a relação entre pobreza e disponibilidade hídrica. Os desenvolvedores do índice acreditavam que havia uma forte correlação entre pobreza e disponibilidade hídrica e o índice foi desenvolvido para acessar esta correlação. A aplicação do índice de pobreza hídrica em 2003 em escala internacional, envolvendo diversos países no mundo, inspirou o Policy Research Initiative (PRI) a desenvolver o CWSI. A aplicação do WPI em 2003 no Canadá o ranqueou em segundo. Nestes termos, embora o país obteve uma excelente colocação o Policy Research Initiative entendeu que havia lacunas a serem preenchidas em uma vez que não refletia as diferenças

em termos de distribuição de água. Nestes termos o centro de pesquisa Policy Research Initiative desenvolveu o Índice Canadense de Sustentabilidade Hídrica (Canadian Water Sustainability Index — CWSI) com vias a contemplar estas lacunas. Similar ao Índice de Pobreza Hídrica (Water Poverty Index – WPI) o CWSI foi desenvolvido para integrar os aspectos físicos, ambientais e socioeconômicos. A aplicação do índice em várias comunidades do Canadá teve como intuito identificar importantes aspectos relativos à água e sua prioridade de uso, com vias a comunicar as condições dos recursos hídricos Canadenses para o setor público. Já o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (Watershed Sustainability Index — WSI) foi especificamente desenvolvido para aplicação a nível de bacias hidrográficas e teve como alvo integrar hidrologia, meio ambiente, vida e política em um simples número. O desenvolvimento de tal índice veio suprir uma lacuna em termos de índices voltados para bacias hidrográficas e também uma lacuna em termos de indicadores que contemplem a análise de pressão, estado e resposta. O desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade Hídrica do Oeste de Java (West Java Water Sustainability Index — WJWSI) foi elaborado com vias a beneficiar moradores da bacia, de modo a identificar todos os fatores que contribuem para o fortalecimento dos recursos hídricos, para assistir os tomadores de decisão em termos de priorizar programas na gestão dos recursos e para comunicar resultados para comunidade.

Nestes termos (conforme apresentado na tabela a seguir) com vistas a analisar comparativamente estes índices Juwana et al (2012) estabeleceu seis critérios, por vezes comuns a bons índices: 1) Seleção de indicadores presentes; 2) Obtenção de sub-índices; 3) pesos atribuídos aos indicadores; 4) agregação de indicadores e; 5) Interpretação do valor final.

Tabela5. Comparativo dos índices (adaptado de Juwana et al, 2012)

Índice	Composição	Método de obtenção de sub-índices	Pesos (atribuição)	Método de agregação	Interpretação final do índice
Índice de Pobreza Hídrica (WPI – Water Poverty Index)	Revisão de literatura, com base no consenso da opinião de especialistas e moradores	Redimensionamento contínuo	Pesos iguais	Aritmético	0-100
Índice Canadense de Sustentabilidade e Hídrica (Canadian Water Sustainability Index)	Revisão de literatura com base na opinião de especialistas	Redimensionamento contínuo	Pesos iguais	Aritmético	0-100
Índice de sustentabilidade e de Bacias Hidrográficas (Watershed Sustainability Index - WSI)	Revisão de literatura feita pelos autores	Redimensionamento contínuo	Pesos iguais	Aritmético	0-1
Índice de Sustentabilidade e de Bacias Hidrográficas do Oeste de Java (West Java Watershed Sustainability Index – WJWSI)	Revisão de literatura, aplicação da técnica Delphi e entrevistas com moradores	Redimensionamento contínuo e de categoria.	Pesos iguais e diferentes (ambos considerados)	Geométrico	0-100

Em relação ao Brasil o avanço em termos de pesquisa de elaboração de indicadores de recursos hídricos ainda está nos seus estágios iniciais, porém

com alguns exemplos já elaborados. Dentre as iniciativas⁹ pode-se destacar o trabalho do Carvalho et al (2011) onde a metodologia consistiu em uma pesquisa exploratória e documental, a partir do uso da estatística descritiva. O procedimento procurou ajustar os valores observados das variáveis. O máximo é igual a 1 (um) criando condições para agregação nas dimensões e consequentemente a estimação do indicador Índice de Sustentabilidade Hidroambiental para Bacias Hidrográficas - ISHBH. Nestes termos a relação é positiva se o aumento da variável resulta em melhoria do sistema e negativa se resulta em piora (conforme figura a seguir).

Tabela 6. Relação positiva e negativa para análise das variáveis (Carvalho et al, 2011)

<i>Relação positiva</i>	<i>Relação negativa</i>
$1 = \frac{x-m}{M-m}$	$1 = \frac{M-x}{M-m}$
Onde :	
<p><i>I = índice calculado referente a cada variável, para cada território analisado;</i></p> <p><i>x= valor observado de cada variável em cada território analisado;</i></p> <p><i>m = valor mínimo considerado;</i></p> <p><i>M= valor máximo considerado.</i></p>	

A definição do sinal, indicando se a relação é positiva ou negativa, foi feita a partir da intuição dos autores da pesquisa. Para tanto, foi realizado o cálculo do índice para cada indicador, e consequentemente realizado a agregação desses índices por dimensão através da média aritmética. Quanto aos indicadores que compõe este índice o quadro a seguir apresenta uma exposição mais detalhada.

⁹À exceção do Índices de sustentabilidade de bacias hidrográficas (WSI), já apresentado anteriormente e elaborado por pesquisadores brasileiros.

Tabela 7. Indicadores hidro-ambientais usados no estudo (adaptado do CARVALHO ET AL, 2011)

<i>Categoria/ dimensão ¹⁰</i>	Indicador	Tipo de relação do indicador
<i>Desempenho do sistema quanto ao desenvolvimento humano</i>	Taxa de alfabetização	Positivo
	Taxa de mortalidade infantil	Negativo
	IDH – Municipal	Positivo
	Expectativa de vida ao nascer	Positivo
	Quantidade de estabelecimentos de saúde	Positivo
	Taxa de hospitalização por desidratação (menos de 5 anos)	Negativo
	Taxa de mortalidade infantil por diarreia (por 1000)	Negativo
	População coberta pelo Programa de Saúde da Família (PSF)	Positivo
	Relação entre população urbana e rural	Positivo
<i>Desempenho do sistema quanto aos indicadores econômicos</i>	PIB per capita	Positivo
	Receitas de impostos e transferências de recursos	Positivo
	Despesa total com saúde	Positivo
	Despesa total com saúde por habitante	Positivo
	Transferência SUS por habitante	Positivo
	Tarifa média de água	Negativo
<i>Desempenho do sistema quanto ao abastecimento humano</i>	População total	Positivo
	Densidade demográfica	Positivo
	Precipitação média anual	Positivo
	Consumo médio per capita	Negativo
	Índice de abastecimento humano de água	Positivo

¹⁰ Há uma variada fonte de dados, dentre os quais os IBGE, DATA-SUS e IDEME- PB.

	Índice de perdas na distribuição	Negativo
	% Abastecimento por rede geral	Positivo
	% Abastecimento por poço nascente	Negativo
	% outra forma de abastecimento	Negativo
Desempenho do sistema quanto à pressões da irrigação, pecuária, abastecimento rural, agricultura e lazer	Outorga por irrigação	Negativo
	Outorga por abastecimento rural	Negativo
	Outorga por abastecimento urbano	Negativo
	Outro tipo de outorga	Negativo
	Número de bovinos	Negativo
	Número de equinos	Negativo
	Número de asininos	Negativo
	Número de suínos	Negativo
	Número de muaras	Negativo
	Número de ovinos	Negativo
	Número de caprinos	Negativo
	Desempenho do sistema quanto a coleta de esgotos	% rede sanitária via esgoto
% rede sanitária via tanque séptico		Positivo
% rede sanitária via tanque rudimentar		Positivo
% rede sanitária via vala		Negativo
% rede sanitária via rio/lago		Negativo
% sem rede sanitária		Negativo
Desempenho do sistema quanto à atendimento da coleta do lixo	% lixo coletado	Negativo
	% lixo jogado	Negativo
	% lixo queimado	Negativo
	% lixo enterrado	Positivo
Desempenho do sistema quanto ao estado qualitativo da água	% incidência da análise de cloro fora do padrão	Negativo
	% incidência da turbidez fora do padrão	Negativo

	Índice de cloro residual amostragem	Negativo
	Índice da amostragem de turbidez	Negativo
	% incidência coliformes totais fora do padrão	Negativo
	% índice de conformidade das amostras de coliformes totais	Negativo

A aplicação do índice se deu no semiárido brasileiro e nestes termos definiu que os municípios com melhores desempenhos hidro ambiental foram: Boqueirão, Monteiro, Sumé, Ouro Velho e Serra Branca. No outro ponto os municípios com piores desempenhos foram: Prata, Coxixola, Congo, São João do Cariri, Camalaú, São Domingos do Cariri, Zabelê, Cabaceiras, Barra de São Miguel, São Sebastião do Umbuzeiro, Amparo e São João do Tigre. Esses resultados demonstram a necessidade de definir programas de gestão hídrica capazes de reverter esse cenário de instabilidade, através de ações mais responsáveis por parte das entidades reguladoras da gestão de águas e demais entidades de classe no estado paraibano e em especial na sub-bacia estudada. Uma outra iniciativa de pesquisadores brasileiros com vias à elaboração de um índice de sustentabilidade foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Brasília (ISAÍAS, 2008), conhecido como Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas – ISBHi. Este índice foi desenvolvido a partir de quatro variáveis básicas: ambiental, qualidade da água, socioeconômica e políticos institucionais (ISAÍAS, 2008). Cada uma destas dimensões é composta por indicadores (conforme apresentado na tabela a seguir).

Tabela8. Resumo do cálculo do ISBHi (Fonte: ISAIAS, 2008)

Índice	Dimensões	Indicadores e variáveis básicas
Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas ISBHi = [DA (0-1) + DA (0-1) + DS (0-1) + DP (0-1)]/4	Dimensão ambiental (DA) $DA = [CV (0-1) + RE (0-1) + DE (0-1) + AI (0-1)] / 4$	CV = Indicador de cobertura vegetal; RE = Indicador de risco de erosão; De = Indicador de densidade de estradas; AI = Indicador de área impermeabilizada.
	Dimensão de qualidade da água (DQ) $DQ = [SIQA (0-1) + T (0-1)]/2$	SIQA = Indicador referente ao Índice de qualidade de água; T= Indicador de turbidez (t média + t máxima/2)
	Dimensão socioeconômica (DS) $DS = [R (0-1) + Ed (0-1) + SP (0-1)]/3$	R= Indicador de renda; Ed= Indicador de educação [(grau de analfabetismo+ %população sem 2º grau completo) /2] SP = Saúde pública [(% da população com sistema de esgoto sanitário + % população atendida com abastecimento de água) /2]
	Dimensão político institucional (DP) $DP = [TUE (0-1) + IAPP (0-1) + CUC(0-1)]/3$	Tue = Indicador de taxa de urbanização do entorno da microbacia; IAP=Indicador de integridade de área de preservação permanente; CUC= Indicador de cobertura

Isaiás (2008) após aplicar o índice em onze bacias localizadas na região do Distrito Federal (Brasil) concluiu que cinco bacias apresentaram comprometimento significativo da sustentabilidade, destacando que as estratégias adotadas na gestão das microbacias do Córrego Taqueri e Ribeirão Pedras refletiram avanços na sustentabilidade, enquanto a análise temporal dos dados das bacias Currais e Pedras sugerem que estão comprometidas em termos de estratégia de gestão.

Uma vez apresentado os índices tanto no panorama internacional, quanto no Brasil, convém aprofundar no índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, destacando suas particularidades, haja vista terá seus indicadores utilizados na metodologia.

4.5 Índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (WSI – Watershed Sustainability Index)

Com vistas a munir o programa hidrológico das Nações Unidas de um índice que pudesse contemplar a análise de recursos hídricos (em nível de bacia hidrográfica) Chaves e Alipaz (2007) elaboraram um índice a partir de quatro conjunto de indicadores, hidrologia (“H” de “hidrology”), meio ambiente (“E” de “environment”), vida (“L” de “life”) e política (“P” de “police”), formando o acrônimo HELP (palavra em inglês para *socorro*) com vistas à fomentar uma metodologia adequada para aplicação em vários contextos ao redor do mundo. Para tanto cada um dos indicadores foram desenvolvidos a partir de um processo dinâmico de aplicação do modelo pressão-estado-resposta e neste sentido o índice é dado por:

$$\text{WSI} = (\text{H} + \text{E} + \text{L} + \text{P}) / 4 \quad [1]$$

Onde o WSI (0-1) é o índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, H (0-1) é o indicador hidrológico, E (0-1) é o indicador ambiental, L (0-1) é o indicador de vida e P (0-1) é o indicador político. Como visto na equação acima todos os indicadores têm o mesmo peso, uma vez que não há evidências de que algum parâmetro deva ser superior (CHAVES E ALIPAZ, 2007). A estrutura da equação aditiva e linear permite um menor erro em termos de superestimação de um índice em detrimento ao outro. A lógica por trás disto é que quando um indicador é superestimado o outro pode ser subestimado em uma relação (isto por vezes é percebido em modelos que se utilizam da multiplicação dos parâmetros, por exemplo). Em termos de aplicação do índice Chaves e Alipaz (2007) colocam como limite máximo aproximado uma área de 2.500 km² uma vez que concluem que esta é uma área limite para processos de gestão em bacias hidrográficas. A seguir a tabela apresenta detalhes da composição do mesmo.

Tabela 9. Indicadores e parâmetros do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (CHAVES E ALIPAZ, 2007)

	Pressão	Estado	Resposta
Indicadores	Parâmetros		
Hidrologia	-Variação da disponibilidade hídrica percapita nos últimos cinco anos; -Variação na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) nos últimos cinco anos	-Disponibilidade hídrica percapita; -Demanda bioquímica de oxigênio (DBO5) média (longo prazo)	- Melhorias na eficiência no uso da água no período; - Melhorias no tratamento de esgoto no período
Meio ambiente	-Indicador de pressão ambiental (EPI, Environmental Pressure Indicator) da bacia	-Porcentagem da bacia com vegetação natural Índice de Desenvolvimento Humano da bacia (IDH) ponderado por área municipal	- Evolução em termos de conservação da bacia (reservas, boas práticas de manejo)
Vida	Variação do Índice de Desenvolvimento Humano da bacia (IDH) nos últimos 5 anos	Índice de Desenvolvimento Humano da bacia – IDH	Evolução no Índice de Desenvolvimento Humano da bacia no período
Política	Variação no Índice de Desenvolvimento Humano, no quesito educação (IDH- educação)	Capacidade legal e institucional em termos de Gestão Integrada da Bacia	Evolução dos gastos da gestão integrada dos recursos hídricos (GIRH) no período
Nota: WSI – Índice de Sustentabilidade de Bacias; DBO5 – Demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias; IDH – Índice de Desenvolvimento Humano; GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos.			

A tabela, acima, apresentou os parâmetros do índice (WSI) relativos à cada um dos indicadores. Cada um dos parâmetros é dividido em três colunas, contemplando Pressão, Estado e Resposta. A vantagem do uso do modelo (Pressão, estado e resposta) é que se incorpora o processo de causa e efeito, socorrendo a sociedade “stakeholders” e os decisores políticos para ver as interconexões entre os parâmetros.

O Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) é aplicado na bacia selecionando-se um período de cinco (ou quatro anos) de forma que possa ser feito um acompanhamento de sua evolução. De acordo com os valores obtidos nos quadros (a seguir) o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) pode ser classificado em:

- a) Baixo, se o índice for menor que 0,5;
- b) Médio, se estiver no intervalo entre 0,5 e 0,8;
- c) Alto, se o resultado do índice for superior a 0,8.

O Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas é formado por determinadas características que permite classificar os valores observados. Neste sentido, conforme apresentado na sequência dos quadros a seguir, o índice para cada valor dos respectivos indicadores possui uma classificação em termos de nível e respectivo escore.

Tabela 10. Parâmetros de pressão do WSI

Indicador	Parâmetro	Nível	Escore
H (hidrologia)	$\Delta 1$ – variação de disponibilidade de água per capita, no período (m³/hab./ano)	$\Delta 1 < -20\%$	0,00
		$-20\% < \Delta 1 < -10\%$	0,25
		$-10\% < \Delta 1 < 0\%$	0,50
	$\Delta 2$ – variação de DBO5 da bacia no período (média)	$0 < \Delta 1 < +10\%$	0,75
		$\Delta 1 > +10\%$	1,00
		$\Delta 2 > 20\%$	0,00
		$20\% > \Delta 2 > 10\%$	0,25
		$0 < \Delta 2 < 10\%$	0,50
		$-10\% < \Delta 2 < 0$	0,75
	$\Delta 2 < -10\%$	1,00	
E (ambiente)	EPI da bacia no período	$EPI > 20\%$	0,00
		$20\% > EPI > 10\%$	0,25
		$10\% < EPI < 5\%$	0,50
		$5\% < EPI < 0\%$	0,75
		$EPI < 0\%$	1,00
L (vida)	Variação no Produto Interno Bruto (PIB – per capita) da bacia no período	$\Delta < -20\%$	0,00
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0,25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,50
		$0 < \Delta < 10\%$	0,75
		$\Delta > 10\%$	1,00
P (políticas)	Variação do índice de desenvolvimento humano-educação no período	$\Delta < -20\%$	0,00
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0,25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,50
		$0 < \Delta < 10\%$	0,75
		$\Delta > 10\%$	1,00

Nota: WSI – Índice de Sustentabilidade de Bacias; DBO5 – Demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias; IDH – Índice de Desenvolvimento Humano; GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos.

Tabela 11. Parâmetros de estado do WSI

Indicador	Parâmetro	Nível	Escore
H (hidrologia)	Wa – disponibilidade per capita de água na bacia (superficial + subterrânea) em m ³ /hab./ano	Wa < 1700	0,00
		1700 < Wa < 3400	0,25
		3400 < Wa < 5100	0,50
		5100 < Wa < 6800	0,75
		Wa < 6800	1,00
	DBO5 – média da DBO5 da bacia (longo prazo), em mg/L.	DBO > 10	0,00
		10 > DBO > 5	0,25
		5 > DBO > 3	0,50
		3 > DBO > 1	0,75
DBO < 1	1,00		
E (ambiente)	Porcentagem de vegetação natural remanescente na bacia (Av)	Av < 5	0,00
		5 < Av < 10	0,25
		10 < Av < 25	0,50
		25 < Av < 40	0,75
		Av > 40	1,00
L (vida)	IDH ponderado da bacia	IDH < 0,5	0,00
		0,5 < IDH < 0,6	0,25
		0,6 < IDH < 0,75	0,50
		0,75 < IDH < 0,9	0,75
		IDH < 0,9	1,00
P (políticas)	Capacidade legal e institucional em GIRH na bacia	Muito pobre	0,00
		Pobre	0,25
		Regular	0,50

		Boa	0,75
		Excelente	1,00
<p>Nota: WSI – Índice de Sustentabilidade de Bacias; DBO5 – Demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias; IDH – Índice de Desenvolvimento Humano; GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos.</p>			

Tabela 12. Parâmetros de resposta do WSI

Indicador	Parâmetro	Nível	Escore
H (hidrologia)	Evolução na eficiência de uso de água na bacia, no período	Muito pobre	0,00
		Pobre	0,25
		Regular	0,50
		Boa	0,75
		Excelente	1,00
	Evolução no tratamento e disposição de esgotos na bacia, no período	Muito pobre	0,00
		Pobre	0,25
		Regular	0,50
		Boa	0,75
		Excelente	1,00
E (ambiente)	Evolução nas áreas protegidas (reservas e boas práticas de manejo – BPMs) na bacia no período	$\Delta < -10\%$	0,00
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$10 < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 20\%$	1,00
L (vida)	Variação no IDH da bacia, no período (ponderado)	$\Delta < -10\%$	0,00
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$10 < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 20\%$	1,00

P (políticas)	Evolução nos gastos em GIRH na bacia, no período.	$\Delta < -10\%$	0,00
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$10 < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 20\%$	1,00
Nota: WSI – Índice de Sustentabilidade de Bacias; DBO5 – Demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias; IDH – Índice de Desenvolvimento Humano; GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos.			

Para cada combinação de indicadores e de parâmetros, um valor entre 0 e 1 é atribuído. Um valor de 0,25 é atribuído à níveis mais pobres, e 1,00 para as condições ótimas. No indicador Hidrologia, há dois conjuntos de variáveis: uma em relação à quantidade de água e o outro para a qualidade da água. No caso da quantidade de água, o parâmetro é a disponibilidade de água per capita por ano. De acordo com Falkenmark & Widstrand (1992), o estresse hídrico ocorre quando a disponibilidade de água cai abaixo de 1.700 m³/pessoas.ano. Portanto, 4 níveis de disponibilidade de água (per capita) foram utilizados: a) $W_a < 1.700$ m³/hab.ano, b) $1700 \text{ m}^3/\text{hab.ano} < W_a < 3.400 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$; c) $3400 \text{ m}^3/\text{hab.ano} < W_a < 5.100 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$; e d) $W_a > 5.100 \text{ m}^3/\text{pessoa.ano}$, correspondendo à pobre, médio, bom e excelente em disponibilidade de água, respectivamente. No caso da qualidade da água, usa-se a demanda bioquímica de oxigênio (DBO 5, em mg / l) uma vez que a mesma é frequentemente disponíveis em bacias hidrográficas, e devido à sua alta correlação com outros importantes dados de qualidade da água (oxigênio dissolvido, turbidez), a mesma foi escolhida como parâmetro de qualidade. Fontes de cargas pontuais, como a poluição por nutrientes e pesticidas são frequentemente associados aos altos valores de DBO (CHAVES E ALIPAZ, 2007). A Figura a seguir mostra a correlação de DBO5 com outros parâmetros de qualidade de água.

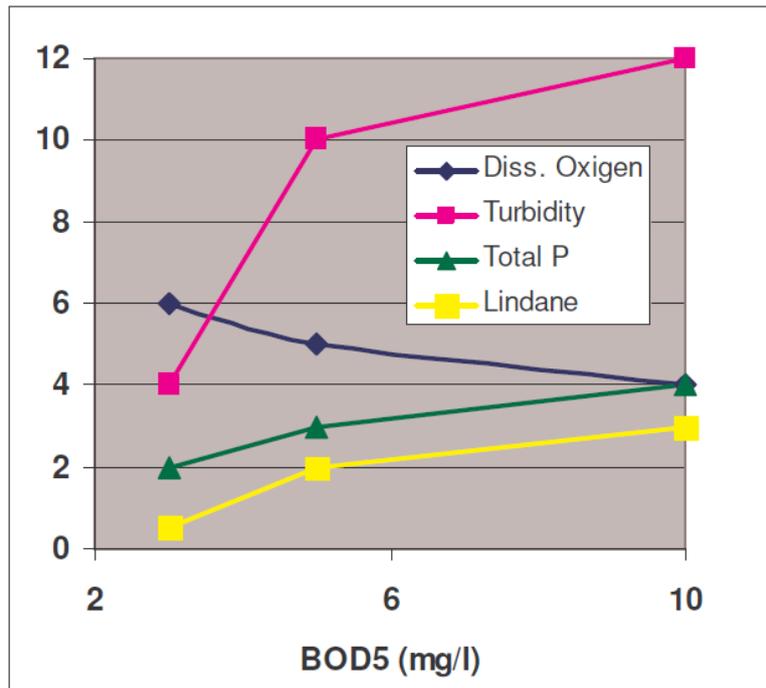


Figura 3. Correlação da tolerância máxima dos limites de qualidade hídrica e a demanda bioquímica de oxigênio (adaptato de CHAVEZ E ALIPAZ, 2007)

Desde que se compara as mais recentes informações sobre a disponibilidade de água (5 anos), pode-se configurar como um parâmetro de longo prazo de pressão hidrológica média e têm a vantagem de incorporar eventual variabilidade climática / alterar impactos que, por determinadas condições, podem afetar significativamente a disponibilidade de águas nas bacias hidrográficas. O parâmetro para o indicador de Ambiente é o Indicador de pressão ambiental (EPI - Environmental Pressure Index) estimado pela variação média da área agrícola e urbana da bacia em um período de 5 anos (em porcentagem). A proporção de área agrícola e urbana em uma determinada bacia está relacionada com a qualidade da água (HUNSAKER & LEVINE, 1995 apud CHAVES E ALIPAZ, 2007). O EPI usado aqui é uma modificação da pressão antrópica Index, desenvolvido por Sawyer (1997 apud CHAVES E ALIPAZ, 2007). O EPI, estimado para um período de 5 anos, sendo dado por:

$$EPI = (\%Va + \%Vu) / 2$$

[2]

Em que:

%Va = percentual de variação de áreas agrícolas na bacia, no período estudado;

%Vu = percentual de variação de áreas urbanas na bacia, no período estudado.

EPI pode ser positivo, negativo ou zero. Os valores positivos indicam pressões superiores sobre a vegetação natural remanescente do parâmetro “estado” do ambiente da bacia. Este parâmetro “estado” é, por sua vez, altamente correlacionado com a flora e a fauna da biodiversidade, sendo um indicador da integridade ambiental global da bacia. Os parâmetros de vida do WSI são o Índice de Desenvolvimento Humano – IDH (na coluna Estado) da bacia, e sua evolução em um período de 5 anos (Resposta) . O parâmetro da pressão é dado pela variação de renda do IDH (%), ou seja, a variação da renda da bacia per capita no período de 5 anos de estudo. Os valores negativos deste parâmetro indicam que a população ficou mais pobre, e vice-versa, o que teria impacto nos recursos da bacia em termos de sustentabilidade. No caso dos parâmetros da política “p” “política”, no modelo proposto pelo Chaves e Alipaz (2007) a pressão é dada pela variação do indicador de educação do IDH da bacia, no período de 5 anos de estudo. Uma vez que este indicador mede o nível de escolaridade da população, de acordo com os autores, valores positivos de IDH- Educação podem indicar que a população da bacia tornou-se mais participativa na gestão integrada de bacias hidrográficas o que coloca mais pressão sobre os tomadores de decisão. O parâmetro de política de Estado reflete a capacidade institucional presente na bacia em termos de gestão integrada de recursos hídricos, dada pelo nível de enquadramento legal e instituição adequada, bem como de gestão participativa. É um dos poucos parâmetros qualitativos do índice, variando de pobre (0,25) a excelente (1,0). O parâmetro de resposta por sua vez é estimado pela evolução das despesas em termos de gestão integrada de recursos hídricos na bacia nos 5 anos. Isso reflete a pressão exercida pelos interessados na bacia para os tomadores de decisão.

Quanto maior a despesa em termos de gestão integrada de recursos hídricos maiores são as chances de cumprir os objetivos relacionados com a água.

Por fim, antes de avançar na temática convém destacar as principais vantagens do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) (CHAVES E ALIPAZ, 2007):

- a) Maior sensibilidade em relação aos demais. Conforme destacam os autores o índice tem como uma primeira vantagem o fato de estabelecer pesos iguais para a série de indicadores. Neste sentido quando se compara com os demais percebe-se claramente que alterações que podem gerar uma sensibilidade nos demais índices por vezes inexistem na aplicação direta do índice.
- b) Avanço no interdisciplinaridade e diálogo entre profissionais. Na aplicação do índice, normalmente se promovem workshops onde profissionais de diversas áreas se interligam cada setor promovendo os devidos avanços nas suas áreas e por fim é calculado o valor final. Tal postura está bem adequada ao que é visto no mundo atual em termos de pesquisa em recursos hídricos, haja vista o paradigma que norteia apresenta o desafio de uma maior diálogo entre profissionais.
- c) Possibilidade de comparação, alimentando um banco de dados internacional. Pensar em sustentabilidade tem como ponto de partida (conforme já discutido) ir de encontro a aspectos subjetivos e procurar através de indicadores mensurar um cenário complexo. Diante disto o índice foi pensado para possibilitar uma comparabilidade entre diversas aplicações no mundo. Por isso os indicadores são por vezes de fácil aquisição (cálculo).
- d) Facilitação do processo de decisão a partir de indicadores que são mais simples de serem aplicados. Aqui conforme já mencionado, o índice permite um avanço considerável na comparação entre parâmetros e isto é possível devido ao fato de possuir indicadores que podem ser aplicados mesmos em países em desenvolvimento, onde não possuem uma ampla rede de dados (monitorados).

- e) Validação em diversos continentes “internacionalidade”. Aqui pode-se inferir o valor que tal índice agrega embora seja ainda recente, uma vez que devido ao fato de ser adotado pelo programa da Organizações das Nações Unidas (ONU) relacionado aos recursos hídricos, vem sendo aceito em um amplo panorama internacional, gerando assim contribuições científicas oriundas desde as Américas, até a Ásia. Esta realidade (oriundas de vantagens anteriormente citadas) levam o índice a um destaque internacional e possibilidade de pesquisas que envolvam o índice (conforme a presente pesquisa) terem um espectro de alcance bem mais amplo.

Dada esta apresentação dos índices (e seus respectivos indicadores) voltados para à análise dos recursos hídricos de maneira sustentável (culminando na apresentação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas), convém destacar que a complexidade observada no ambiente de aplicação de tais indicadores (recursos hídricos, recursos faunísticos, etc.) tem gerado cada vez mais a necessidade do desenvolvimento de sistemas voltados para a decisão com base em indicadores que estejam coerentes com a leitura da realidade em um ambiente complexo, conforme se percebeu no modelo de Carvalho, et al (2011), haja vista que, por vezes, tais indicadores tem se valido de ferramentas oriundas de tecnologias cada vez mais modernas em termos de apoio a decisão.

Diante desta realidade, entender como tais sistemas voltados para decisão tem se desenvolvido, quais os paradigmas que tem norteado os mesmos e como está sendo processado a aplicação de metodologias em recursos hídricos torna-se uma relevante etapa na escolha correta de como se operacionalizar o uso coerente de determinados indicadores aplicados em recursos hídricos.

CAPÍTULO V - SISTEMAS VOLTADOS PARA DECISÃO APLICADOS AOS RECURSOS HÍDRICOS

5.1 Uma síntese dos sistemas voltados para decisão em recursos hídricos

De forma conceitual pode-se afirmar que o Sistema de Suporte à Decisão (SSD) pode ser entendido como um conjunto de “processos elaborados e complexos da transformação de dados em informações” (PORTO E PORTO, 2008). Esses sistemas costumam agregar grandes bases de dados de diversas naturezas, além de utilizar diversos modelos para construir cenários e analisar cenários com a finalidade última de propiciar a tomada de decisões de melhor qualidade. Os Sistemas de Suporte à Decisões (SSD) constituem uma metodologia de auxílio à tomada de decisão baseada na intensa utilização de bases de dados e modelos matemáticos, bem como na facilidade com que propiciam o diálogo entre o usuário e o computador. Em termos mais aproximados contudo (em relação ao sistemas de recursos hídricos) na literatura são apresentadas muitas definições (GOMES E GOMES, 2009). Segundo Laura (2004) cada uma destas definições e os modelos desenvolvidos tem como características principais: a) envolvimento de computadores; integração de várias tecnologias (Sistema de Informação Geográfica – SIG; modelos avançados de engenharia; dados complexos, etc); c) ferramentas opcionais para problemas estruturados e semi-estruturados relativamente grandes.

Os sistema de suporte a decisão usa modelos quantitativos físico-matemáticos para simulações, modelos matemáticos de programação para otimizações e um banco de dados para resolver problema. Além disso quando combinados ou construídos no Sistema de Informação Geográfica (SIG) são denominados de Sistema de Apoio à Decisão em Ambiente Espacial (SDSS – Spatial Decision Support System) (DENSHAM, 1991)

As raízes da idéia de suporte à decisão remontam ao século passado, quando foram feitas as primeiras tentativas de empregar o enfoque científico na administração de uma empresa. Neste sentido em termos de pesquisa

operacional, entretanto, o avanço científico se operacionalizou apenas no princípio da Segunda Guerra Mundial, onde na época os esforços bélicos convergiram para a necessidade de fornecimento de recursos escassos em meio a um pequeno tempo em distintas operações militares (GOMES E GOMES, 2009).

Com o avanço sem precedentes em termos de complexidade em organizações no último século (pós Segunda Guerra) tal fator exigiu intensificar a prática da pesquisa operacional, uma vez que a escassez de matéria-prima, culminou em um cenário onde a demanda era maior que a oferta. Na época buscava-se intensificar a aplicação da racionalidade no processo de tomada de decisão, ou seja, o “ótimo”. Neste contexto a Pesquisa Operacional clássica, fazendo uso de ferramentas advindas da matemática, tais como programação linear, não linear, inteira, dinâmica, entre outras, consolidou-se como ciência. O desenvolvimento da tecnologia computacional por sua vez contribuiu para o aprimoramento deste cenário. Neste cenário tanto as ciências sociais, quanto naturais foram buscando uma relação com tal cenário de forma a tratar de forma específica a temática mais ampla (GOMES E GOMES, 2009).

Em termos de recursos hídricos, a evolução que se processou nos modelos de gestão, passando do burocrático para o sistêmico (LANNA, 1999; SETTI, 2001) contribuiu para um cenário onde o uso de sistemas voltados para a decisão tornaram-se cada vez mais necessários, haja vista a complexidade oriunda do modelo atual de gestão sistêmica carecia de estudos que fossem coerentes com a complexidade observada. Para tanto Sistemas de Apoio à Decisão começaram a aparecer em meados da década de 70 e foram discutidas na literatura de recursos hídricos a partir da década de 80. Em meio a este cenário contudo, percebe-se que o crescimento mais acentuado da ciência da decisão em recursos hídricos tem se configurado apenas nas últimas décadas (LAURA, 2004). Dentre as razões para tal Laura (2004) apresenta o avanço oriundo da criação de softwares amigáveis com o usuário, aumentando a familiaridade do usuário com o processo de tomada de decisão a partir de determinadas tecnologias. Não obstante o sistema de apoio à decisão computadorizada na área de recursos hídricos não tem ainda alcançado

maturidade, dentre as razões para isto se destaca principalmente a falta de estudos disponíveis para avaliar a sua efetividade.

Para além da aplicação em recursos hídricos com o passar do tempo contudo muitos construtores e usuários dos Sistema de Suporte à Decisão (SSD) efetuaram muitas críticas construtivas, mostrando limitações no arcabouço conceitual e questionando a efetividade e utilidade do SSD. Por vezes apresentaram problemas de limitação de alcance do método, pois foi observado a negação de determinadas áreas, com destaque para a social, haja vista por se ter buscado de forma intensiva a racionalidade e objetividade econômica, acabou limitando os aspectos sociais, embora que tais aspectos sejam importantes do ponto de vista técnico. Críticas ainda foram feitas em relação a própria racionalidade, haja vista estudos descritivos apresentarem que os tomadores de decisão tem violado com frequências as regras da racionalidade. Com base em tais aspectos existem diversas críticas na literatura sobre a tomada de decisão (MIRANDA, 2011).

Na medida contudo que tem emergido esse conjunto de críticas, desenvolveu-se e aplicou-se uma nova concepção em termos de decisão, conhecida como Sistemas de Apoio à Decisão (SAD). Isto, de acordo com Bana e Costa (1993) está sustentado em algumas convicções, dentre as quais, a) a convicção da inteprenetração de elementos objetivos e subjetivos e da sua insperabilidade; b) a convicção da aprendizagem pela participação e; c) a convicção do construtivismo. Para os autores:

Ao adotar a abordagem construtivista se procura apoiar a construção de um modelo de juízo de valor com base em hipóteses de trabalho para fazer recomendações. Seguindo uma abordagem prescritiva o analista procura descrever um sistema de preferências e elabora prescrições com base em hipóteses normativas validadas pela realidade descrita. Em outras palavras a via do construtivismo consiste em construir com os intervenientes no processo de decisão algo que permite entrar no sistema de valores dos mesmos. De forma geral tal pretensão está longe do que propõe as ciências normativas que por sua vez tem a intenção e prescrever como o indivíduo deve agir. O construtivismo está vinculado ao exercício da atividade de apoio a decisão, incluindo a estruturação do problema (BANA E COSTA, 1993).

Tal nova concepção “construtivista” (diferente do Sistema de Suporte à Decisão (SSD) anteriormente caracterizado) está pautada em uma base voltada para uma percepção mais ampla em termos da introdução dos aspectos humanos/sociais necessários de ser levados em consideração pelo tomador de decisão (ENSSLIN ET AL, 2013; MIRANDA, 2011; CHAVES, 2013). Segundo Bana e Costa (1995) há uma vivência própria de cada decisor que faz considerar o papel do consultor (analista) não como o de um simples manipulador diplomado dotado de técnicas infalíveis de tomada de decisão, mas sim de um conselheiro, um orientador cujos recursos podem ajudar poderosamente a compreender e dominar causas e consequências de todo um conjunto de comportamentos e atitudes, de eventos e de fenômenos particulares, inspirados ou não, que ocorrem no desenrolar do processo. Modelos que permitem a esse analista o exercício de um papel ativo, fornecendo-lhe o “know-how” para argumentar no sentido de fazer admitir como válidas suas prescrições.

Presume-se assim que o conceito de *tomada de decisão* não pode ser completamente dissociado do conceito de *processo de decisão*. Ou seja, antes de pensar em tomar a decisão é interessante que a mesma seja “construída” (a partir de um enfoque no processo) e isto passa necessariamente por levar em conta as preferências dos diferentes agentes que estão envolvidos da decisão. Laura (2004) defende que escolher e preferir são tarefas que os decisores (atores) tem que exercer por exercício próprio, neste sentido ninguém pode realizá-las por ele, ninguém pode tomar seu lugar (LAURA, 2004). Ainda segundo Laura (2004) é interessante entender que embora a decisão final seja dos decisores (atores), não significa dizer que o mesmo não possa se utilizar da ajuda, de uma consultoria que por sua vez se serve de um conjunto de instrumentos, dentre os quais, dentro da lógica de “construção da decisão” tem se destacado os métodos multicritério¹¹ voltados para apoiar o decisor ao longo do processo de decisão.

Partindo então do referido ponto de vista “construtivista” e retomando a relação entre Sistemas de Suporte à decisão (SSD) e Sistemas de Apoio à

¹¹ A partir do tópico 5.3 mais adiante será aprofundado o assunto referente aos métodos multicritérios e o processo construtivista.

tomada e Decisão (SAD) percebe-se que a concepção dos Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) tem um sentido racionalista e objetivista, enquanto a concepção dos Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) tem um sentido de construção (construtivista) contemplando para além da objetividade, os complexos aspectos subjetivos observados. Nestes termos, com vistas a entender melhor com detalhes como se processa esta relação de objetividade/ racionalidade e subjetividade (nos sistemas voltados para decisão), torna-se necessário entender de forma mais específica as raízes (paradigmas científicos) que norteiam um sistema voltado para decisão.

5.2 Paradigmas científicos na modelagem de um sistema voltado para decisão

Conforme mencionado, existem duas concepções diferentes sobre o apoio à decisão. A primeira (Sistema de Suporte à Decisão - SSD) ligada ao paradigma racionalista; e a segunda (Sistema de Apoio à Decisão – SAD) ligada ao paradigma construtivista. Conforme Laura (2004) as raízes do paradigma racionalista remontam ao paradigma cartesiano-newtoniano, que tem fornecido as bases para metodologia científica, o mesmo como se sabe baseia-se na objetividade, no reducionismo e na fragmentação do conhecimento (barreira inclusive para a dinâmica interdisciplinar discutida anteriormente). Por sua vez o paradigma construtivista surgiu à medida que foram feitas críticas ao paradigma racionalista destacando-se por um busca mais ampla pela contemplação de uma realidade complexa e por vezes subjetiva. Diante do referido, todavia, conforme destaca Ensslin (2013) torna-se relevante entender porém que há ainda uma ampla discussão sobre os mesmos e para além de contribuições que os colocam (um em detrimento ao outro) é interessante entender que podem ser usados de forma conjunta e portanto não excludente.

Quando se deseja adotar um modelo há uma necessidade de entender bem os pressupostos que estão ligados a sua construção. Ou seja, caso se deseje apoiar uma decisão (a partir de metodologias de Multicritéria Decision - MCDA) ou tomar uma decisão (com uso da Pesquisa Operacional – PO ou Multicriteria Decision Making - MCDM) é preciso entender os paradigmas que

estão por trás da sua formatação, para se ter a eficácia pretendida no processo (BANA E COSTA, 1993). Tal entendimento destes paradigmas fornecem as devidas regras que nortearão a formatação do que é válido ou não, do que o método pode ou não fazer e como se configura sua aplicação. A seguir a tabela apresenta um comparativo das principais características de cada paradigma.

Tabela 13. Comparativo dos paradigmas voltados à decisão

	Paradigma racionalista	Paradigma construtivista
Tomada de decisão	É um momento em que ocorre a escolha da solução ótima.	Processo evolutivo envolvendo a interação entre os decisores.
Decisores	Racionais, considerando a experiência do decisor equiparada aos dados objetivos.	Ênfase nos valores do decisor (culturais, cosmovisão).
Problema a ser resolvido	Problema real e único onde parte da ideia de racionalidade (livre de desvios e valores) que podem descrever a realidade.	Problema construído a partir das participação dos decisores.
Modelos	Representam a realidade objetiva e descreve um problema independente dos decisores (não voltada para os valores dos decisores).	Apresentação razoavelmente aceita pelos decisores como útil no apoio a decisão (adequada aos valores dos decisores).
Resultado dos modelos	Soluções ótimas, incontestáveis a todos os decisores envolvidos.	Recomendações que visam atender os valores dos decisores.
Objetivo da modelagem	Encontrar a solução ótima.	Geração de conhecimento aos decisores fornecendo a repercussão das ações e permitindo aperfeiçoamento.
Validade dos modelos	O modelo é válido quando representa a realidade objetivamente. O modelo pode controlar o fenômeno devido seu poder de previsão, uma vez testado repetidas vezes na mesma situação decisória.	O modelo é válido quando é útil aos decisores como uma ferramenta de apoio ao processo decisório.

Informações sobre as preferências dos decisores	O analista é protagonista e define as preferências.	O analista é coadjuvante e auxilia o processo de construção das preferências.
Formas de atuação	As metodologias são voltadas a tomada de decisão (PO e MCDM)	As metodologias são voltadas ao apoio à decisão (MCDA)

Fonte: Adaptado de Laura (2004)

Em termos específicos de recursos hídricos neste sentido, ao que parece, vantagens consideráveis tem se apresentado a partir do paradigma construtivista. Laura (2004) comenta que:

O método adotando o paradigma construtivista, além de permitir identificar um conjunto de indicadores de sustentabilidade (o resultado), permite a participação dos atores sociais para a compreensão do problema como um todo (o processo). Estas características se inserem dentro e/ou são compatíveis com os princípios do Modelo Sistêmico de Gestão Participativa, de gestão das águas, sendo o mesmo, o objetivo estratégico de qualquer formulação institucional e legal bem conduzida...Assim o método fornece subsídio para aprofundar a implementação do referido modelo de gestão das águas.

Tal lógica de adoção de um modelo sistêmico, para além da aplicação recente no Brasil, vem sendo uma marca dos sistemas de países desenvolvidos ao longo das últimas décadas. De acordo com GWP (2009) enquanto no Brasil em anos recentes o olhar amplo e sistêmico para a bacia hidrográfica como unidade de gestão vem alimentando a maneira como se procede a gestão, em alguns países tal lógica já permeava a gestão bem antes (destaque para a França, Espanha, etc..). Segundo a GWP (2009) em tais sistemas embora exista diferença de contexto para contexto, contudo dentre as principais características, pode-se destacar o olhar bem mais democrático, onde a participação se insere em meio ao que classifica como “basins organization” (organização de bacias hidrográficas). Neste sentido em tais organizações há a existência de grupos heterogêneos participando das decisões (conforme tabela a seguir) e para tanto há a clara necessidade de que a decisão contemple de forma aproximada a realidade.

Tabela 14. Organizações de gestão de recursos hídricos em alguns cenários internacionais

Funções	França	Espanha	Brasil	México	Marrocos
Política hídrica	Serviços estatais	Organização de Bacias Hidrográficas (Confederação)	Serviço Federal ou Estadual	Comissão Nacional da Água	Organização de Bacias Hidrográficas (Agência de Bacias Hidrográficas)
Registro de usuários	Organização de Bacias Hidrográficas (Agência de águas)	Organização de Bacias Hidrográficas (Confederação)	Organização de Bacias Hidrográficas (Comitê de bacias hidrográficas e agências de águas)	Comissão Nacional da Água	Organização de Bacias Hidrográficas (Agência de Bacias Hidrográficas)
Planejamento estratégico de longo prazo (máster plan)	Organização de bacias hidrográficas (Comitê de Bacias Hidrográficas)	Organização de bacias hidrográficas (Confederação)	Organização de bacias hidrográficas (Comitê de bacias Hidrográficas)	Organização de bacias hidrográficas (Conselho de Bacias Hidrográficas)	Organização de bacias hidrográficas (Agências de Bacias Hidrográficas)
Gestão de concessão para grandes desenvolvedores (água bruta / negociação)	Desenvolvedores privados	Organização de bacias hidrográficas (Confederação)	Desenvolvedores privados	Comissão nacional da água	Organização de bacias hidrográficas (Agências de Bacias Hidrográficas)
Suprimento de água para consumo	Municípios	Municípios ou estados	Municípios ou estados	Municípios ou estados	Municípios ou Escritório Nacional de Água de consumo

Monitoração de dados	Serviço Estatal/ Agência de Aguas/ Privados	Confederação / Entidades Autônomas	Federal / Agência de bacias/ Municípios e Estados	Comissão Nacional da Água	Organização de Bacias Hidrográficas (Agência de Bacias Hidrográficas) / Privados
----------------------	---	------------------------------------	---	---------------------------	--

Fonte: GWP (2009)

Segundo GWP (2009) organizações no mundo hoje voltadas para gestão de bacias hidrográficas (conforme apresentadas na tabela acima) tem como características a participação cada vez mais heterogênea de diversos setores da sociedade. Tal realidade tem seguido o pensamento¹² atual sobre sustentabilidade na Gestão de Recursos Hídricos defendido por diversos pesquisadores (GLEICK,1998; MAYS, 2007; LOUCKS, 2000). Para Gleick (1998) na gestão dos recursos hídricos deve-se assegurar a representação democrática de todas as partes envolvidas na tomada de decisão, de acesso livre e equitativo à informação sobre os recursos e as opções para alocar esses recursos. May (2007) por sua vez reforça que a gestão de recursos hídricos deve ser democrática, fortalecendo a participação de todas as partes envolvidas. Tal pensamento tem valorizado um processo decisório voltado sobretudo para “construção”. Diante do referido percebe-se que os modelos atuais de gestão de recursos hídricos, como no caso brasileiro¹³ onde aparece o Modelo Sistêmico de Gestão Participativa (já discutido anteriormente no tópico 3.1.2), tem se familiarizado com o paradigma construtivista.

5.3 Metodologias multicritério de apoio à decisão

Diante de tal lógica construtivista (de apoio à decisão) diversos pesquisadores (ENSSLIN, 1998; BANA E COSTA, 1997; LAURA, 2004) tem

¹² Para maiores aprofundamentos retornar ao tópico 3.4.4.

¹³ Conforme preconiza o sexto fundamento da legislação brasileira de recursos hídricos (LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997) que afirma que “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a **participação** do Poder Público, dos usuários e das comunidades” (BRASIL, 1997)

apontado para o uso de metodologias de análise multicritério de apoio à decisão. Uma vez que tais metodologias (diferentemente do que se observa com a pesquisa operacional - PO) contemplam de forma mais aproximada o processo em construção participativa.

Segundo Gomes e Gomes (2009) as metodologias multicritério de apoio à decisão (MCDA) tem como base duas escolas maiores: a americana e a francesa. Segundo os autores o conjunto de métodos que se utilizam como base “a relação de superação” passou a ser denominado Escola Francesa de Apoio Multicritério à Decisão e os mais voltados por metodologias multiatributo que por sua vez formaram a base da Escola Americana. Gomes e Gomes (2009) apresentam as principais vantagens de cada escola, conforme observado na tabela a seguir.

Tabela 15. Comparativo entre as Escolas

Métodos da escola francesa	Métodos da escola americana
Permitem ordenar pelos menos parcialmente as alternativas em termos relativos	Possibilidade de definir uma medida de mérito (valor) global para cada alternativa, indicadora da sua posição relativa na escala global
Permitem quatro diferentes formas de comparação: preferência sem hesitação; preferência com hesitação, indiferença e incomparabilidade.	Permite duas formas de comparação: preferência e indiferença.
Critério de múltiplos de agregação	Apenas um critério único de agregação

Fonte: adaptado de Gomes e Gomes (2009)

Segundo Rangel e Gomes (2010) embora exista esta divisão entre os métodos da Escola Americana e os métodos da Escola Francesa, também designada Escola Europeia, existem outros métodos multicritério que, no entanto, não se enquadram exclusivamente dentro de uma dessas duas escolas. Como exemplos de métodos multicritério que contêm elementos técnicos dessas duas escolas, podem-se citar o Método TODIM (RANGEL;GOMES, 2007) e o Método MACBETH (BANA et al, 2005).

Os métodos multicritério da Escola Americana, por sua vez, têm como fundamentação teórica a noção de agregarem-se todas as informações acerca do problema que se pretende resolver por meio de uma grande síntese (RANGEL, 2010). Exemplos significativos desses métodos são a Teoria de Utilidade Multiatributo (KEENEY E RAIFFA, 1993) e os métodos de análise hierárquica; dentre estes, o mais popular é, indiscutivelmente, o método AHP (SAATY, 1994). Em particular, a Teoria da Utilidade Multiatributo (conhecida também por MAUT – Multiattribute Utility Theory) parte de suposições de racionalidade – como o respeito à transitividade estrita – e decorre das bases axiomáticas da teoria da utilidade esperada. Além disso, a MAUT não admite alguma possível incomparabilidade entre alternativas em um processo decisório (KEENEY E RAIFFA, 1993).

Os métodos da Escola Francesa por sua vez utilizam a noção de relação de superação, possuindo duas vertentes principais: os métodos “Elimination Et Choix Traduisant la REalité” conhecido pelo acrônimo “ELECTRE” e os métodos “Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation”, conhecido pelo acrônimo “PROMETHEE” (BRANS ET AL, 1986; BARBA-ROMERO; POMEROL, 2012). De acordo com Gomes e Gomes (2009) a Escola Francesa de apoio a decisão parte do pressuposto de o não uso de um critério único de sistese, baseando-se no conceito de relação de superação (ou sobreclassificação S) formalizado por um grupo de pesquisadores franceses que no início da década de 60 começaram a elaboração dos métodos.

Bernard Roy é o destaque maior desta escola sendo o pioneiro no uso de critério de agregação e um dos criadores do método ELECTRE, que posteriormente foi avançado com criação de outros métodos semelhantes dentre os quais o PROMETHEE. Gomes e Gomes (2009) estabeleceram um comparativo entre os principais métodos da Escola Francesa, apresentado na tabela a seguir.

Tabela 16. Comparativo entre a Escola Francesa

Método	Problema	Pesos	Veto
Electre I	Seleção	Sim	Sim
Electre IS	Seleção	Sim	Sim
Electre TRI	Classificação	Sim	Sim
Electre II	Ordenação	Sim	Sim
Promethee	Ordenação	Sim	Não
Electre III	Ordenação	Sim	Sim
Electre IV	Ordenação	Não	Sim

Fonte: adaptado de Gomes e Gomes (2009)

Dentre estes comparativos recentes, percebe-se porém que alguns tem acentuado as vantagens do uso dos métodos da família PROMETHEE em detrimento aos demais da escola francesa (LEITE E FREITAS, 2012) e outros tem apresentado certa vantagem para os métodos ELECTRE em detrimento ao PROMETHEE, destacando que não é uma escolha fácil uma vez que ambos tem vantagens consideráveis (SALMINEN et al, 1998; MAJDI, 2013). Em estudos conjuntos com outros métodos, contudo, a família PROMETHEE tem se sobressaído em detrimento a outras metodologias (CARVALHO, 2013).

5.3.1 Metodologias PROMETHEE - Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation

Os métodos PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*) seguindo a linha da Escola Francesa, objetivam construir relações de sobreclassificação de valores em problemas de tomada de decisão (ZUFFO et al, 2002; MORAIS E ALMEIDA, 2006; CARVALHO ET AL., 2011). O método PROMETHEE é um dos métodos da análise multicritério de apoio à decisão (MCDA – *Multi-Criteria Decision Analysis*) mais recentes tendo seu

desenvolvimento inicial a partir do Brans e aperfeiçoado por Vincke e Brans, com principais características: simplicidade, clareza e estabilidade. No processo de análise do PROMETHEE, o objetivo se decompõe em critérios e as comparações entre as alternativas são feitas no último nível de decomposição e aos pares, pelo estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores.

O método PROMETHEE estabelece uma estrutura de preferência entre as alternativas discretas, tendo uma função de preferência entre as alternativas para cada critério. Essa função indica a intensidade da preferência de uma alternativa em relação à outra, com o valor variando entre 0 (indiferença) e 1 (preferência total) (BRANS *et al.* 1986) tendo sido aplicado com sucesso em vários problemas, de diferentes naturezas, possuindo as seguintes versões:

Tabela 17.Tipos de metodologia PROMETHEE

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

Fonte: adaptado de Carvalho (2013)

Esse método tem sido bem aceito e usado por ser um método não compensatório, que favorece alternativas bem balanceadas e ainda conforme

Morais e Almeida (2006), que objetiva constituir uma ordenação completa das alternativas, evitando qualquer incomparabilidade. Braga e Gobetti (2002, p. 396) dizem que o PROMETHEE estabelece uma estrutura de preferência entre alternativas discretas. A estrutura de preferência é definida através das comparações aos pares de alternativas por:

$$aPb \text{ se } f(a) > f(b) \quad [4]$$

$$aIb \text{ se } f(a) = f(b) \quad [5]$$

Sendo f um critério particular de avaliação a ser minimizado e a, b duas alternativas possíveis. P e I denotam respectivamente preferência e indiferença. Após a comparação paritária entre as alternativas e os critérios é necessário analisar os fluxos positivos e negativos das avaliações. As etapas desta análise são destacadas por Moraes e Almeida (2006):

Tabela 18. Detalhamento dos fluxos

<p>I. $\Pi(a,b)$ é o grau de sobreclassificação de a em relação a b, também chamado de intensidade de preferência multicritério. É calculado por:</p> $\Pi(a, b) = \frac{1}{w} \sum_{j=1}^n W_j F_j (a, b) \quad [6]$ <p>onde, $W = \sum_{j=1}^n w_j$</p> <p>Sendo:</p> <p>n é o indicador</p> <p>w_j é o peso do indicador j</p> <p>$F_j(a,b)$ é a função de preferência, valor que varia de 0 a 1 e representa o comportamento ou atitude do decisor frente às diferenças provenientes da comparação par a par entre as alternativas, para um dado critério, indicando a intensidade da preferência da diferença $g_j(a) - g_j(b)$.</p> <p>II. $\Phi^+(a)$ é chamado de fluxo de saída e representa a média de todos os graus de sobreclassificação de a, com respeito a todas as outras alternativas. É dado pela expressão:</p> $\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(a,b)}{n-1} \quad [7]$ <p>(2) Quanto maior $\Phi^+(a)$, melhor a alternativa.</p>
--

III. $\Phi^-(a)$ é chamado de fluxo de entrada, representando a média de todos os graus de sobreclassificação de todas as outras alternativas sobre a.

É dado pela expressão:

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(b,a)}{n-1} \quad [8]$$

Quanto menor $\Phi^-(a)$, melhor é a alternativa.

IV. $\Phi(a)$ é chamado de fluxo líquido de sobreclassificação e representa o balanço entre o poder e a fraqueza da alternativa. Quanto maior $\Phi(a)$, melhor a alternativa. É dado pela expressão:

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad [9]$$

Fonte: adaptado de Carvalho (2013)

Para tal método Brans et al. (1986) consideraram seis tipos de função de preferência (método Promethee II), que são apresentadas na figura a seguir.

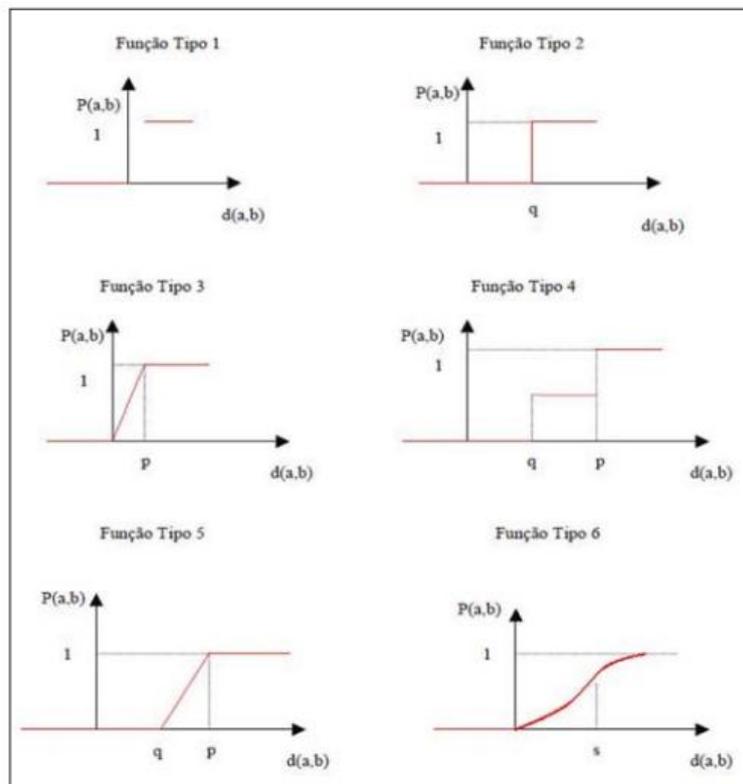


Figura 4. Funções de preferência – Promethee (**Fonte:** adaptado de CAVASSIN, 2004).

No caso da função de preferência do tipo 1, existe indiferença entre duas alternativas “a” e “b” somente se $f(a) = f(b)$, se as avaliações forem diferentes, há preferência estrita pela alternativa de avaliação melhor. Neste caso, não há necessidade de definição de parâmetros. Na função do tipo 2, duas alternativas são indiferentes se a diferença entre suas avaliações não exceder o limiar de indiferença “q”, caso contrário, há preferência estrita (CAVASSIN, 2004). Para a função do tipo 3 é definido o limiar de preferência estrita “p”. Se a diferença entre avaliações de duas alternativas for menor que “p”, a preferência aumenta linearmente; se essa diferença for maior que “p”, existe preferência estrita pela alternativa de melhor avaliação. A função do tipo 4 utiliza os limiares de indiferença e preferência estrita, “p” e “q”, respectivamente. Se $d(a,b)$ estiver entre “q” e “p”, existe preferência fraca pela alternativa “a”, se $d(a,b)$ for menor que “q”, existe indiferença, e se for maior que “p”, há preferência estrita pela alternativa “a” (CAVASSIN, 2004). A função 5 por sua vez é semelhante a 3 (todavia com uma zona de indiferença inicial, uma vez que “q” não está na origem) e a função 6 é do tipo gaussiana.

5.4 Metodologias voltadas para situações onde existam diversos decisores “multidecisor”

Para além da aplicação da metodologia multicritério, quando se tem cenários com vários decisores há uma necessidade de ir além na análise. Tal fato se dá pela própria lógica metodológica em um ambiente quando se tem vários decisores. Ou seja, quando apenas aplicada a metodologia multicritério (ELECTRE - ELimination Et Choix Traduisant la REalité ou PROMETHE – Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation, etc) é definido um resultado final para a decisão e isto finaliza bem a partir da comparação (par a par pelo método) fornecendo um resultado final ao decisor¹⁴.

Neste sentido, com base na observação da situação atual da política hídrica de vários países (conforme apresentado anteriormente), percebe-se que

¹⁴ Tal fato se dá pelo motivo em que se coloca os indicadores com a importância (ponderada a partir de pesos) de um único decisor (que por vezes é o próprio modelador, ou analista).

há uma clara necessidade da decisão não ser necessariamente limitada a opinião de um decisor, pois o que pode ter relevância¹⁵ para um membro ativo do Comitê de Bacia Hidrográfica (ou órgão semelhante), pode ter pouca ou nenhuma importância para outro. Neste sentido surge-se a necessidade de entender “como contemplar a opinião de todos os decisores membros do Comitê (ou órgão semelhante) na bacia hidrográfica?”

Para tal situação, como possível solução, é feito o registro da opinião de qual indicador seria mais ou menos importante para o decisor (isto através da coleta de dados com o uso desde questionário até entrevistas semiestruturadas com os membros do grupo [Comitê de Bacia no Brasil]) seguido pela introdução dos pesos (a partir da relevância do referido indicador para o decisor) através do método multicritério e por fim com a introdução de um método voltado para agregação do resultado de vários decisores, conhecido por alguns como “**multidecisor**”. De acordo com OECE (2008) há uma diversidade de métodos de agregação “multidecisor” na composição de indicadores e destaca dentre os métodos voltados para a agregação a partir de vários decisores os métodos Condorcet e o da Borda.

Os métodos Condorcet foram nomeados pelo matemático e filósofo francês Marie Jean Nicolas Caritat (o Marquês de Condorcet). Tais métodos são métodos de paridade voltados para votação ordenada que seguem o critério de Condorcet. Esses métodos comparam todos os pares de opções e a opção que supera toda outra é vencedora (OECD, 2008; POMEROL & BORBA-ROMEIRO, 2012).

5.4.1 Método da Borda

De acordo com Pomerol e Barba-Romero (2012) em termos de metodologia de ordenação voltada para agregação o primeiro método de agregação é o método da Borda. Tal método foi desenvolvido pelo Cavaleiro

¹⁵ Entrevistando algumas pessoas que eram membros de comitês do Nordeste do Brasil, Carvalho et al (2011) apresentou na sua análise onde a importância de indicadores era diferente entre eles. Ou seja, colocar o mesmo peso para um determinado indicador poderia estar em desacordo com a realidade observada. Juwana et al (2012) apresenta resultado semelhante ao observar a aplicação de outros índices voltados para sustentabilidade em recursos hídricos pelo mundo.

Frances Jean Chales da Borda em 1781. A idéia do método é adicionar o ranking obtido para uma dada alternativa com uma ordem (ordinais). A alternativa mais preferida recebe um ponto, a segunda dois pontos e assim sucessivamente. Os pontos atribuídos pelos decisores a cada alternativa são somados e a alternativa que tiver obtido a menor pontuação é a escolhida. A escolha final (ou preordem de agregação) é dada pela soma de todos os pontos obtidos por todos os critérios em uma ordem onde se inicia pelo maior até o menor (OECD, 2008; POMEROL & BORBA-ROMEIRO, 2012). Todas as alternativas são ordenadas por ordem decrescente de pontuação (o que garante o respeito ao axioma da totalidade). A seguir um exemplo de uma matriz de aplicação do método da Borda.

Tabela 19. Matriz de aplicação do método da borda

RANKING	INDICADORES				PONTOS
	A	B	C	D	
1º	8	7	6	0	3
2º	0	9	5	7	2
3º	0	5	10	6	1
4º	13	0	0	8	0

Fonte: OECD (2008)

De acordo com OECD (2008) pela simples aplicação do método da Borda os seguintes resultados são encontrados:

$$a = 8 \times 3 + 13 \times 0 = 24;$$

$$b = 5 \times 1 + 9 \times 2 + 7 \times 3 = 44;$$

$$c = 10 \times 1 + 5 \times 2 + 6 \times 3 = 38;$$

$$d = 6 \times 1 + 7 \times 2 + 8 \times 0 = 20$$

Neste exemplo acima, pela simples aplicação do método da Borda, o vencedor foi a alternativa “b” (OECD, 2008).

Em termos gerais porém, embora o método tenha sido aplicado com sucesso inicialmente, o método de Borda não respeita um dos mais importantes axiomas de Arrow (1951): o da independência em relação às alternativas irrelevantes.

De acordo com Gomes et al. (2009) a posição final de duas alternativas não é independente em relação às suas classificações em relação a alternativas irrelevantes. Tal fato pode gerar distorções, com destaque para a extrema dependência dos resultados em referência ao conjunto de avaliação escolhido e a possibilidade de manipulações pouco honestas.

5.4.2 Método de Condorcet

Posterior ao método da Borda foi desenvolvido um método mais avançado voltado para ordenação conhecido como Método Condorcet. Considerado precursor da atual escola francesa de multicritério os métodos de Condorcet são nomeados pelo matemático e filósofo francês do século XVIII, Marie Jean Antoine Nicolas Caritat, o marquês de Condorcet. Baseados em um processo interativo ao invés de uma cédula de votação, os métodos de Condorcet, ou métodos de paridade, são uma classe de métodos de votação ordenada que seguem o critério de Condorcet. Esses métodos comparam todo par de opções e a opção que supera todas as outras opções é a vencedora. Uma opção supera outra opção se a maioria dos votos a ordena em posição melhor do que a outra opção (OECD, 2008; POMEROL & BORBA-ROMEIRO, 2012).

O critério de Condorcet garante que todos eles dão o mesmo resultado na maioria das eleições (vencedor de Condorcet). As diferenças entre os métodos de Condorcet ocorrem em situações onde nenhuma opção supera todas as outras, implicando que existe um ciclo de opções que superam umas as outras,

chamado de paradoxo de Condorcet ou conjunto de Smith. Considerando um método de Condorcet genérico como sendo um método abstrato que não resolve esses ciclos, as versões específicas de métodos Condorcet que selecionam os vencedores caso não exista um vencedor de Condorcet são chamadas métodos de completação de Condorcet (OECD, 2008; POMEROL & BORBA-ROMEIRO, 2012).

Uma versão simples de Condorcet é o minimax onde se nenhuma operação supera todas, a opção que é superada por menos votos na pior superação vence. Outro método simples é o método de Copeland, em que o vencedor é a opção que vence a maioria das comparações par-a-par. O método de Schulze, também conhecido como "redução sequencial de Schwartz" e pares ordenados são dois métodos de Condorcet recentemente criados que satisfazem um grande número de critérios de sistemas de votação. Este método, menos simples, tem a vantagem de impedir distorções ao fazer com que a posição relativa de duas alternativas independa de suas posições relativas a qualquer outra. No entanto, pode conduzir ao chamado 'paradoxo de Condorcet', ou situação de intransitividade. Isso acontece quando a alternativa A supera a alternativa B, que supera a C, que por sua vez supera a alternativa A ('Tripleta de Condorcet'). Posterior ao método Condorcet em situações contudo onde apareça a intransitividade foi criado o **método Copeland**, considerado o mais coerente dos três (POMEROL & BORBA-ROMEIRO, 2012).

5.4.3 Método de Copeland

O método de Copeland ou o método de agregação par a par de Copeland é um método de Condorcet no qual os candidatos são ordenados pelo número de vitórias, menos o número de derrotas, em uma votação de maioria simples, com as alternativas ordenadas pelo resultado desta votação (POMEROL & BORBA-ROMEIRO, 2012). O Método COPELAND usa a mesma matriz de adjacência que representa o grafo do método de Condorcet. De acordo com Pomerol e Borba-Romero (2012) ele foi proposto pelos pesquisadores americanos de Copeland.

Os defensores argumentam que este método é mais compreensível para a população em geral, que geralmente está familiarizado com o equivalente esportivo. Em muitos esportes de equipe, as equipes com o maior número de vitórias em jogos de temporada regular chegam aos playoffs. No método calcula-se a soma das vitórias menos as derrotas, em uma votação por maioria simples. As alternativas são então ordenadas pelo resultado dessa soma.

O método de Copeland alia a vantagem de sempre fornecer uma ordenação total (ao contrário do método de Condorcet) ao fato de dar o mesmo resultado de Condorcet, quando este não apresenta nenhum ciclo de intransitividade. Quando esses ciclos existem, o método de Copeland permite fazer a ordenação e mantém a ordenação das alternativas que não pertencem a nenhum ciclo de intransitividade. Apesar de computacionalmente mais exigente que Borda, quando há necessidade de estabelecer uma relação de pré-ordem, ou ordem *latus sensu*, este método fornece sempre uma resposta (ao contrário do método de Condorcet) e, apesar de não eliminar, reduz bastante a influência de alternativas irrelevantes (GOMES JUNIOR ET AL., 2008). O método de Copeland pode ser considerado um compromisso entre as filosofias opostas de Borda e Condorcet, reunindo, dentro do possível, as vantagens dos dois e, por isso, foi a abordagem escolhida para esta pesquisa. Tais vantagens do Método Copeland tem levado pesquisadores a optar por ele em detrimento aos outros (Borda, Condorcet). A seguir a tabela apresenta a aplicação de método de Copeland em diversos problemas voltados para ordenação.

Tabela 20. Aplicação do método Copeland em diversas áreas do conhecimento

Autores	Detalhamento da aplicação
Junior e Mello (2010)	Utilização do método de copeland para avaliação dos pólos regionais do cederj
Caldas et al (2009)	Uso do método de Copeland hierárquico para localização de terminal multimodal de cargas.

Gomes et al (2009)	Avaliação de desempenho de agricultores familiares com o método multicritério de Copeland.
GOMES, Eliane Gonçalves et al. (2007)	Agregação ordinal de produtividades parciais: estudo de caso em agricultura familiar.
Valladares et al (2008)	Estudos de solos e componentes através da aplicação do método para seleção
Carvalho (2013)	Estudo da sustentabilidade hídrica de municípios
Araújo (2016)	Estudo voltado para obter uma ordenação final mais alinhada dos cenários de intervenção em relação à gestão das águas pluviais

Uma vez apresentado os sistemas de suporte a decisão em recursos hídricos, torna-se necessário retomar de forma mais detalhada a problemática relativa ao local de aplicação. Neste sentido a seguir é apresentada a problemática do semiárido, destacando de forma mais pontual a realidade atual dos recursos hídricos de forma integrada, em seus aspectos sociais e ambientais.

CAPÍTULO VI - (IN) SUSTENTABILIDADE DO SEMIÁRIDO

6.1 Problemática do Semiárido Brasileiro

De acordo Cirilo (2008) as dificuldades do semiárido brasileiro são mais difíceis de serem superadas do que outros semiáridos ao redor do mundo, isto em termos físicos e sociais. Em termos de fatores físicos o autor destaca os solos que são, em sua maior parte, muito rasos, com a rocha quase aflorante, o que compromete a existência de aquíferos, sua recarga e qualidade das águas, temperaturas elevadas conduzem a altas taxas de evaporação, poucos rios perenes, concentração populacional das mais altas entre os semiáridos do mundo geram pressões excessivas sobre os recursos hídricos. Já em relação ao social a região apresenta, até a década de 1990, um histórico de políticas públicas equivocadas, quando não ausentes, calcadas especialmente na implantação de pequenos reservatórios altamente vulneráveis às estiagens e perfuração de poços no cristalino. Aliada a esses equívocos, a falta de gestão das águas foi a tônica da manutenção do quadro regional crítico a cada seca. Como forma de aliviar o sofrimento das populações desassistidas, as soluções de sempre: carros-pipa para transporte de água, frentes de trabalho para assegurar-lhes alguma renda para sustento. Em síntese, medidas puramente paliativas.

Segundo Rebouças (1997) os adeptos das ações tradicionais de combate às secas como anormalidades físico-climáticas têm o hábito de rotular de utópico o que desconhecem ou não atende os seus interesses imediatos, tal como aconteceu com os planos de desenvolvimento regional da SUDENE. Dessa forma, a decisão finalmente tomada resulta de um processo de política de bastidores, no qual os participantes são indivíduos influentes que exercem vários tipos de pressões e contrapressões, dando solução conjuntural a problemas estruturais, geralmente, em nome do Estado. Em função da pressão da sociedade e da globalização da economia, a cidadania pelas águas na região

Nordeste torna-se parte importante da necessária e urgente mudança que deve se processar na cultura organizacional do Estado, da sociedade e das empresas em geral.

Neste sentido segundo Cirilo (2008) há um histórico de políticas públicas equivocadas que por anos foram calcadas em ações paliativas amparadas neste paradigma que a seca deve ser combatida como tal. Para Rebouças (1997) deve-se buscar o desenvolvimento de novos valores que ajudem indivíduos, organizações públicas e privadas a enfrentar as realidades sociais, ambientais e de desenvolvimento que se encontram em rápida transformação. A partir daí, fica mais viável desenvolver uma convivência normal e criativa com a seca, de estilo mais estrutural, geradora de iniciativas que potenciem hábitos coletivos de captação e uso mais eficiente da água disponível, de programar ações preventivas para tempos mais duros. Ou seja, a sustentabilidade dos recursos hídricos, deve ser buscada a partir de um avanço nos aspectos sociais.

Vieira (2002), considera portanto, a sustentabilidade hídrica do semiárido brasileiro como condição “sine qua non” para a concessão do desejado desenvolvimento sustentável e para tanto apresenta a necessidade de: a) Fomentar uma redistribuição interna dos recursos hídricos, com extenso uso de reservatórios de acumulação e regularização de vazões, interconexão de bacias, canais e adutoras, operação integrada de reservatórios, como o uso conjunto e racional de águas superficiais e subterrâneas; b) Desenvolvimento de um sistema regional de gerenciamento de recursos hídricos, compatibilizando as ações em bacias federais e estaduais, identificando modelos de gestão participativa adaptados ao semiárido e especialmente procurando soluções para os problemas comuns, tirando proveito das vantagens comparativas regionais; c) Estabelecimento de um fórum do semiárido seja ele no formato da câmara técnica do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, seja através de ações conjuntas, etc.; d) Busca pela capacitação de recursos humanos, não só para a criação de uma sistema de monitoramento geoambiental, mas também para a gestão integrada dos recursos naturais, com ênfase particular nos recursos hídricos; e) Aperfeiçoamento no aparato legal e institucional de modo a promover

perfeita harmonia entre os níveis de poder, simplificação processual das demandas judiciais e sobretudo solução de conflitos.

Uma vez evidenciado a busca pela sustentabilidade convém destacar que existem regiões no semiárido brasileiro onde a mesma se intensifica e observando as diversas bacias hidrográficas, percebe-se que a bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu tem se destacado em diversos aspectos desta problemática, uma vez que é uma das únicas bacias que está inserida totalmente no semiárido brasileiro (ANA, 2016).

6.2 Problemática da bacia hidrográfica do Piranhas-Açu

De acordo com a ANA (2016) na bacia do rio Piranhas-Açu, incluindo os já citados reservatórios Coremas-Mãe d'água e Armando Ribeiro Gonçalves, existem 46 reservatórios considerados estratégicos por apresentarem capacidade de armazenamento superior a 10 milhões de m³. Esse caráter estratégico advém do fato de que só a partir dessa capacidade o reservatório pode fazer frente a períodos de estiagem e realizar a passagem entre períodos chuvosos. Abaixo está a relação dos reservatórios estratégicos da bacia.

Tabela 21. Reservatórios da bacia Piranhas-Açu

Reservatório	Município	UF	Capacidade milhões m ³
Catolé I	Manaíra	PB	10,50
Timbaúba	Juru	PB	15,44
Saco	Nova Olinda	PB	97,49
Bruscas	Curral Velho	PB	38,21
Piranhas	Ibiara	PB	25,70
Bom Jesus II	Água Branca	PB	14,17
Jenipapeiro (Buiu)	Olho d'Água	PB	70,76
Queimadas	Santana dos Garrotes	PB	15,63
Cachoeira dos Alves	Itaporanga	PB	10,61
Cachoeira dos Cegos	Catingueira	PB	71,89
Coremas-Mãe D'água	Coremas	PB	1.358,00
Engenheiro Arcoverde	Condado	PB	30,59
São Gonçalo	Sousa	PB	44,60

Capoeira	Mãe d'Água	PB	53,45
Farinha	Patos	PB	25,74
Jatobá I	Patos	PB	17,52
Santa Luzia	Santa Luzia	PB	11,96
São Mamede	São Mamede	PB	15,79
Pataxó	Ipanguaçu	RN	24,37
Eng. Arm. R. Gonçalves	Assú	RN	2.400,00
Mendubim	Assú	RN	76,35
Boqueirão de Parelhas	Parelhas	RN	85,01
Caldeirão de Parelhas	Parelhas	RN	10,00
Esguicho	Ouro Branco	RN	21,57
Carnaíba	São João do Sabugi	RN	25,71
Sabugi	São João do Sabugi	RN	65,33
Várzea Grande	Picuí	PB	21,53
Passagem das Traíras	Jardim do Seridó	RN	48,86
Itans	Caicó	RN	81,75
Marechal Dutra	Acari	RN	40,00
Cruzeta	Cruzeta	RN	35,00
Dourado	Currais Novos	RN	10,32
Rio da Pedra	Santana do Mato	RN	12,43
Beldroega	Paraú	RN	11,37
Carneiro	Jericó	PB	31,29
Riacho dos Cavalos	Riacho dos Cavalos	PB	17,70
Tapera	Belém do Brejo do Cruz	PB	26,42
Baião	São José do Brejo do Cruz	PB	39,23
Escondido	Belém do Brejo do Cruz	PB	16,33
Santa Inês	Santa Inês	PB	26,12
Serra Vermelha I	Conceição	PB	11,80
Condado	Conceição	PB	35,02
Bartolomeu I	Bonito de Santa Fé	PB	17,57
Eng. Avidos	Cajazeiras	PB	255,00
Lagoa do Arroz	Bom Jesus	PB	80,22
Pilões	São João do Rio do Peixe	PB	13,00

Considerando que o potencial de construção de açudes está bem próximo do ponto de esgotamento, além do qual a construção de novos reservatórios, pelo menos do ponto de vista hidrológico, provocaria “deseconomias” através do aumento de perdas por evaporação, um desafio que se impõe é a otimização do uso da água armazenada, seja através da introdução de rotinas de operação mais racionais, seja pela melhoria técnica dos processos produtivos dos usuários, principalmente irrigantes e concessionárias de abastecimento. Freitas

et al (2012) comenta que devido o grande número de construção de açudes na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu tem-se provocado esgotamento, tanto do ponto de vista hidrológico como ambiental, principalmente, através do aumento de perdas hídricas por evaporação, assoreamento, desaparecimento das matas ciliares e animais que vivem às margens dos rios. O uso irracional da água armazenada tem sido uma das grandes preocupações dos órgãos públicos e das organizações não governamentais ligadas a esse setor. Ainda em termos de problemática ambiental segundo Ramalho (2012) a própria construção da barragem Armando Ribeiro Gonçalves tem efeitos preocupantes em termos de impactos ambientais negativos com o barramento do rio Piranhas-Açu é de uma magnitude muito mais abrangente tanto no contexto ambiental como socioeconômico, tendo em vista os impactos causados ao meio físico, biótico e humano. Com as mudanças ocasionadas pela construção do reservatório, tendo em vista as condições da vulnerabilidade do meio físico, onde a barragem foi construída, esses impactos são muito mais relevantes, uma vez que a intensidade da erosão, nas áreas semiáridas é consideravelmente forte. Portanto, mesmo com a busca por algumas soluções da problemática hídrica e social ao longo das décadas percebe-se que os resultados foram limitados e tal problemática tem aumentado com o crescimento da população, culminando assim em problemas de disponibilidade hídrica (tabela a seguir, figura “h” e “i”), bem como a poluição dos cursos de água (tabela a seguir, figura “g”) existentes. Ainda em relação à qualidade das águas Melo (2008) afirma que embora tenha havido na última década a implantação do programa de monitoramento dos reservatórios, tal situação ainda continua crítica. Corroborando com este fato Queiroz et al (2013) analisando o oxigênio dissolvido em corpo hídrico da bacia observou certo grau de degradação da qualidade da água. Tal situação tem gerado uma problemática até de floração de cianobactérias nos reservatórios da Bacia. Essas bactérias podem produzir toxinas, que não são removidas por métodos de tratamento de água convencionais, e que podem inclusive contaminar peixes tornando-os impróprios ao consumo (FREITAS ET AL, 2012; ANA, 2016). Considerando que a água acumulada nos reservatórios é a principal, senão a única fonte disponível para abastecimento humano e animal,

faz-se necessário uma priorização de investimentos por parte do poder público para saneamento ambiental.

Em termos ambientais para Freitas et al (2012) o processo de degradação se agrava ainda mais em decorrência das queimadas, do desmatamento, da mineração e da agroindústria, tendo em vista que essas atividades humanas tendem a acelerar a erosão e aumentar o risco de assoreamento das calhas de drenagem e reservatório. Considerando os aspectos climáticos de regiões semiáridas, caracteristicamente afetadas por longo período de estiagem, as alterações ambientais tendem a ser mais visíveis, principalmente quando o homem interfere, uma vez que, essas áreas representam fragilidades para degradação - fenômeno decorrente da devastação da cobertura vegetal e da erosão acelerada. De acordo com a ANA (2016) a cobertura vegetal da bacia em sua maior parte se encontra bastante antropizada em decorrência da abertura de áreas para exploração agrícola e principalmente pela exploração de lenha como fonte energética para olarias, panificadoras e uso doméstico. Além da perda de biodiversidade, a remoção da vegetação sem critérios de manejo, expõe o solo à ação erosiva das chuvas provocando o transporte de partículas para os corpos hídricos e causando o gradual assoreamento dos reservatórios da região. Por conta desse padrão de ocupação humana a região do Seridó Potiguar, que compreende a parte oriental da bacia, nas proximidades dos municípios de Caicó/Brasil, tornou-se um dos focos de desertificação presentes no país, demandando ações específicas para reverter o problema. Corroborando com este fato Melo (2008), Lima e Lima (2009) e Fernandes (2010) comentam que o desmatamento e queima oriunda da indústria cerâmica da bacia (tabela a seguir, figura “a” e “b”), com o conseqüente assoreamento dos córregos e rios presentes na bacia tem provocado danos consideráveis ao meio, com a situação mais preocupante no município de Cruzeta/Brasil (com 63% de assoreamento) e em Currais Novos/Brasil (com cerca de 44%) (MELO, 2008; LIMA E LIMA, 2009; FERNANDES, 2010). Existe, para além do problema advindo do ceramista, impactos advindos do setor mineral, como a prática de garimpos (por vezes clandestinos) e problemas ligados quanto ao uso da terra (tabela a seguir, figura “c”), como o cultivo agrícola em locais inadequados (LIMA E LIMA, 2009; FERNANDES, 2010).

Já em termos de gestão Amorim et al (2016) por sua vez amplia a questão da problemática hídrica da bacia apresentando o problema de conflito pelo uso da água oriundo da escassez. Para os autores há uma clara necessidade de uma melhor relação entre os gestores da bacia, bem como a criação de ambientes mais participativos haja vista com a extinção de um acordo formalizado na Resolução nº 687/2004 houve acomodação natural dos gestores da bacia em função do período úmido verificado na região.

Melo (2008) por sua vez destaca que o principal problema da bacia hidrográfica não está relacionado a ausência de ações setorializadas (uma vez que a região tem sido foco de programas de adução hídrica), mas a análise coerente do efeito produzido pelas políticas públicas na sustentabilidade da bacia. A seguir um trecho onde o autor critica tais ações públicas e destaca a busca pela sustentabilidade:

“Atualmente, o principal programa em execução pela SERHID é o de adutoras, com vistas a desconcentrar a água do Estado do RN, levando-a às comunidades dos municípios mais carentes desse recurso natural, em atendimento ao Programa PROÁGUA SEMI-ARIDO [...] No entanto, tais programas não são autossustentados, pelo que se faz necessário crítica e sugestão de ações, programas e projetos autossustentáveis a serem implantados na região [...]. Um exemplo de projeto (inviável) em estudo pela SERHID é o “Eixo de Integração do Seridó”, que tem por objetivo movimentar as águas, transpondo-as do rio Piranhas-Açu para a bacia do rio Seridó, visivelmente sem sustentabilidade [...]”.

Portanto, há uma profunda necessidade de entender o quanto as ações públicas em termos de gestão estão sendo sustentáveis e neste sentido metodologias voltadas para análise da sustentabilidade de forma mais ampla, contemplando a Gestão de recursos hídricos, tornam-se cada vez mais necessárias.

Tabela 22. Levantamento fotográfico¹⁶ georreferenciado da problemática da bacia Piranhas-Açu

	
Plantação em área declivosa, coordenadas 06°15,27.3"/ 036° 23'21.8".	Área desmatada para uso agrícola 06°15,27.3"/ 036° 23'21.8".
	
Local onde funcionava um garimpo 06°15'06.3" / 036° 22' 36.7".	Queimadas, coordenadas 06°15'09.3" / 036° 22' 36.7".

¹⁶ Em visita ao campo foram constatados diversos garimpos desativados e outros desenvolvendo suas atividades de maneira clandestina. Confirmando por enquanto a afirmação de estudo recente de pesquisadores (LIMA E LIMA, 2009:169) que constataram uma multiplicidade de atividades de garimpo na região, contribuindo para potencializar a deterioração.



Poluição em reservatórios (Açude Público – Acari – RN), coordenadas 06°24'11"/ 36°35'11".



Reservatório operando com volume morto, problemas de disponibilidade hídrica (Acari – RN) 06°24'11"/ 36°35'11".



Meio ambiente posterior a desativação do garimpo, coordenadas 06°16'44.1"/ 036°21'12.4".



Extração de argila com vias ao setor cerâmico, coordenadas 06°15'22,9"/ 036° 23'25,3".



Reservatório Dourados (em Currais Novos – RN), problema de disponibilidade hídrica e assoreamento.

06° 15' 39"/ 36° 31' 04"



Reservaório Armando Ribeiro Gonçalves (em Açu – RN), problema de disponibilidade hídrica e assoreamento.

5°40'31.70"S/ 36°53'00.01

Fonte: próprio autor

A situação dos recursos hídricos no semiárido nordestino, portanto, carece de maior atenção e neste sentido, caso nada seja feito, corre-se o risco de se contemplar um cenário por demais preocupante em um futuro próximo. A seguir o próximo apresenta a metodologia empregada na presente pesquisa.

CAPÍTULO VII - METODOLOGIA

7.1 Bacia hidrográfica do Piranhas-Açu

7.1.1 Características gerais

O rio Piranhas-Açu nasce na Serra de Piancó no estado da Paraíba e desemboca próximo à cidade de Macau no Rio Grande do Norte. Como a maioria absoluta dos rios do semiárido nordestino, à exceção do rio São Francisco e do Parnaíba é um rio intermitente em condições naturais. A perenidade de seu fluxo é assegurada por dois reservatórios de regularização construídos pelo DNOCS: O Coremas – Mãe d'Água, na Paraíba, com capacidade de 1,360 bilhões de m³ e vazão regularizada (Q 95%) de 9,5 m³/s e a barragem Armando Ribeiro Gonçalves (ARG), no Rio Grande do Norte, com 2,400 bilhões de m³ e vazão regularizada de 17,8m³/s (Q 90%) (ANA, 2016).

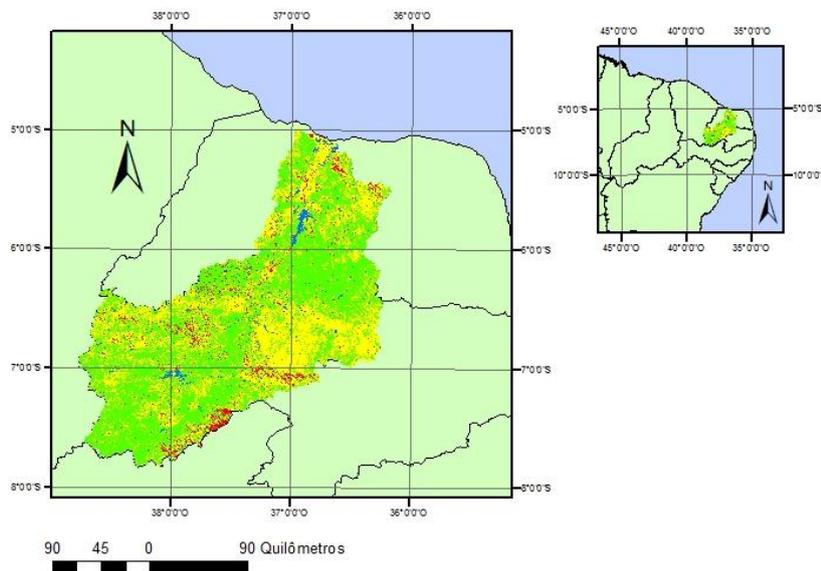


Figura 5.Localização da Bacia hidrográfica do Piranhas-Açu (Fonte: autor)

A bacia hidrográfica do rio Piranhas – Açu abrange um território de 42.900 km² distribuído entre os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, onde vivem aproximadamente 1.552.000 mil habitantes. A agropecuária é a principal atividade econômica da região, onde se destaca a pequena agricultura de subsistência de feijão, milho consorciado e a pecuária extensiva. A bacia está totalmente inserida em território semiárido, com precipitações médias variando entre 400 e 800 mm anuais concentradas entre os meses de fevereiro a maio. A concentração das chuvas em poucos meses do ano, conjugada a geomorfologia da região, caracterizada por solos rasos formados sobre um substrato cristalino, com baixa capacidade de armazenamento é responsável pelo caráter intermitente dos rios da região. Além disso, o padrão de precipitação tende a apresentar uma forte variabilidade inter anual, ocasionando a alternância entre anos de chuvas regulares e anos de acentuada escassez hídrica, levando à ocorrência de secas hídricas. Por outro lado as taxas de evapotranspiração são bastante elevadas, podendo chegar a mais de 2000 mm/ano, o que ocasiona um déficit hídrico significativo e se constitui em fator chave a ser considerado na operação dos reservatórios da região (ANA, 2016).

Em termos socioeconômicos a Bacia abrange, completa ou parcialmente, mais de 100 municípios. Nesses municípios vivem aproximadamente 1.280.000 habitantes, 67% deles na Paraíba. A taxa média de urbanização na bacia fica em torno de 66% e a grande maioria dos municípios (75%) tem menos de 10.000 hab. A maior cidade da Bacia é Patos. Outras cidades importantes são Sousa, Cajazeiras e Pombal na Paraíba, e Caicó, Açu e Currais Novos no Rio Grande do Norte. O IDH médio dos municípios da Bacia está em torno de 0,66.

7.2 Procedimentos Metodológicos

A metodologia aplicada pode ser dividida em quatro etapas, a primeira relativa aos cálculos dos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas e as outras três relativas à aplicação da análise multicritério e multidecisor.

Na etapa inicial, foi feita a análise voltada para os cálculos dos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas. Neste momento foram feitas estimativas de valores com base em Santos et al (2004) voltada para estudos de bacias hidrográficas¹⁷ a partir de função quadrática (detalhes vide seção específica), com vistas a alimentar o modelo Pressão-Estado-Reposta¹⁸. Neste momento também houve a necessidade de elaboração de estudo voltado para uso do solo, haja vista a necessidade de alimentar o indicador de meio ambiente¹⁹ (Environment Press Index – EPI/ e o percentual de área de floresta) e neste sentido foi feita a classificação supervisionada no software ArcGIS 10.5 (detalhes vide seção específica). Por fim foi usada informação secundária oriunda do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Piranhas-Açu de 2016.

Na segunda etapa foi procedida a análise multicritério a partir do estabelecimento de pesos específicos para cada indicador por decisor. Neste momento foi coletado o valor dos pesos a partir de aplicação de questionário aos membros do Comitê de Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu, em reunião ocorrida em meados de 2016, na cidade de Caicó – RN, onde para coleta dos pesos foi aplicado um questionário composto pelos 15 indicadores, formado por sua vez por perguntas voltadas para o grau de importância de determinado indicador.

Posterior a definição dos pesos foi feita a introdução de cada peso no Software Visual Promethee 1.4, juntamente com a introdução das funções de preferência (escolhida entre 6 disponíveis) no Software. O critério de introdução seguiu a linha do Carvalho (2013) em pesquisa voltada para gestão de recursos hídricos.

Na terceira etapa por sua vez, de posse dos resultados dos fluxos oriundos do Software Visual Promethee, foi feita a partir do Software Excel usando a lógica do método Copeland. No software foram elaboradas a partir de cada cenário a aplicação do método e neste sentido foi procedida uma

¹⁷ Por sua vez para os indicadores de Vida e Política (Life – L e Police – P) feito um estudo com vista a estimar o valor para os anos de 2005 e 2009, haja vista os indicadores do índice de desenvolvimento humano (IDH) só contemplarem os anos de 1991, 2000 e 2010. Neste sentido seguindo a orientação de Santos et al (2004) para o estudo de bacias hidrográficas foi usado a função quadrática para estimar os anos 2005 e 2009.

¹⁸ Para tanto foram selecionados dados oriundos do Plano de Bacias Hidrográficas da Bacia Piranhas-Açu (ANA, 2016) para os indicadores de hidrologia (hydrology).

¹⁹ Para os indicadores relativos ao meio-ambiente (E- Environment) foi feito um estudo para a classificação supervisionada do uso da terra com o uso do software Arcgis 10.5 a partir de imagens de satélite Landsat 5 adquiridas junto ao United States Geological Survey (USGS, 2016).

classificação de desempenho por sub-bacia hidrográfica, apresentando suas vitórias e derrotas na comparação par a par.

Na quarta e última etapa com base na classificação de desempenho de cada sub-bacia hidrográfica foi procedido o ranking final, apresentando desde a sub-bacia mais sustentável, quanto a menos sustentável. A figura a seguir apresenta cada etapa e suas principais características.

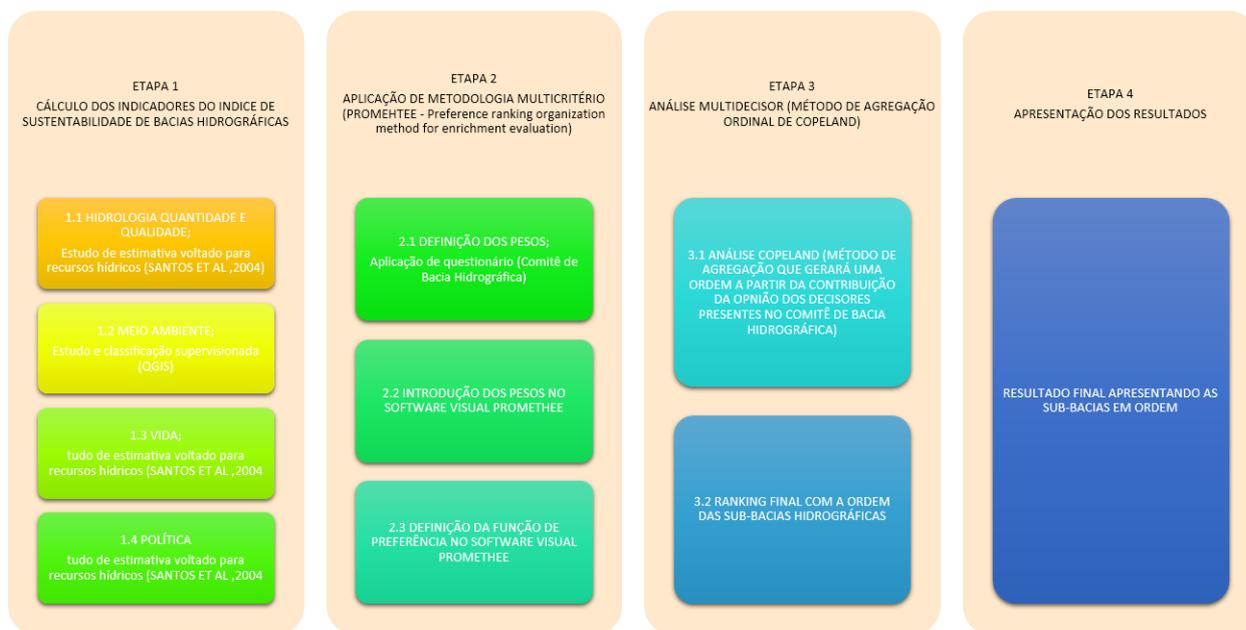


Figura 6. Modelo proposto

Uma vez apresentada a metodologia proposta²⁰, a seguir será apresentado o detalhamento de cada etapa da metodologia proposta.

7.3.2 Indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (WSI – WatershedSustainability Index)

Com vias a munir o programa hidrológico das Nações Unidas de um índice que pudesse contemplar a análise de recursos hídricos (em nível de bacia hidrográfica) Chaves e Alipaz (2007) elaboraram um índice a partir de quatro

²⁰ Para melhor visualização há um fluxograma no Anexo V

conjunto de indicadores, hidrologia (“H” de “hidrology”), meio ambiente (“E” de “environment”), vida (“L” de “life”) e política (“P” de “police”), formando o acrônimo HELP (palavra em inglês para *socorro*). A seguir o detalhamento dos indicadores que compõe o índice.

Tabela 23. Indicadores e parâmetros do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (CHAVES E ALIPAZ, 2007)

	Pressão	Estado	Resposta
Indicadores	Parâmetros		
Hidrologia	Varição da disponibilidade hídrica percapita nos últimos cinco anos	Disponibilidade hídrica percapita	Melhorias na eficiência no uso da água no período
	Varição na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) nos últimos cinco anos	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO5) média (longo prazo)	Melhorias no tratamento de esgoto no período
Meio ambiente	Indicador de pressão ambiental (EPI, Environmental Pressure Indicator) da bacia	Porcentagem da bacia com vegetação natural	Evolução em termos de conservação da bacia (reservas, boas práticas de manejo)
Vida	Varição do índice de desenvolvimento humano da bacia (IDH) nos últimos 5 anos	Índice de desenvolvimento humano da bacia – IDH	Evolução no índice de desenvolvimento humano da bacia no período
	Varição no índice de desenvolvimento humano, no quesito	Capacidade legal e institucional em	Evolução dos gastos da gestão integrada dos

Política	educação (IDH- educação)	termos de Gestão Integrada da Bacia	recursos hídricos (GIRH) no período
Nota: WSI – Índice de Sustentabilidade de Bacias; DBO5 – Demanda bioquímica de Oxigênio de cinco dias; IDH – Índice de Desenvolvimento Humano; GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos.			

A tabela, acima, apresentou os parâmetros do índice (WSI) relativos a cada um dos indicadores. Cada um dos parâmetros é dividido em três colunas, contemplando Pressão, Estado e Resposta. A vantagem do uso do modelo (Pressão, Estado e Resposta) é que se incorpora o processo de causa e efeito, socorrendo a sociedade “stakeholders” e os decisores políticos para ver as interconexões entre os parâmetros. O método é aplicado na bacia hidrográfica selecionando um período de cinco (ou quatro anos) de forma que possa ser feito um acompanhamento de sua evolução. Vale salientar que para efeito da presente tese de posse dos valores calculados dos indicadores o passo seguinte será alimentar a análise multicritério e depois multidecisor. Assim sendo o cálculo do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) da maneira direta (ou seja, sem aplicação conjunta com análise multicritério e multidecisor) será feita apenas a título de comparação (apresentada nos resultados). Nestes termos, convém destacar que embora o modelo direto do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) possui uma limitação de área de aplicação de 2500Km² de forma geral, contudo, em regiões semiáridas, conforme destaca Chavez e Alipaz (2007), pesquisas clássicas em gestão de bacias hidrográficas, abrem margem para aplicação em sub-bacias hidrográficas maiores (como algumas encontradas na presente tese), tendo como linha de argumentação as alterações oriundas da diferença de disponibilidade hídrica (dentre outros fatores). Portanto, embora em sub-bacias maiores que 2500km² em cenários quaisquer haja um problema em relação a análise da realidade da bacia, dada sua amplitude que pode mitigar a realidade da mesma. Em regiões semiáridas tal cenário pode se ampliar para bacias maiores.

7.3.3 Método multicritério Promethee

Dentre as várias versões do método Promethee²¹ (I,II, V etc...) seguindo o pensamento de Carvalho (2013) decidiu-se selecionar o método PROMÉTHEE II para trabalhar a problemática do estudo por sua vantagem em requerer uma informação adicional muito clara, que pode ser facilmente obtida e gerenciada tanto pelo decisor como pelo analista destacando suas características relacionadas a objetividade e flexibilidade. E se adequando, neste sentido, de forma relevante ao padrão do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI), marcado pela necessidade de fácil aplicação. Em termos de método, para efeito da presente aplicação duas etapas se fazem necessárias: a) a definição da função de preferência e; b) a definição dos pesos dos indicadores.

7.3.3.1 Definição da função de preferência

No método Promethee duas etapas são essenciais para a análise correta. Primeiro o estabelecimento dos pesos de cada indicador (critério) e posteriormente a definição de qual função de preferência será usada para cada indicador (critério). A seguir o detalhamento de cada função de preferência.

²¹ É interessante ainda destacar que a série do método (embora com numerações ordinais I, II, etc) foi elaborada a partir de uma lógica de aplicação, ou seja, o modelo V, não está mais "avançado" que o I ou II, pelo contrário. Cada tipo é específico para determinado uso.

Tabela 24. Detalhamento do PROMETHEE

TIPO	CARACTERÍSTICA	FUNÇÃO PARA O CRITÉRIO I	GRÁFICO	PARÂMETROS NECESSÁRIOS
I	<p>□□Tipo I: Não existe preferência entre a e b, somente se $f(a) = f(b)$. Quando esses valores são diferentes, a preferência é toda para a alternativa com o maior valor.</p>	<p>Usual</p> $P_I(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } x_i = 0 \\ 1 & \text{se } x_i \neq 0 \end{cases}$		----
II	<p>□□Tipo II: Considera-se uma área de diferença constituída de todos os desvios entre $f(a)$ e $f(b)$ menores que q. Para os desvios maiores a preferência é total.</p>	<p>Tipo U</p> $P_{II}(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } x_i \leq q_i \\ 1 & \text{se } x_i > q_i \end{cases}$		q_i
III	<p>□□Tipo III: A intensidade das preferências aumenta linearmente até o desvio entre $f(a)$ e $f(b)$ alcançar p. Além deste valor, a preferência é total.</p>	<p>Tipo V</p> $P_{III}(x_i) = \begin{cases} x_i /p_i & \text{se } x_i \leq p_i \\ 1 & \text{se } x_i > p_i \end{cases}$		p_i
IV	<p>□□Tipo IV: Não existem preferências entre a e b, quando o desvio entre $f(a)$ e $f(b)$ não excede q;</p>	<p>Tipo Escada</p> $P_{IV}(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } x_i \leq q_i \\ \frac{1}{2} & \text{se } q_i < x_i \leq p_i \\ 1 & \text{se } x_i > p_i \end{cases}$		q_i, p_i

	entre q e p , é considerado um valor de preferência médio (0,5); depois de p a preferência é total.				
V	<p>□□Tipo V: Entre q e p a intensidade das preferências aumenta linearmente. Fora deste intervalo, as preferências são iguais ao caso anterior.</p>	Tipo V com indiferença	$PV(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq q_i \\ (x - q_i) / (p_i - q_i) & \text{se } q_i < x \leq p_i \\ 1 & \text{se } x > p_i \end{cases}$		q_i, p_i
VI	<p>□□Tipo VI: A intensidade das preferências aumenta continuamente e sem descontinuidade, ao longo de x. O parâmetro s é a distância entre a origem e o ponto de inflexão da curva.</p>	Tipo Gaussiana	$PVI(x) = 1 - e^{-\frac{x^2}{2s^2}}$		s_i

Fonte: adaptado de Braga e Gobetti (2002)

Dentre estas funções de preferência apresentadas acima, usadas no Método PROMETHEE II para efeito da presente tese foi definido: função tipo I (U-usual), tipo II (U-Shape), tipos III (V-Shape) e tipo V (Linear). O suporte computacional foi realizado através *software Visual PROMETHEE 1.4®*.

7.2.2.2 Definição dos pesos dos indicadores

Essa etapa resultou em 27 simulações, ou seja, para cada decisor (que respondeu o questionário) foi gerada uma simulação. A ponderação dos pesos se deu, seguindo Carvalho (2013), a partir da resposta de questionário, sendo atribuído conforme a sequência a seguir.

Tabela 25. Definição dos pesos dos indicadores

Resposta do questionário	Valor
Muito importante	1
Importante	0,75
Média	0,5
Baixa	0,25
Nenhuma	0

Após o resultado obtido no PROMETHEE II foram elaboradas 27 matrizes, obtidas a partir das comparações paritárias com cada uma das sub-bacias hidrográficas, de modo a encontrar a etapa a seguir (ordenação multidecisor).

7.3.4 Método multidecisor Copeland

Após as simulações e obtenção de respectivo desempenho das sub-bacias hidrográficas segundo cada uma das opiniões dos especialistas procedeu-se a etapa seguinte que consistiu na ordenação final das sub-bacias hidrográficas através do Método COPELAND, considerando as comparações que foram feitas após a aplicação do PROMETHEE II. Nesta etapa foram construídas matrizes de comparações paritárias entre as sub-bacias hidrográficas e posteriormente a matriz final que apresenta o *ranking* final dos municípios. Finalmente a etapa final consistiu na análise dos resultados e considerações finais do estudo.

Para dar suporte à construção metodológica foram utilizados os seguintes softwares:

- a) *Visual PROMETHEE*, versão 1.4;
- b) O Microsoft Excel e o Microsoft Word da IBM.

7.4 Classificação metodológica da pesquisa

7.3.1 Amostragem, escala temporal e geográfica

A aplicação dos indicadores de sustentabilidade de bacias hidrográficas (do WSI) juntamente com métodos multicritério e multidecisor é alimentado de duas fontes: dados secundários e primários (através das entrevistas e estudos). Com relação aos dados primários, para aplicação das entrevistas (detalhado no anexo II) será usado o mesmo critério adotado por Carvalho (2013) na amostragem com vistas a composição de um índice voltado para sustentabilidade de recursos hídricos. As entrevistas são feitas com membros do Comitê de Bacia Hidrográfica do Piancó-Piranhas-Açu a partir de participação em reuniões do respectivo comitê. Em relação aos dados secundários (voltados para alimentar o modelo do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas –WSI) é feita busca em base de dados (mas especificamente o Plano de Recursos Hídricos da bacia Piranhas-Açu elaborado pela ANA) com vistas a composição do indicador hidrológico (série hidrológica e monitoramento da qualidade da água). O indicador ambiental por sua vez será determinado a partir da análise de imagens de satélite (com aplicações de técnicas de geoprocessamento, com vistas a composição do mapa de uso do solo) fornecidas pelo banco de dados do United States Geological Survey – USGS (na seção “earthexplorer”). Por sua vez o indicador “vida” será alimentado por informações do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Em relação aos aspectos políticos a pesquisa se utilizará de informações coletadas a partir da aplicação de questionários (dados primários, conforme já mencionado).

Embora os dados secundários oriundos dos Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica sejam relevantes em várias etapas da presente pesquisa, contudo é interessante ressaltar que será necessário a elaboração de

estimativas com vistas a adequar tais dados a realidade da aplicação do modelo pressão-estado-resposta. Um exemplo disto é a classificação supervisionada, elaborada no software ArcGis 10.5 a partir de imagens de satélite (anos 2005 e 2009), estimativa da Demanda Bioquímica de Oxigênio (a partir de dados de monitoramento da DBO) e estimativa de IDHM.

Em termos de escala temporal a análise se dará em relação ao período que compreende uma dinâmica de pressão, estado e resposta. E neste sentido foram usados dados mais atuais disponíveis para a bacia hidrográfica Piranhas-Açu oriundo do Plano de Recursos Hídricos cuja conclusão da elaboração data de 2016 (ANA, 2016). Tal plano (o mais atual da bacia) contempla um estudo (de disponibilidade hídrica) que vai até 2009. Como o índice de sustentabilidade de bacias hidrográfica é aplicado em períodos de 4 a 5 anos (alimentando um modelo pressão-estado-resposta) foi definido o período de 2005 a 2009.

Em relação a escala geográfica foi definido toda a bacia Piranhas-Açu haja vista a mesma ser formada por diversas sub-bacias, possuir sua área localizada em um ambiente semiárido considerado o mais problemático do mundo e possui um processo de participação ativa, através do Comitê de Bacia Hidrográfica no processo de tomada de decisão.

Uma vez levantadas as informações relativas aos indicadores de Hidrologia (H), Ambiente (E), Vida Humana (L) e Políticas Públicas (P) para a sub-bacia foi dada sequência à análise aplicando a análise multicritério e multidecisor. A seguir a tabela apresenta a fonte de dados para composição dos indicadores.

Tabela 26. Fonte de dados para composição do índice WSI

Indicador	Fonte
Hidrologia quantidade	Agência Nacional das Águas - ANA ²² /Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – CPRM
Hidrologia qualidade	Agência Nacional das Águas - ANA ²³
Ambiente	U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey USGS ²⁴
Vida	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE ²⁵
Política	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE ²⁶

Uma vez apresenta a metodologia a ser aplicada o capítulo que segue se desenvolve em torno dos resultados da metodologia aplicada. Destacando- se sobretudo discussões importantes relativas a temática.

²²Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu (ANA, 2016)

²³ Idem anterior.

²⁴ Imagens de satélite Landsat 5 coletadas no U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey , URL: <http://earthexplorer.usgs.gov>

²⁵ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2015) [WWW Document] URL <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>.

²⁶ Idem anterior.

CAPÍTULO VIII - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

8.1 Apresentação do Modelo e Validação na Área de Estudo

Nessa seção são apresentados os resultados dos indicadores que compõe o índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, em seguida são analisadas as características relacionadas aos membros do Comitê de Bacia Hidrográfica que participaram da pesquisa. Posteriormente, procede-se a aplicação dos indicadores na bacia hidrográfica Piranhas-Açu, seguido da análise multicriterial e multidecisor para definição do *ranking* final do modelo.

Os indicadores do índice de sustentabilidade de bacia hidrográfica usam dados secundários e dados primários. Para os dados primários da composição do mesmo foi feita a consulta ao Comitê de Bacia Hidrográfica para aplicação do questionário (participação da reunião ordinária do comitê nos dias 02 e 03 de junho de 2016).

Para além da coleta de dados para os indicadores qualitativos do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, a aplicação da análise multicritério (e multidecisor) necessita da ponderação de pesos de cada indicador e neste sentido na mesma reunião foi aplicado um questionário com vistas a ponderação dos pesos. A seguir será apresentando os resultados das entrevistas feitas através dos questionários no Comitê de Bacias Hidrográfica do Piancó-Piranhas-Açu.

8.1.1 Caracterização dos participantes da pesquisa

Nesta etapa pretendeu-se identificar o peso de cada variável segundo a percepção dos especialistas da área para qual o questionário de pesquisa foi enviado, na tentativa de evidenciar quais indicadores são mais expressivos de acordo com a opinião diferenciada, de modo a consubstanciar um modelo mais alinhado à realidade local. Para tanto o ambiente procurado para aplicação do

questionário foi o Comitê da Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu haja vista o mesmo ser formado (conforme o artigo 39 da LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997) por membros de diversos setores da sociedade, representando assim um ambiente propício para aplicação da metodologia (BRASIL, 1997). Neste termos foi aplicado o questionário na reunião ocorrida na cidade de Caicó/RN – Brasil, especificamente na 14º Reunião do Comitê de Bacia Hidrográfica da Bacia Piranhas-Açu, realizada nos dias 02 e 03 de Junho de 2016. Os resultados apresentados demonstram a opinião de 27 indivíduos.



Figura 7. Aplicação do questionário com vistas à análise dos pesos na 14º Reunião do Comitê de Bacia Hidrográfica da Bacia Piranhas-Açu

8.1.2 Detalhamento dos participantes da pesquisa

Dentre os entrevistados a participação maior ocorreu entre professores, técnicos e gestores, todos com 24,2% de participação nas respostas, totalizando cerca de 75% das participações totais, sendo os outros 25% divididos entre especialistas e a categorias “outros” que abrange quem não foi relacionando nas outras categorias.

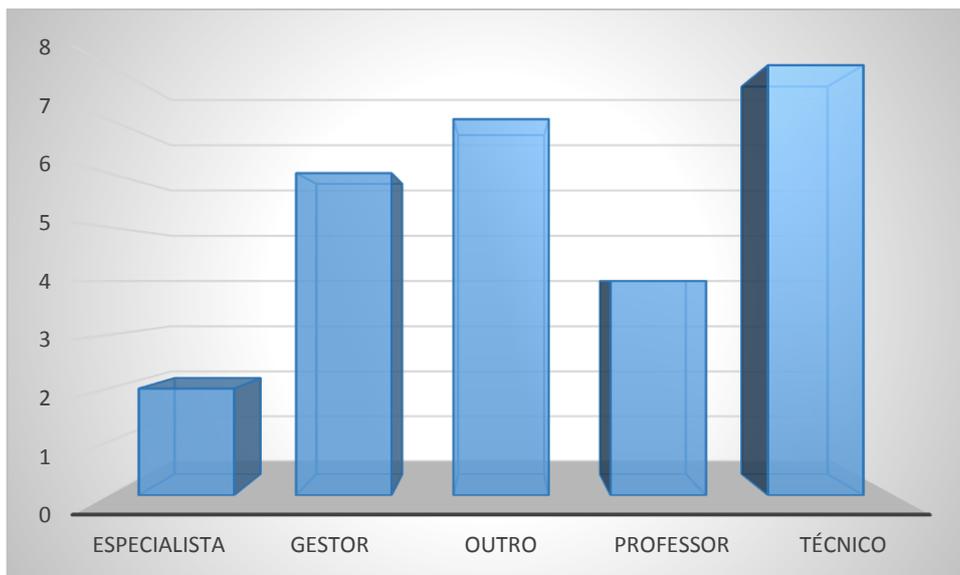


Figura 8. Profissão dos participantes da pesquisa

A reunião ordinária do Comitê é a reunião mais importante do ano (que registra maior número de participantes), sendo a mesma convocada com a devida antecedência. A seguir o registro da lista de participantes da reunião.


COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU
 Instituído pelo Decreto Presidencial s/nº de 29 de novembro de 2006.

14ª Reunião Ordinária do CBH Piancó-Piranhas-Açu
 Local: Auditório do STTR – Caicó/RN
 Endereço: Rua Antônio Simões de Azevedo, nº 23 - Bairro Paraiba.

Data: 02 e 03 de Junho de 2016
 Horário: 14h00 às 18h00 / 08h00 às 12h00

LISTA DE PRESEÇA

Nº	MEMBRO	SITUAÇÃO	REPRESENTAÇÃO	SEGMENTO	ASSINATURA
01	Anderson Felipe de Medeiros Bezerra	Titular	SRHU-MMA	PPF	
02	Daniel Martinelli Duarte	Suplente	SRHU-MMA	PPF	
03	Maria de Lourdes Barbosa de Sousa	Titular	DNOCs	PPF	
04	Dayse Fontenelle de Melo Antunes	Suplente	DNOCs	PPF	
05	Waldemir Fernandes de Azevedo	Titular	AESA/PB	PPE	
06	Francisco José de Brito Sousa	Suplente	AESA/PB	PPE	
07	Pedro Crisóstomo Alves Freire	Titular	SEIRHMACT/PB	PPE	
08	Maria das Dores de Sousa Abreu	Suplente	SUDEMA	PPE	
09	Demilson Lemos de Araújo	Titular	SEDAP	PPE	
10	José Marinho de Lima	Suplente	EMATER/PB	PPE	
11	Isalúcia Barros Cavalcanti Maia	Titular	SEMARH/RN	PPE	
12	Franklin Rocha de Azevedo Filho	Suplente	SEMARH/RN	PPE	
13	Nelson Césio Fernandes Santos	Titular	IGARN	PPE	
14	Radimilla Fernanda Avelino de Oliveira	Suplente	IGARN	PPE	

Figura 9. Lista de presença do Comitê na reunião ordinária

8.1.3 Etapa 1 - Indicadores do Índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas

O Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas está estruturado em 15 indicadores no modelo pressão-estado-resposta. Sendo cinco indicadores iniciais de pressão, cinco de estado e cinco de resposta. A tabela a seguir apresenta o detalhamento da fonte e origem de dados para cada indicador.

Tabela 27. Indicadores, fonte e origem dos dados da aplicação do índice

Indicadores do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas		
Indicador	Parâmetros de Pressão	Fonte dos dados e origem
Hidrologia (Pressão)	$\Delta 1$ - Variação na disponibilidade hídrica per-capita da bacia nos últimos 5 anos ($m^3/habitante \cdot ano$)	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Piranhas-Açu – 2016 (PRH) / CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais ²⁷ <i>Origem dos dados: Secundários</i>
	$\Delta 2$ - Variação na DBO5 (últimos 5 anos)	Artigo de periódico <i>Origem dos dados: Secundários</i>
Meio ambiente (Pressão)	E.P.I. (Rural e Urbano)	Estudo realizado a partir de classificação supervisionada de imagens de satélite <i>Origem dos dados: Primários</i>
Vida (Pressão)	Variação no I.D.H. renda (últimos 5 cinco)	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) <i>Origem dos dados: Secundários</i>
Política (Pressão)	Variação no I.D.H. educação (últimos 5 cinco)	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) <i>Origem dos dados: Secundários</i>
Indicador	Parâmetros de Estado	Fonte dos dados e origem
Hidrologia (Estado)	Disponibilidade hídrica per-capita ($m^3/habitante \cdot ano$)	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Piranhas-Açu – 2016 (PRH) / CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

²⁷A disponibilidade hídrica subterrânea se deu a partir da consulta do SIAGAS-CPRM (2016) <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php> a partir do método do Costa (2008) para bacias hidrográficas.

		Origem dos dados: Secundários ²⁸
	DBO5 média da bacia (mg/l)	Artigo de periódico Origem dos dados: Secundários
Meio ambiente (Estado)	% bacia com vegetação natural	Estudo realizado a partir de classificação supervisionada de imagens de satélite Origem dos dados: Primários
Vida (Estado)	I.D.H.M. bacia (ponderado por população)	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Origem dos dados: Secundários
Política (Estado)	Capacidade Institucional em Gestão Integrada de Recursos Hídricos (legal e organizacional)	Questionário aplicado no comitê da bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu Origem dos dados: Primários
Indicador	Parâmetros de Resposta	Fonte dos dados e origem
Hidrologia (Resposta)	Melhoramento em uso eficiente da água (últimos 5 anos)	Questionário aplicado no comitê da bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu Origem dos dados: Primários
	Melhoramento em tratamento adequado da água/esgoto (últimos 5 anos)	Questionário aplicado no comitê da bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu Origem dos dados: Primários
Meio ambiente (Resposta)	Evolução em áreas de conservação (áreas protegidas e boas práticas de manejo - BPM) nos últimos 5 anos	Questionário aplicado no comitê da bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu Origem dos dados: Primários
Vida (Resposta)	Evolução no I.D.H.M. (últimos cinco anos)	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Origem dos dados: Secundários
Política (Resposta)	Evolução nos gastos com Gestão Integrada de Recursos Hídricos (últimos 5 anos)	Questionário aplicado no comitê da bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu Origem dos dados: Primários

²⁸A disponibilidade hídrica subterrânea se deu a partir da consulta do SIAGAS-CPRM (2016) <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php> a partir do método do Costa (2008) para bacias hidrográficas.

8.1.3.1 Indicadores de Hidrologia

Os indicadores de hidrologia são seis (6) ao todo (dois de pressão, dois de estado e dois de resposta), compostos de duas categorias: quantidade e qualidade. A seguir a apresentação dos valores referentes ao mesmo.

8.1.3.1.1 Variação na disponibilidade hídrica

Um primeiro indicador referente ao índice de sustentabilidade de bacia hidrográfica é a variação na disponibilidade hídrica. A seguir é apresentada a variação da disponibilidade hídrica superficial para o período de estudo com base na ANA (2016) e subterrânea (CPRM, 2016).

Tabela 28.Variação na disponibilidade hídrica²⁹

Sub-bacia	Variação na Disp. Hídrica (longo prazo) (%)
Seridó	11.89467
Piancó	3.487688
Peixe	2.940306
Pataxo	2.89216
Paraú	-2.09106
Media Piranhas Potiguar	1.616049
Media Piranhas Paraibano Potiguar	8.858568
Media Piranhas Paraibano	4.123903
Espinharas	-0.21705
Difusa baixo piranhas	2.688053
Alto piranhas	3.669328

²⁹ O período de análise (conforme já mencionado) vai no modelo pressão-estado-resposta de 2005 a 2009.

Com base nos valores acima por sub-bacia hidrográfica segue os valores referentes à Variação na disponibilidade hídrica per-capita da bacia nos anos 2005-2009(m³/habitante*ano) por ordem do menor para o maior.

Tabela 29. Variação na disponibilidade hídrica (menor para o maior)

Sub-bacia	Variação na Disp. Hídrica (longo prazo) (%)
Paraú	-2.09106
Espinharas	-0.21705
Media Piranhas Potiguar	1.616049
Difusa baixo piranhas	2.688053
Pataxo	2.89216
Peixe	2.940306
Piancó	3.487688
Alto piranhas	3.669328
Media Piranhas Paraibano	4.123903
Media Piranhas Paraibano Potiguar	8.858568
Seridó	11.89467

Em termos de resultado percebe-se que a variação na disponibilidade hídrica apresentaram valores de variação consideráveis de uma sub-bacia para outra. Merece destaque a Seridó (com 11%) de variação positiva e a Media Piranhas Paraibano Potiguar (com 9% aproximadamente), em detrimento a Paraú (com variação negativa de 2%).

8.1.3.1.2 Disponibilidade hídrica

Posterior a variação da disponibilidade hídrica os indicadores do índice de sustentabilidade de bacia hidrográfica contemplam a própria disponibilidade hídrica. A seguir é apresentada a disponibilidade hídrica por sub-bacia hidrográfica (ANA, 2016; CPRM, 2016).

Tabela 30. Disponibilidade hídrica

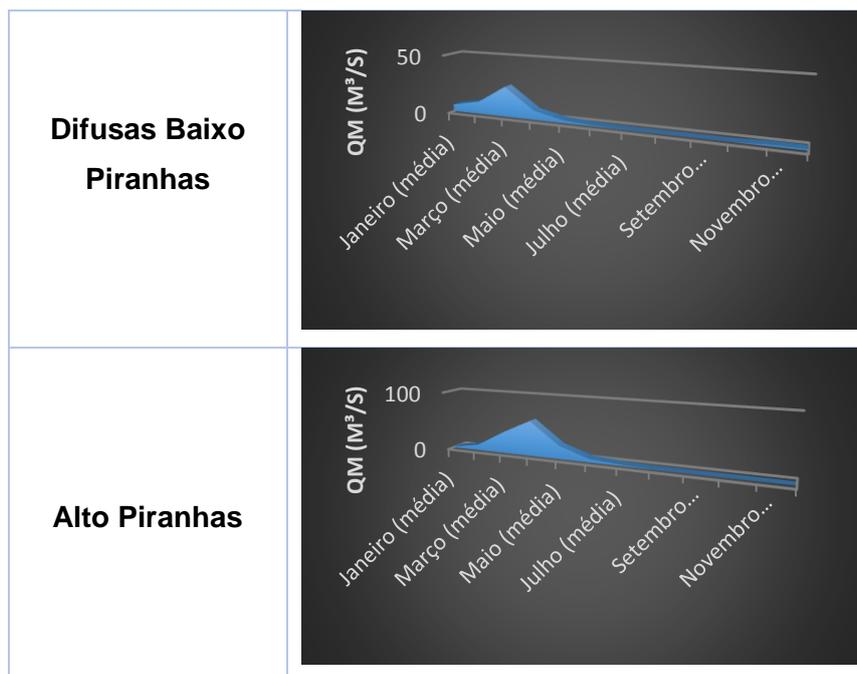
Disponibilidade Natural série 1962/2009											
Sub-bacia hidrográfica	Seridó	Piancó	Peixe	Pataxó	Pará	Média Piranhas Potiguar	Média Piranhas Paraibano Potiguar	Média Piranhas Paraibano	Espinharas	Difusas Baixo Piranhas	Alto Piranhas
Janeiro (média)	2	8	1	5	1	1	0	1	1	6	1
Fevereiro (média)	7	37	9	8	2	4	3	7	5	11	10
Março (média)	26	122	42	19	9	17	14	31	20	26	36
Abril (média)	81	204	66	9	5	46	40	73	48	8	60
Mai (média)	35	74	30	3	2	18	17	25	11	2	22
Junho (média)	10	21	8	2	1	6	5	7	3	1	6
Julho (média)	5	7	3	0	0	3	2	3	2	0	2
Agosto (média)	0,629	0,944	0,252	0,061	0,019	0,28	0,236	0,563	0,516	0,009	0,287
Setembro (média)	0,101	0,314	0,063	0,057	0,002	0,046	0,027	0,117	0,23	0,005	0,065
Outubro (média)	0,025	0,118	0,037	0,037	0,005	0,029	0,008	0,032	0,085	0,013	0,025
Novembro (média)	0,011	0,114	0,018	1	0	0	0	0	0	1	0
Dezembro (média)	0,103	0,377	0,125	1	0	0	0	0	0	0,937	0
Média	13,79475	39,6275	13,42425	4,029917	1,6985	7,81625	6,772416667	12,29375	7,573333333	4,566666667	11,46458333

A tabela a seguir apresenta a representação gráfica das séries de disponibilidade hídrica por sub-bacia hidrográfica.

Tabela 31. Gráficos de disponibilidade hídrica das sub-bacias hidrográficas

Sub-bacia hidrográfica	Gráfico
Sub-bacia hidrográfica do Seridó	
Sub-bacia hidrográfica do Piancó	
Sub-bacia hidrográfica do Peixe	
Sub-bacia hidrográfica do Pataxó	

<p>Sub-bacia hidrográfica do Paraú</p>	
<p>Média Piranhas Potiguar</p>	
<p>Médio Piranhas Paraibano Potiguar</p>	
<p>Médio Piranhas Paraibano</p>	
<p>Espinharas</p>	



8.1.3.1.3 Demanda bioquímica de oxigênio

Para além de valores de quantidade os indicadores do índice de sustentabilidade de bacia hidrográfica contemplam a própria qualidade em termos hídricos. Para os indicadores de qualidade da água são utilizados a variação na demanda bioquímica de oxigênio e a média da demanda bioquímica de oxigênio. A seguir é apresentada os valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio por sub-bacia hidrográfica (ANEXO IV).

Tabela 32. Demanda Bioquímica de Oxigênio

Sub-bacia	Varição na DBO (longo prazo)	DBO (2009)
Seridó	-40.9535	11.69003
Piancó	-64.7227	1.878279
Peixe	5.356308	1.412409
Pataxo	-6.72975	3.916179

Paraú	-4.03631	6.2662
Media Piranhas Potiguar	-100	2.180834
Media Piranhas Paraibano Potiguar	2.509407	1.474919
Media Piranhas Paraibano	365.36	2.126955
Espinharas	-16.4527	1.850158
Difusa baixo piranhas	0.053811	2.978333
Alto piranhas	6.826932	1.563428

A figura a seguir ilustra a variação nos valores de demanda bioquímica de oxigênio (longo-prazo) por sub-bacia hidrográfica a partir de dois anos 2005 e 2009.



Figura 10. Demanda Bioquímica de Oxigênio

Os outros dois indicadores de hidrologia são indicadores de resposta. Para tanto foi feita a coleta de tais informações diretamente no Comitê de Bacia Hidrográfica (a exemplo do que foi feito com a ponderação dos pesos). O resultado se encontra no tópico 8.1.4.2.

8.1.3.2 Indicadores de Meio Ambiente

Os indicadores de meio ambiente são três (3) ao todo: o índice de pressão ambiental, o percentual de área florestal e evolução em áreas de conservação (áreas protegidas e boas práticas de manejo).

8.1.3.2.1 Índice de Pressão Ambiental e percentual de área florestal

Para o indicador de pressão ambiental foi realizada uma classificação supervisionada das imagens de satélites Landsat 5, no software ArcGIS 10.5 com base no “Classificação de Probabilidade Máxima” tendo uma etapa anterior de (pré-processamento) composição de mosaico (devido a extensão de algumas sub-bacias ocuparem mais de uma imagem de satélite), correção atmosférica e corte usando o software Qgis 2.4. As imagens **Landsat 5** pertencentes à área de estudo foram usadas para classificar os tipos de cobertura da terra. A seguir a lista das imagens.

Tabela 33. Imagens de satélite

Imagem (USGS, 2016)	Descrição
Landsat 5	LT52150642005114(BANDAS 1; 2;3;4;5;6;7)
Landsat 5	LT5 215 065 2005 114(BANDAS 1; 2;3;4;5;6;7)
Landsat 5	LT5 216 064 2005 185 (BANDAS 1; 2;3;4;5;6;7)
Landsat 5	LT5 216 065 2005 185(BANDAS 1; 2;3;4;5;6;7)
Landsat 5	LT5 215 064 2009 189(BANDAS 1; 2;3;4;5;6;7)
Landsat 5	LT5 215 065 2009 189(BANDAS 1; 2;3;4;5;6;7)
Landsat 5	LT5 216 064 2009 212 (BANDAS 1; 2;3;4;5;6;7)
Landsat 5	LT5 216 065 2009 180 (BANDAS 1; 2;3;4;5;6;7)

O método de correção atmosférica aplicado foi o DOS1 (Dark Object Subtraction 1). Devido ao fato da bacia hidrográfica do Piranhas-Açu possuir uma considerável extensão foi preciso realizar a composição de um mosaico com uma série de quatro imagens (formadas por suas bandas). Neste sentido cada imagem foi agrupada no software QGIS versão 2.4. Posterior a esta fase tendo como base o “shape” das sub-bacias fornecidos pela ANA (2016) foi feito o

recorte das mesmas a partir do comando “Clip”. Após aplicação do método de correção atmosférica e corte, criou-se um raster virtual de composição RGB com as bandas 3,4 e 5 com vistas a aplicação da classificação.

Uma vez as imagens já cortadas e nas devidas bandas para leitura de uso da terra foi procedida a classificação supervisionada com uso do software Arcgis 10.5. Para Classificação Supervisionada foi feita a coleta dos pontos (amostras) nas categorias (Água, Urbano, Agrícola e Vegetação). As saídas classificadas foram validadas usando a extensão do ArcBrutile com base nas imagens de satélite do “Bing”. Um vez feita a coleta das amostras no “Gerenciador de Amostra de Treinamento” foi feito a reunião das categorias respectivas (Água, Urbano, Agrícola e Vegetação). Posterior a esta etapa foi definido o modo de classificação “Classificação de Probabilidade Máxima”. Uma vez feita a classificação na tabela de atributos partiu-se para definição das áreas. Para tanto criou-se um “novo campo” e com a “Calculadora de Campo” utilizou-se do comando “Count” vezes a área do pixel (para a presente imagem 30x30, ou seja 900). Feito isto definiu-se as áreas de categoria de uso da terra por Sub-bacia hidrográfica. A tabela a seguir apresenta os valores referentes à classificação.

Tabela 34. Estudo de uso do solo das sub-bacias hidrográficas do Piranhas-Açu

	Área (m²)		Índice de Pressão Ambiental (E.P.I.)	Porcentagem de vegetação natural em relação à área total da sub-bacia hidrográfica
Sub-bacia hidrográfica do Seridó	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água	1. Água	13,30337	46,98946419
	80718300	118986300		
	2. Urbano	2. Urbano		
42193800	45577800			

	3. Agrícola	3. Agrícola		
	4296998000	5095664000		
	4. Floresta	4. Floresta		
	5503076000	4662758000		
Sub-bacia hidrográfica do Piancó	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água	1. Água	-6,32173	68,3850987
	119400300	149680800		
	2. Urbano	2. Urbano		
	347818500	407170800		
	3. Agrícola	3. Agrícola		
	3347226000	2352845000		
	4. Floresta	4. Floresta		
5389116000	6293864000			
Sub-bacia hidrográfica do Peixe	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água	1. Água	-23,5362	48,8350268
	30389400	25154100		
	2. Urbano	2. Urbano		
	280470600	143330400		
	3. Agrícola	3. Agrícola		
	1557264000	1585669000		
	4. Floresta	4. Floresta		
1560302000	1674273000			
Sub-bacia hidrográfica do Pataxó	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água	1. Água	11,40434	51,53187236
	17674200	32155200		
	2. Urbano	2. Urbano		
	74550600	56809800		
	3. Agrícola	3. Agrícola		
	585952200	859039200		
	4. Floresta	4. Floresta		
1277756000	1007929000			
Sub-bacia hidrográfica do Paraú	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água			

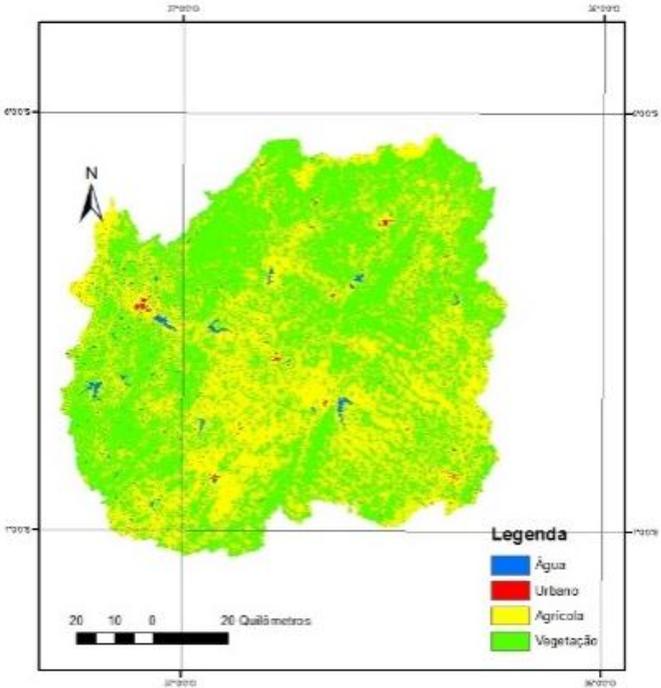
	21618900	20.53894018	-17,739	43,90297815
	2. Urbano			
	34825500	-26.64315911		
	3. Agrícola			
	489445200	-8.834761035		
	4. Floresta			
	427227300	15.20821097		
Sub-bacia hidrográfica do Médio Piranhas Potiguar	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água	1. Água	-49.203	66,3533464
	152742600	176502600		
	2. Urbano	2. Urbano		
	216162900	93348900		
	3. Agrícola	3. Agrícola		
		919750500		
	4. Floresta	4. Floresta		
1592009000	2345971000			
Sub-bacia hidrográfica do Médio Piranhas Paraíba Potiguar	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água	1. Água	-25,7986	67,73703485
	22281300	49601700		
	2. Urbano	2. Urbano		
	192134700	187132500		
	3. Agrícola	3. Agrícola		
	955818000	487528200		
	4. Floresta	4. Floresta		
1074639000	1520610000			
Sub-bacia hidrográfica do Médio Piranhas Paraíba	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água	1. Água	50,33064	74,02056875
	13982400	25876800		
	2. Urbano	2. Urbano		
	43008300	106958700		
	3. Agrícola	3. Agrícola		
	1121582000	582865200		
	4. Floresta	4. Floresta		

	1716605000	2143027000		
Sub-bacia hidrográfica do Espinharas	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água	1. Água	34,37009	47,56
	27956700	42205500		
	2. Urbano	2. Urbano		
	334494900	167634900		
	3. Agrícola	3. Agrícola		
	637959600	1394735000		
	4. Floresta	4. Floresta		
2290877000	1565332000			
Sub-bacia hidrográfica Difusas do Baixo Piranhas	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água	1. Água	18,78415	42,02217171
	125471700	115562700		
	2. Urbano	2. Urbano		
	161931600	111541500		
	3. Agrícola	3. Agrícola		
	1069712000	1804459000		
	4. Floresta	4. Floresta		
2310143000	1541062000			
Sub-bacia hidrográfica do Alto Piranhas	2005	2009	E.P.I.(%)	(%) Vegetação natural (2009)
	1. Água	1. Água	23,44297	58,94694819
	20765700	33226200		
	2. Urbano	2. Urbano		
	40212000	49249800		
	3. Agrícola	3. Agrícola		
	779276700	969502500		
	4. Floresta	4. Floresta		
1722231000	1510507000			

Uma vez classificadas as imagens de satélite foi elaborado o mapa de uso da terra atual. Aqui o mapa de uso do solo (proposto na metodologia da primeira etapa da pesquisa) foi eficaz para alimentar a segunda fase, haja vista ambas

as metodologias (tanto a de manejo integrado de bacias hidrográficas, nos termos do Rocha e Kurtz (2001)) quanto do Índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (CHAVEZ E ALIPAZ, 2007), requerem a composição do mapa para alimentar seus indicadores. A seguir o detalhamento do uso do solo por sub-bacia hidrográfica.

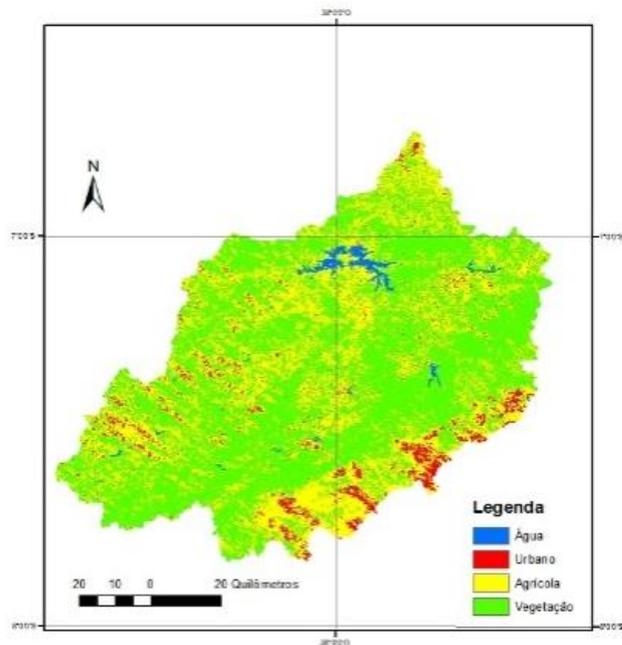
Tabela 35. Mapa de uso do solo

Unidade hidrográfica	Período
Sub-bacia do Seridó (2005)	 <p>Mapa de uso do solo da Sub-bacia do Seridó em 2005. O mapa mostra a distribuição espacial de quatro tipos de uso: Água (azul), Urbano (vermelho), Agrícola (amarelo) e Vegetação (verde). O mapa inclui uma escala de 0 a 20 quilômetros, uma seta norte e coordenadas geográficas.</p>

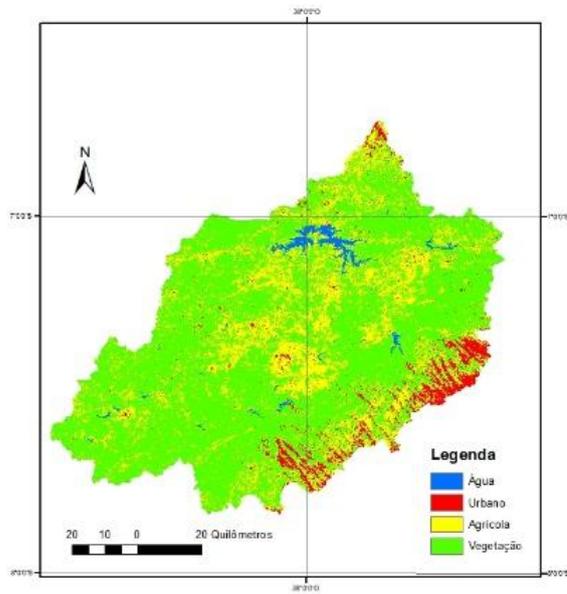
Sub-bacia do Seridó (2009)



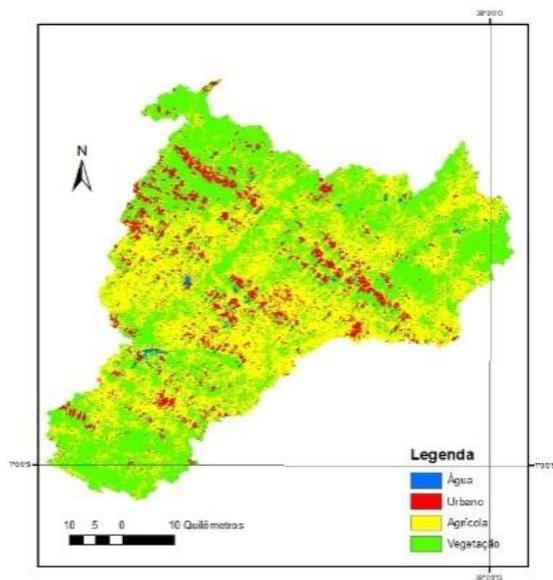
Sub-bacia do Piancó (2005)



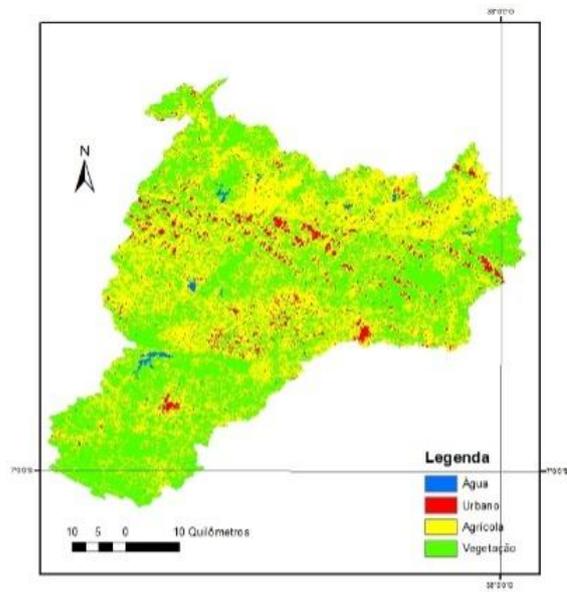
**Sub-bacia do
Piancó (2009)**



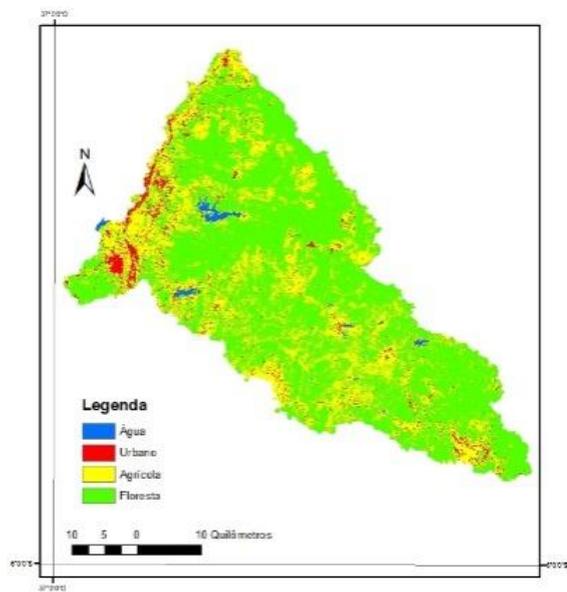
**Sub-bacia do
Peixe (2005)**



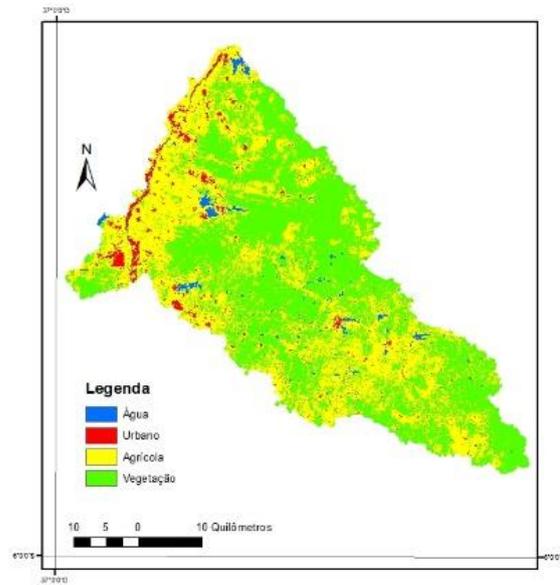
Sub-bacia do Peixe (2009)



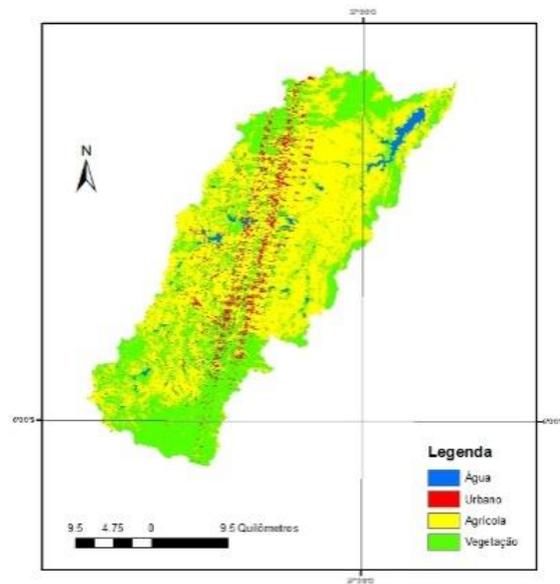
Sub-bacia do Pataxó (2005)



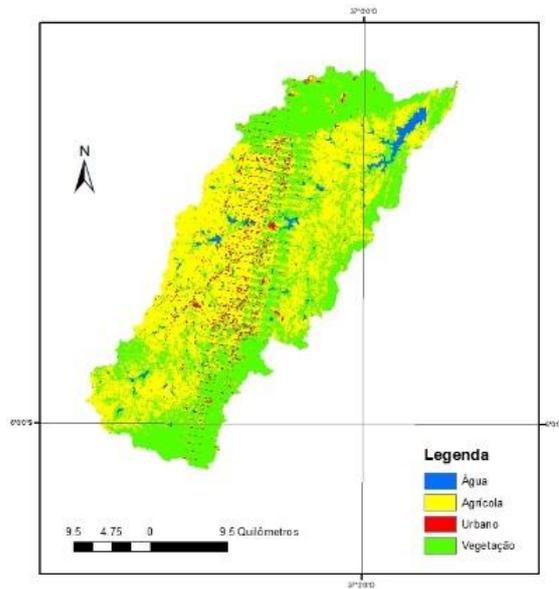
Sub-bacia do Pataxó (2009)



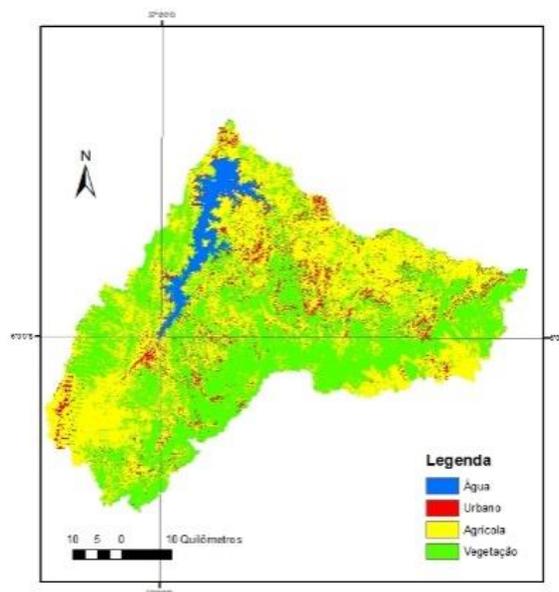
Sub-bacia do Paraú (2005)



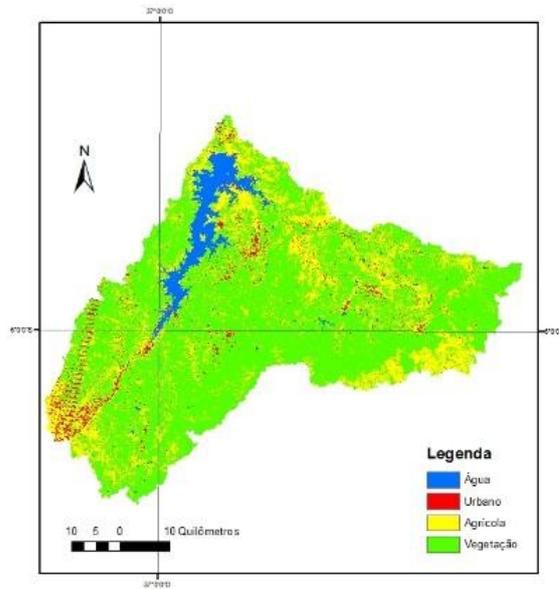
**Sub-bacia do
Parauí (2009)**



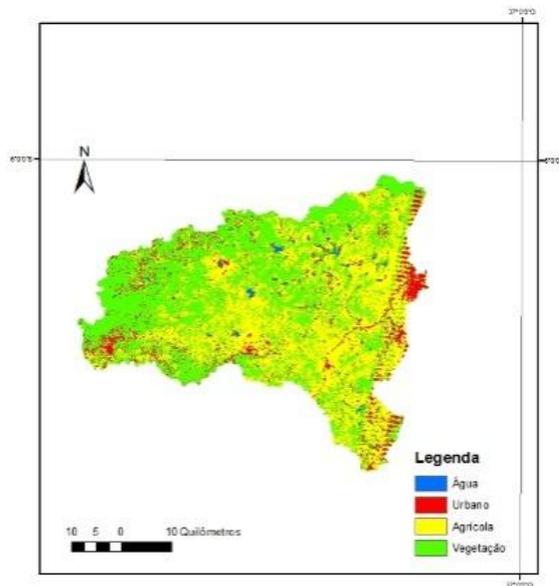
**Sub-bacia do
Médio
Piranhas
Potiguar
(2005)**



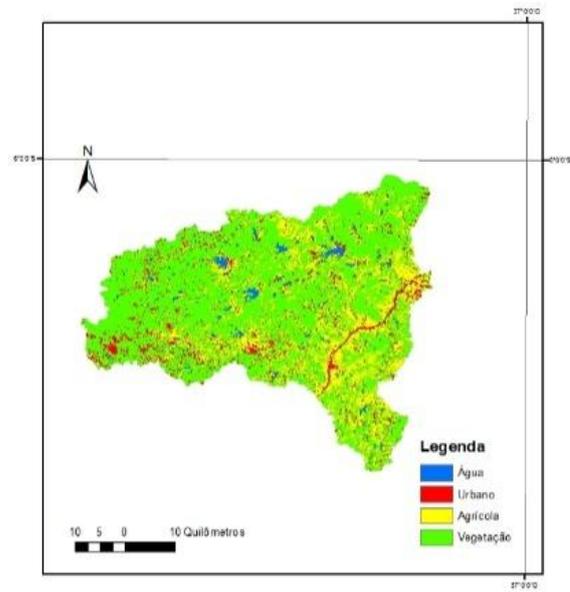
**Sub-bacia do
Médio
Piranhas
Potiguar
(2009)**



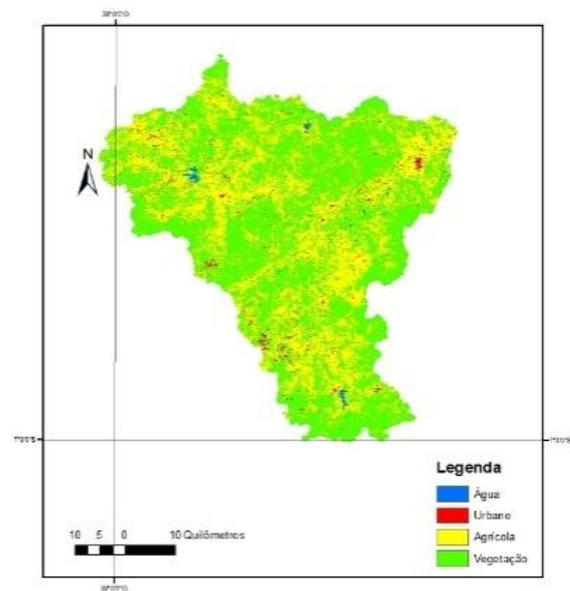
**Sub-bacia do
Médio
Piranhas
Paraibano
Potiguar
(2005)**



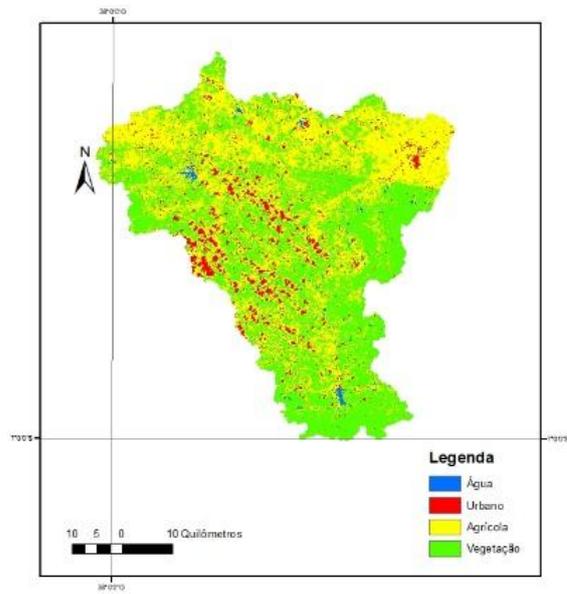
**Sub-bacia do
Médio
Piranhas
Paraibano
Potiguar
(2009)**



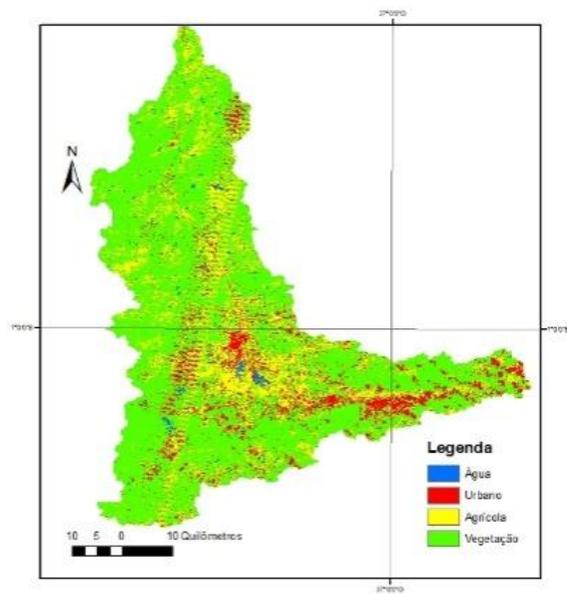
**Sub-bacia do
Médio
Piranhas
Paraibano
(2005)**



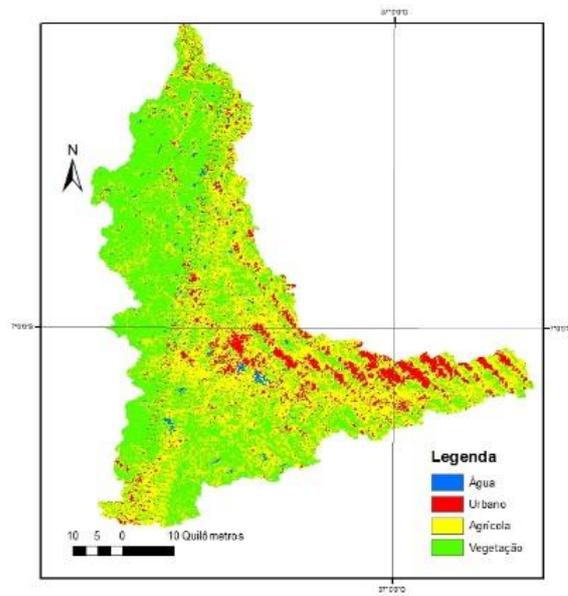
**Sub-bacia do
Médio
Piranhas
Paraibano
(2009)**



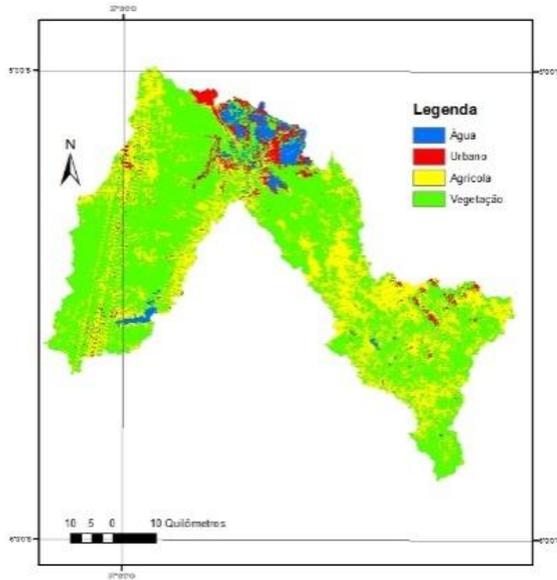
**Sub-bacia do
Espinharas
(2005)**



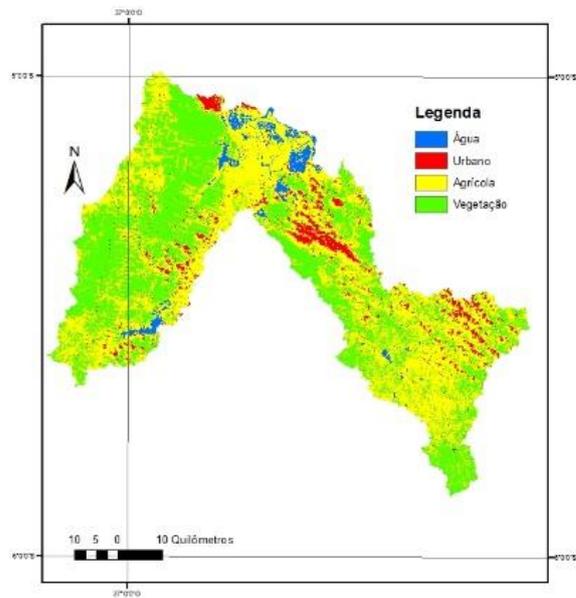
**Sub-bacia do
Espinharas
(2009)**



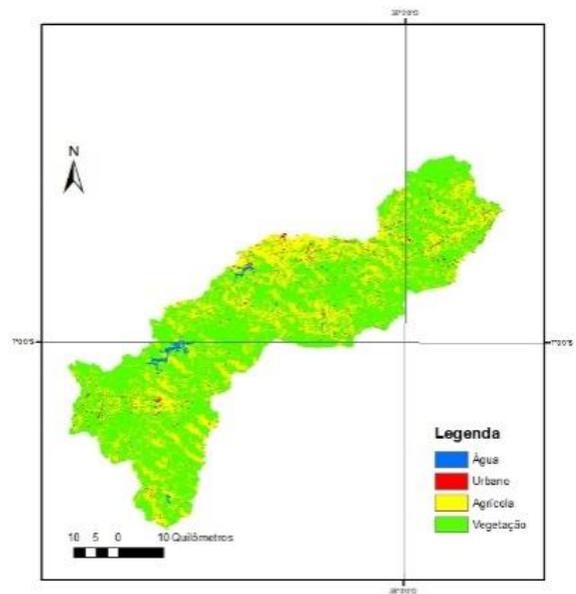
**Sub-bacias
Difusas do
Baixo
Piranhas
(2005)**



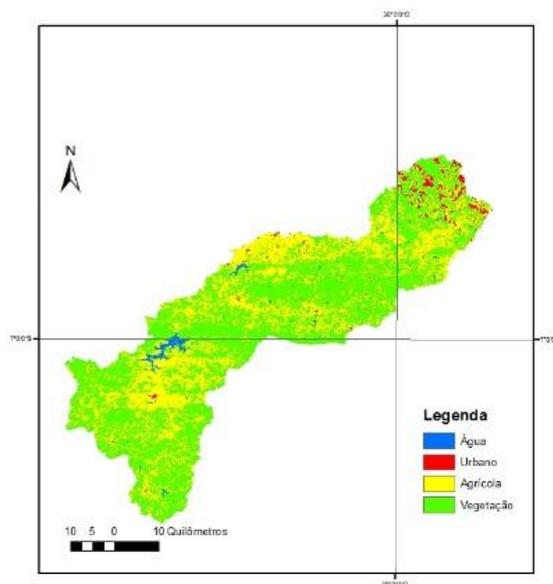
**Sub-bacias
Difusas do
Baixo
Piranhas
(2009)**



**Sub-bacia do
Alto Piranhas
(2005)**



Sub-bacia do Alto Piranhas (2009)



Fonte: próprio autor

8.1.4 Indicadores de Vida e política

8.1.4.1 Estudo da estimativa de parâmetros

Para os indicadores referentes aos parâmetros “vida” e “política” do índice de sustentabilidade de bacia hidrográfica foi necessário a composição dos anos de 2005 e 2009. Os indicadores de vida e política tem como base o índice de desenvolvimento humano e neste sentido no Brasil os valores disponíveis são dos anos 1991, 2000 e 2010. Para os anos de 2005 e 2009 dado o fato de não haver disponibilidade, os mesmos foram estimados a partir da aplicação da função quadrática com base em Santos et al (2004), para o estudo de bacias hidrográficas. Com base em Santos et al (2004) em estudos voltados para bacia hidrográficas a estimativa de parâmetros, dentre os quais a população, pode ser feita a partir da aplicação de modelos matemáticos. Dentre o comparativo de funções para aplicação na estimativa de parâmetros em gestão de bacia hidrográficas Santos et al (2004) destaca a função quadrática como a mais

adequada, por apresentar um maior coeficiente de correlação (r^2). A seguir a apresentação dos resultados da aplicação da função quadrática para estimativa dos valores com base nos anos de 2005 e 2009.

Tabela 36. Sub-bacia hidrográfica do Piancó

Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x^2)	0,000179	0,503084	0,574576
	B (x)	-0,70232		
	C	687,38		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-REND (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x^2)	5,29E-05	0,506511	0,550237
	B (x)	-0,20143		
	C	191,6903		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x^2)	0,000602	0,337183	0,444495
	B (x)	-2,38971		
	C	2371,54		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não ponderado) (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x^2)	0,000219	0,489335	0,56539
	B (x)	-0,86117		
	C	845,6314		
Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x^2)	48,30292	271323,4	274073,1

	B (x)	-193201		
	C	1,93E+08		

Tabela 37. Sub-bacia hidrográfica do Peixe

	F(X)	VALORES	2005	2009
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	A (x ²)	9,99E-05	0,555528	0,622384
	B (x)	-0,38417		
	C	369,331		
	F(X)	VALORES	2005	2009
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-RENDIA (2005, 2009)	A (x ²)	-0,00022	0,535882	0,567851
	B (x)	0,907817		
	C	-918,462		
	F(X)	VALORES	2005	2009
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	A (x ²)	0,000468	0,359301	0,462699
	B (x)	-1,85257		
	C	1833,52		
	F(X)	VALORES	2005	2009
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não ponderado) (2005, 2009)	A (x ²)	6,01E-05	0,51258	0,582187
	B (x)	-0,22399		
	C	207,8546		
	F(X)	VALORES	2005	2009
Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005, 2009)	A (x ²)	34,41228	221250,2	226958,8
	B (x)	-136704		
	F(X)	VALORES	2005	2009

	C	1,36E+08		

Tabela 38. Sub-bacia hidrográfica do Seridó

Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-6,3E-05	0,594032	0,644693
	B (x)	0,267277		
	C	-280,302		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-RENTA (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-3,3E-05	0,562664	0,593919
	B (x)	0,141144		
	C	-148,901		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000235	0,444498	0,535238
	B (x)	-0,92229		
	C	903,2398		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não ponderado) (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-6,1E-05	0,568321	0,623508
	B (x)	0,258079		
	C	-272,231		
Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,56901	302700,7	310432,8
	B (x)	4217,013		

	C	-5864994		
--	---	----------	--	--

Tabela 39. Sub-bacia hidrográfica do Pataxó

	F(X)	VALORES	2005	2009
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	A (x ²)	-0,00205	0,65214	0,582611
	B (x)	8,193712		
	C	-8204,32		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-RENDIA (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00027	0,731902	0,758973
	B (x)	1,082801		
C	-1092,64			
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000189	0,436778	0,5218
	B (x)	-0,73694		
C	718,6723			
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não ponderado) (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00207	0,638287	0,569223
	B (x)	8,297583		
C	-8308,69			
Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	12,32398	88534,9	92690,48
	B (x)	-48429,5		

	C	47647081		
--	---	----------	--	--

Tabela 40. Sub-bacia hidrográfica do Paraú

Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-1,8E-05		0,522953
B (x)	0,088796			
C	-104,635			
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-RENTA (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00017	0,545298	0,574147
B (x)	0,697339			
C	-706,456			
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000306	0,393339	0,492642
B (x)	-1,2052			
C	1184,943			
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não ponderado) (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-3,7E-05	0,521921	0,586532
B (x)	0,164037			
C	-180,266			
Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-7,51637	7668,409	7345,347
B (x)	30089,96			
C	-3E+07			

Tabela 41. Sub-bacia hidrográfica do Médio Piranhas-Potiguar

Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-9,9E-05	0,526971	0,588989
	B (x)	0,41221		
	C	-428,653		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-RENTA (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00015	0,539972	0,570358
	B (x)	0,613218		
	C	-622,431		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000273	0,385387	0,487347
	B (x)	-1,06838		
	C	1046,979		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não ponderado) (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00017	0,53177	0,595981
	B (x)	0,685522		
	C	-703,466		
Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-39,2386	50730,96	49478,35
	B (x)	157190,6		
	C	-1,6E+08		

Tabela 42. Sub-bacia hidrográfica do Médio Piranhas Paraibano Potiguar

Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	4,56E-05	0,54386	0,601389
	B (x)	-0,16871		
	C	155,4424		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-RENTA (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-6,9E-05	0,552219	0,574855
	B (x)	0,284292		
	C	-290,402		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000383	0,379596	0,472521
	B (x)	-1,51351		
	C	1495,922		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não ponderado) (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	3,78E-05	0,534555	0,59196
	B (x)	-0,13745		
	C	124,0879		
Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	18,57602	63408,1	65815,32
	B (x)	-73962,4		
	C	73681849		

Tabela 43. Sub-bacia hidrográfica Médio Piranhas Paraibano

Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000139	0,503035	0,570453
	B (x)	-0,53947		
	C	524,9829		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-RENDA (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00014	0,537723	0,564483
	B (x)	0,583972		
	C	-592,178		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000521	0,339388	0,439831
	B (x)	-2,06554		
	C	2047,959		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não ponderado) (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000125	0,503869	0,571473
	B (x)	-0,48586		
	C	471,1402		
Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	21,10468	89285,88	92047,96
	B (x)	-84023,7		

C	83715390		
---	----------	--	--

Tabela 44. Sub-bacia hidrográfica do Espinharas

Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00229	0,660649	0,579674
	B (x)	9,155619		
	C	-9166,72		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-RENTA (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00013	0,703133	0,745085
	B (x)	0,527311		
	C	-538,957		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000582	0,355674	0,469723
	B (x)	-2,30611		
	C	2285,983		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não ponderado) (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00259	0,599564	0,507592
	B (x)	10,37786		
	C	-10390,5		
Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	3,360234	154894	160225,4
	B (x)	-12155,1		
	C	11017721		

Tabela 45. Sub-bacia hidrográfica Difusas do Baixo Piranhas

Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00017	0,575481	0,622883
	B (x)	0,713178		
	C	-726,966		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-RENDA (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00019	0,581661	0,603758
	B (x)	0,767245		
	C	-774,881		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,00012	0,419589	0,496239
	B (x)	-0,46166		
	C	444,5005		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não ponderado) (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	-0,00014	0,561349	0,609512
	B (x)	0,589885		
	C	-603,446		
Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005,	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	55,59357	76530,66	81058,16
	B (x)	-222021		

	C	2,22E+08		

Tabela 46. Sub-bacia hidrográfica do Alto Piranhas

Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM ponderado (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000196	0,481088	0,553832
	B (x)	-0,77053		
	C	755,4937		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-RENTA (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	2,08E-05	0,508701	0,544971
	B (x)	-0,07447		
	C	66,15337		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM-Edu (2005, 2009)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,000573	0,315309	0,418026
	B (x)	-2,27575		
	C	2258,308		
Aplicação da função quadrática para estimar o IDHM (não)	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	0,00022	0,47778	0,551247
	B (x)	-0,86559		

Aplicação da função quadrática para estimar a população (2005, 2009)	C	850,6976		
	F(X)	VALORES	2005	2009
	A (x ²)	13,94561	52059,86	53944,19
	B (x)	-55506,6		
	C	55281100		

Com base nos valores estimados a seguir o cálculo do valores de variação da IDHM para os valores os indicadores referentes a educação e renda.

Tabela 47. Variação no IDHM renda e educação

Sub-bacia hidrográfica	Variação no I.D.H. renda (2005-2009)	Variação no I.D.H. educação (2005-2009)
Serido	5,55	20,41
Pianco	8,63	31,83
Peixe	5,97	28,78
Pataxó	3,7	19,47
Paraú	5,29	25,25
Média Piranhas	5,63	26,46
Média Piranhas	4,1	24,48
Média Piranhas	4,98	29,6
Espinharas	5,97	32,07
Difusas Baixo	3,8	18,27
Alto piranhas	7,13	32,58

Uma vez apresentado os valores referentes aos parâmetros de vida e política outro indicador importante no índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas é o indicador de IDHM (ponderado por município). A seguir o resultado por sub-bacia hidrográfica.

Tabela 48. IDHM por sub-bacia hidrográfica

Sub-bacia hidrográfica	IDHM (ponderado por município)
Serido	0,64
Pianco	0,57
Peixe	0,62
Pataxó	0,58
Paraú	0,59
Média Piranhas	0,59
Média Piranhas	0,6
Média Piranhas	0,57
Espinharas	0,58
Difusas Baixo	0,62
Alto piranhas	0,55

8.1.4.2 Indicadores qualitativos

Com vistas a resolução dos itens referentes aos indicadores qualitativos (quatro de “resposta”³⁰e um de “estado”) do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas foi feita a consulta aos membros do Comitê de Bacia Hidrográfica do Piancó-Piranhas-Açu. A seguir o resultado da consulta.

³⁰Os indicadores de resposta do Índice de Sustentabilidade de Bacia Hidrográfica contemplam 5 itens, porém a consulta foi feita apenas para os 4 acima haja vista o item “evolução no IDHM” é retirado diretamente do cálculo. A consulta foi feita por meio da aplicação de um questionário com as perguntas referentes aos indicadores.

Tabela 49. Consulta aos membros do Comitê dos indicadores de resposta

Classificação do indicador (no modelo pressão-estado-resposta)	Indicador	Valor
Estado	Capacidade e Institucional em Gestão Integrada de Recursos Hídricos (legal e organizacional)	Médio
Resposta	Melhoramento em uso eficiente da água (últimos 5 anos)	Médio
Resposta	Melhoramento em tratamento adequado da água/esgoto (últimos 5 anos)	Pobre
Resposta	Evolução em áreas de conservação (áreas protegidas) e boas práticas de manejo (BPM) nos últimos 5 anos	-20%
Resposta	Evolução nos gastos com Gestão Integrada de Recursos Hídricos (últimos 5 anos)	-20%

Aqui nesta seção pode-se observar a situação da bacia hidrográfica a partir da observação dos próprios membros do comitê de bacia. Conforme sabe-se a composição do comitê de bacia hidrográfica (ANA, 2016) é heterogênea, ou seja, sua composição contempla desde especialistas com ampla formação acadêmica, até simples cidadãos que tem como intuito ser voz ativa nas discussões do mesmo.

Um primeiro item avaliado pelo comitê de bacia hidrográfica foi a capacidade legal e institucional. Aqui vem a tona o conjunto jurídico e administrativo necessário para que a gestão seja eficaz bem como a implementação desta realidade. Neste item os membros do comitê entenderam que houve um retrocesso em 20%, fato este refletindo a aplicação prática e funcional no Brasil do arcabouço institucional e legislativo.

Um segundo indicador avaliado foi os “melhoramentos” em uso eficiente da água. Aqui os membros do comitê optaram por classificar como média a situação atual. Refletindo assim alguma melhora discreta implementada pelos órgãos públicos, bem como campanhas de mobilização em educação ambiental em termos de racionalamento de água.

O tratamento de água/esgoto por sua vez foi deficitário ao olhar dos participantes do comitê, gerando uma classificação “pobre”. Aqui situações pontuais como a poluição do rio Seridó, juntamente com índices consideráveis de Demanda Bioquímica de Oxigênio, observado na cidade de Acari (RN – Brasil) e Currais Novos (RN – Brasil) foram levados em consideração na análise.

Em relação às áreas de conservação, percebe-se que não tem sido uma regra na unidade hidrográfica a promoção de avanço de áreas de conservação. Com algumas exceções como a figura a seguir da Unidade de Conservação em Serra Negra do Norte (RN – Brasil). Outro indicador que foi avaliado foi a evolução em Boas Práticas de Manejo (BMP'S) aqui a situação se remete a avanços em tecnologias voltadas para o manejo da unidade. Baracuhy et al (2007) apresenta as principais técnicas agrícolas para manejo de água e solo, com destaque para a barragem subterrânea. Na análise procedida pelos membros do comitê, a situação em termos de Boas Práticas de Manejo (e consequentemente aplicação de tecnologias voltadas para tal) ainda está pobre. Pode-se perceber que o avanço recente de iniciativas em proximidades de Caicó (RN - Brasil), Florânea (RN – Brasil) e Currais Novos (RN – Brasil) com aplicação de barragens subterrâneas ainda são pontuais e carecem de serem multiplicadas para se configurar um cenário onde a difusão de Boas Práticas de Manejo se configurem em um manejo integrado da unidade, nos termos do Baracuhy (2001).

O último indicador qualitativo foi a evolução em gastos com Gestão Integrada de Recursos Hídricos. Aqui embora o conceito seja amplo porém traduz de forma aproximada o cenário que se observa em termos de problemática de gestão de recursos hídricos, sobretudo no semiárido (CIRILO, 2008). Para Cirilo (2008) há um histórico de política equivocada de recursos hídricos e isto tem se materializado ao longo dos anos em ações práticas por parte do poder público que são por vezes passíveis de contestação.

8.1.4.3 Peso dos indicadores a partir da avaliação dos membros do Comitê de Bacia Hidrográfica

Uma vez apresentado os valores dos indicadores (seções 8.1.3 e 8.1.4) e destacado a aplicação do questionário³¹ na 14ª Reunião do Comitê de Bacia Hidrográfica, torna-se necessário apresentar o valor dos pesos dos indicadores a partir da percepção dos membros do Comitê.

Seguindo procedimento semelhante ao Carvalho (2013) o peso dos indicadores do modelo foi obtido a partir da adoção de uma escala de 5 pontos, na qual os decisores atribuíram pesos segundo sua percepção e conhecimento, onde 0 = nenhuma importância ou sem opinião formada, 0,25 = baixo, 0,5 = médio, 0,75 = alto e 1 = muito alto.

³¹ O questionário se encontra no Anexo II;

Tabela 50. Peso dos indicadores³² do índice de sustentabilidade de bacia hidrográficas segundo a percepção dos membros do Comitê

	Indicador 1		Indicador 2		Indicador 3		Indicador 4	
	F	%	F	%	F	%	F	%
Muito alta	13	48,1	13	48,1	11	40,7	7	25,9
Alta	9	33,3	5	18,5	7	25,9	9	33,3
Média	2	7,4	4	14,8	5	18,5	7	25,9
Baixa	2	7,4	1	3,7	0	0	2	7,4
Nenhuma	1	3,7	0	0	2	7,4	0	0
Sem opinião	0	0	4	14,8	2	7,4	2	7,4
Total dos decisores	27	100	27	100	27	100	27	100
	Indicador 5		Indicador 6		Indicador 7		Indicador 8	
	F	%	F	%	F	%	F	%
Muito alta	10	37	15	55,6	12	44,4	16	59,3
Alta	8	29,6	7	25,9	7	25,9	5	18,5
Média	6	22,2	2	7,4	3	11,1	3	11,1
Baixa	1	3,7	1	3,7	2	7,4	1	3,7
Nenhuma	0	0	0	0	0	0	0	0
Sem opinião	0	0	2	7,4	3	11,1	2	7,4
Total dos decisores	27	100	27	100	27	100	27	100
	Indicador 9		Indicador 10		Indicador 11		Indicador 12	
	F	%	F	%	F	%	F	%
Muito alta	7	25,9	17	63	16	59,3	18	66,7
Alta	11	40,7	6	22,2	6	22,2	6	22,2

- ³² Indicador 1. $\Delta 1$ - Variação na disponibilidade hídrica per-capita da bacia nos últimos 5 anos ($m^3/habitante \cdot ano$);
Indicador 2. $\Delta 2$ - Variação na DBO5 (últimos 5 anos);
Indicador 3. E.P.I. (Rural e Urbano);
Indicador 4. Variação no I.D.H. renda (últimos 5 anos);
Indicador 5. Variação no I.D.H. educação (últimos 5 anos);
Indicador 6. Disponibilidade hídrica per-capita ($m^3/habitante \cdot ano$);
Indicador 7. DBO5 média da bacia (mg/l);
Indicador 8. % bacia com vegetação natural;
Indicador 9. I.D.H.M. bacia (ponderado por população);
Indicador 10. Capacidade Institucional em Gestão Integrada de Recursos Hídricos (legal e organizacional);
Indicador 11. Melhoramento em uso eficiente da água (últimos 5 anos);
Indicador 12. Melhoramento em tratamento adequado da água/esgoto (últimos 5 anos);
Indicador 13. Evolução em áreas de conservação (áreas protegidas e boas práticas de manejo - BPM) nos últimos 5 anos;
Indicador 14. Evolução no I.D.H.M. (últimos cinco anos);
Indicador 15. Evolução nos gastos com Gestão Integrada de Recursos Naturais (últimos 5 anos).

Média	6	22,2	2	7,4	3	11,1	0	0
Baixa	1	3,7	0	0	0	0	1	3,7
Nenhuma	0	0	0	0	1	3,7	0	0
Sem opinião	2	7,4	2	7,4	1	3,7	2	7,4
Total dos decisores	27	100	27	100	27	100	27	100
	Indicador 13		Indicador 14		Indicador 15			
	<i>F</i>	%	<i>F</i>	%	<i>F</i>	%		
Muito alta	11	40,7	10	37	15	55,6		
Alta	12	44,4	11	40,7	8	29,6		
Média	2	7,4	3	11,1	3	11,1		
Baixa	1	3,7	1	3,7	0	0		
Nenhuma	0	0	0	0	0	0		
Sem opinião	1	3,7	2	7,4	1	3,7		
Total dos decisores	27	100	27	100	27	100		

A partir do observado na tabela acima percebe-se que alguns indicadores se destacaram na avaliação dos membros do Comitê de bacia hidrográfica. A importância de melhoramentos no tratamento adequado de água e esgoto (indicador de resposta) foi destaque na avaliação dos participantes do Comitê com 66,7% de importância muito alta, seguido de percentual da bacia com vegetação natural (indicador de estado) com 59,3% de importância muito alta juntamente com o indicador de resposta melhoramentos em uso eficiente da água (também com 59,3%). Logo atrás em termos de importância muito alta está a evolução nos gastos com Gestão Integrada de Recursos Hídricos (55,6%).

Em termos de importância alta merece destaque o indicador de resposta Evolução em áreas de conservação (áreas protegidas e boas práticas de manejo - BPM) com cerca de 44,4% de importância, seguido pelos indicadores de IDHM ponderado por área municipal (estado) e evolução no IDHM (resposta), ambos com 40,7%.

Em termos de média importância se destacou o indicador de pressão variação no I.D.H. renda (últimos 5 cinco); 25,9%, seguido pela variação no

I.D.H. educação (últimos 5 cinco) empatado com I.D.H.M. bacia (ponderado por população), ambos com 22,2%.

Os valores de baixa importância totalizaram menos de 10% nos indicadores, fato este que demonstra que os indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas têm, segundo a avaliação dos participantes do comitê, de forma geral uma considerável importância.

Os pesos dos indicadores têm como alvo alimentar a matriz de avaliação (seção 8.1.5) do método Promethee onde se colocam de um lado os critérios (indicadores no presente caso) e de outros as alternativas (as sub-bacias hidrográficas). Neste sentido para cada um dos 27 participantes membros do Comitê de Bacia Hidrográfica é feito um cálculo a partir da matriz de avaliação do método Promethee totalizando 27 cenários (vide seção 8.1.6).

8.1.5 Matriz de avaliação

Conforme já mencionado para o método Promethee é trabalhada uma matriz de avaliação onde de um lado estão os critérios (C1, C2, etc...) e de outro as alternativas (A1, A2, A3 etc...). Para efeito de aplicação no caso presente, os critérios são os indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas [C1 = $\Delta 1$ - Variação na disponibilidade hídrica per-capita da bacia nos últimos 5 anos ($m^3/habitante \cdot ano$); C2 = $\Delta 2$ - Variação na DBO5 (últimos 5 anos), etc...] e as alternativas são as sub-bacias hidrográficas da bacia Piranhas-Açu (A1 = Seridó; A2 = Piancó; etc...). A seguir a matriz de avaliação para a análise dos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas.

Tabela 51. Matriz de avaliação

Indicadores do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI)		Δ1 - Variação na disponibilidade hídrica per-capita da bacia nos últimos 5 anos (m ³ /habitante*ano)	Δ2 - Variação na DBO5 (últimos 5 anos)	E.P.I. (Rural e Urbano)	Variação no I.D.H. renda (últimos 5 cinco)	Variação no I.D.H. educação (últimos 5 cinco)	Disponibilidade hídrica per-capita (m ³ /habitante*ano)	DBO5 média da bacia (mg/l)	% bacia com vegetação natural	I.D.H.M. bacia (ponderado por população)	Capacidade Institucional em Gestão Integrada de Recursos Hídricos (legal e organizacional)	Melhoramento em uso eficiente da água (últimos 5 anos)	Melhoramento em tratamento adequado da água/esgoto (últimos 5 anos)	Evolução em áreas de conservação (áreas protegidas e boas práticas de manejo - BPM) nos últimos 5 anos	Evolução no I.D.H.M. (últimos cinco anos)	Evolução nos gastos com Gestão Integrada de Recursos Hídricos (últimos 5 anos)
Critério	Função de preferência (Tipo)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
Peso	O peso de cada critério é definido por cada participante do Comitê de Bacia Hidrográfica ³³															
Objetivo	Ma ³⁴	Mi ³⁵	Mi	Ma	Ma	Ma	Mi	Ma	M	Ma	Ma	Ma	Ma	Ma	Ma	Ma
Sub-	Serido (A1)	11.89467	-40.9535	13,30337	5,55	20,41	1408,45	11.69003	11.6903	0,64	averege ³⁶	averege	ba ³⁷	-20	9,71	-20

³³O estabelecimento dos pesos se deu a partir de entrevista aos membros do Comitê de Bacia Hidrográfica e neste sentido cada peso distinto forma um cenário distinto.

³⁴Máximiziar

³⁵Minimiziar

³⁶Média

³⁷Ruim

Pianco (A2)	3.487 688	- 64.72 27	- 6,32 173	8,6 3	31,83	456 9,09	1.878 279	1.8 782 79	0, 57	avera ge	avera ge	ba d	-20	15, 54	-20
Peixe (A3)	2.940 306	5.356 308	- 23,5 362	5,9 7	28,78	190 3,62	1.412 409	1.4 124 09	0, 62	avera ge	avera ge	ba d	-20	13, 58	-20
Pataxó (A4)	2.892 16	- 6.729 75	- 11,4 0434	3,7	19,47	143 4,28	3.916 179	3.9 161 79	0, 58	avera ge	avera ge	ba d	-20	- 10, 82	-20
Paraú (A5)	- 2.091 06	- 4.036 31	- 17,7 39	5,2 9	25,25	732 9,96	6.266 2	6.2 662	0, 59	avera ge	avera ge	ba d	-20	12, 38	-20
Média Piranhas Po. (A6)	1.616 049	-100	- 49,2 03	5,6 3	26,46	498 3,27	2.180 834	2.1 808 34	0, 59	avera ge	avera ge	ba d	-20	12, 08	-20
Média Piranhas Pa. Po. (A7)	8.858 568	2.509 407	- 25,7 986	4,1	24,48	336 8,95	1.474 919	1.4 749 19	0, 6	avera ge	avera ge	ba d	-20	10, 74	-20
Média Piranhas Pa. (A8)	4.123 903	365,3 6	- 50,3 3064	4,9 8	29,6	421 6,04	2.126 955	2.1 269 55	0, 57	avera ge	avera ge	ba d	-20	13, 42	-20
Espinharas (A9)	- 0.217 05	- 16.45 27	34,3 7009	5,9 7	32,07	154 7,34	1.850 158	1.8 501 58	0, 58	avera ge	avera ge	ba d	-20	- 15, 34	-20
Difusas Baixo P. (A10)	2.688 053	0,053 811	18,7 8415	3,8	18,27	183 1,81	2.978 333	2.9 783 33	0, 62	avera ge	avera ge	ba d	-20	8,5 8	-20
Alto piranhas (A11)	3.669 328	6.826 932	23,4 4297	7,1 3	32,58	671 3,46	1.563 428	1.5 634 28	0, 55	avera ge	avera ge	ba d	-20	15, 38	-20

A matriz de avaliação acima tem como variação os pesos de cada participante/interessado do Comitê de Bacia Hidrográfica (ver questionário voltado para estabelecimento dos pesos no anexo II). Na seção a seguir está apresentado o resultado da aplicação dos pesos a matriz de avaliação acima, gerando 27 cenários distintos a partir da opção de 27 decisores.

8.1.6 Etapa 2 – Resultado da aplicação da análise multicritério

8.1.6.1 Resultados da aplicação do modelo multicritério para classificação do desempenho das Sub-Bacias Hidrográficas em relação à sustentabilidade

Concluída a etapa da análise do comportamento de todos os indicadores adotados, procede-se a seguir à análise dos resultados encontrados nas 27 simulações obtidas através do método PROMETHEE II e posteriormente a ordenação final do *ranking* via método COPELAND. Para apoiar a gestão dos recursos hídricos das sub-bacias hidrográficas em estudo foram utilizadas informações quantitativas e qualitativas das cidades levando-se em consideração as dimensões e os indicadores propostos. Com base nisso e considerando as 27 opiniões atribuídas aos pesos dos indicadores propostos, foram realizadas as devidas simulações com apoio do Programa Computacional *Visual PROMETHEE®*, uma para cada opinião (27 opiniões dos decisores), uma vez que cada participante do Comitê de Bacia Hidrográfica atribuiu pesos diferenciados aos indicadores, de modo que fosse possível identificar o *ranking* parcial da situação dos municípios. A seguir a aplicação das funções de preferência no cálculo dos diversos indicadores do índice.

De acordo com os resultados obtidos nas opiniões dos decisores é possível observar diferentes opiniões e conseqüentemente as posições no *ranking* de classificação das sub-bacias hidrográficas, conforme os cenários das simulações de 1 a 10 (figura a seguir).

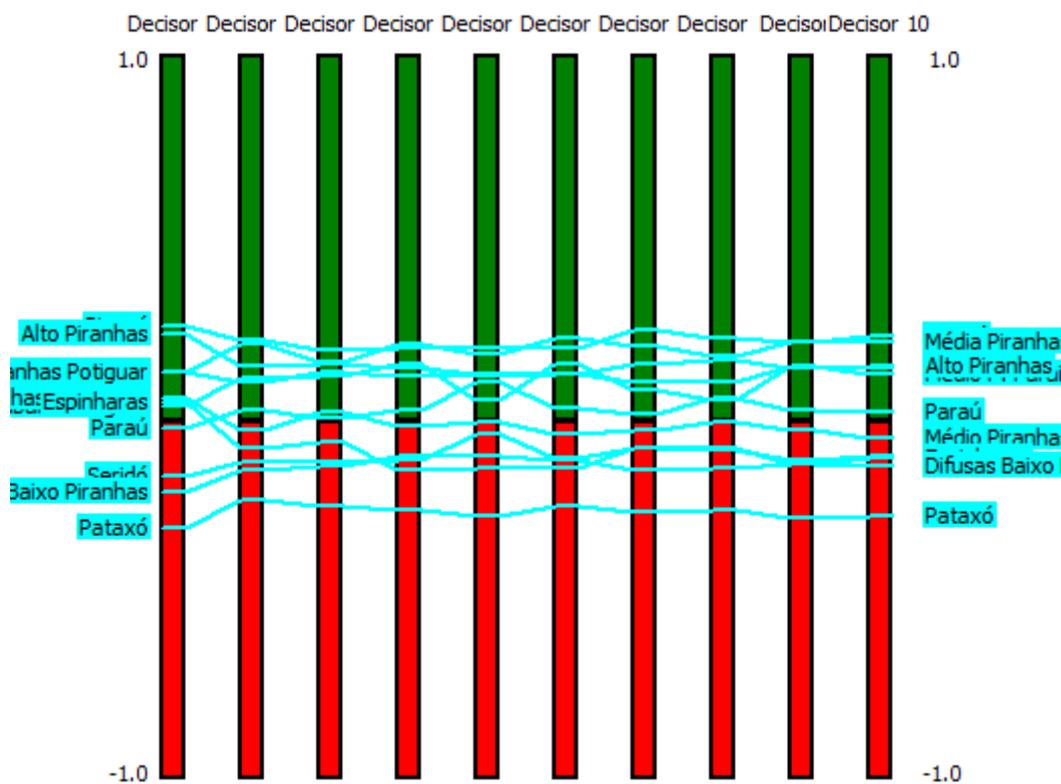


Figura 11. Ilustração das posições das sub-bacias por decisor (10 primeiros)

8.1.6.1.1 Cenário do Decisor 1

No cenário 1 destaca-se a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor de resultado final³⁸ de 0.2436 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia hidrográfica Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0.3239.

³⁸ Fluxo Líquido = Resultado (referente ao positivo menos negativo)

Tabela 52. Resultado do cenário do decisor 1

Rank	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,2436	0,3178	0,0742
2	Alto Piranhas	0,2202	0,2978	0,0776
3	Peixe	0,1109	0,2217	0,1107
4	Média Piranhas Potiguar	0,1101	0,2422	0,1321
5	Médio Piranhas Paraibano	0,0413	0,2107	0,1694
6	Espinharas	0,0289	0,1977	0,1688
7	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0163	0,1926	0,1763
8	Paraú	-0,0423	0,1594	0,2017
9	Seridó	-0,1806	0,0955	0,2761
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,2245	0,0907	0,3152
11	Pataxó	-0,3239	0,0447	0,3686

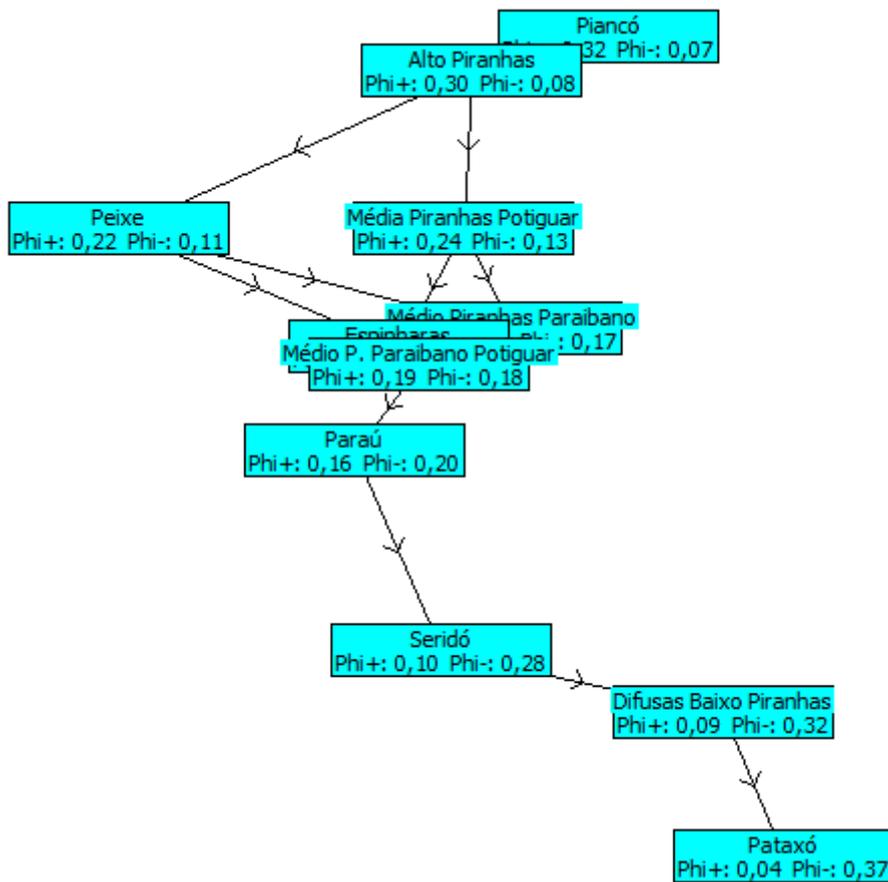


Figura 12. Representação dos fluxos (Decisor 1)

8.1.6.1.2 Cenário do Decisor 2

No cenário 2 destaca-se a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0.2020 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Média Piranhas Potiguar e Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0.2473.

Tabela 53. Resultado do cenário do decisor 2

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,2020	0,3015	0,0995
2	Média Piranhas Potiguar	0,1905	0,2979	0,1073
3	Alto Piranhas	0,1286	0,2515	0,1229
4	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0967	0,2375	0,1407
5	Peixe	0,0865	0,2152	0,1286
6	Paraú	0,0028	0,1837	0,1809
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0523	0,1833	0,2356
8	Espinharas	-0,1031	0,1179	0,2211
9	Seridó	-0,1430	0,1039	0,2469
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1616	0,1093	0,2709
11	Pataxó	-0,2473	0,0588	0,3061

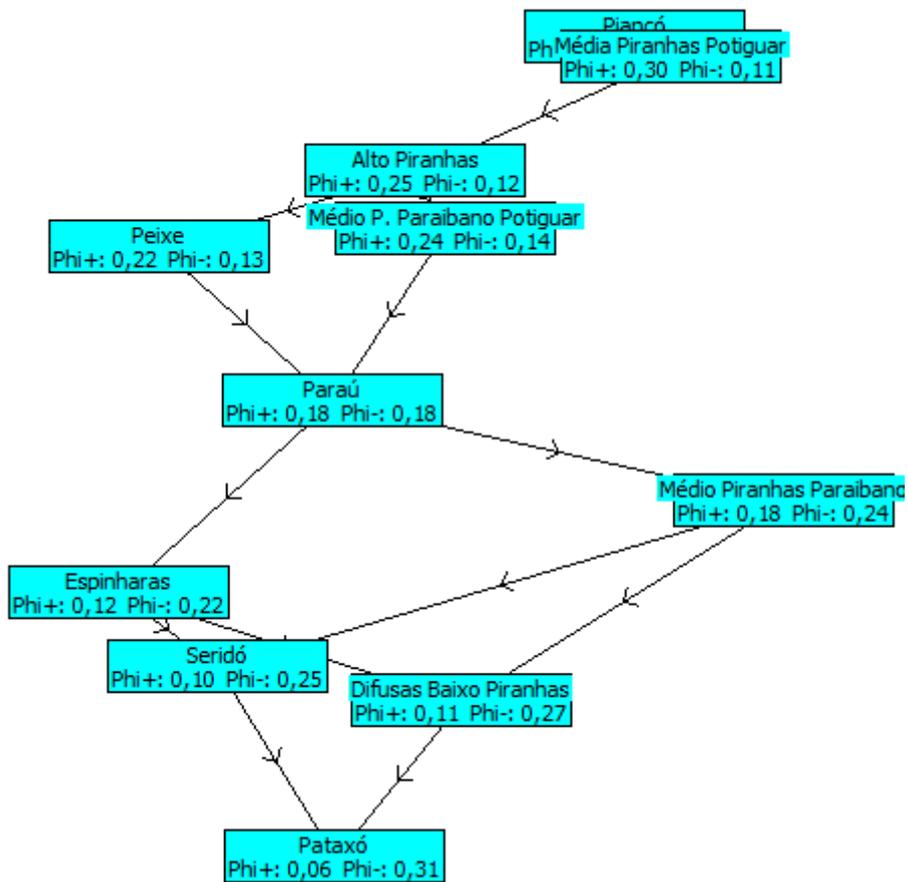


Figura 13. Representação dos fluxos

8.1.6.1.3 Cenário do Decisor 3

No cenário 3 destaca-se a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0.1726 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Médio Piranhas Potiguar. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0.2640.

Tabela 54. Resultado do cenário do decisor 3

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1726	0,2785	0,1059
2	Média Piranhas Potiguar	0,1383	0,2535	0,1153
3	Alto Piranhas	0,1323	0,2477	0,1154
4	Peixe	0,1096	0,2205	0,1109
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0993	0,2320	0,1327
6	Médio Piranhas Paraibano	0,0001	0,1785	0,1784
7	Paraú	-0,0155	0,1699	0,1854
8	Espinharas	-0,0829	0,1276	0,2106
9	Seridó	-0,1406	0,1000	0,2407
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1492	0,1133	0,2625
11	Pataxó	-0,2640	0,0545	0,3185

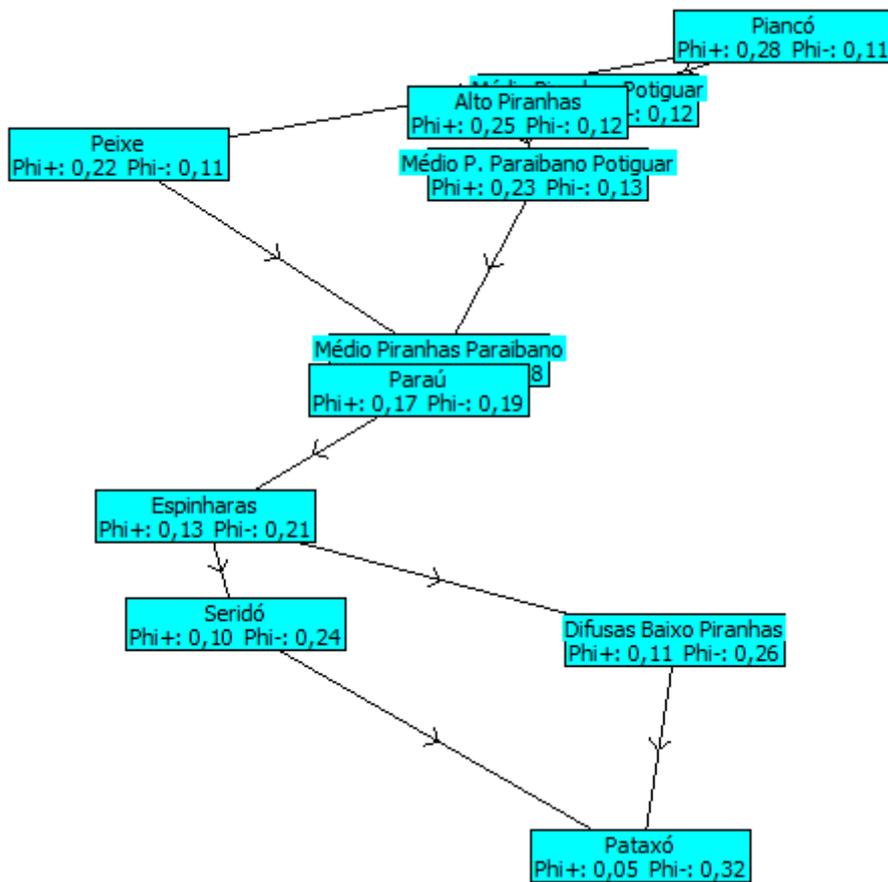


Figura 14. Representação dos fluxos (Decisor 3)

8.1.6.1.4 Cenário do Decisor 4

No cenário 4, semelhante ao decisor anterior, destaca-se a sub-bacia hidrográfica Médio Piranhas Potiguar com valor final de 0,1916 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Piancó e Médio P. Paraibano Potiguar. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0.2731.

Tabela 55. Resultado do cenário do decisor 4

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Média Piranhas Potiguar	0,1916	0,2930	0,1013
2	Piancó	0,1801	0,2813	0,1011
3	Médio P. Paraibano Potiguar	0,1346	0,2491	0,1145
4	Alto Piranhas	0,1238	0,2408	0,1171
5	Peixe	0,1008	0,2172	0,1164
6	Paraú	0,0035	0,1801	0,1766
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0401	0,1822	0,2223
8	Difusas Baixo Piranhas	-0,1264	0,1221	0,2485
9	Seridó	-0,1339	0,1055	0,2393
10	Espinharas	-0,1610	0,1038	0,2649
11	Pataxó	-0,2731	0,0603	0,3334

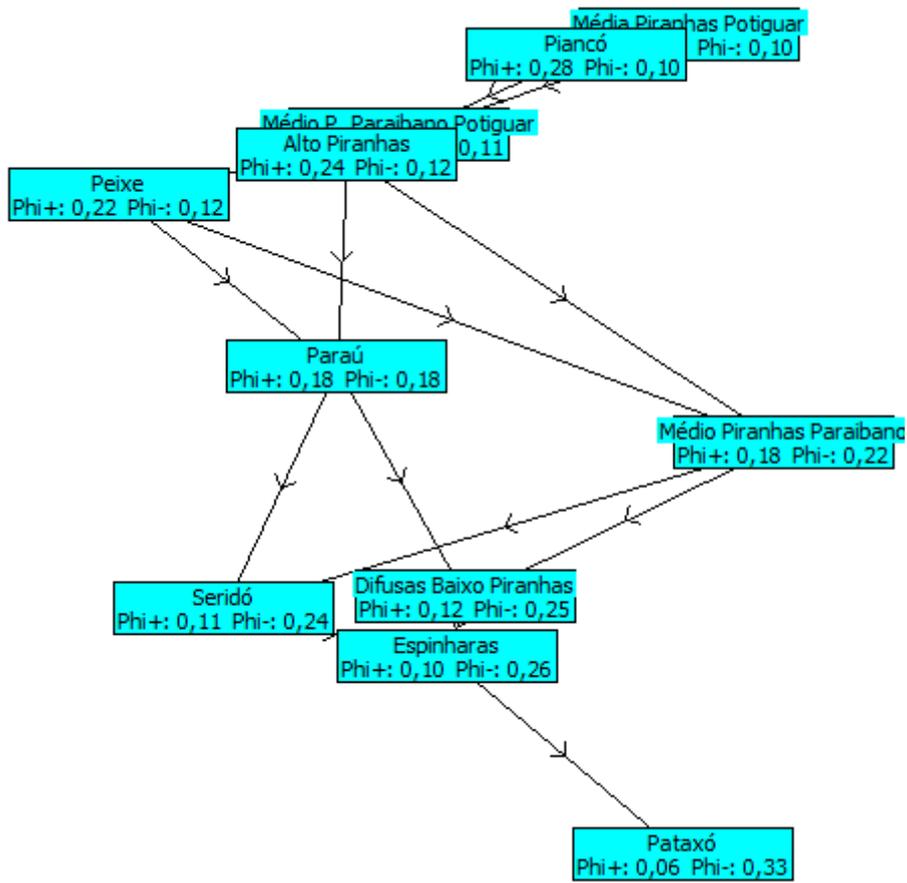


Figura 15. Representação dos fluxos (Decisor 4)

8.1.6.1.5 Cenário do Decisor 5

No cenário 5 destaca-se a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0.1819 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Médio Piranhas Potiguar. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de - 0.2942

Tabela 56. Resultado do cenário do decisor 5

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1819	0,2820	0,1001
2	Média Piranhas Potiguar	0,1611	0,2576	0,0965
3	Alto Piranhas	0,1071	0,2370	0,1299
4	Peixe	0,0986	0,2116	0,1129
5	Paraú	0,0822	0,2076	0,1253
6	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0344	0,1958	0,1614
7	Médio Piranhas Paraibano	- 0,0292	0,1617	0,1909
8	Seridó	- 0,0629	0,1290	0,1919
9	Difusas Baixo Piranhas	- 0,1222	0,1194	0,2416
10	Espinharas	- 0,1570	0,1086	0,2656
11	Pataxó	- 0,2942	0,0471	0,3412

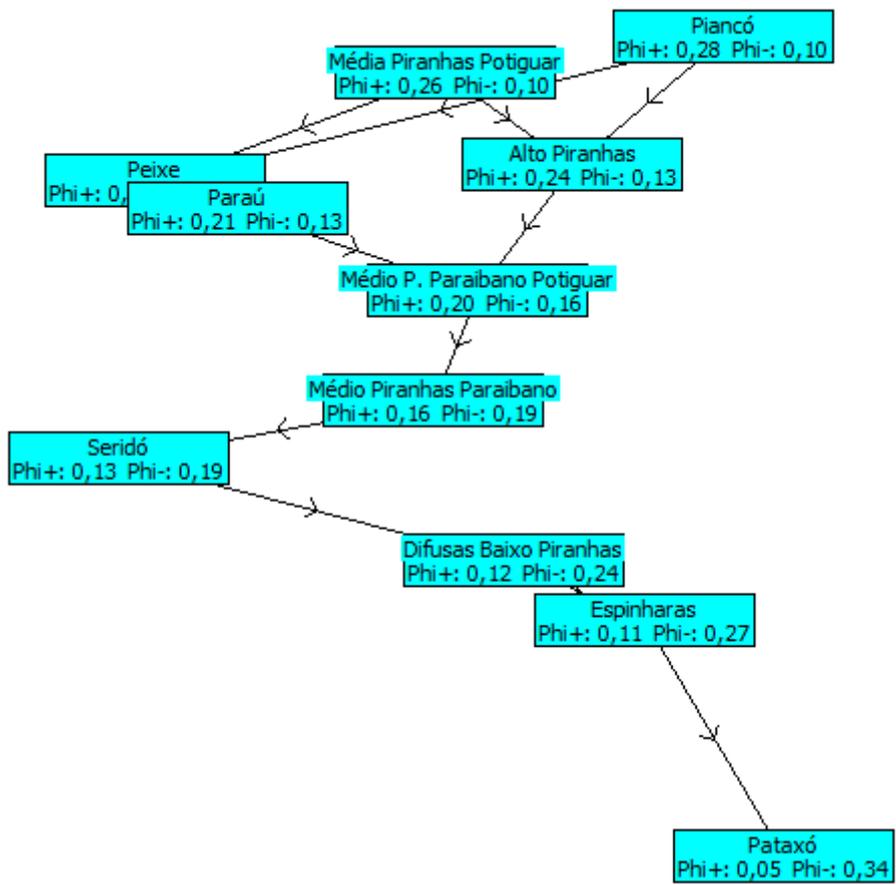


Figura 16. Representação dos fluxos (Decisor 5)

8.1.6.1.6 Cenário do Decisor 6

No cenário 6 destaca-se a sub-bacia hidrográfica Médio Piranhas Potiguar com valor final de 0.2072 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Piancó e Médio P. Paraibano Potiguar . O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0.2625.

Tabela 57. Resultado do cenário do decisor 6

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Média Piranhas Potiguar	0,2072	0,3067	0,0995
2	Piancó	0,1808	0,2848	0,1040
3	Médio P. Paraibano Potiguar	0,1361	0,2529	0,1169
4	Peixe	0,1070	0,2231	0,1162
5	Alto Piranhas	0,1069	0,2345	0,1276
6	Paraú	0,0085	0,1842	0,1757
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0626	0,1837	0,2462
8	Seridó	-0,1273	0,1087	0,2361
9	Difusas Baixo Piranhas	-0,1344	0,1211	0,2554
10	Espinharas	-0,1597	0,1070	0,2666
11	Pataxó	-0,2625	0,0651	0,3276

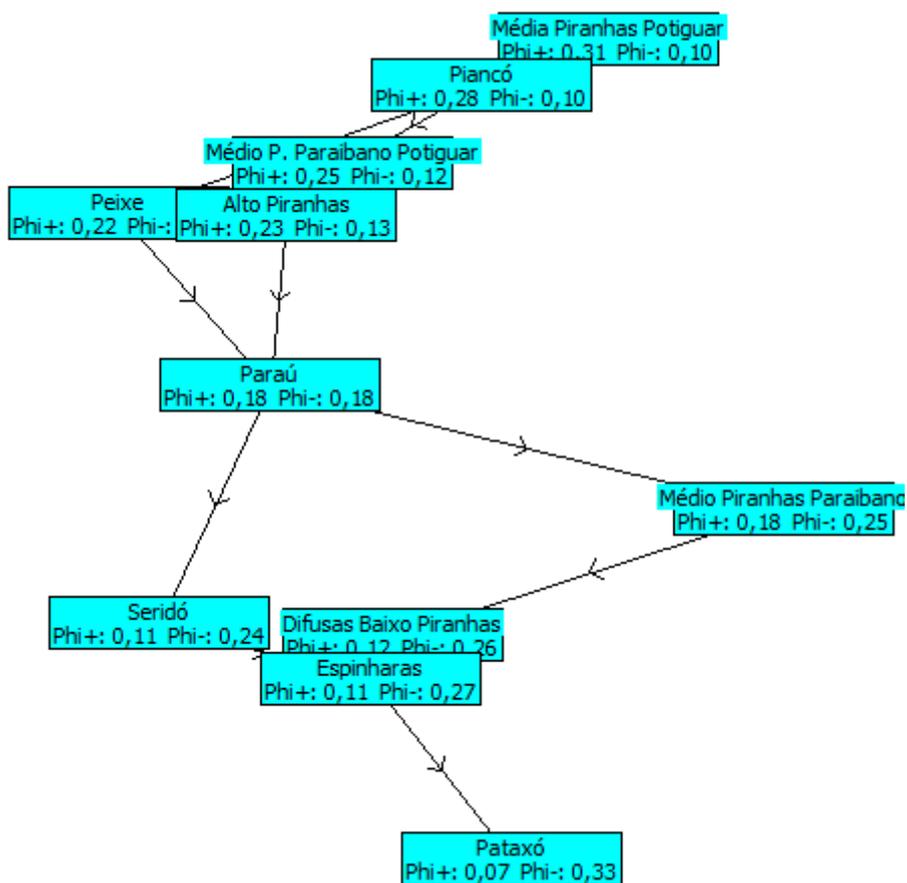


Figura 17. Representação dos fluxos (Decisor 6)

8.1.6.1.7 Cenário do Decisor 7

No cenário 7 destaca-se a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0.2302 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Médio Piranhas Potiguar. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0.2796.

Tabela 58. Resultado do cenário do decisor 7

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,2302	0,3157	0,0855
2	Média Piranhas Potiguar	0,1869	0,2871	0,1003
3	Alto Piranhas	0,1356	0,2528	0,1172
4	Peixe	0,0824	0,2055	0,1231
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0644	0,2140	0,1496
6	Paraú	-0,0055	0,1694	0,1748
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0520	0,1807	0,2326
8	Espinharas	-0,0994	0,1308	0,2302
9	Seridó	-0,1010	0,1199	0,2209
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1620	0,1061	0,2681
11	Pataxó	-0,2796	0,0550	0,3346

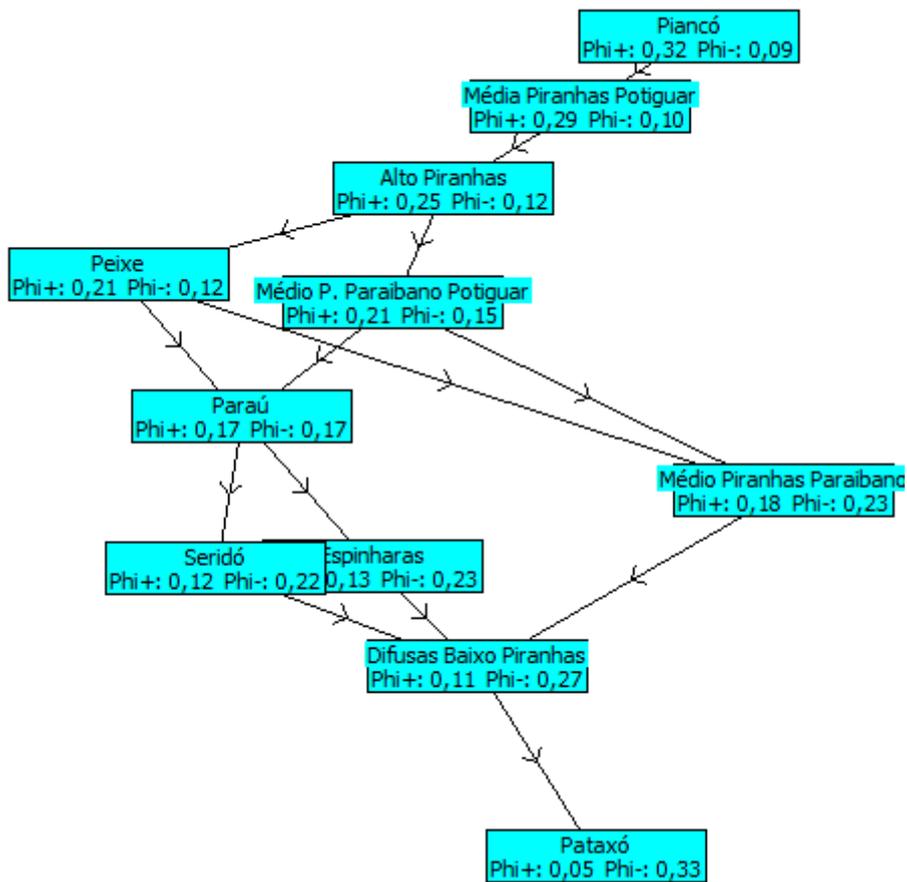


Figura 18. Representação dos fluxos (Decisor 7)

8.1.6.1.8 Cenário do Decisor 8

No cenário 8 destaca-se a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0.2077 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Médio Piranhas Potiguar e Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0.2746.

Tabela 59. Resultado do cenário do decisor 8

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,2077	0,2806	0,0729
2	Média Piranhas Potiguar	0,1579	0,2482	0,0903
3	Alto Piranhas	0,1445	0,2385	0,0940
4	Peixe	0,0823	0,1886	0,1062
5	Paraú	0,0380	0,1730	0,1350
6	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0336	0,1796	0,1460
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0280	0,1614	0,1894
8	Espinharas	-0,0995	0,1177	0,2172
9	Seridó	-0,1070	0,0980	0,2050
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1548	0,0906	0,2455
11	Pataxó	-0,2746	0,0411	0,3157

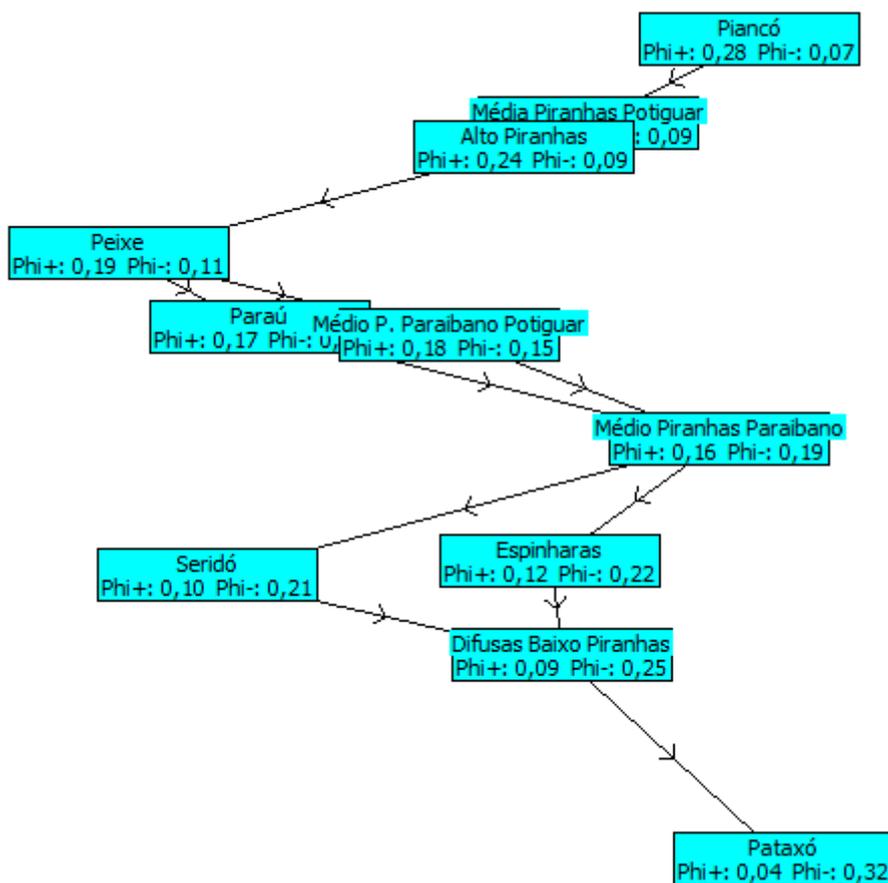


Figura 19. Representação dos fluxos (Decisor 8)

8.1.6.1.9 Cenário do Decisor 9

No cenário 9 destaca-se a sub-bacia hidrográfica Média Piranhas Potiguar com valor final de 0.1972 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Piancó. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0.2999.

Tabela 60. Resultado do cenário do decisor 9

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Média Piranhas Potiguar	0,1972	0,3137	0,1165
2	Piancó	0,1945	0,3075	0,1130
3	Médio P. Paraibano Potiguar	0,1286	0,2654	0,1368
4	Peixe	0,1280	0,2486	0,1206
5	Alto Piranhas	0,1254	0,2614	0,1360
6	Paraú	0,0042	0,1983	0,1941
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0486	0,1932	0,2419
8	Seridó	-0,1374	0,1223	0,2597
9	Espinharas	-0,1441	0,1307	0,2749
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1477	0,1324	0,2801
11	Pataxó	-0,2999	0,0663	0,3662

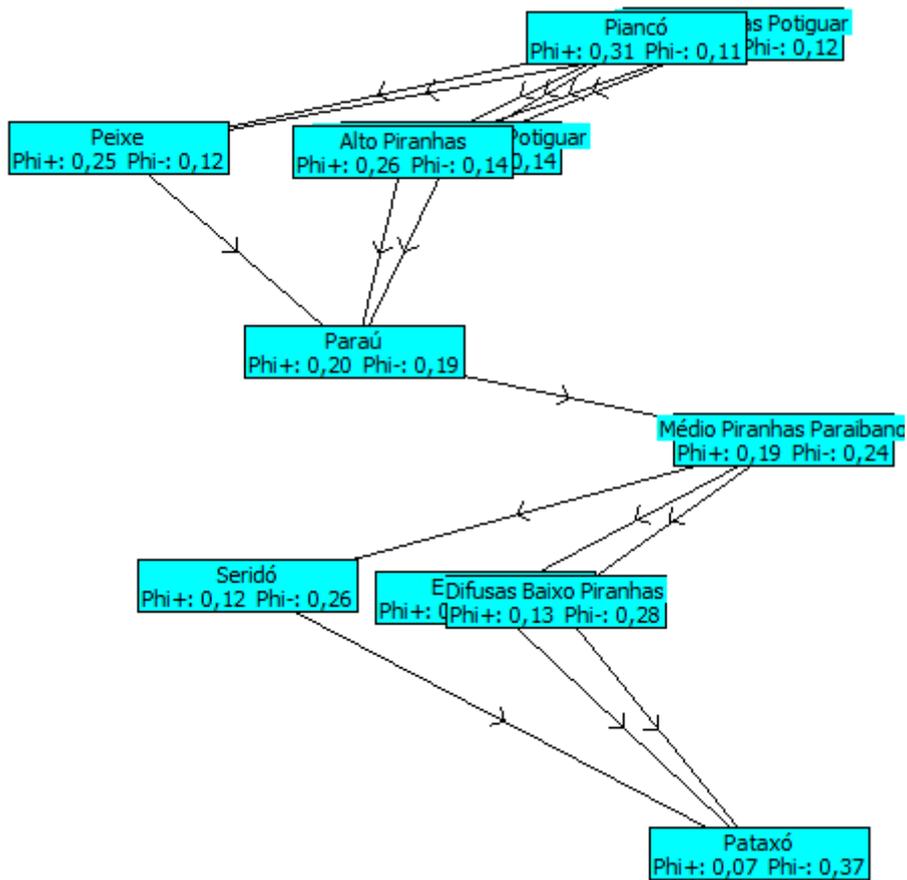


Figura 20. Representação dos fluxos (Decisor 9)

8.1.6.1.10 Cenário do Decisor 10

No cenário 10 destaca-se a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0.2113 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Média Piranhas Potiguar. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0.2949.

Tabela 61. Resultado do cenário do decisor 10

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,2113	0,3173	0,1060
2	Média Piranhas Potiguar	0,1991	0,3121	0,1130
3	Alto Piranhas	0,1289	0,2614	0,1325
4	Peixe	0,1223	0,2421	0,1198
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,1070	0,2507	0,1437
6	Paraú	0,0020	0,1919	0,1900
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0720	0,1834	0,2553
8	Seridó	-0,1222	0,1258	0,2480
9	Espinharas	-0,1285	0,1336	0,2621
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1530	0,1261	0,2791
11	Pataxó	-0,2949	0,0648	0,3597

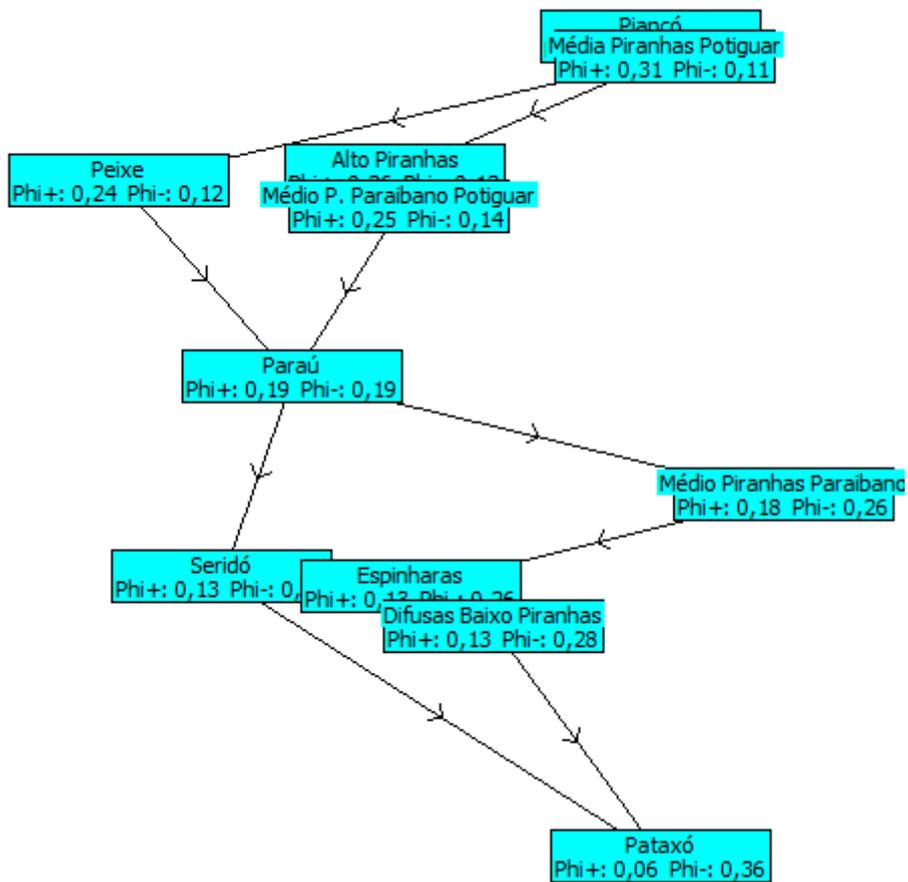


Figura 21. Representação dos fluxos (Decisor 10)

8.1.6.2 Resultados da aplicação do modelo multicritério para classificação do desempenho das Sub-Bacias Hidrográficas em relação à sustentabilidade (Decisores 11 ao 20)

De maneira semelhante ao que se observou nas simulações anteriores nos cenários a seguir (simulações 11 a 20) ocorrem mudanças substanciais no desempenho das sub-bacias hidrográficas, evidenciada principalmente nos resultados dos cenários 14 e 16.

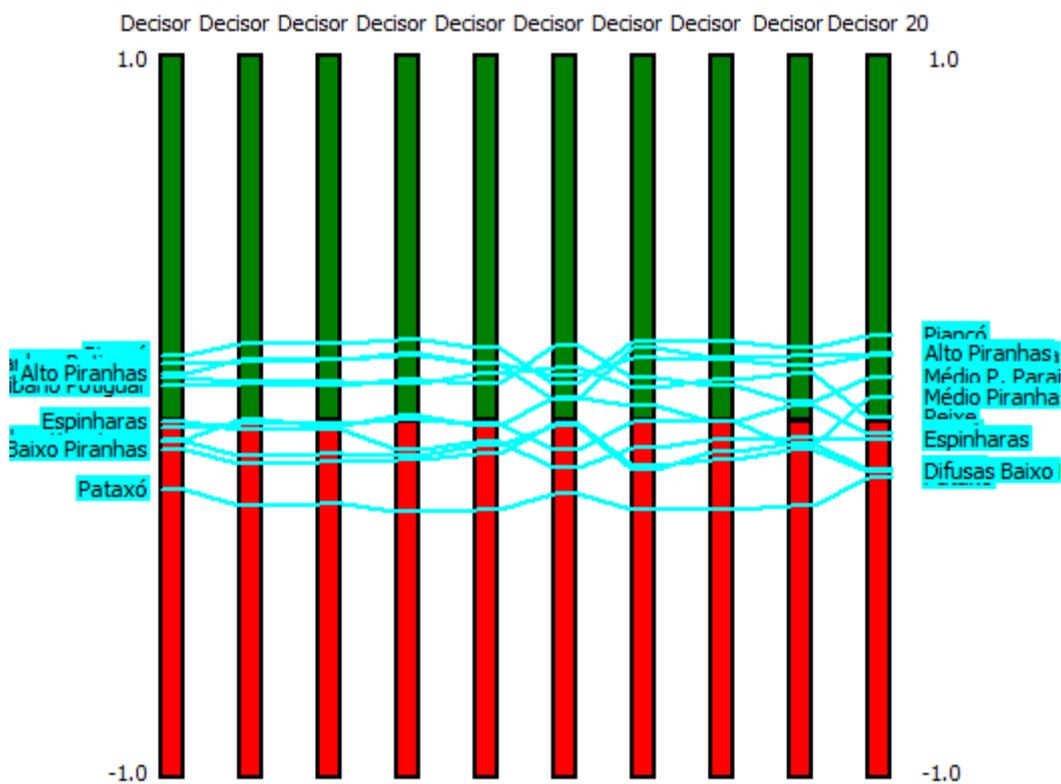


Figura 22. Ilustração das posições das sub-bacias por decisor (11º ao 20º)

8.1.6.2.1 Cenário do Decisor 11

No cenário 11 destaca-se à exemplo de outros cenários anteriores a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,1573 como melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Média Piranhas Potiguar. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2185.

Tabela 62. Resultado do cenário do decisor 11

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1573	0,2540	0,0966
2	Média Piranhas Potiguar	0,1335	0,2416	0,1081
3	Alto Piranhas	0,1054	0,2132	0,1078
4	Peixe	0,0959	0,1959	0,1000
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0707	0,1949	0,1243
6	Espinharas	-0,0287	0,1371	0,1658
7	Paraú	-0,0449	0,1365	0,1813
8	Médio Piranhas Paraibano	-0,0790	0,1477	0,2267
9	Seridó	-0,0839	0,1181	0,2020
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1077	0,1156	0,2233
11	Pataxó	-0,2185	0,0607	0,2792

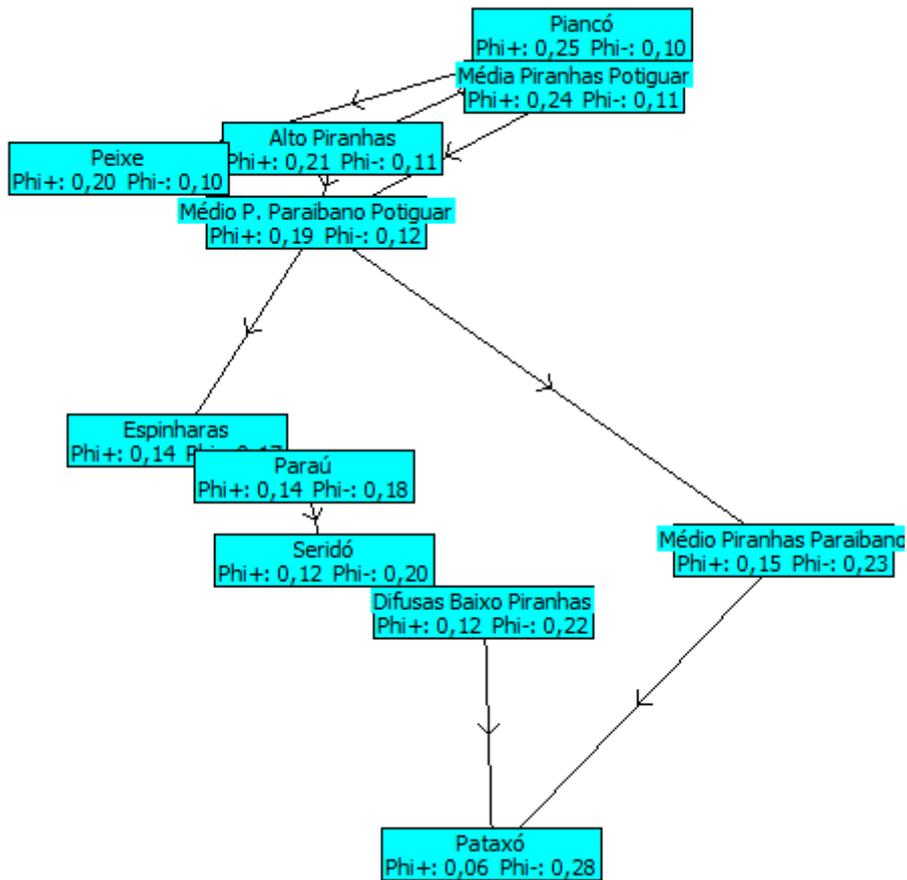


Figura 23. Representação dos fluxos (Decisor 11)

8.1.6.2.2 Cenário do Decisor 12

No cenário 12 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,1902 obteve melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2616.

Tabela 63. Resultado do cenário do decisor 12

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1902	0,2950	0,1048
2	Alto Piranhas	0,1481	0,2587	0,1106
3	Média Piranhas Potiguar	0,1396	0,2593	0,1197
4	Peixe	0,0865	0,2096	0,1231
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0761	0,2209	0,1448
6	Médio Piranhas Paraibano	-0,0216	0,1843	0,2059
7	Paraú	-0,0363	0,1611	0,1973
8	Espinharas	-0,0518	0,1411	0,1930
9	Seridó	-0,1251	0,1129	0,2380
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1441	0,1192	0,2634
11	Pataxó	-0,2616	0,0578	0,3194

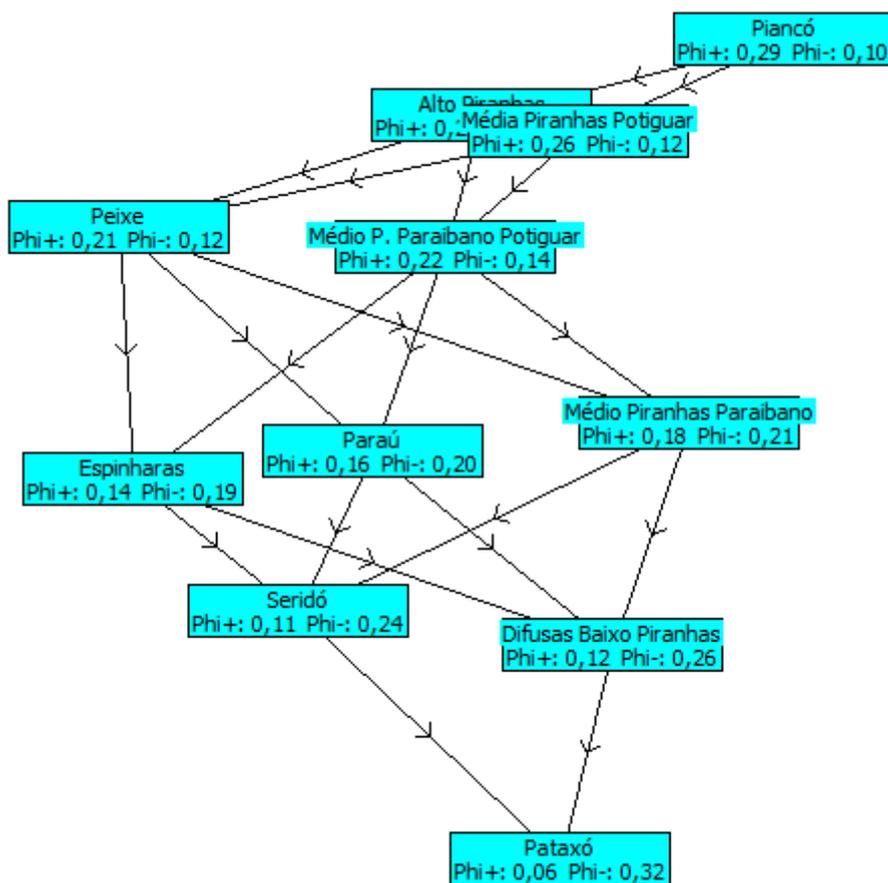


Figura 24. Representação dos fluxos (Decisor 12)

8.1.6.2.3 Cenário do Decisor 13

No cenário 13 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,1936 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Média Piranhas Potiguar e Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2569.

Tabela 64. Resultado do cenário do decisor 13

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1936	0,2969	0,1033
2	Média Piranhas Potiguar	0,1480	0,2656	0,1176
3	Alto Piranhas	0,1439	0,2559	0,1120
4	Peixe	0,0836	0,2077	0,1241
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0737	0,2188	0,1451
6	Paraú	-0,0359	0,1603	0,1962
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0391	0,1810	0,2201
8	Espinharas	-0,0498	0,1416	0,1913
9	Seridó	-0,1189	0,1159	0,2347
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1423	0,1191	0,2614
11	Pataxó	-0,2569	0,0590	0,3160

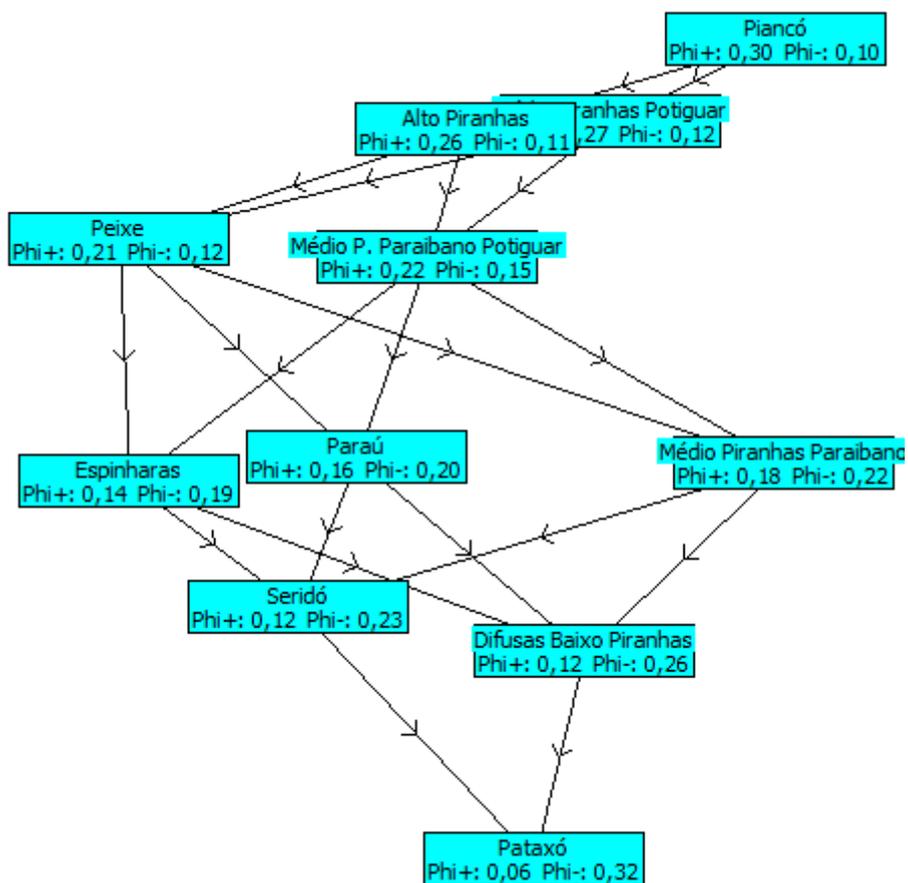


Figura 25. Representação dos fluxos (Decisor 13)

8.1.6.2.4 Cenário do Decisor 14

No cenário 14 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0.2000 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2795..

Tabela 65. Resultado do cenário do decisor 14

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,2000	0,2903	0,0903
2	Alto Piranhas	0,1614	0,2559	0,0945
3	Média Piranhas Potiguar	0,1548	0,2616	0,1068
4	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0874	0,2173	0,1299
5	Peixe	0,0796	0,1981	0,1186
6	Médio Piranhas Paraibano	-0,0138	0,1869	0,2006
7	Paraú	-0,0218	0,1597	0,1815
8	Espinharas	-0,1092	0,1203	0,2295
9	Seridó	-0,1252	0,1059	0,2311
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1337	0,1156	0,2493
11	Pataxó	-0,2795	0,0540	0,3336

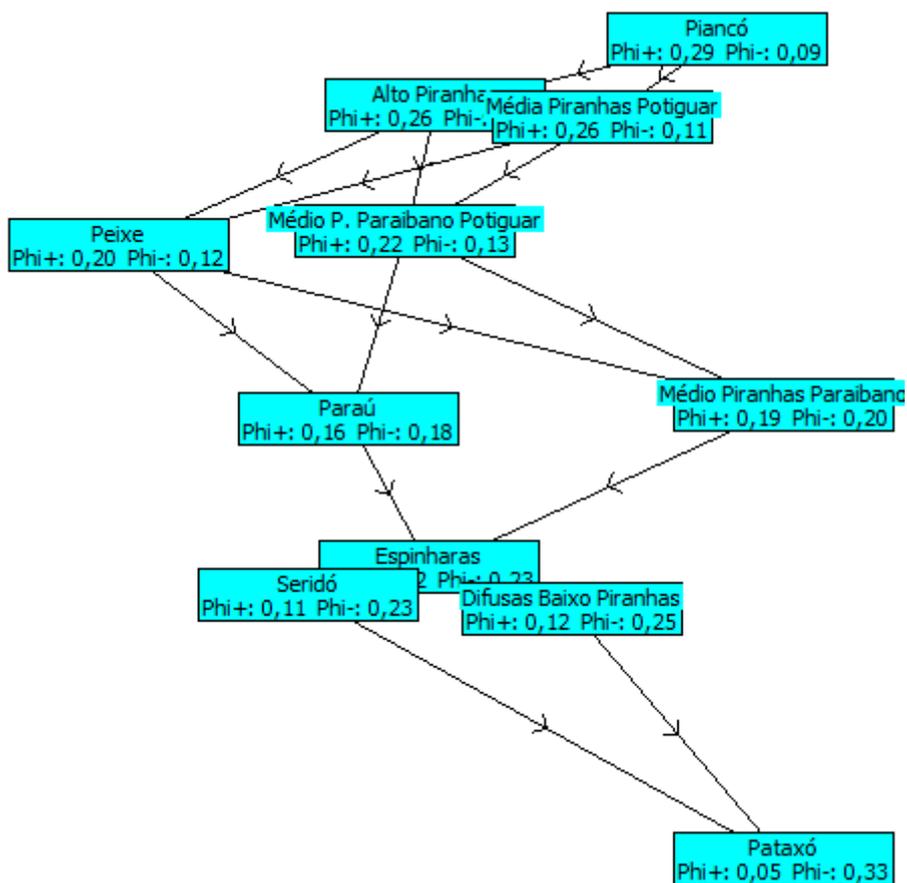


Figura 26. Representação dos fluxos (Decisor 14)

8.1.6.2.5 Cenário do Decisor 15

No cenário 15 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,1817 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Média Piranhas Potiguar e Alto Piranha. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2759.

Tabela 66. Resultado do cenário do decisor 15

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1817	0,2814	0,0997
2	Média Piranhas Potiguar	0,1376	0,2533	0,1157
3	Alto Piranhas	0,1374	0,2449	0,1075
4	Peixe	0,1095	0,2154	0,1059
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0790	0,2136	0,1346
6	Paraú	-0,0331	0,1555	0,1886
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0391	0,1732	0,2123
8	Espinharas	-0,0822	0,1377	0,2199
9	Seridó	-0,0962	0,1249	0,2211
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1188	0,1266	0,2454
11	Pataxó	-0,2759	0,0605	0,3363

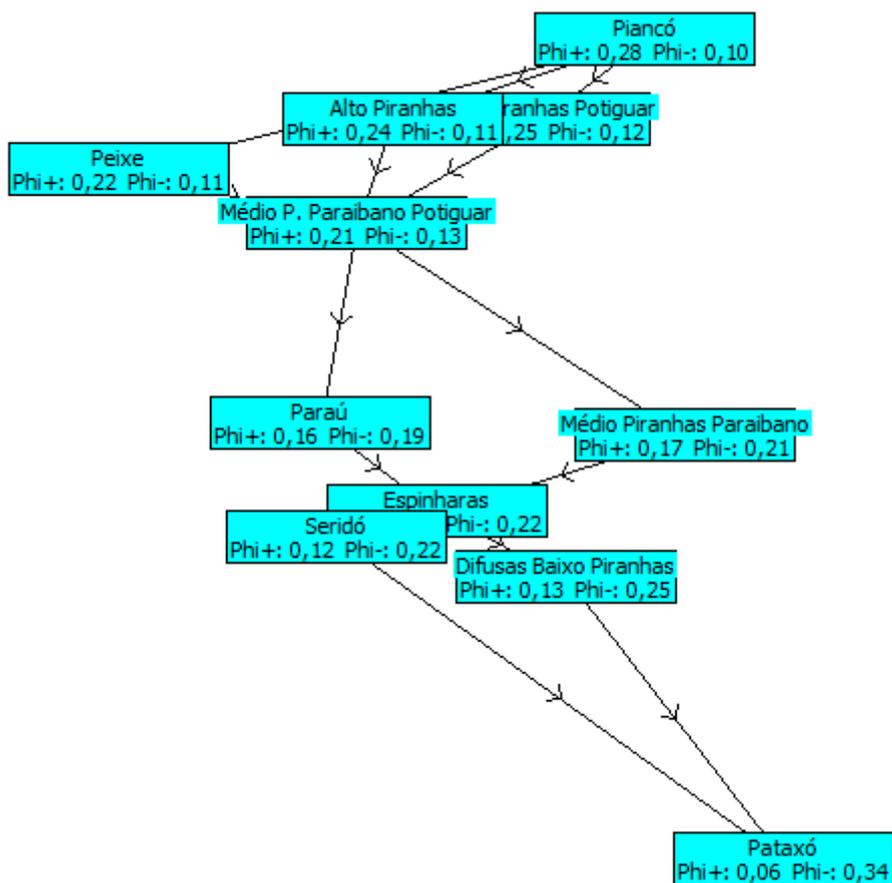


Figura 27. Representação dos fluxos (Decisor 15)

8.1.6.2 Cenário do Decisor 16

No cenário 16 a sub-bacia hidrográfica Médio Piranhas Potiguar com valor final de 0,1853 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Peixe. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2289.

Tabela 67. Resultado do cenário do decisor 16

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Médio P. Paraibano Potiguar	0,1853	0,2457	0,0604
2	Peixe	0,1231	0,2023	0,0792
3	Média Piranhas Potiguar	0,1008	0,2056	0,1048
4	Piancó	0,0812	0,1959	0,1147
5	Médio Piranhas Paraibano	0,0410	0,1721	0,1311
6	Alto Piranhas	0,0309	0,1646	0,1337
7	Difusas Baixo Piranhas	-0,0324	0,1472	0,1797
8	Seridó	-0,0378	0,1355	0,1733
9	Paraú	-0,1072	0,0993	0,2065
10	Espinharas	-0,1560	0,0935	0,2495
11	Pataxó	-0,2289	0,0725	0,3014

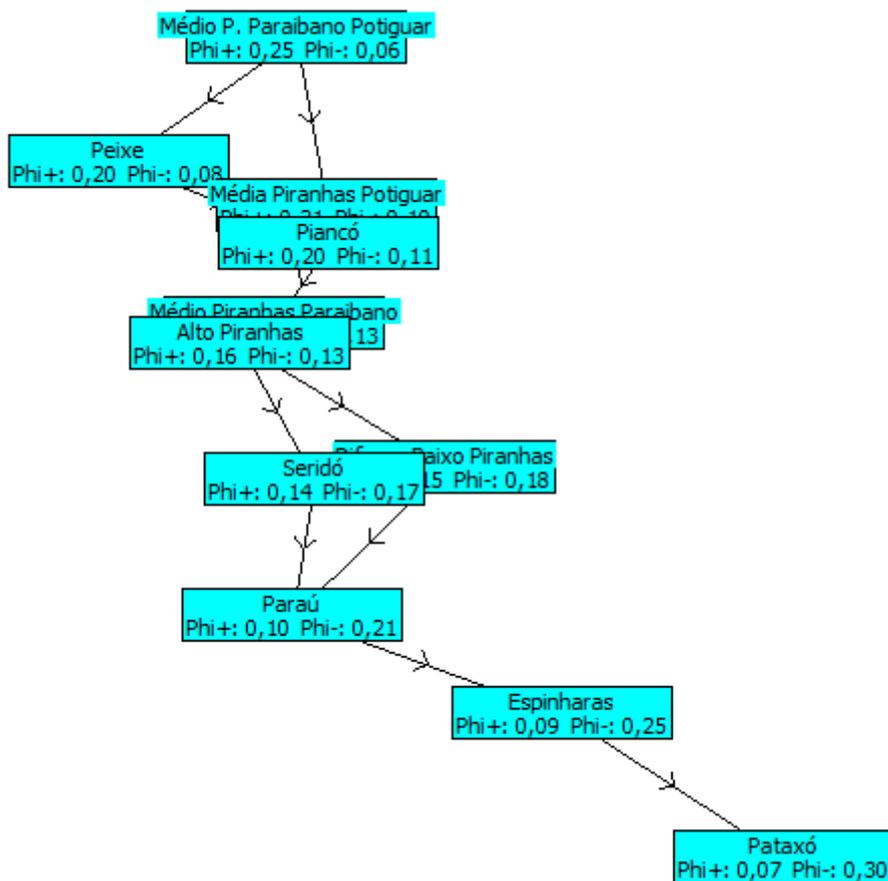


Figura 28. Representação dos fluxos (Decisor 16)

8.1.6.2.7 Cenário do Decisor 17

No cenário 17 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,1975 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2726.

Tabela 68. Resultado do cenário do decisor 17

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1975	0,2804	0,0829
2	Alto Piranhas	0,1794	0,2584	0,0790
3	Média Piranhas Potiguar	0,1490	0,2535	0,1044
4	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0978	0,2180	0,1202
5	Peixe	0,0675	0,1870	0,1194
6	Médio Piranhas Paraibano	0,0196	0,1951	0,1755
7	Paraú	-0,0264	0,1544	0,1808
8	Espinharas	-0,0991	0,1159	0,2150
9	Difusas Baixo Piranhas	-0,1490	0,1029	0,2519
10	Seridó	-0,1638	0,0820	0,2459
11	Pataxó	-0,2726	0,0483	0,3209

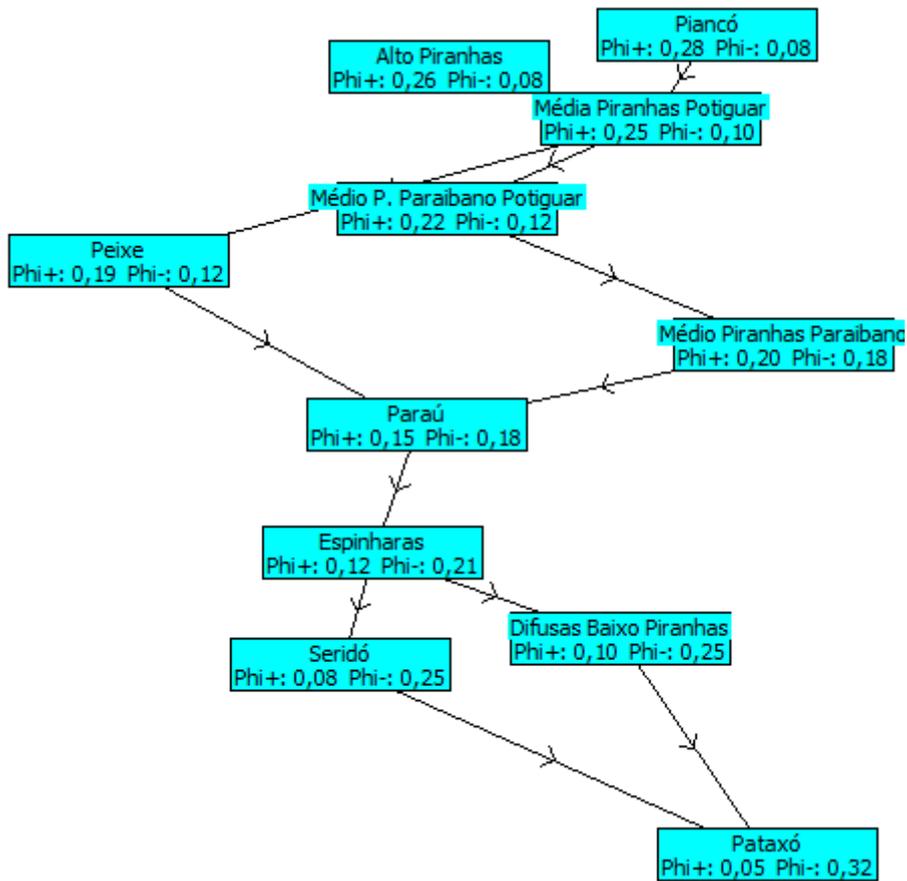


Figura 29. Representação dos fluxos (Decisor 17)

8.1.6.2.8 Cenário do Decisor 18

No cenário 18 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,1968 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2734.

Tabela 69. Resultado do cenário do decisor 18

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1968	0,2949	0,0981
2	Alto Piranhas	0,1493	0,2556	0,1064
3	Média Piranhas Potiguar	0,1467	0,2604	0,1138
4	Peixe	0,0885	0,2071	0,1186
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0736	0,2152	0,1416
6	Paraú	-0,0274	0,1608	0,1882
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0283	0,1816	0,2099
8	Espinharas	-0,0788	0,1344	0,2132
9	Seridó	-0,1112	0,1171	0,2283
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1358	0,1198	0,2556
11	Pataxó	-0,2734	0,0570	0,3304

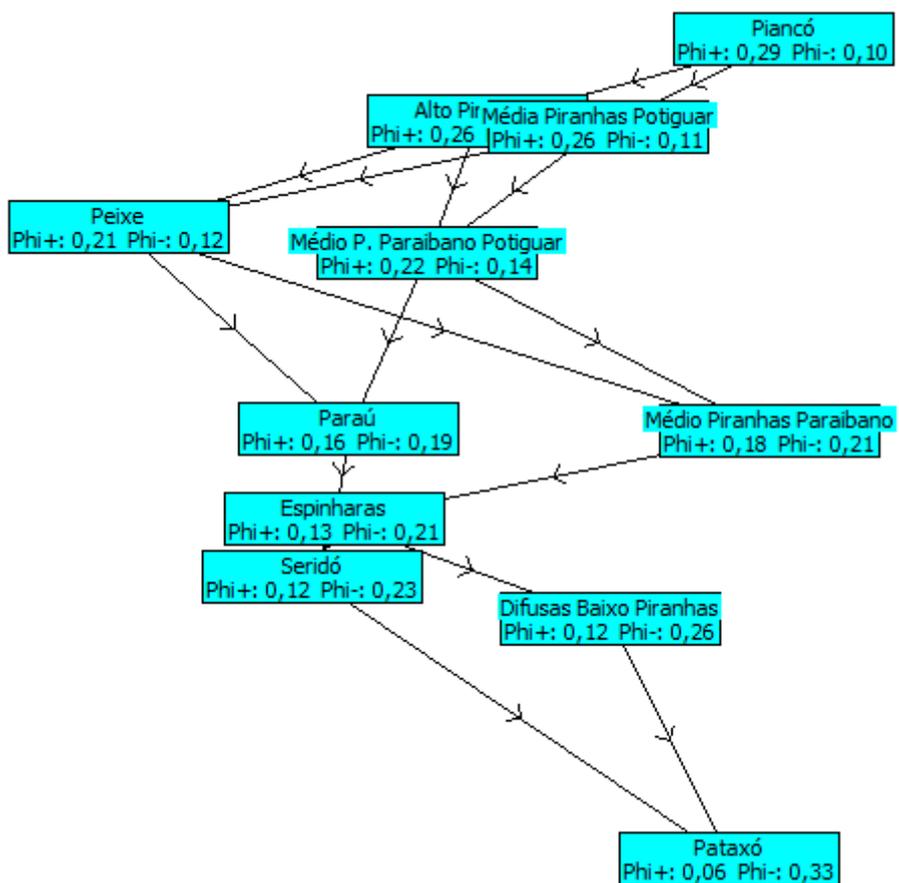


Figura 30. Representação dos fluxos (Decisor 18)

8.1.6.2.9 Cenário do Decisor 19

No cenário 19 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,1812 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2620.

Tabela 70. Resultado do cenário do decisor 19

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1812	0,2675	0,0863
2	Alto Piranhas	0,1583	0,2385	0,0802
3	Média Piranhas Potiguar	0,1277	0,2324	0,1047
4	Peixe	0,1087	0,1999	0,0912
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0305	0,1699	0,1395
6	Paraú	0,0160	0,1627	0,1466
7	Espinharas	-0,0727	0,1256	0,1983
8	Seridó	-0,0876	0,1114	0,1990
9	Médio Piranhas Paraibano	-0,0939	0,1329	0,2268
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1061	0,1136	0,2197
11	Pataxó	-0,2620	0,0500	0,3121

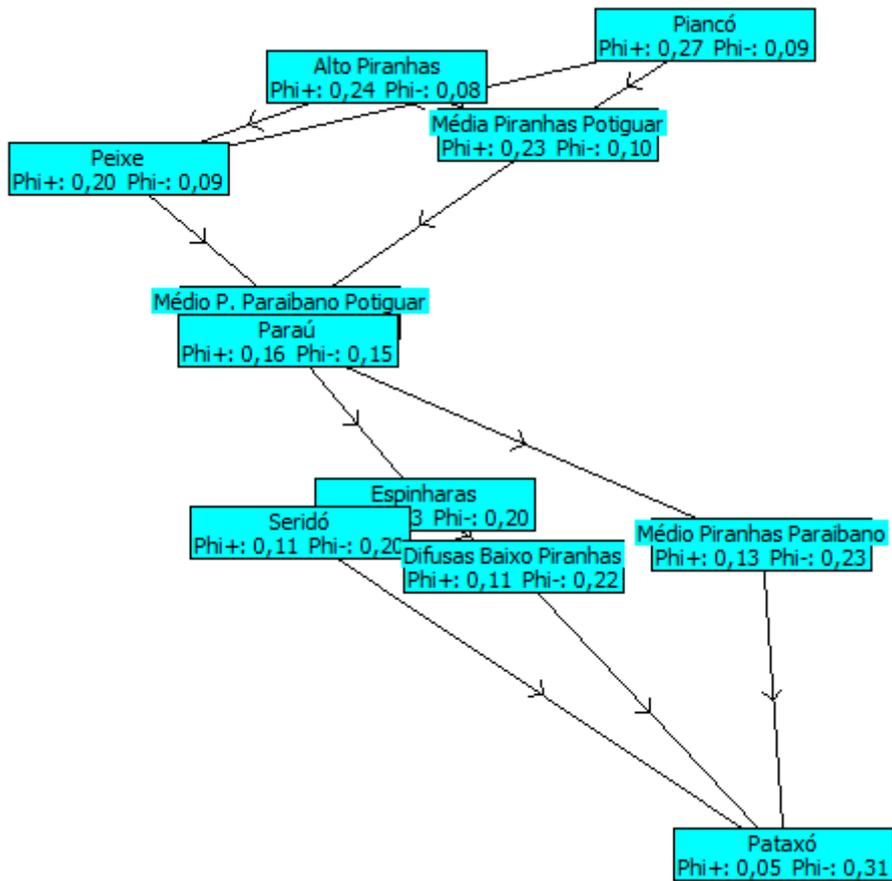


Figura 31. Representação dos fluxos (Decisor 19)

8.1.6.2.10 Cenário do Decisor 20

No cenário 20 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,2147 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,1854.

Tabela 71. Resultado do cenário do decisor 20

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,2147	0,2568	0,0421
2	Alto Piranhas	0,1628	0,2131	0,0502
3	Média Piranhas Potiguar	0,1580	0,2208	0,0628
4	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0981	0,1809	0,0828
5	Médio Piranhas Paraibano	0,0388	0,1743	0,1355
6	Peixe	-0,0160	0,1059	0,1219
7	Paraú	-0,0626	0,0938	0,1564
8	Espinharas	-0,0770	0,0684	0,1455
9	Seridó	-0,1643	0,0353	0,1996
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1672	0,0476	0,2148
11	Pataxó	-0,1854	0,0311	0,2166

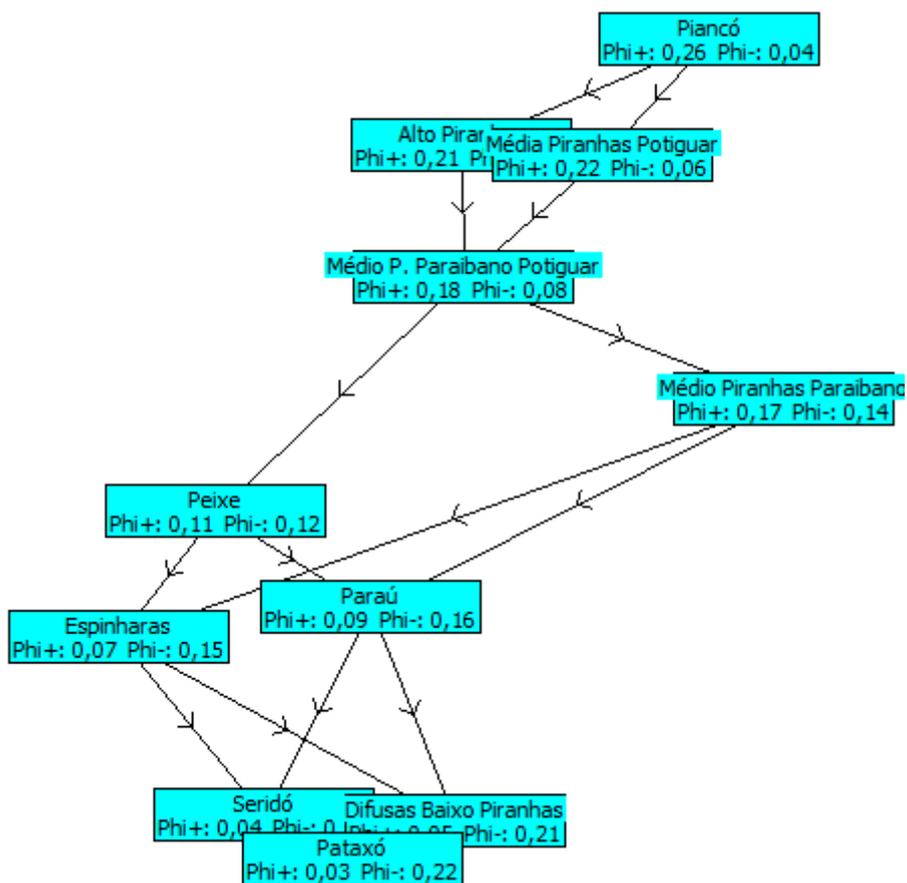


Figura 32. Representação dos fluxos (Decisor 20)

8.1.6.3 Resultados da aplicação do modelo multicritério para classificação do desempenho das Sub-Bacias Hidrográficas em relação à sustentabilidade (Decisores 21 ao 27)

Nos cenários das simulações 21 a 27, a exemplo do que já aconteceu, ocorreram mudanças no desempenho dos municípios principalmente nos resultados dos cenários 23, 24 e 25.

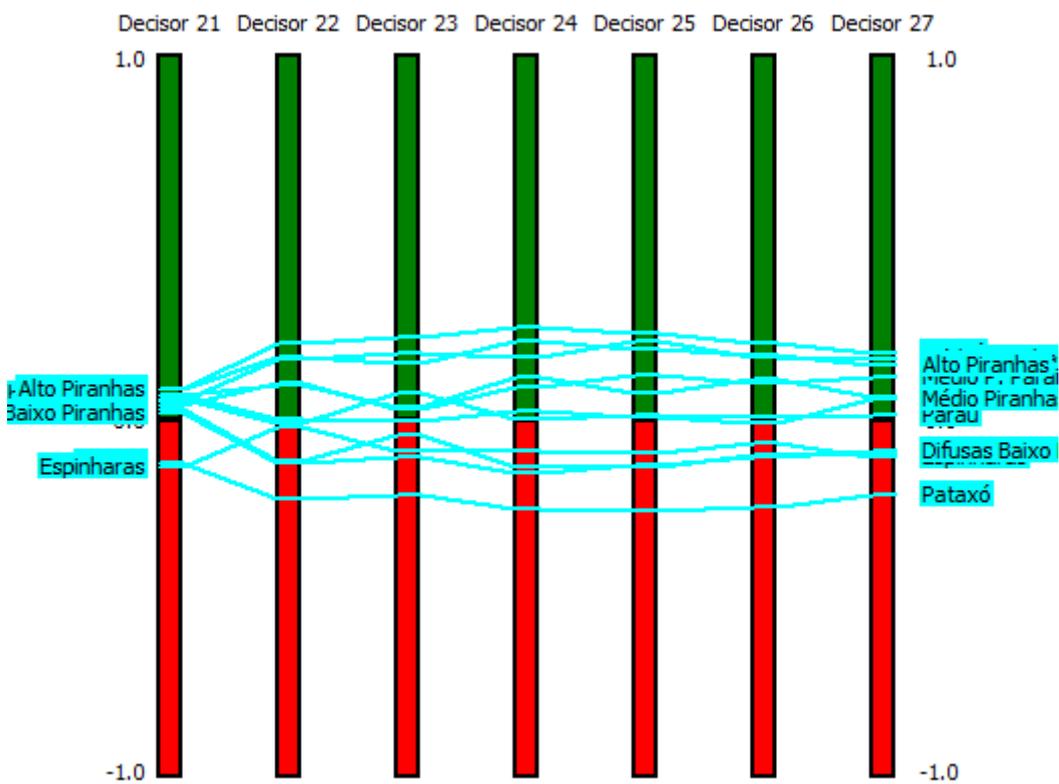


Figura 34. Ilustração das posições das sub-bacias por decisor (21^o ao 27^o)

8.1.6.3.1 Cenário do Decisor 21

No cenário 21 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,0641 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Espinharas com valor de -0,1553.

Tabela 72. Resultado do cenário do decisor 21

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,0641	0,0642	0,0001
2	Alto Piranhas	0,0625	0,0628	0,0003
3	Peixe	0,0449	0,0492	0,0042
4	Médio Piranhas Paraibano	0,0435	0,0482	0,0047
5	Paraú	0,0328	0,0424	0,0097
6	Média Piranhas Potiguar	0,0302	0,0412	0,0110
7	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0180	0,0373	0,0194
8	Seridó	0,0083	0,0354	0,0271
9	Difusas Baixo Piranhas	-0,0037	0,0334	0,0371
10	Pataxó	-0,1452	0,0050	0,1502
11	Espinharas	-0,1553	0,0000	0,1553

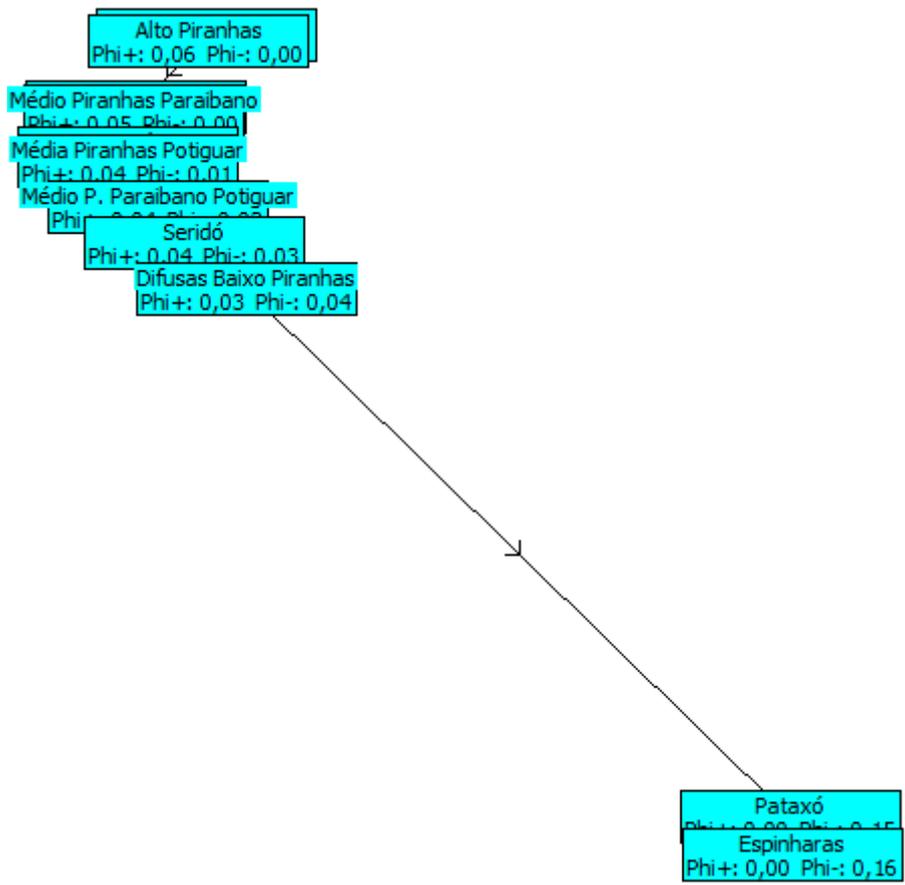


Figura 34. Representação dos fluxos (Decisor 21)

8.1.6.3.2 Cenário do Decisor 22

No cenário 22 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0.1906 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0.2457.

Tabela 73. Resultado do cenário do decisor 22

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1906	0,2812	0,0907
2	Alto Piranhas	0,1534	0,2482	0,0948
3	Média Piranhas Potiguar	0,1458	0,2548	0,1090
4	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0775	0,2096	0,1321
5	Peixe	0,0705	0,1905	0,1201
6	Médio Piranhas Paraibano	-0,0217	0,1800	0,2018
7	Paraú	-0,0354	0,1508	0,1862
8	Espinharas	-0,0472	0,1323	0,1795
9	Seridó	-0,1398	0,0955	0,2353
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1478	0,1048	0,2526
11	Pataxó	-0,2457	0,0528	0,2986

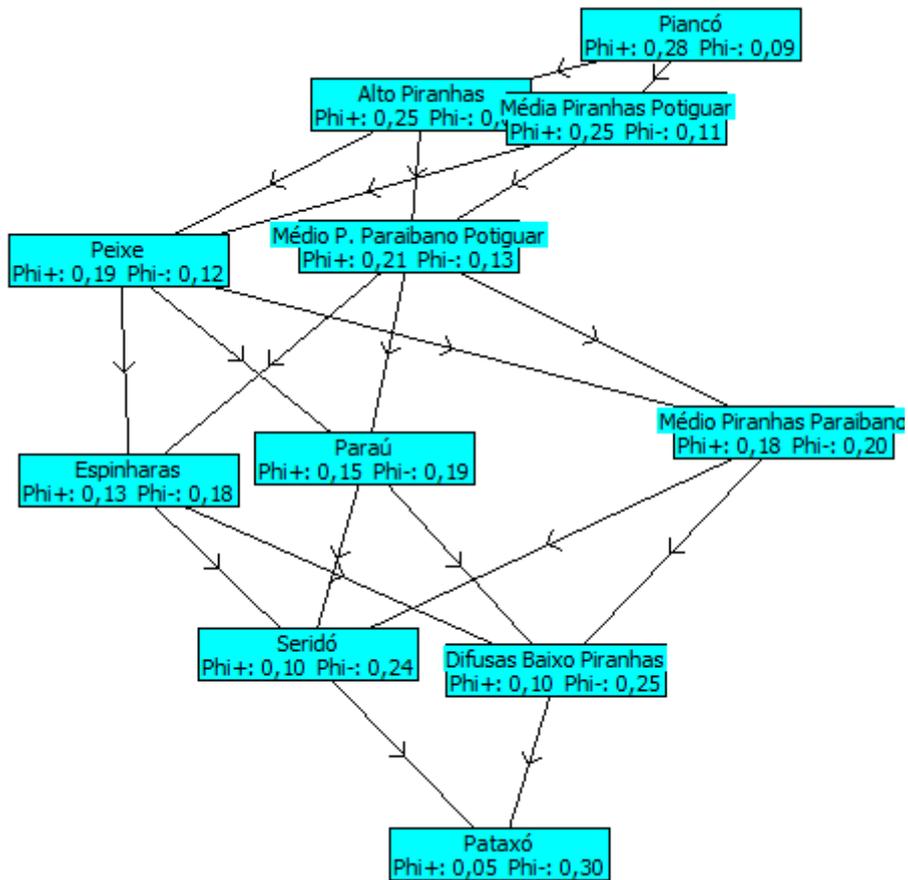


Figura 35. Representação dos fluxos (Decisor 22)

8.1.6.3 Cenário do Decisor 23

No cenário 23 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,2079 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Média Piranhas Potiguar. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2360.

Tabela 74. Resultado do cenário do decisor 23

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,2079	0,2730	0,0652
2	Média Piranhas Potiguar	0,1609	0,2319	0,0710
3	Alto Piranhas	0,1360	0,2223	0,0863
4	Paraú	0,0498	0,1600	0,1102
5	Peixe	0,0108	0,1361	0,1253
6	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0040	0,1491	0,1451
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0273	0,1536	0,1809
8	Seridó	-0,0673	0,0963	0,1637
9	Espinharas	-0,1116	0,0854	0,1970
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1272	0,0835	0,2107
11	Pataxó	-0,2360	0,0334	0,2694

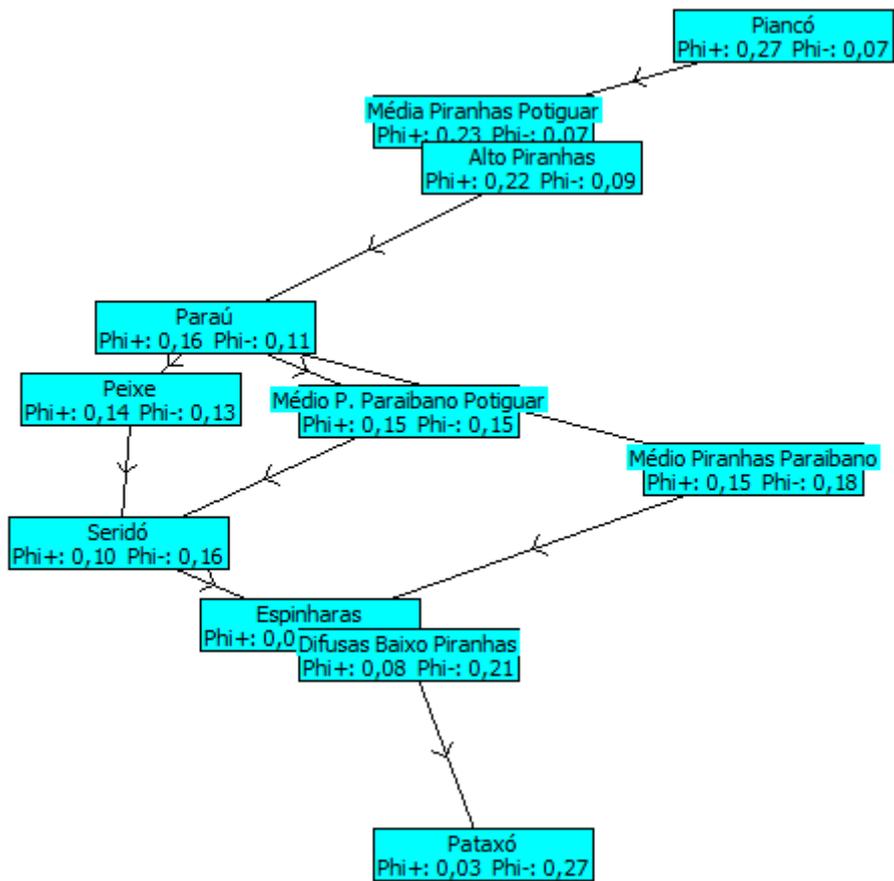


Figura 36. Representação dos fluxos (Decisor 23)

8.1.6.3.4 Cenário do Decisor 24

No cenário 24 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,2380 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2744.

Tabela 75. Resultado do cenário do decisor 24

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,2380	0,3283	0,0903
2	Alto Piranhas	0,1981	0,2932	0,0950
3	Média Piranhas Potiguar	0,1495	0,2776	0,1281
4	Peixe	0,0931	0,2235	0,1305
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0654	0,2268	0,1614
6	Médio Piranhas Paraibano	-0,0027	0,2109	0,2136
7	Paraú	-0,0229	0,1773	0,2002
8	Espinharas	-0,1144	0,1203	0,2347
9	Seridó	-0,1572	0,1094	0,2666
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1726	0,1156	0,2882
11	Pataxó	-0,2744	0,0592	0,3336

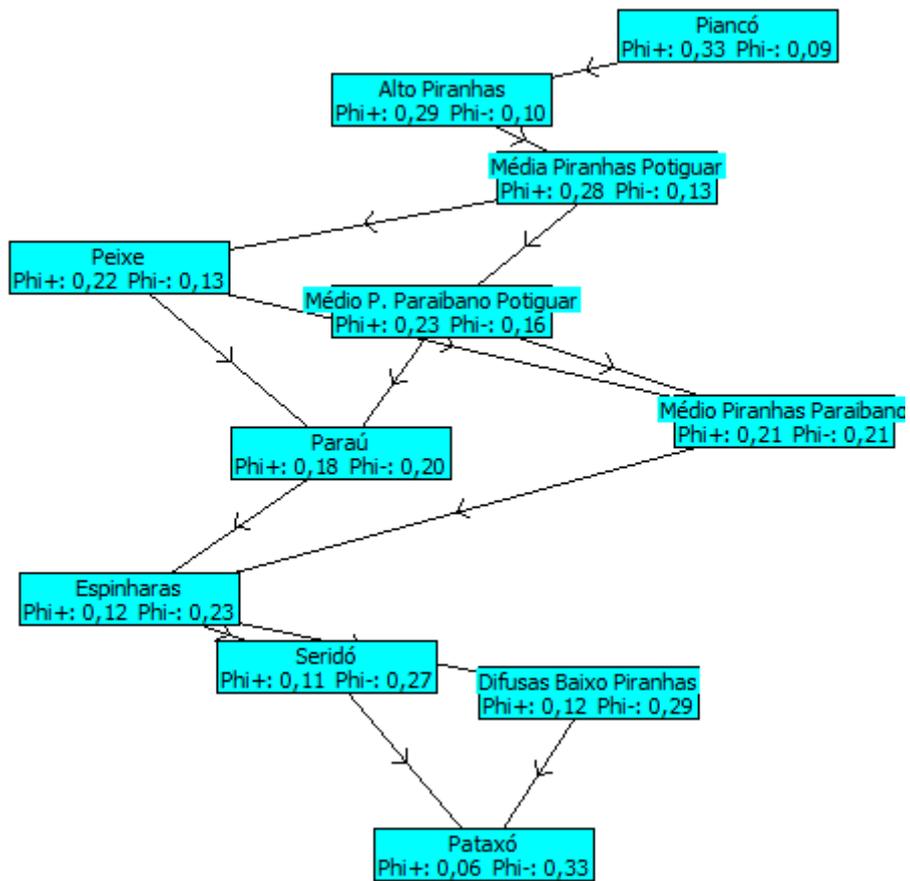


Figura 37. Representação dos fluxos (Decisor 24)

8.1.6.3.5 Cenário do Decisor 25

No cenário 25 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0.2208 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Média Piranhas Potiguar. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2785

Tabela 76. Resultado do cenário do decisor 25

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,2208	0,3148	0,0940
2	Média Piranhas Potiguar	0,1955	0,3012	0,1057
3	Alto Piranhas	0,1731	0,2742	0,1012
4	Médio P. Paraibano Potiguar	0,1023	0,2385	0,1363
5	Peixe	0,0479	0,1935	0,1456
6	Paraú	-0,0134	0,1768	0,1902
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0195	0,2092	0,2287
8	Espinharas	-0,1201	0,1172	0,2373
9	Difusas Baixo Piranhas	-0,1524	0,1160	0,2685
10	Seridó	-0,1555	0,1003	0,2558
11	Pataxó	-0,2785	0,0561	0,3346

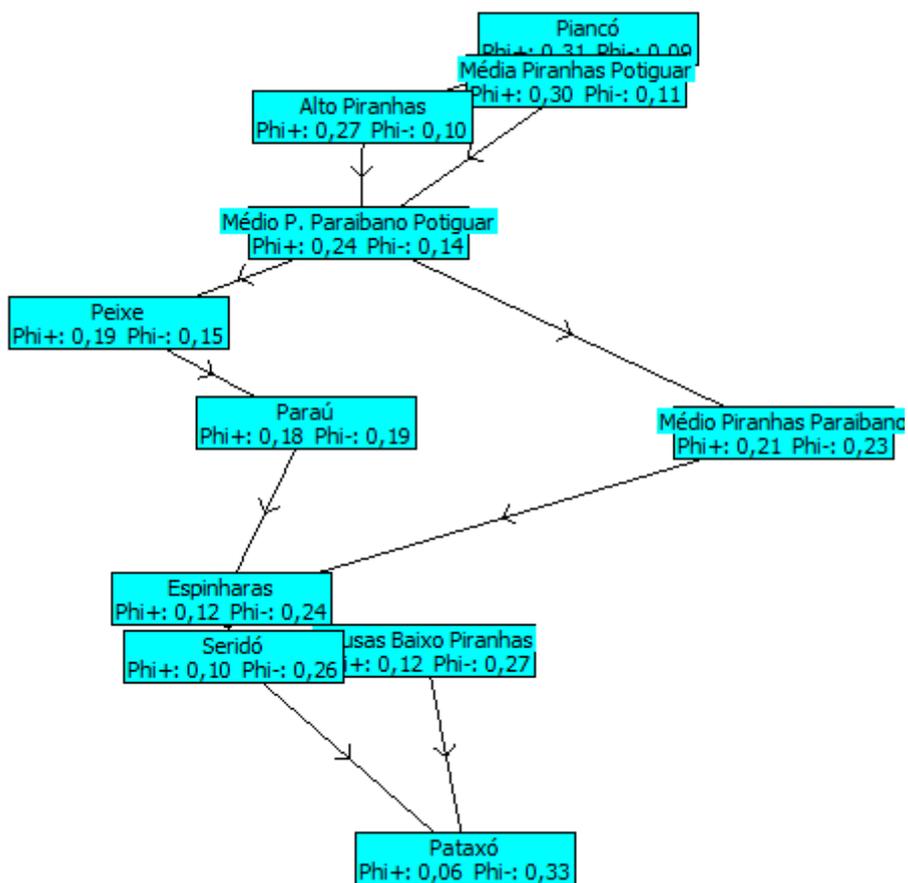


Figura 38. Representação dos fluxos (Decisor 25)

8.1.6.3.6 Cenário do Decisor 26

No cenário 26 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,1920 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia Alto Piranhas. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2722.

Tabela 77. Resultado do cenário do decisor 26

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1920	0,2875	0,0955
2	Alto Piranhas	0,1593	0,2557	0,0964
3	Média Piranhas Potiguar	0,1495	0,2608	0,1112
4	Peixe	0,0877	0,2040	0,1163
5	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0788	0,2138	0,1350
6	Paraú	-0,0166	0,1643	0,1809
7	Médio Piranhas Paraibano	-0,0345	0,1779	0,2124
8	Espinharas	-0,0893	0,1272	0,2165
9	Seridó	-0,1244	0,1081	0,2325
10	Difusas Baixo Piranhas	-0,1304	0,1185	0,2489
11	Pataxó	-0,2722	0,0554	0,3276

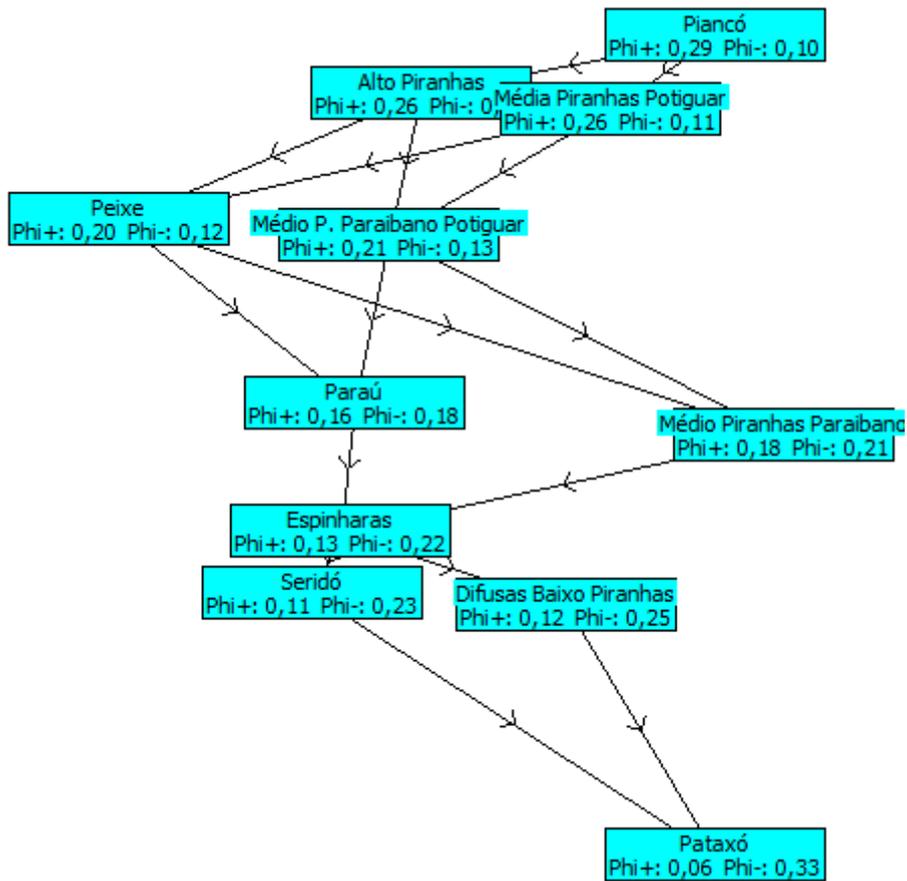


Figura 39. Representação dos fluxos (Decisor 26)

8.1.6.3.7 Cenário do Decisor 27

No cenário 27 a sub-bacia hidrográfica Piancó com valor final de 0,1651 apresentou melhor resultado para sub-bacia, seguido pela sub-bacia e Média Piranhas Potiguar. O pior resultado para sub-bacia foi a Pataxó com valor de -0,2373.

Tabela 78. Resultado do cenário do decisor 27

Ordenação	Sub-bacia hidrográfica	Phi	Phi+	Phi-
1	Piancó	0,1651	0,2396	0,0744
2	Média Piranhas Potiguar	0,1470	0,2288	0,0818
3	Alto Piranhas	0,1292	0,2125	0,0833
4	Médio P. Paraibano Potiguar	0,0956	0,1960	0,1004
5	Peixe	0,0381	0,1519	0,1137
6	Médio Piranhas Paraibano	0,0332	0,1798	0,1466
7	Paraú	-0,0114	0,1381	0,1495
8	Difusas Baixo Piranhas	-0,1122	0,0960	0,2083
9	Seridó	-0,1160	0,0821	0,1981
10	Espinharas	-0,1314	0,0841	0,2155
11	Pataxó	-0,2373	0,0433	0,2806

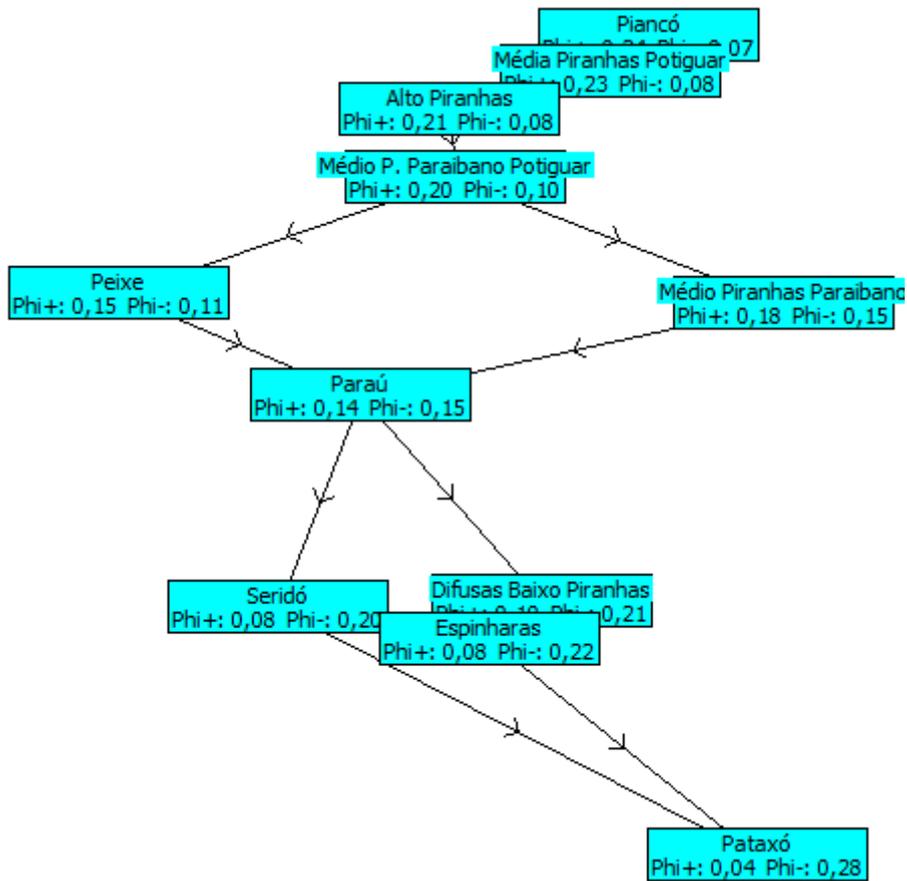


Figura 40. Representação dos fluxos (Decisor 27)

8.1.5.2 Etapa 3 – Resultado da Aplicação do Método Multidecisor de ordenação de Copeland

Com a aplicação do método PROMETHEE II foi possível ordenar alternativas sob as preferências individuais de cada elemento de um grupo de decisores. Dessa forma, se buscou agregar essas informações em uma ordenação única, que representa as preferências do grupo. A tabela a seguir apresenta a matriz elaborada a partir dos resultados da aplicação do PROMETHEE II que será base para uma análise visando à agregação final dos municípios, de modo a considerar todas as opiniões diferenciadas em relação ao peso das variáveis. Para esta análise adotou-se o método de ordenação de COPELAND.

Tabela 79. Resultado final da análise COPELAND³⁹

Sub-Bacia Hidrográfica	Seridó	Piarcó	Peixe	Pataxó	Paraú	Média Piranhas Potiguar	Médio P. Paraibano Potiguar	Médio Piranhas Paraibano	Espinharas	Difusas Baixo Piranhas	Alto Piranhas	Derrotas
Seridó	0	27	27	0	26	27	27	26	18	5	27	210
Piarcó	0	0	1	0	0	4	1	0	0	0	0	6
Peixe	0	26	0	0	1	24	11	1	0	0	24	87
Pataxó	27	27	27	0	27	27	27	27	26	27	27	269
Paraú	1	27	26	0	0	26	23	11	2	1	27	144
Média Piranhas Potiguar	0	23	3	0	1	0	1	1	0	0	11	40
Médio P. Paraibano Potiguar	0	26	16	0	4	26	0	2	1	0	23	98
Médio Piranhas Paraibano	1	27	26	0	16	26	25	0	2	0	26	149
Espinharas	9	27	27	1	25	27	26	25	0	6	27	200

³⁹³⁹ No Anexo se encontra o detalhamento da aplicação do método. Com os valores comparados por bacia.

Difusas Baixo Piranhas	22	27	27	0	26	27	27	27	21	0	27	231
Alto Piranhas	0	27	3	0	0	16	4	1	0	0	0	51
Vitórias	60	264	183	1	126	230	172	121	70	39	219	

Partindo, contudo para a finalização do cálculo (aplicando o método Copeland que trabalha o número de vitórias menos o número de derrotas) a sub-bacia hidrográfica que obteve o melhor resultado e portanto seria a que está em melhor situação em termos de sustentabilidade é a sub-bacia hidrográfica Piancó (com 258 de saldo), seguido pela sub-bacia hidrográfica Média Piranhas Potiguar (190 de saldo). Já o pior resultado e portanto a menos sustentável (e com prioridade em ações em termos de gestão) é a sub-bacia hidrográfica do Pataxó (com saldo negativo de -268).

Tabela 80. Resultado final

Ranking final	Sub-bacia Hidrográfica	Valores finais (Vitórias – Derrotas)
1	Piancó	258
2	Média Piranhas Potiguar	190
3	Alto Piranhas	168
4	Peixe	96
5	Médio P. Paraibano Potiguar	74
6	Paraú	-18
7	Médio Piranhas Paraibano	-28
8	Espinharas	-130
9	Seridó	-150
10	Difusas Baixo Piranhas	-192
11	Pataxó	-268

A figura a seguir apresenta o resultado final em termos de número por Sub-Bacia Hidrográfica.

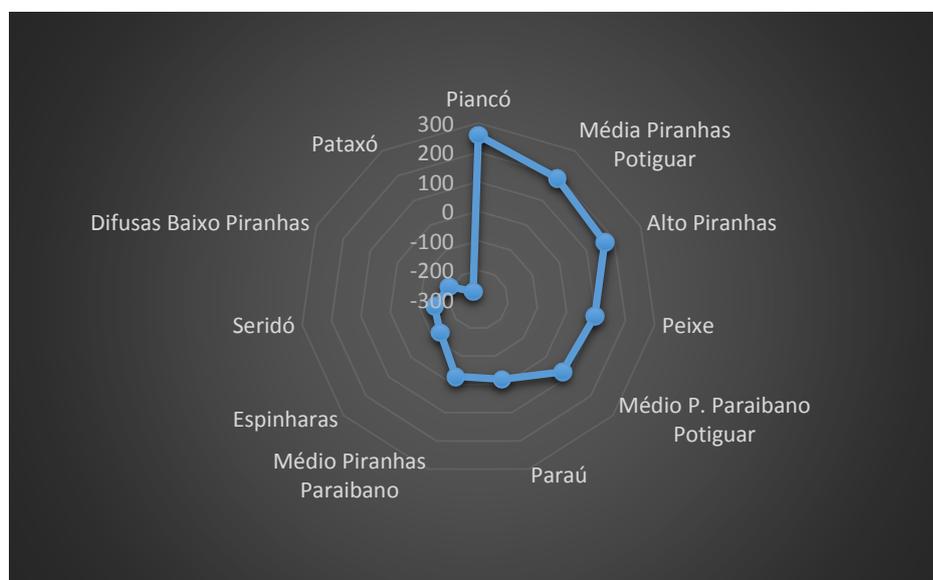


Figura 41. Resultado final do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas aplicado com os Métodos Promethee e Copeland

A sequência do gráfico acima apresenta as sub-bacias hidrográficas que estão predominantemente do lado do Rio Grande do Norte (Seridó, Difusas Baixo Piranhas e Pataxó) em situação um tanto mais desfavorável em relação as sub-bacias maiores que estão do lado da Paraíba (Alto Piranhas, Piancó, Peixe). De forma mais ampla contudo há um certo equilíbrio entre a sustentabilidade de sub-bacias hidrográficas em relação à sua localização em termos de estado (Paraíba e Rio Grande do Norte).

Em relação a metodologia proposta, uma vez apresentados os resultados, torna-se relevante retomar a metodologia do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (WSI) e estabelecer um análise comparativa com vista a perceber os avanços e aproximações de ambos, bem como entender o impacto que a participação popular (oriunda da metodologia proposta) tem sobre os resultados finais.

8.1.5.2.1 Comparativo entre a aplicação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas e o Índice proposto

A seguir será apresentado os valores de aplicação da metodologia do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (sem análise multicritério e multidecisor, ou seja, na sua forma original WSI), com vistas a posteriormente ser apresentado o comparativo entre as duas metodologias.

Tabela 81. Dados dos indicadores

Sub-Bacia hidrográfica	Indicador	Resultado Pressão	Resultado Estado	Resultado Resposta	Resultado (parcial ii)	Resultado final
Seridó	Hidrology - hidrologia	1	0.25	0.5	0.541667	0.59375
		1	0.25	0.25		
	Environment - Meio ambiente	0,5	1	0,25	0.583333	
	Life - Vida	0,75	0,5	0,75	0.666667	
	Policy – Política	1	0,5	0,25	0.583333	
Piancó	Hidrology - hidrologia	0.75	0.75	0.5	0.708333	0.677083333
		1	1	0.25		
	Environment - Meio ambiente	1	1	0.25	0.75	
	Life - Vida	0.75	0.25	1	0.666667	
	Policy – Política	1	0.5	0.25	0.583333	
Peixe	Hidrology - hidrologia	0.75	0.5	0.5	0.583333	0.604166667
		0.5	1	0.25		
	Environment - Meio ambiente	0.25	1	0.25	0.5	
	Life - Vida	0.75	0.5	1	0.75	
	Policy – Política	1	0.5	0.25	0.583333	
Pataxó	Hidrology - hidrologia	0.75	0.25	0.5	0.541667	0.572916667
		0.75	0.75	0.25		
	Environment - Meio ambiente	1	1	0,25	0.75	
	Life - Vida	0,75	0,25	0,25	0.416667	
	Policy – Política	1	0,5	0,25	0.583333	

Paraú	Hidrology - hidrologia	0.5	1	0.5	0.583333	0.645833333
		0.75	0.5	0.25		
	Environment - Meio ambiente	1	1	0.25	0.75	
	Life - Vida	0.75	0.25	1	0.666667	
	Policy – Política	1	0.5	0.25	0.583333	
Média Piranhas Potiguar	Hidrology - hidrologia	0.75	0.75	0.5	0.708333	0.677083333
		1	1	0.25		
	Environment - Meio ambiente	1	1	0.25	0.75	
	Life - Vida	0.75	0.25	1	0.666667	
	Policy – Política	1	0.5	0.25	0.583333	
Média Piranhas Paraibano Potiguar	Hidrology - hidrologia	0.75	0.5	0.5	0.583333	0.604166667
		0.5	1	0.25		
	Environment - Meio ambiente	0.25	1	0.25	0.5	
	Life - Vida	0.75	0.5	1	0.75	
	Policy – Política	1	0.5	0.25	0.583333	
Média Piranhas Paraibano	Hidrology - hidrologia	0.75	0.75	0.5	0.583333	0.583333333
		0.25	1	0.25		
	Environment - Meio ambiente	0.25	1	0.25	0.5	
	Life - Vida	0.75	0.25	1	0.666667	
	Policy – Política	1	0.5	0.25	0.583333	
Espinharas	Hidrology - hidrologia	0.5	0.25	0.5	0.583333	0.583333333
		1	1	0.25		
	Environment - Meio ambiente	1	1	0.25	0.75	
	Life - Vida	0.75	0.25	0.25	0.416667	
	Policy – Política	1	0.5	0.25	0.583333	
Difusas Baixo Piranhas	Hidrology - hidrologia	0.75	0.5	0.5	0.583333	0.645833333
		0.5	1	0.25		
	Environment - Meio ambiente	1	1	0.25	0.75	
	Life - Vida	0.75	0.5	0.75	0.666667	
	Policy – Política	1	0.5	0.25	0.583333	

Alto Piranhas	Hidrology - hidrologia	0.75	1	0.5	0.666667	0.66666667
		0.5	1	0.25		
	Environment - Meio ambiente	1	1	0.25	0.75	
	Life - Vida	0.75	0.25	1	0.666667	
	Policy - Política	1	0.5	0.25	0.583333	

Uma vez apresentado o valor por sub-bacia hidrográfica a seguir o cálculo do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas de forma global. Ou seja, da bacia Piranhas-Açu.

Tabela 82. Resultado WSI por sub-bacia hidrográfica e global

RESULTADO

SUB-BACIA	Seridó	Piancó	Peixe	Pataxó	Paraú	Media Piranhas Potiguar	Media Piranhas P. Potiguar	Media Piranhas Paraíba	Espinharas	Difusa baixo piranhas	Alto piranhas
RESULTADO FINAL	0.59375	0.67708333	0.60416667	0.57291667	0.64583333	0.67708333	0.60416667	0.58333333	0.58333333	0.64583333	0.66666667
Área km² (sub-bacia hidrográfica)	9922.9861	9203.5608	3428.426	1955.933	973.169	3535.5725	2895.1777	2244.873	3291.2882	3667.2583	2562.4854
WSI Global⁴⁰ (bacia hidrográfica piranhas-açu)	0.627119044										

Por fim a figura adiante representa a através de gráfico a materialização dos valores do índice. Destacando os valores apresentados seguindo a mesma ordem de apresentação da tabela acima.

⁴⁰ WSI Global = ((Área sub-bacia¹ * WSI sub-bacia¹ + Área sub-bacia² * WSI sub-bacia² + ... WSI sub-bacia(n) + Área sub-bacia(n)) / Área bacia hidrográfica)

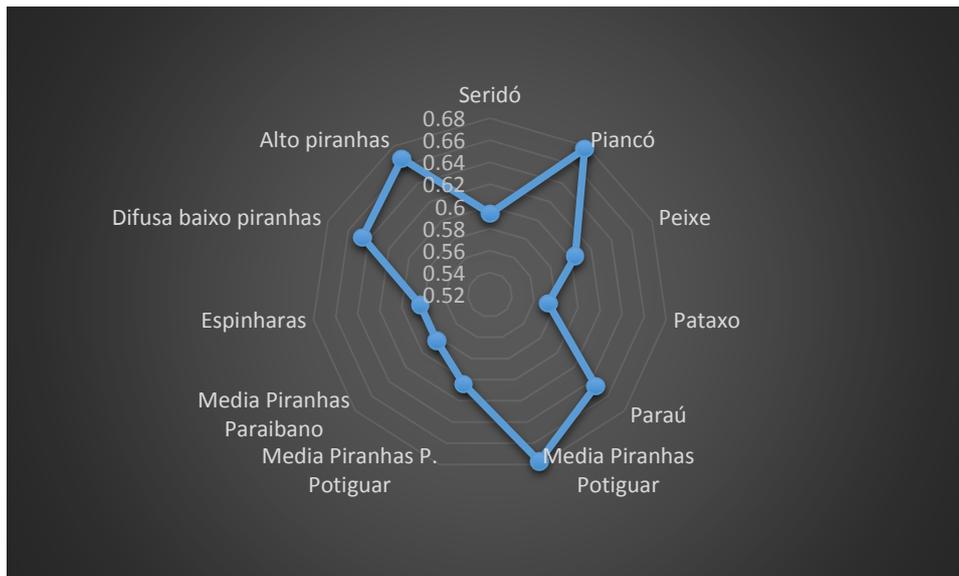


Figura 42. Watershed Sustainability Index

Uma vez apresentados os resultados de ambas as metodologias (WSI e WSI aplicado com análise multicritério e multidecisor) a seguir será feita uma análise a partir do observado nas duas realidades:

- a) A partir dos resultados finais percebeu-se que tanto na aplicação direta do índice, quanto no modelo aplicado (a partir dos métodos Promethee e Copeland) a sub-bacia hidrográfica menos sustentável foi a mesma (Pataxó). Isto reflete um cenário um tanto interessante, pois embora Pataxó esteja próximo de um reservatório de destaque na bacia conhecido como “Barragem Armando Ribeiro Gonçalves”. Contudo tal proximidade não garantiu que ações de aproveitamento dos recursos hídricos se configurassem em desenvolvimento sustentável. Ou seja, aqui talvez se fizesse necessário ações de manejo integrado, bem como extensão rural.
- b) Em relação à mais sustentável os resultados foram parecidos, sendo a Piancó (mais sustentável) pelo primeiro método (aplicado com análise multicritério e multidecisor) e também a partir da aplicação direta do índice (WSI), só que acompanhada (neste segundo caso, conforme tabela a seguir) pela Média Piranhas Potiguar. Aqui um paradoxo interessante se apresenta. Perceba que a sub-bacia

hidrográfica Média Piranhas Potiguar (beneficiada de forma direta pelos recursos hídricos da barragem Armando Ribeiro Gonçalves) está em destaque em termos de sustentabilidade, na aplicação de ambos os métodos. Partindo do entedimento que Pataxó e Média Potiguar são vizinhas e tão dispares em termos de sustentabilidade, uma conclusão aqui é que os recursos hídricos oriundos da barragem (que estão beneficiando diretamente a sub-bacia Média Piranhas Potiguar) tem uma influencia direta na sua sustentabilidade. Uma vez que a Pataxó (embora próxima) não tem relação tão próxima com os recursos oriundos da barragem, devido a falta de infraestrutura que promova um correto manejo integrado. Portanto, ao que parece os recursos hídricos estão contribuindo de forma direta para a sustentabilidade. Em relação a sub-bacia hidrográfica do Piancó, percebe-se que sua posição um tanto estratégica tem favorecido seu resultado, bem como indicadores sociais favoráveis. Aqui vale salientar que com o incremento de disponibilidade hídrica, oriunda de políticas públicas brasileiras, como a transposição do Rio São Francisco, há uma possibilidade de avanço considerável nestes indicadores e pela sua posição estratégica (mais próxima da região beneficiada pela transposição do que outras) há uma boa perspectiva de futuro.

- c) Avançando então na própria comparação como um todo e isto em termos de análise das metodologias, percebe-se que de forma geral embora os resultados em termos de “extremos” foram semelhantes (conforme tabela a seguir que apresenta a mais e a menos sustentável), contudo apenas 36% (aproximadamente) da sequência de resultados em termo de sub-bacias hidrográficas mais ou menos sustentáveis foram semelhantes. Isto demonstra de certa forma que a participação popular na proposição dos pesos do indicadores (conforme foi feito aqui com a introdução da opinião dos membros do comitê na composição do método, teve uma relevancia significativa. Para um gestor de recursos hídricos, que por vezes lida com pressões

e conflitos das mais diversas naturezas, o uso do segundo método poderia contemplar de forma mais aproximada a realidade.

Tabela 83. Comparativo

Ordem	Índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (W.S.I.)	Resultado	Ordem	Índice proposto (WSI aplicado com Análise Multicritério e Multidecisor)	Resultado
1	Pianco	0.677083333	1	Piancó	258
1	Médio Piranhas potiguar	0.677083333	2	Média Piranhas Potiguar	190
3	Alto Piranhas	0.666666667	3	Alto Piranhas	168
4	Paraú	0.645833333	4	Peixe	96
5	Difusas Baixo Piranhas	0.645833333	5	Médio P. Paraibano Potiguar	74
6	Peixe	0.604166667	6	Paraú	-18
7	Médio Piranhas Paraibano	0.604166667	7	Médio Piranhas Paraibano	-28
8	Serido	0.59375	8	Espinharas	-130
9	Médio Piranhas Paraibano Potiguar	0.583333333	9	Seridó	-150
10	Espinharas	0.583333333	10	Difusas Baixo Piranhas	-192
11	Pataxó	0.572916667	11	Pataxó	-268

Uma vez apresentado o comparativo, neste momento a seguir será retomada a discussão mais ampla em relação ao índice e por fim uma análise de aspectos teóricos do mesmo.

8.1.5.2.2 Delineamentos teóricos a partir da comparação e nomenclatura

A partir do exposto algumas observações relevantes são retomadas a seguir, destacando vantagens (desvantagens) e aprofundamentos:

a) Aqui tem-se um novo índice criado e validado a partir da aplicação na bacia hidrográfica brasileira do Rio Piranhas-Açu. Com isso percebe-se que em

situações futuras abre-se uma ampla possibilidade de (em contextos semelhantes ao redor do mundo) aplicar novamente o índice criado e estabelecer comparativos, observando assim suas variações e avanços.

b) Percebe-se que a metodologia original se comportou de certa forma de maneira coerente com a realidade observada no índice criado, uma vez que ambas conseguiram apontar para a sub-bacia hidrográfica do Pataxó, como a menos sustentável e também a Piancó como a mais. Tal aspecto contribui, de certa forma, com o entedimento da robustez do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI).

c) Conforme já mencionado, o índice criado em sua totalidade, se distancia do modelo original (WSI) uma vez que obteve-se apenas 36% (aproximadamente de correspondência) e isto é um fator preponderante em termos de entendimento que a participação pública (aqui pelo Comitê de Bacias Hidrográficas) altera de forma considerável, a gestão e pode em última análise ser fator de peso na mesma. Em uma situação prática, assim, em países em desenvolvimento onde o recurso para intervenção em termos de ações práticas de manejo são escassos, um total de próximo a 70% de alteração em um amplo horizonte onde a decisão influi na vida de cidadãos da unidade, a participação oriunda do método criado pode contribuir com a mitigação de conflitos em bacias hidrográficas (situação normalmente verificada em países com poucos recursos que precisam optar por intervir em determina região em detrimento de outra).

Indo adiante então observando o modelo original do Índice de Sustentabilidade de bacias hidrográficas (WSI) convém destacar que, analisando a bacia piranhas-açu como um todo, localizada no semiárido brasileiro, a mesma possui uma sustentabilidade na faixa mediana de 0,61⁴¹. Tal fator se por um lado é animador uma vez que o semiárido brasileiro é considerado o mais problemático do mundo, por outro lado analisando a perspectiva futura em termos de resposta do indicador, há uma possibilidade de tal valor piorar sensivelmente levando a um cenário obscuro e preocupante, caso

⁴¹ calculada, em anexo, a partir do primeiro método, ponderando o WSI de cada sub-bacia pela área (de cada sub-bacia) e por fim dividindo pela área total da bacia hidrográfica (WSI GLOBAL). Tal informação é apresentada aqui apenas a título de informação em termos de discussão da realidade do semiárido brasileiro.

não sejam tomadas medidas de gestão. No modelo elaborado aqui, o valor global não é o alvo, portanto, na análise o que interessa é uma relação de dominância para o gestor, ou seja, qual a sub-bacia hidrográfica está em posição melhor que outrem. Caso se opte por uma análise de toda bacia contudo, para fins de cálculo, sugere-se a aplicação comparada com outras bacias maiores (fazendo parte da região hidrográfica mais ampla).

Por fim, antes de partir para conclusões, convém destacar que o índice de sustentabilidade aqui proposto (aplicado ao semiárido brasileiro) tem algumas, dentre suas principais características, que podem servir de referência para a sua nomenclatura. A seguir é apresentada uma análise de tais termos (característicos) e por fim a proposição de uma nomenclatura a luz de tal análise:

a) “semiárido”

i. É calculado tendo como ponto de partida o uso de disponibilidade hídrica a partir de índice estresse hídrico de “Falkemark” (FALKENMARK, M. E WIDSTRAND, 1992), indicador de referência no mundo para análise de problemática de escassez hídrica. É portanto adequado para análise de ambientes com problemática hídrica (regiões áridas e semiáridas).

ii. Usa a vazão de longo prazo e neste sentido consegue anasilar no modelo vazão estado e resposta períodos de 5 anos vencendo o problema de contemplar anos secos e umidos. Tal problema de anos secos e umidos é comum em regiões de escassez hídrica (como o semiárido), haja vista intercalarem períodos de seca e cheia. Caso não fosse usado esta vazão corria-se o risco de ter anos secos e umidos analisados de forma equivocada, no que se refere a variação na vazão.

iii. Foi validado no semiárido considerado o mais problemático do mundo, sendo assim elaborado em um cenário propício para ser ponto de partida para outros semiáridos no mundo.

b) “sustentabilidade”

i. Elaborado a partir de um índice de sustentabilidade validado em diversas Nações no mundo, compondo programa da ONU para sustentabilidade hídrica. Com excelente reconhecimento Internacional.

ii. Contempla de forma integral um olhar holístico sobre a bacia hidrográfica. Sendo formado a partir de 4 indicadores maiores que contemplam tanto aspectos hidricos, como ambientais, sociais e politicos.

c) “água”

i. Tem a água como ponto de partida na análise, sendo contemplada desde aspectos de disponibilidade hidrica superficial como subterrânea, e avançando para análise do qualidade da água.

ii. No índice base formado pelo acrônimo "HELP" tem duas series de indicadores especificamente aplicados a água (é a única categoria no conjunto do índice de indicadores que conta com duas séries de indicadores).

iii. Tem a bacia hidrográfica como unidade base da análise, tendo assim uma conexão direta, antes de mais nada, com os recursos hídricos. Usando neste sentido o limite natural “bacia hidrográfica” como ponto de partida para análise.

Portanto, tendo a análise acima como base, o índice proposto na presente tese foi denominado de "Índice de Sustentabilidade de Água para o Semiárido" (ISAS⁴²).

Delineados então os aspectos dos resultados, bem como feita uma discussão sobre os detalhes relevantes a temática, segue adiante as conclusões da presente pesquisa.

⁴² Em inglês sendo denominado "water sustainability index for semiarid" (WSIS).

CAPÍTULO IX - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A seguir são apresentadas as conclusões e recomendações do trabalho que objetivou desenvolver e aplicar uma metodologia baseada na análise multicritério e multidecisor composta por indicadores estruturados de forma sistêmica, para destacar a performance das sub-bacias hidrográficas.

Conforme as análises esta metodologia se mostrou bastante eficiente na indicação de linhas de ação a serem seguidas nesta gestão, algumas conclusões importantes, são detalhadas a seguir em função dos objetivos específicos definidos para esta tese.

Em termos de aplicação do método percebeu-se uma vantagem que tem colocado o PROMETHEE em posição privilegiada em detrimento à outros da família francesa de apoio à decisão. Neste sentido diferentemente do ELECTRE (I, II etc) o PROMETHEE permite a escolha da função de preferência para cada caso, desta forma mitigando problemas onde se percebe claramente a disparidade na diferença entre valores de indicadores⁴³.

9.1 Análise da aplicação dos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas

9.1.1 Considerações sobre dados disponíveis

Um desafio maior inicial para elaboração da pesquisa foi a coleta de dados. Os indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, embora se utilize de uma formatação não tão complexa (partindo da ideia de facilitar a comparação de bacias ao redor do mundo) contudo em países em

⁴³ Um exemplo claro disso é quando observa-se uma diferença considerável entre os indicadores, onde em determinado caso a simples aplicação de uma função (sim ou não) pode esconder uma preocupante realidade. Por exemplo no caso de uma diferença em termos de desmatamento considerável (tipo 90%). Em uma simples aplicação de uma função (sim ou não) tal diferença tem atuação semelhante a uma caso onde o desmatamento represente uma diferença de 20%. No caso do PROMETHEE entretanto o uso de uma função linear por exemplo trabalha uma realidade onde a partir de determinado momento a situação se configura de forma diferenciada, fugindo assim de valores consideravelmente dispares e trazendo o indicador para uma realidade mais factível.

desenvolvimento a disponibilidade mínima de dados por vezes é difícil e para o caso da presente tese tal aspecto foi facilitado (e possível) pela elaboração recente do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Piranhas-Açu (em 2016), haja vista sem o mesmo, haveria uma necessidade de elaboração mais profunda de estudos auxiliares e neste sentido careceria para a dimensão da bacia Piranhas-Açu de um prazo que provavelmente fugiria ao escopo de pesquisa de pós-graduação (nível doutorado). Tal Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu contudo se portou como um bom instrumento para composição dos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas.

Em termos de indicadores de vida e política, houve também uma dificuldade inicial inerente à ausência de dados uma vez que o Índice de Desenvolvimento Humano no Brasil foi elaborado para os anos de 1991, 2000 e 2010. Neste sentido haja vista o período escolhido (diferente) no modelo pressão-estado-resposta, houve a necessidade de estimar os valores e para tanto foi definido o uso do método de Santos et al (2004) aplicado⁴⁴ ao estudo de Gestão de Bacias Hidrográficas para trabalhar com valores referentes à outros anos.

Outro exemplo de dificuldade de disponibilidade de dados se deu em termos de indicadores de meio ambiente, haja vista fez-se necessário o uso de metodologia de classificação supervisionada (de imagens de satélite Landsat) optando-se pelo uso de um software Arcgis 10.5, para a obtenção de dados de uso do solo.

⁴⁴A partir do três dados (1991,2000 e 2010) são estimados os demais valores a partir de função quadrática.

9.1.2 Resultados observados em termos de sustentabilidade da bacia hidrográfica

Em termos de resultados observados a sub-bacia hidrográfica do Pataxó apresentou a maior necessidade de intervenção, sendo portanto a menos sustentável, haja vista obteve a menor pontuação final (-268), seguido pela Es Difusa Baixo Piranhas (-192) e Seridó (-192). Aprofundando a análise da sub-bacia hidrográfica menos sustentável (Pataxó) percebe-se que nesta sub-bacia hidrográfica o indicador de hidrologia em termos de estado ($1434,4 \text{ m}^3/\text{hab}\cdot\text{ano}$) e de vida (I.D.H.M = 0,58) foram destaque, gerando a necessidade de medidas futuras em termos de incremento na disponibilidade hídrica, bem como medidas voltadas para o melhoramento da qualidade de vida. Um fato interessante foi perceber que a aplicação direta⁴⁵ do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas também apresentou a sub-bacia hidrográfica do Pataxó como a menos sustentável da bacia Piranhas-Açu com um escore de 0,57. Bem como apresentou a sub-bacia hidrográfica Piancó, como a mais sustentável. Isto demonstrou de certa forma a robustez de ambas a metodologias, conseguindo captar o essencial (por vezes) para o gestor que atua em situações onde a decisão vai para apenas uma sub-bacia hidrográfica.

De forma mais ampla porém (conforme já mencionado no tópico referente aos resultados) houve uma correspondência de 36% entre os resultados da aplicação direta do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) com a aplicação do modelo proposto demonstrando (neste caso) que a participação dos decisores através do processo de ponderação de pesos (aplicado no índice proposto aqui) pode contribuir diretamente para uma alteração no valor final e assim permitir que o gestor de recursos hídricos possa agregar uma decisão mais aproximada da realidade observada na bacia hidrográfica.

⁴⁵ Direta significa da forma tradicional de aplicação do índice, ou seja, sem análise multicritério e multidecisor.

9.2 Método multicriterial PROMETHEE

A aplicação do método multicriterial PROMETHEE (Preference ranking organization method for enrichment evaluation) mostrou-se bastante eficaz no auxílio à tomada de decisão na gestão de bacias hidrográficas, quando bem utilizado e quando o decisor está certo em relações aos seus objetivos e suas preferências. O estudo de caso apresentado visou inserir uma abordagem mais participativa na gestão de bacias hidrográficas a partir do uso dos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas. Foi observado que no processo decisório um dos principais aspectos foi a escolha das ponderações dos pesos.

Neste sentido, a busca pela inserção da sociedade nesse processo de decisão foi importante, uma vez que possibilitou saber qual a opinião pública da população na prioridade de escolha dos critérios mais importantes nos cenários avaliados. Neste ponto a “inserção” na reunião do Comitê de Bacia Hidrográfica, obteve uma taxa de resposta significativa, com cerca de 80% dos participantes respondendo o questionário, demonstrando que no caso apresentado há uma vontade de contribuir de forma direta para o melhoramento da unidade de planejamento.

A metodologia multicritério apresentou vantagens já observadas em outros estudo. Por exemplo, uma alternativa pode ser muito boa sob o ponto de vista hidrológico, mas pode apresentar grande risco ao meio ambiente. Portanto, o próprio contexto direciona o problema para uma abordagem de sobreclassificação, não admitindo compensações entre os critérios, assim, buscam-se alternativas que melhor equilibrem os principais fatores envolvidos com a estrutura de preferência do decisor.

9.3 Análise do Método Multidecisor COPELAND

Ao adotar essa estratégia (método Copeland), para além das vantagens já mencionadas do método (dentre as quais ser superior ao Borda e ao Condorcet) se buscou por resultados que considerasse todas as opiniões para definir o ranking final. Assim, foi possível construir matrizes dos fluxos após a análise multicriterial para cada decisor comparando cada critério (indicador do estudo) um a um (par a par) com as respectivas sub-bacias hidrográficas da área do estudo, levando-se em consideração as especificidades de cada critério.

O método se demonstrou eficaz pois representou bem a realidade em um comitê de bacia hidrográfica marcado por vários interesses e neste sentido agregou de forma mais ampla a participação dos decisores no processo análise da sustentabilidade local a partir dos indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas.

9.4 Recomendações para trabalhos futuros

Em termos de trabalhos futuros sugere-se, em regiões localizadas em países em desenvolvimento, a criação de um grupo de pesquisa interdisciplinar com vias a alimentar os indicadores do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas e uma vez concluídas as pesquisas responsáveis por fornecer tais dados partir para a aplicação da metodologia. Um dos exemplos que poderia ser melhorado a partir de uma maior infraestrutura para pesquisa seria o uso de imagens de satélite de maior resolução (Geoeye, etc). Haja vista a disponibilidade de dados em relação aos satélites Landsat apresentam limitações (presença de nuvens, resolução etc) que podem prejudicar uma análise mais acurada.

Dado o fato da eficácia da aplicação do método Promethee, seria interessante analisar a aplicação de outras metodologias multicritério (AHP, ELECTRE, VIP ANALISES...) e estabelecer um trabalho comparativo em termos de aplicação do índice.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A. T. et al. Histórico, fundamentos filosóficos e teórico-metodológicos da interdisciplinaridade. In: PHILIPPI JR. A. **Interdisciplinaridade em ciência, tecnologia e inovação**. Barueri, SP: Manole, 2011.

AMORIM, Alcides Leite de et al. Conflitos em bacias hidrográficas compartilhadas: o caso da bacia do rio Piranhas-Açu/PB-RN. **RBRH**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 36-45, Mar. 2016. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312016000100036&lng=en&nrm=iso>. access on 29 Nov. 2016. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p36-45>.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Piranhas-Açu. 2016

ARAÚJO, daniel cláudio de. Metodologia de análise de conflitos na gestão das águas pluviais urbanas com auxílio de métodos multicriteriais e multidecisores, 200 pag., tese no curso de pós-graduação em eng. Civil - UFPE, defesa: abril/2016.

ARROW, K.J. **Social choice and individual values**. New York: John Wiley & Sons, 1951.

ASSIS, L. F. S. Complexidade, Interdisciplinaridade: Necessidade das Ciências Modernas e Imperativo das Questões Ambientais In: Philippi Jr, A.; Tucci, C.E.M.; Hogan, D.J. Navegantes, R. **Interdisciplinaridade em ciências ambientais**. São Paulo: Signus Editora, 2000.

BANA, Carlos A. et al. On the mathematical foundation of MACBETH. In: **Multiple Criteria Decision Analysis: state of the art surveys**. Springer New York, 2005. p. 409-437.

BANA E COSTA, C. A. Métodos de Decisão Multicritérios e Aplicações. **Florianópolis: ENE**, 1995.

BANA E COSTA, Carlos A.; PIRLOT, Marc. Thoughts on the future of the multicriteria field: Basic convictions and outline for a general methodology. In: **Multicriteria Analysis**. Springer Berlin Heidelberg, 1997. p. 562-568.

BANA E COSTA, Carlos A. Três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão. **Pesquisa Operacional**, v. 13, n. 1, p. 9-20, 1993.

BARACUHY, J.G.V. Manejo integrado de microbacias no semi-árido nordestino: estudo de um caso. Campina Grande: UFPB, 2001. 221p. Tese Doutorado

BARACUHY, José G. de V. et al . Deterioração físico-conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho Paus Brancos, Campina Grande, PB. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande , v. 7, n. 1, p. 159-164, Apr. 2003 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662003000100026&lng=en&nrm=iso>. access on 19 May 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662003000100026>.

BELL, Simon; MORSE, Stephen. **Sustainability Indicators – Measuring the Immeasurable**.2000

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é e o que não é**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013, 189p.

BOSSSEL, Hartmut **Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications**. A Report to the Balaton Group. Winnipeg, Manitoba Canada, 1999

BRAAT, Leon. The predictive meaning of sustainability indicators. In: **In search of indicators of sustainable development**. Springer Netherlands, 1991. p. 57-70.

BRAGA, Benedito; GOBETTI, Lucas. Análise Multiobjetivo. In.:**Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. (Org) Rubem La Laina Porto et. al. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, pp. 361-418.2002.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H., MARESCHAL, B. How to select and how to Classificação project: The PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**. v. 24, pp. 228-238.1986

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997.**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 01 dez. 2016

BROWN, Amber; MATLOCK, Marty. A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies. **Sustainably Consortium**. White Paper 106. April, 2011.

BURSZTYN, Marcel. **Meio ambiente e interdisciplinaridade: desafios ao mundo acadêmico**. 2004.

CALDAS, Marco Antônio Farah et al. Uso do método de Copeland hierárquico para localização de terminal multimodal de cargas. In: **Proc. XXIII ANPET-Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**. 2009.

CARVALHO, José Ribamar Marques de. **Sistema De Indicadores Para a Gestão De Recursos Hídricos Em Municípios: Uma Abordagem Através Dos Métodos Multicritério E Multidecisor**. Tese (doutorado). Centro de tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, 2013.

CARVALHO, J. R. M. D.,et al. . Avaliação da sustentabilidade ambiental de municípios Paraibanos: uma aplicação utilizando o método promethee II. *Gestão & Regionalidade*, 27(80).2011.

CARVALHO, JRM de et al. Proposta e validação de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do alto curso do Rio Paraíba, PB. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 2, 2011.

CAVASSIN, S. A. Uso de metodologias multicritério na avaliação de municípios do Paraná com base no índice de desenvolvimento humano municipal. Mestrado, PPGMNE, UFPR.2004.

CENTER FOR ENVIRONMENT EDUCATION - CEI. Volume-1: **Sustainable Development: An Introduction Internship Series**, 2007.

CHAVES, H.M. E ALIPAZ, S. "An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Life and Policy: The Watershed Sustainability Index". **Water Resour Manage** (Springer) 21, 2007.

CHAVES, Leonardo Corrêa et al. Sistemas de apoio à decisão: mapeamento e análise de conteúdo. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, v. 12, n. 1, p. 6, 2013.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, 22(63), 61-82.2008.

CIRILO, José Almir. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estud. av.**, São Paulo , v. 22, n. 63, 2008 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200005&lng=en&nrm=iso>. access on 13 Sept. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200005>.

COIMBRA, José de Ávila Aguiar. Considerações sobre a Interdisciplinaridade. In: Philippi Jr, A.; Tucci, C.E.M.; Hogan, D.J. Navegantes, R. **Interdisciplinaridade em ciências ambientais**.São Paulo: Signus Editora, 2000.

COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. 2016. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

CORTÉS, Ana Elizabeth et al. Application of the watershed sustainability index to the Elqui river basin, North-Central Chile. **Obras y Proyectos**, v. 12, p. 57-69, 2012.

COSTA, Waldir Duarte. Avaliação de reservas, potencialidade e disponibilidade de aquíferos. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 1998.

DARGHOUTH, Salah et al. **Water Sector Board Discussion Watershed Management Approaches, Policies, and Operations: Lessons for Scaling Up The World Bank**. Washington: Paper Series, 2008.

DEBARRY, Paul A. **Watershed: Processes, Assessment and Management**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

DIAMOND, J. **Collapse – How Societies Choose to Fail or to Succeed**. Penguin, New York, NY, 2005.

DENSHAM, Paul J. Spatial decision support systems. **Geographical information systems: Principles and applications**, v. 1, p. 403-412, 1991.

EARTH, Our Home. The earth charter. **Worldviews**, v. 8, n. 1, p. 141-149, 2004.

ENSSLIN, Leonardo; DUTRA, Ademar; ENSSLIN, Sandra Rolim. Uma abordagem construtivista-MCDA-para auxiliar na compreensão das variáveis a serem consideradas no desenvolvimento de um instrumento de avaliação de desempenho: um estudo de caso. **XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção ENEGEP, 4th International Congress of Industrial Engineering**, 1998.

ENSSLIN, Leonardo et al. Modelo multicritério de apoio à decisão construtivista no processo de avaliação de fornecedores. **Prod.**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 402-421, June 2013. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132013000200014&lng=en&nrm=iso>.

FALKENMARK, M. and WIDSTRAND, C. **Population and Water Resources: a Delicate Balance.** Population Bulletin, Population Reference Bureau, Washington, DC, USA, 1992.

FAZENDA, Ivani C. **Interdisciplinaridade: História, Teoria e Pesquisa.** 16 ed. Campinas: Papirus, 2009.

FERNANDES, F. R. M. et al In: MOREIRA, Emília e TARGINO, Ivan (Organizadores). **Desertificação, desenvolvimento sustentável e agricultura familiar: recortes no Brasil, em Portugal e na África.** João Pessoa: Editora Universitária da UFPB. Ministério do Meio Ambiente. 2010. P. 65-84.

FLINT, R. Warren The Sustainable Development of Water Resources. **Water Resources update**, ISSUE 127, PAGES 41-51, FEBRUARY 2004 Five E's Unlimited, Washington, D.C.2004

FREITAS, Janierk Pereira et al. Gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Piranhas-açu no Estado da Paraíba. 2012.

GLEICK, P.H. P.; LOH, P; GOMEZ, S.; MORRISON, J. California Water 2020: **A sustainable Vision. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security.** OakLand, California, USA. 1995, 113p.

GLEICK, Peter H. WATER IN CRISIS: PATHS TO SUSTAINABLE WATER USE. **Ecological Applications** 8:571–579, 1998. [http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0571:WICPTS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0571:WICPTS]2.0.CO;2)

GLOBAL WATER PARTNERSHIP – GWP. **A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basis**, 2009.

GOMES, Eliane Gonçalves et al. Agregação ordinal de produtividades parciais: estudo de caso em agricultura familiar. **Investigação Operacional**, v. 27, n. 2, p. 199-213, 2007.

GOMES, Eliane Gonçalves; E MELLO, JCCB Soares; MANGABEIRA, J. A. D. C. Avaliação de desempenho de agricultores familiares com o método multicritério de Copeland. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 1, n. 2, p. 159-168, 2009.

GOMES, E. G. et al. **Análise de Tipologias de Sistemas de Produção Modais de Pecuária de Cria pelo Uso do Método Ordinal de Copeland**. Revista Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, v. 5, n. 1, 2013.

GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ABREU, U. G.; CARVALHO, T. B. de; ZEN, S. de. **Análise de Tipologias de Sistemas de Produção Modais de Pecuária de Cria pelo Uso do Método Ordinal de Copeland**. Revista Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, v. 5, n. 1, 2013.

GOMES JUNIOR, S. F. et al. **Utilização do método de Copeland para avaliação dos pólos regionais do CEDERJ**. Rio's International Journal on Sciences of Industrial and Systems Engineering and Management, 2 (1), 2008, pp. 87-98.

GOMES JUNIOR, Silvio Figueiredo et al. Utilização do método de Copeland para avaliação dos pólos regionais do CEDERJ. **Rio's international journal on sciences of industrial and systems engineering and management**, v. 2, n. 1, p. 87-98, 2008.

GOMES JUNIOR, S. F. et al. **Utilização do método de Copeland para avaliação dos pólos regionais do CEDERJ**. Rio's International Journal on

Sciences of Industrial and Systems Engineering and Management, 2 (1), 2008, pp. 87-98.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, F.S.G. **Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério**. 3 ed. Revista e Ampliada. São Paulo: Atlas, 2009, p. 324.

HAK, Tomas. **Sustainability indicators: a scientific assessment**. Island Press, 2007.

HARDIN, Garrett. The tragedy of the commons. **Science**, v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, 1968.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. [.http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php](http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php). (Acesso em 18 de março de 2015).

ISAIAS, Fábio Bakker. **A sustentabilidade da água: proposta de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas**. Dissertação (mestrado) Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, 2008.

JÚNIOR, Silvio Figueiredo Gomes; MELLO, Maria Helena Campos Soares. UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE COPELAND PARA AVALIAÇÃO DOS PÓLOS REGIONAIS DO CEDERJ,2010.

JUWANA, I.; MUTTIL, N.; PERERA, B. J. C. Indicator-based water sustainability assessment—A review. **Science of the Total Environment**, v. 438, p. 357-371, 2012.

KEENEY, Ralph L.; RAIFFA, Howard. **Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs**. Cambridge university press, 1993.

KUNDZEWICZ, ZBIGNIEW W. Water resources for sustainable development, **Hydrological Sciences Journal**, 42:4, 467-480, 1997 DOI: 10.1080/02626669709492047.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. IBAMA, 1995.

LANNA, A. E. L. **Gestão das Águas**, versão julho de 1997- Texto de referência do curso introdução à Gestão dos Recursos Hídricos – Capítulo - - Instrumentos de Gestão das Águas: Cobrança pelo uso da água.

LAURA, Aquiles Arce. Um método de modelagem de um sistema de indicadores de sustentabilidade para gestão dos recursos hídricos-MISGERH: o caso da Bacia dos Sinos.Tese Doutorado. UFRGS. 2004.

LEFT, Enrique. Complexidade, Interdisciplinaridade e Saber Ambiental In: Philippi Jr, A.; Tucci, C.E.M.; Hogan, D.J. Navegantes, R. **Interdisciplinaridade em ciências ambientais**. São Paulo: Signus Editora, 2000.

LEFT, Enrique. Complexidade, interdisciplinaridade e saber ambiental. **Em ciências ambientais**, p. 19, 2000.

LEITE, IMSL; FREITAS, FFT. Análise comparativa dos métodos de apoio multicritério a decisão: AHP, ELECTRE e PROMETHEE. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 32, p. 1-11, 2012.

LEITE, Marcos Esdras et al. Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento da dinâmica do uso do solo na bacia do rio pacuí, no norte de minas gerais, nos anos de 1989, 1999 e 2009-DOI: 10.7154/RDG. 2012.0023. 0009. **RDG Revista do Departamento de Geografia-USP**, v. 23, p. 217-231, 2012.

LIMA, Raquel Franco de Souza; LIMA, Elisângela Maria de. Atividades de Base Mineral no Seridó Norte-rio-grandense: aspectos de saúde e meio ambiente. In:

FREIRE, Eliza Maria Xavier de. **Recursos Naturais das Caatingas: uma visão multidisciplinar**. Natal: Editora da UFRN, 2009. p. 151-172

LELE, Sharachchandra M. Sustainable development: a critical review. **World development**, v. 19, n. 6, p. 607-621, 1991.

LOUCKS, Daniel P. Sustainable water resources management. **Water international**, v. 25, n. 1, p. 3-10, 2000.

MAJDI, Iman. **Comparative evaluation of PROMETHEE and ELECTRE with application to sustainability assessment**. 2013. Tese de Doutorado. Concordia University.

MARESCHAL, B., DE SMET, Y. Visual PROMETHEE: Developments of the PROMETHEE & GAIA multicriteria decision aid methods. In *Industrial Engineering and Engineering Management, 2009. IEEM 2009. IEEE International Conference on* (pp. 1646-1649). IEEE.

MAYS, Larry W (ed) **Water resources sustainability**. McGraw-Hill, New York, USA, 2007.

MEBRATU, Desta. Sustainability and sustainable development: Historical and conceptual review. **Environmental Impact Assessment Review**, Volume 18, Issue 6, November 1998, Pages 493–520.

MELO, Gilson Duarte. **Planejamento dos Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do Rio Serido**. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

MIRANDA, Venâncio Urbano Pereira Da Costa. Construtivismo e racionalismo como paradigmas para modelos de tomada de decisão estratégica. **REA-Revista Eletrônica de Administração**, v. 5, n. 2, 2011.

MORAIS, D. C., ALMEIDA, A. T. D. (2006). Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional**, 26(3), 567-584.

MORI, Koichiro; CHRISTODOULOU, Aris. Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI). **Environmental Impact Assessment Review**, v. 32, n. 1, p. 94-106, 2012.

MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2007.

NARDO, M. et al. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide, OECD Statistics Working Papers, 2005, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/533411815016>.

NEUMAYER, Eric. **Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms**. Edward Elgar Publishing, 2003.

OECD. **Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide**. 2008.

PEZZEY, John. Sustainable development concepts. **World**, v. 1, p. 45, 1992.

PINTÉR, László et al. Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 20-28, 2012.

POMEROL, Jean-Charles; BARBA-ROMERO, Sergio. **Multicriterion decision in management: principles and practice**. Springer Science & Business Media, 2012.

PORTO, *Monica F. A.*; PORTO, *Rubem La Laina*. Gestão de bacias hidrográficas. **Estud. av.** [online]. 2008, vol.22, n.63, pp.43-60. ISSN 0103-4014.

POSTEL, Sandra L. Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. **Ecological applications**, v. 10, n. 4, p. 941-948, 2000.

QUEIROZ, Manoel Moisés F. et al. Qualidade e quantidade da água do rio piacó, teibutário do rio piranhas açu na região nordeste. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 50-58, 2013.

RACHEL, Carlson. **A primavera silenciosa**. 2002.

RAMALHO, Maria Francisca de Jesus Lírio. Considerações sobre o ambiente de rios represados: o caso do rio Piranhas-Açu no Rio Grande do Norte. **Sociedade e Território**, v. 21, n. 1 e 2, p. 183-196, 2012.

RANGEL, Luís Alberto Duncan; GOMES, LFAM. O Apoio Multicritério à Decisão na avaliação de candidatos. **Revista Produção**, v. 20, n. 1, p. 92-101, 2010.

RANGEL, Luís Alberto Duncan; GOMES, Luiz Flávio Autran Monteiro. Determinação do valor de referência do aluguel de imóveis residenciais empregando o Método TODIM. **Pesqui. Oper.**, Rio de Janeiro , v. 27, n. 2, p. 357-372, Aug. 2007 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382007000200009&lng=en&nrm=iso>. access on 11 Apr. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382007000200009>.

REBOUÇAS, Aldo da C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estud. av.**, São Paulo , v. 11, n. 29, Apr. 1997 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141997000100007&lng=en&nrm=iso>. access on 13 Sept. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40141997000100007>

RIJSBERMAN, FClassificação R. Water scarcity: fact or fiction?. **Agricultural water management**, v. 80, n. 1, p. 5-22, 2006.

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de projetos ambientais**, Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**, Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM, 2007.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 19-43, 1994.

SACHS, Ignacy. **Estratégias de transição para o século XXI. Para pensar o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Brasiliense, p. 29-56, 1993.

SACHS, Ignacy. Em busca de novas estratégias de desenvolvimento. **Estudos avançados**, v. 9, n. 25, p. 29-63, 1995.

SALMINEN, Pekka; HOKKANEN, Joonas; LAHDELMA, Risto. Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. **European Journal of Operational Research**, v. 104, n. 3, p. 485-496, 1998.

SANTOS, Celso et al. **Gestão de Recursos Hídricos: Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**. produzido pela UFCG/UNESCO, 2004, Campina Grande, 231 pag.

SANTOS, Nelson C. F. et al. **Caracterização morfológica e cadastro dos Açudes na Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu-RN**, Natal, RN: EMPARN, 2005. 26p. – (Documentos; 28)

SANTOS, Rosinete Batista dos. Avaliação de intervenções hidráulicas na bacia do Rio Gramame, PB, com o uso das técnicas de análise multiobjetivo e multicriterial. 2009. 202 f. Doutorado em Recursos Naturais - Universidade Federal de Campina Grande.

SETTI, A. A. et al - **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**, Brasília, Agência Nacional de Águas, ANA, 2001. Disponível em http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/biblioteca_CatalogoPublica/coes.asp

SILVA et al. Estimativa de dados de Demanda Bioquímica de Oxigênio a partir da Modelagem Matemática: Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu. **Revista Sodebrás**, v. 12, n. 135, p. 227-229, 2017.

SILVA, Wilton Pereira da et al . "LAB Fit ajuste de curvas": um software em português para tratamento de dados experimentais. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 26, n. 4, p. 419-427, Dec. 2004 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172004000400018&lng=en&nrm=iso>. access on 21 May 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172004000400018>

SILVINO, Guttemberg da Silva. Aplicações de Modelos multicriterial hierárquicos e multidecisores para alocação de água no sistema Curema-Açu - 183pg -9 Dez2008. f. Doutorado em Recursos Naturais - Universidade Federal de Campina Grande.

TUCCI, C. E. M, **Hidrologia: ciência e aplicação**, Editora UFRCG, Porto Alegre – RS, 1995.

TUCCI, C. E. M, Interdisciplinaridade em recursos hídricos. In: PHILIPPI JR, Arlindo, TUCCI, C.E.M., HOGAN, D.J. **Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais**. São Paulo: Signus Editora, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001.156p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, 2003, 248p.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

VALLADARES, Gustavo Souza et al. Principal component analysis and ordinal multicriteria methods to study organosols and related soils. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo**, v. 32, n. 1, p. 285-296, 2008.

VAN BELLE, Hans M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: FVG Editora, 2007.

VEIGA, José Eli da. Indicadores de sustentabilidade. **Estud. av.**, São Paulo , v. 24, n. 68, 2010 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000100006&lng=en&nrm=iso>. access on 12 Sept. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142010000100006>.

VIEIRA, V. P. P. B. Sustentabilidade do semi-árido brasileiro: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 105-112, 2002.

WCED - World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Oxford University Press, New York, 1987.

WOLF, Aaron T. Conflict and cooperation along international waterways. **water policy**, v. 1, n. 2, p. 251-265, 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO et al. **Millennium development goals**. 2008.

ZUFFO, A. C. et al. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7(1), 81-102.2002
U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. 2016 URL: <http://earthexplorer.usgs.gov>.

ANEXO I

02/04/2017 Questionário para saber "o que é mais importante" para estudar a Bacia Hidrográfica PiranhasAçu
<https://docs.google.com/forms/d/1pOmuK3HQJTdMXH6hXLTSIQjVR9mY3lq3tamCjDLhQ/>
edit 1/5

Questionário para saber "o que é mais importante" para estudar a Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu

O questionário a seguir contém 15 perguntas voltadas para saber o que é mais importante avaliar quando se pretende entender a sustentabilidade de bacias hidrográficas.

***Obrigatório**

1. Qual o seu perfil profissional? *

Marcar apenas uma oval.

- Técnico
- Professor
- Gestor
- Especialista
- Outro

2. Qual a importância de se avaliar a variação na disponibilidade de água por pessoa (no período de 5 anos) para a sustentabilidade da bacia? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

3. Qual a importância de se avaliar a variação na qualidade de água medida através da demanda bioquímica de oxigênio (DBO5)* (no período de 5 anos) para a sustentabilidade da bacia? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

4. Qual a importância de se avaliar o quanto ocorreram alterações nas áreas urbanas e agrícolas em relação aos danos para o meio ambiente (no período de cinco anos) para a sustentabilidade da bacia? *

Obs.: Neste item está sendo avaliado a importância do índice de pressão ambiental IPA (que é formado pela variação área urbana somado a variação área agrícola e dividido por dois), ou seja, o índice de Pressão Ambiental (em inglês conhecido como Environment pressure index EPI), $EPI = IPA = ((\text{Variação urbana} + \text{Variação agrícola})/2)$.

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

5. Qual a importância de se avaliar a variação no produto interno bruto (PIB per capita) na bacia, no período de 5 anos para a sustentabilidade da bacia? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

6. Qual a importância de se avaliar a variação no índice de desenvolvimento humano, no parâmetro educação (IDH Educação) no período de 5 anos para a sustentabilidade da bacia? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

7. Qual a importância de se analisar a disponibilidade por pessoa de água da bacia para a sustentabilidade? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

8. Qual a importância de se analisar a qualidade de água da bacia medida através da demanda bioquímica de oxigênio (DBO5) para a sustentabilidade (média de longo prazo)? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

9. Qual a importância de se analisar o quanto a bacia tem de áreas com vegetação natural (percentual) para a sustentabilidade ? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

10. Qual a importância do índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) da bacia hidrográfica (o mais atualizado e ponderado por área municipal) para a sustentabilidade? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

11. Qual a importância de se analisar o conjunto de leis (capacidade legal) e a presença de instituições dentre as quais agências, órgãos estaduais de recursos

hídricos e similares (capacidade institucional) na bacia hidrográfica para a sustentabilidade? *

Obs.: Aqui se avalia a importância de se analisar a capacidade legal e institucional da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) em termos de sustentabilidade. Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) é "um processo que promove a gestão e desenvolvimento coordenado da água, da terra e dos recursos relacionados..." (SSWM, 2016).

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

12. Qual a importância de se observar a presença (ou não) de melhoramentos na eficiência do uso da água (no período de 5 anos), para sustentabilidade da bacia? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

13. Qual a importância de se observar a presença (ou não) de melhoramentos no tratamento e disposição de esgotos (no período de 5 anos), para a sustentabilidade? * *Marcar apenas uma oval.*

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

14. Qual a importância de se observar a presença (ou não) de melhoramentos no tamanho das áreas protegidas da bacia (reservas, boas práticas de manejo) (no período de 5 anos) para a sustentabilidade? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

15. Qual a importância de se observar a presença (ou não) de melhoramentos no índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) da bacia hidrográfica (no período de 5 anos) para a sustentabilidade? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

16. Qual a importância de se observar a presença (ou não) de melhoramentos nos gastos em Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) na bacia hidrográfica (no período de 5 anos) para a sustentabilidade? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta
- Sem opinião formada

ANEXO II

População e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) – Por Sub-bacia Hidrográfica da Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu

Tabela 84.Sub-bacia Seridó

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO SERIDÓ																
Lugar	População total (1991)	População total (2000)	População total (2010)	IDH M (1991)	IDH M (1991) (IDHM PODE NRAD O)	IDH M (2000) (2000) (IDHM POND ERAD O)	IDH M (2010) (2010) (IDHM POD ERA DO)	IDH M (1991)	IDH M (2000)	IDH M (2010)	IDH M (1991)	IDH M (2000)	IDH M (2010)	IDH M (1991)	IDH M (2000)	IDH M (2010)
Acarí (RN)	11270	11189	11035	0.43	4846.1	0.557	6232.273	0.679	7492.765	0.05	0.559	0.063	0.247	0.425	0.634	
Caicó (RN)	50640	57002	62709	0.49	25269.36	0.613	34942.226	0.71	4452.339	0.567	0.632	0.070	0.316	0.453	0.619	
Carnaúba dos Dantas (RN)	5093	6572	7429	0.439	2235.827	0.59	3877.48	0.659	4895.711	0.484	0.594	0.062	0.261	0.455	0.577	
Cruzeta (RN)	7629	8138	7967	0.412	3143.148	0.56	4557.28	0.654	5210.418	0.509	0.601	0.060	0.223	0.397	0.621	
Cubati (PB)	6279	6388	6866	0.27	1695.33	0.41	2619.08	0.566	3886.156	0.382	0.498	0.054	0.101	0.22	0.448	
Currais Novos (RN)	40227	40791	42652	0.47	18906.69	0.572	23332.452	0.691	2947.2532	0.544	0.603	0.067	0.29	0.412	0.617	

Equador (RN)	561 5	566 4	582 2	0. 35	1965. 25	0. 49	2798. 016	0. 62	3627. 106	0. 43	0. 51	0. 57	0.16 1	0.31 9	0.54 6
Florânia (RN)	929 5	897 8	895 9	0. 35	3262. 545	0. 49	4417. 176	0. 64	5751. 678	0. 42	0. 52	0. 61	0.17 3	0.34 1	0.56
Frei Martinho (PB)	268 4	292 3	293 3	0. 38	1041. 392	0. 45	1327. 042	0. 64	1880. 053	0. 44	0. 50	0. 63	0.24 3	0.29 5	0.54 2
Ipueira (RN)	170 1	190 2	207 7	0. 42	729.7 29	0. 51	970.0 2	0. 67	1410. 283	0. 49	0. 52	0. 62	0.25 8	0.33 7	0.63 3
Jardim do Seridó (RN)	119 10	120 41	121 13	0. 41	4954. 56	0. 57	6875. 411	0. 66	8030. 919	0. 50	0. 58	0. 64	0.23 1	0.42 4	0.58 4
Lagoa Nova (RN)	107 86	120 58	139 83	0. 30	3257. 372	0. 44	5353. 752	0. 58	8180. 055	0. 38	0. 46	0. 54	0.14 1	0.28 9	0.48 3
Novo Palmeira (PB)	332 0	357 3	436 1	0. 29	966.1 2	0. 42	1518. 525	0. 59	2594. 795	0. 40	0. 47	0. 56	0.11 2	0.25 1	0.48 8
Ouroranco (RN)	454 5	466 7	469 9	0. 39	1790. 73	0. 54	2529. 514	0. 64	3030. 855	0. 46	0. 54	0. 61	0.21 3	0.38 6	0.55 8
Parelhas (RN)	174 52	193 19	203 54	0. 43	7521. 812	0. 54	10432 .26	0. 67	1375 9.304	0. 47	0. 54	0. 62	0.25 3	0.38 2	0.61 7
Pedra Lavrada (PB)	667 7	661 7	747 5	0. 26	1776. 082	0. 40	2660. 034	0. 57	4290. 65	0. 38	0. 46	0. 56	0.10 5	0.23 4	0.45 8
Picuí (PB)	165 04	178 96	182 22	0. 30	5033. 72	0. 43	7748. 968	0. 60	1107 8.976	0. 45	0. 50	0. 59	0.11 6	0.25 6	0.50 6
Santa Luzi	130 40	140 12	147 19	0. 41	5437. 68	0. 52	7342. 288	0. 68	1003 8.358	0. 48	0. 54	0. 62	0.25 6	0.37 6	0.63 5

a															
(PB)															
Santana do Seridó (RN)	2510	2377	2526	0.366	918.66	0.526	1250.302	0.642	1621.692	0.426	0.501	0.595	0.187	0.394	0.58
São Fernando (RN)	3504	3234	3401	0.35	1226.4	0.498	1610.532	0.608	2067.808	0.463	0.512	0.591	0.153	0.328	0.508
São João do Sabugi (RN)	5483	5698	5922	0.417	2286.411	0.533	3037.034	0.655	3878.91	0.504	0.538	0.62	0.218	0.37	0.581
São José do Sabugi (PB)	4001	3903	4010	0.304	1216.304	0.482	1881.246	0.617	2474.17	0.405	0.496	0.584	0.118	0.322	0.514
São José do Seridó (RN)	3224	3777	4231	0.435	1402.44	0.588	2220.876	0.694	2936.314	0.559	0.599	0.634	0.246	0.447	0.647
São Mamede (PB)	8353	8018	7748	0.348	2906.844	0.489	3920.802	0.641	4966.468	0.417	0.535	0.617	0.172	0.333	0.558
São Vicente (RN)	5348	5633	6028	0.377	2016.196	0.492	2771.436	0.642	3869.976	0.439	0.502	0.606	0.24	0.365	0.556
Seridó (PB)	7870	9106	10230	0.21	1652.7	0.361	3287.266	0.555	5677.65	0.352	0.422	0.528	0.056	0.187	0.453
Sossêgo (PB)	2690	2598	3169	0.24	645.6	0.393	1021.014	0.573	1815.837	0.367	0.437	0.531	0.075	0.219	0.46
Tenente Laur	3129	4412	5406	0.287	898.023	0.462	2038.344	0.623	3367.938	0.338	0.496	0.559	0.145	0.333	0.586

enti no Cruz (RN)															
Ten ório (PB)	250 5	247 3	281 3	0. 23 1	578.6 55	0. 38 6	954.5 78	0. 58 1	1634. 353	0. 38 1	0. 46 8	0. 56 5	0.06	0.20 9	0.49
Várz ea (PB)	221 1	205 1	250 4	0. 37	818.0 7	0. 55 5	1138. 305	0. 70 7	1770. 328	0. 39 8	0. 49 3	0. 61 9	0.21 7	0.49 1	0.71 4

Tabela 85.Sub-bacia Piancó

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO PIANCÓ															
Lugar	Pop ulaç ão total (199 1)	Pop ulaç ão total (200 0)	Pop ulaç ão total (201 0)	ID H M (1 99 1)	1991 (IDHM PODE NRAD O)	ID H M (2 00 0)	2000 (IDHM POND ERAD O)	ID H M (2 01 0)	2010 (IDH M POD ERA DO)	ID H M (1 99 1)	ID H M (2 00 0)	ID H M (2 01 0)	IDH M Edu caç ão (19 91)	IDH M Edu caç ão (20 00)	IDH M Edu caç ão (20 10)
Água Branc a (PB)	820 3	837 7	944 9	0. 26 7	2190. 201	0. 41 5	3476. 455	0. 57 2	5404. 828	0. 33 2	0. 46 6	0. 54 2	0.12 1	0.25 3	0.48 4
Água r (PB)	677 1	563 8	553 0	0. 27 3	1848. 483	0. 39 2	2210. 096	0. 59 7	3301. 41	0. 38 6	0. 42 9	0. 63 2	0.10 4	0.22 6	0.44 7
Boa Ventu ra (PB)	551 9	658 8	575 1	0. 32 3	1782. 637	0. 38 6	2542. 968	0. 59 9	3444. 849	0. 37 4	0. 44 8	0. 56 6	0.15 8	0.19 2	0.48
Cajaz eirinh as (PB)	330 6	284 8	303 3	0. 16	528.9 6	0. 35 7	1016. 736	0. 55	1668. 15	0. 38 4	0. 45 4	0. 52 1	0.02	0.15 3	0.41 3
Catin gueir a (PB)	636 8	474 8	481 2	0. 25 2	1604. 736	0. 39 8	1889. 704	0. 57 4	2762. 088	0. 34 8	0. 47 8	0. 55 3	0.08 7	0.21 6	0.45 5
Conc eição (PB)	189 67	179 31	183 63	0. 31 4	5955. 638	0. 43 9	7871. 709	0. 59 2	1087 0.896	0. 37 7	0. 47 6	0. 57 7	0.14 4	0.26 6	0.47 6

Coremas (PB)	151 69	151 30	151 49	0. 30 4	4611. 376	0. 42 4	6415. 12	0. 59 2	8968. 208	0. 43 2	0. 49	0. 57 8	0.12 3	0.23 7	0.45 2
Curral Velho (PB)	298 9	255 8	250 5	0. 32 8	980.3 92	0. 41	1048. 78	0. 60 6	1518. 03	0. 40 7	0. 44 5	0. 61 3	0.15 2	0.24 4	0.49 1
Diamante (PB)	796 1	692 0	661 6	0. 28 6	2276. 846	0. 42 3	2927. 16	0. 59 3	3923. 288	0. 31 6	0. 43 8	0. 56 2	0.13	0.27 1	0.49 6
Emas (PB)	312 9	306 1	331 7	0. 26 3	822.9 27	0. 40 5	1239. 705	0. 59 5	1973. 615	0. 36 3	0. 43 7	0. 55 4	0.09 7	0.23 2	0.49 2
Ibiara (PB)	658 3	638 3	603 1	0. 27 7	1823. 491	0. 42 5	2712. 775	0. 58 6	3534. 166	0. 3 7	0. 44 8	0. 54 8	0.12 4	0.26 5	0.47 9
Igaracy (PB)	624 3	630 7	615 6	0. 26 8	1673. 124	0. 40 8	2573. 256	0. 61	3755. 16	0. 32 9	0. 46 5	0. 57 5	0.10 3	0.22 2	0.49 6
Imaculada (PB)	104 26	109 55	113 52	0. 24 6	2564. 796	0. 33 8	3702. 79	0. 55 7	6323. 064	0. 36 4	0. 40 9	0. 52 4	0.09 1	0.16 3	0.46 1
Itaporanga (PB)	198 14	211 23	231 92	0. 35 8	7093. 412	0. 48 9	10329. .147	0. 61 5	1426 3.08	0. 42 7	0. 52 5	0. 60 7	0.18 8	0.35 2	0.51 7
Juru (PB)	105 23	100 45	982 6	0. 22 1	2325. 583	0. 38 1	3827. 145	0. 57	5600. 82	0. 29 9	0. 44 4	0. 55 2	0.07 1	0.20 2	0.44 3
Manaira (PB)	113 75	104 73	107 59	0. 25 4	2889. 25	0. 37 5	3927. 375	0. 54 3	5842. 137	0. 36 7	0. 43 4	0. 53 7	0.08 5	0.21 6	0.42 6
Nova Olinda (PB)	619 8	645 7	607 0	0. 24	1487. 52	0. 38 2	2466. 574	0. 57 3	3478. 11	0. 34 8	0. 43 3	0. 55 7	0.07 6	0.20 2	0.45 3
Olho D'Água (PB)	847 8	783 1	693 1	0. 25 5	2161. 89	0. 39	3054. 09	0. 57 2	3964. 532	0. 38 4	0. 40 5	0. 53 3	0.07 8	0.22 9	0.45 2
Pedra Branca (PB)	356 6	369 2	372 1	0. 31 3	1116. 158	0. 42 6	1572. 792	0. 59 9	2228. 879	0. 34 3	0. 43 5	0. 53 2	0.15 7	0.28	0.53 2
Piancó (PB)	152 77	148 72	154 65	0. 36	5499. 72	0. 47 5	7064. 2	0. 62 1	9603. 765	0. 40 4	0. 51 9	0. 59 3	0.20 8	0.30 6	0.55
Pombal (PB)	304 10	319 54	321 10	0. 36 4	11069. .24	0. 47 2	15082. .288	0. 63 4	2035 7.74	0. 49 8	0. 53 9	0. 62 9	0.16 7	0.28 4	0.51 5

Princesa Isabel (PB)	166 53	182 31	212 83	0. 35 2	5861. 856	0. 46 6	8495. 646	0. 60 6	1289 7.498	0. 43 1	0. 51 4	0. 6	0.17 7	0.31 3	0.51 4
Santa Inês (PB)	444 9	354 8	353 9	0. 24 6	1094. 454	0. 33 6	1192. 128	0. 57 2	2024. 308	0. 36 3	0. 37 3	0. 54	0.07 2	0.17 2	0.49 2
Santa na de Mangueira (PB)	630 1	577 3	533 1	0. 20 3	1279. 103	0. 36 3	2095. 599	0. 53 5	2852. 085	0. 35 6	0. 40 7	0. 48 8	0.04 1	0.18 5	0.41 4
Santa dos Garrotes (PB)	806 4	788 2	726 6	0. 29 7	2395. 008	0. 44 8	3531. 136	0. 59 4	4316. 004	0. 33 2	0. 45 3	0. 56 8	0.13 6	0.28 9	0.47 9
São Bento (PB)	388 3	358 9	413 8	0. 24 1	935.8 03	0. 36 9	1324. 341	0. 60 6	2507. 628	0. 34 5	0. 45 8	0. 57 5	0.07 2	0.16 1	0.49 1
São José de Caiana (PB)	472 5	573 7	601 0	0. 23 9	1129. 275	0. 34 9	2002. 213	0. 56 5	3395. 65	0. 29 2	0. 42 2	0. 54 5	0.08 2	0.15 9	0.43 4
São José de Princesa (PB)	558 2	497 0	421 9	0. 28	1562. 96	0. 41 3	2052. 61	0. 56 5	2383. 735	0. 37	0. 43 9	0. 53 3	0.11 4	0.24 3	0.44 3
Serra Grande (PB)	259 8	285 5	297 5	0. 26 2	680.6 76	0. 39 1	1116. 305	0. 58 6	1743. 35	0. 34 6	0. 51 6	0. 54 9	0.09 1	0.18 1	0.49 1
Tavares (PB)	143 42	135 84	141 03	0. 30 6	4388. 652	0. 37 9	5148. 336	0. 58 6	8264. 358	0. 38 7	0. 43 7	0. 56	0.13	0.19	0.46 2

Tabela 86.Sub-bacia Peixe

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO PEIXE															
Lugar	População total (1991)	População total (2000)	População total (2010)	IDH M (1991)	1991 (IDHM PODE NRADO)	IDH M (2000)	2000 (IDHM POND ERADO)	IDH M (2010)	2010 (IDH M POD ERA DO)	IDH M Re nd a (1991)	IDH M Re nd a (2000)	IDH M Re nd a (2010)	IDH M Edu cação (1991)	IDH M Edu cação (2000)	IDH M Edu cação (2010)
Santarém (PB)	3056	2568	2615	0.24	733.44	0.425	1091.4	0.622	1626.53	0.308	0.439	0.553	0.085	0.273	0.568
Aparecida (PB)	6485	6643	7676	0.253	1640.705	0.425	2823.275	0.578	4436.728	0.392	0.523	0.567	0.067	0.229	0.456
Bernardino Batista (PB)	1713	2559	3075	0.239	409.407	0.391	1000.569	0.558	1715.85	0.274	0.452	0.526	0.09	0.226	0.462
Bom Jesus (PB)	1735	2193	2400	0.298	517.03	0.415	910.095	0.597	1432.8	0.425	0.469	0.584	0.12	0.23	0.477
Cachoeira dos Índios (PB)	8789	9344	9546	0.256	2249.984	0.394	3681.536	0.587	5603.502	0.357	0.467	0.583	0.089	0.198	0.453
Cajazeiras (PB)	49800	53205	58446	0.428	21314.4	0.528	28092.24	0.679	39684.834	0.508	0.588	0.668	0.229	0.353	0.574
Lastrão (PB)	3278	3118	2841	0.233	763.774	0.403	1256.554	0.533	1514.253	0.273	0.419	0.532	0.084	0.247	0.38
Mariópolis (PB)	4695	5618	6173	0.279	1309.905	0.412	2314.616	0.608	3753.184	0.381	0.491	0.582	0.106	0.223	0.512
Poço das Antas (PB)	3009	3828	3751	0.203	610.827	0.327	1251.756	0.525	1969.275	0.332	0.444	0.506	0.048	0.14	0.408
Poço de José de Moura (PB)	4051	3529	3978	0.276	1118.076	0.422	1489.238	0.612	2434.536	0.265	0.492	0.578	0.151	0.231	0.497
Santa Cruz (PB)	7118	6118	6471	0.309	2199.462	0.476	2912.168	0.618	3999.078	0.373	0.488	0.578	0.125	0.33	0.523
Santa Helena (PB)	5664	5643	5369	0.321	1818.144	0.44	2482.92	0.609	3269.721	0.433	0.498	0.57	0.125	0.26	0.504
São Francisco (PB)	3798	3464	3364	0.246	934.308	0.403	1395.992	0.58	1951.12	0.327	0.456	0.56	0.082	0.224	0.481

São João do Rio do Peixe (PB)	179 63	181 88	182 01	0. 3	5388. 9	0. 44 8	8148. 224	0. 60 8	1106 6.208	0. 35 4	0. 5	0. 58 6	0.14 5	0.27 5	0.49
Sousa (PB)	625 84	622 39	658 03	0. 37 8	23656 .752	0. 50 8	31617 .412	0. 66 8	4395 6.404	0. 49 1	0. 57 7	0. 64 5	0.18 9	0.32 6	0.56 7
Triunfo (PB)	889 4	905 3	922 0	0. 30 1	2677. 094	0. 42 9	3883. 737	0. 60 9	5614. 98	0. 36 4	0. 48 2	0. 57 8	0.14	0.25	0.50 1
Uiraúna (PB)	140 68	136 81	145 84	0. 33 7	4740. 916	0. 48 5	6635. 285	0. 63 6	9275. 424	0. 44 1	0. 56 6	0. 61 2	0.13 7	0.30 9	0.52 8
Vieirópolis (PB)	324 2	467 2	504 5	0. 21 7	703.5 14	0. 37 8	1766. 016	0. 57 1	2880. 695	0. 31 7	0. 43 1	0. 53 7	0.06 4	0.19 6	0.45 5

Tabela 87.Sub-bacia Pataxó

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO PATAXÓ															
Lugar	População total (1991)	População total (2000)	População total (2010)	IDH M (1991)	1991 (IDHM PODE NRAD O)	IDH M (2000)	2000 (IDHM POND ERAD O)	IDH M (2010)	2010 (IDH M POD ERA DO)	IDH M (1991)	IDH M (2000)	IDH M (2010)	IDH M Educaçã o (1991)	IDH M Educaçã o (2000)	IDH M Educaçã o (2010)
Açu (RN)	435 91	479 04	532 27	0. 39 9	17392. 809	0. 53 6	25676. 544	0. 66 1	3518 3.047	0. 51 4	0. 57 1	0. 64 1	0.20 8	0.37 9	0.56 8
Alto do Rodrigues (RN)	824 7	949 9	123 05	0. 37 3	3076.1 31	0. 51 3	4872.9 87	0. 67 2	8268. 96	0. 45 1	0. 57 8	0. 64 7	0.19 1	0.32 9	0.58 5
Angicos (RN)	115 35	116 26	115 49	0. 40 1	4625.5 35	0. 52 8	6138.5 28	0. 62 4	7206. 576	0. 44 7	0. 54 3	0. 60 6	0.22 2	0.36 8	0.53
Fernando Pedrosa (RN)	294 1	265 0	285 4	0. 31	911.71	0. 47 6	1261.4	0. 59 7	1703. 838	0. 35 4	0. 52 7	0. 56 5	0.17 2	0.32 5	0.51 9
Ipanaguçu (RN)	107 82	122 16	138 56	0. 30 7	3310.0 74	0. 45 2	5521.6 32	0. 60 3	8355. 168	0. 4	0. 48 9	0. 56 8	0.14 1	0.29 4	0.51 8

Tabela 88.Sub-bacia Paraú

SUB-BACCIA HIDROGRÁFICA DO PARAÚ															
Lugar	População total (1991)	População total (2000)	População total (2010)	IDH M (1991)	1991 (IDHM PODE NRADO)	IDH M (2000)	2000 (IDHM POND ERADO)	IDH M (2010)	2010 (IDHM POD ERADO)	IDH M Renda (1991)	IDH M Renda (2000)	IDH M Renda (2010)	IDH M Educação (1991)	IDH M Educação (2000)	IDH M Educação (2010)
Paraú (RN)	4008	4092	3859	0.332	1330.656	0.486	1988.712	0.603	2326.977	0.437	0.527	0.582	0.169	0.357	0.522
Triunfo Potiguar (RN)	2897	3642	3368	0.241	698.177	0.393	1431.306	0.602	2027.536	0.365	0.476	0.579	0.077	0.209	0.516

Tabela 89.Sub-bacia Média Piranhas Potiguar

SUB-BACCIA HIDROGRÁFICA MÉDIA PIRANHAS POTIGUAR															
Lugar	População total (1991)	População total (2000)	População total (2010)	IDH M (1991)	1991 (IDHM PODE NRADO)	IDH M (2000)	2000 (IDHM POND ERADO)	IDH M (2010)	2010 (IDHM POD ERADO)	IDH M Renda (1991)	IDH M Renda (2000)	IDH M Renda (2010)	IDH M Educação (1991)	IDH M Educação (2000)	IDH M Educação (2010)
Bodó (RN)	2787	2775	2425	0.136	379.032	0.417	1157.175	0.629	1525.325	0.329	0.469	0.57	0.015	0.241	0.565
Itajá (RN)	5512	6249	6932	0.3	1653.6	0.454	2837.046	0.624	4325.568	0.412	0.495	0.586	0.122	0.292	0.539
Jucuru (RN)	14684	17319	17692	0.303	4449.252	0.449	7776.231	0.601	10632.892	0.453	0.526	0.583	0.113	0.255	0.492
Santa do Matos (RN)	14401	15987	13809	0.275	3960.275	0.431	6890.397	0.591	8161.119	0.362	0.459	0.559	0.114	0.276	0.482
São Rafael	7843	8201	8111	0.311	2439.173	0.469	3846.269	0.611	4955.821	0.422	0.527	0.588	0.122	0.287	0.493

(RN)																	
------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabela 90.Sub-bacia Médio Piranhas Paraibano Potiguar

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA MÉDIO PIRANHAS PARAIBANO POTIGUAR															
Lugar	População total (1991)	População total (2000)	População total (2010)	IDHM (1991)	1991 (IDHM PODE NRADO)	IDHM (2000)	2000 (IDHM POND ERADO)	IDHM (2010)	2010 (IDHM POD ERADO)	IDHM (1991)	IDHM (2000)	IDHM (2010)	IDHM Educação (1991)	IDHM Educação (2000)	IDHM Educação (2010)
Belém do Brejo do Cruz (PB)	8141	7011	7143	0.283	2303.903	0.423	2965.653	0.578	4128.654	0.411	0.459	0.555	0.103	0.25	0.451
Brejo do Cruz (PB)	1213	11868	13123	0.342	4142.646	0.469	5566.092	0.597	7834.431	0.43	0.524	0.575	0.151	0.28	0.463
Católe do Rocha (PB)	25747	26641	28759	0.371	9552.137	0.495	13187.295	0.64	18405.76	0.442	0.533	0.617	0.188	0.325	0.539
São José do Brejo do Cruz (PB)	1771	1532	1684	0.245	433.895	0.394	603.608	0.581	978.404	0.415	0.467	0.535	0.059	0.205	0.473
Jardim de Piranhas (RN)	9957	11994	13506	0.387	3853.359	0.46	5517.24	0.603	8144.118	0.516	0.537	0.59	0.17	0.241	0.469
Timbaúba dos Bastas (RN)	1935	2189	2295	0.431	833.985	0.546	1195.194	0.64	1468.8	0.519	0.605	0.614	0.234	0.383	0.591

Tabela 91.Sub-bacia Médio Piranhas Paraibano

SUB-BACCIA HIDROGRÁFICA MÉDIA PIRANHAS PARAIBANO															
Lugar	População total (1991)	População total (2000)	População total (2010)	IDHM (1991)	IDHM (1991) (IDHM PODE NRADO)	IDHM (2000)	IDHM (2000) (IDHM POND ERADO)	IDHM (2010)	IDHM (2010) (IDHM POD ERA DO)	IDHM (1991) (Re nd a)	IDHM (2000) (Re nd a)	IDHM (2010) (Re nd a)	IDHM Edu cação (1991)	IDHM Edu cação (2000)	IDHM Edu cação (2010)
Bom Sucesso (PB)	6277	5285	5035	0.343	2153.011	0.46	2431.1	0.592	2980.72	0.399	0.477	0.558	0.164	0.294	0.494
Brejo dos Santos (PB)	6233	5948	6198	0.299	1863.667	0.451	2682.548	0.619	3836.562	0.381	0.503	0.564	0.14	0.286	0.541
Condado (PB)	6620	6495	6584	0.338	2237.56	0.428	2779.86	0.594	3910.896	0.418	0.476	0.573	0.156	0.249	0.476
Jericó (PB)	7750	7416	7538	0.331	2565.25	0.452	3352.032	0.603	4545.414	0.428	0.496	0.577	0.137	0.275	0.476
Lagoa (PB)	5756	4844	4681	0.276	1588.656	0.398	1927.912	0.563	2635.403	0.33	0.46	0.533	0.128	0.222	0.448
Malta (PB)	6023	5692	5613	0.331	1993.613	0.477	2715.084	0.642	3603.546	0.416	0.526	0.62	0.15	0.3	0.533
Mato Grosso (PB)	1708	2427	2702	0.202	345.016	0.364	883.428	0.565	1526.63	0.351	0.47	0.566	0.047	0.161	0.419
Pauлиста (PB)	11004	11266	11788	0.294	3235.176	0.415	4675.39	0.587	6919.556	0.423	0.508	0.587	0.098	0.219	0.461
Riachos dos Cavalos (PB)	8935	8064	8314	0.268	2394.58	0.366	2951.424	0.568	4722.352	0.363	0.468	0.546	0.106	0.165	0.447
São Bento (PB)	21579	26225	30879	0.292	6301.068	0.424	11119.4	0.58	17909.82	0.485	0.536	0.597	0.081	0.201	0.424
Vista Serran	3052	3121	3512	0.313	955.276	0.44	1373.24	0.566	1987.792	0.492	0.556	0.554	0.103	0.238	0.424

a (PB)															
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabela 92.Sub-bacia Espinharas

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ESPINHARAS															
Lugar	População total (1991)	População total (2000)	População total (2010)	IDHM (1991)	1991 (IDHM PODE NRADO)	IDHM (2000)	2000 (IDHM POND ERADO)	IDHM (2010)	2010 (IDHM POD ERADO)	IDHM (1991)	IDHM (2000)	IDHM (2010)	IDHM Educação (1991)	IDHM Educação (2000)	IDHM Educação (2010)
Areia de Baraúnas (PB)	1784	2104	1927	0,188	335,392	0,385	810,04	0,562	1082,974	0,298	0,444	0,566	0,049	0,218	0,462
Assunção (PB)	2470	2960	3522	0,247	610,09	0,406	1201,76	0,609	2144,898	0,379	0,499	0,601	0,075	0,221	0,51
Cacimba de Areia (PB)	3214	3403	3557	0,276	887,064	0,413	1405,439	0,596	2119,972	0,381	0,452	0,553	0,109	0,244	0,497
Mãe D'Água (PB)	4093	4082	4019	0,235	961,855	0,357	1457,274	0,542	2178,298	0,343	0,415	0,52	0,083	0,183	0,429
Maturéia (PB)	4570	5032	5939	0,199	909,43	0,341	1715,912	0,572	3397,108	0,405	0,425	0,54	0,041	0,154	0,474
Passagem (PB)	1326	1979	2233	0,287	380,562	0,446	882,634	0,62	1384,46	0,39	0,493	0,566	0,102	0,264	0,534
Patos (PB)	81565	91761	100674	0,436	35562,34	0,557	51110,877	0,701	70572,474	0,535	0,595	0,667	0,265	0,403	0,628
Quixabá (PB)	1390	1308	1699	0,255	354,45	0,416	544,128	0,622	1056,778	0,34	0,456	0,564	0,099	0,262	0,579
Salgado (PB)	2710	2823	3508	0,245	663,95	0,395	1115,085	0,563	1975,004	0,301	0,442	0,531	0,096	0,221	0,454
Santa Teresinha (PB)	5206	4728	4581	0,251	1306,706	0,42	1985,76	0,627	2872,287	0,333	0,458	0,586	0,081	0,225	0,513
São José de Espinharas (PB)	6166	5109	4760	0,241	1486,006	0,406	2074,254	0,577	2746,52	0,348	0,464	0,543	0,072	0,216	0,448

São José do Bonfim (PB)	2358	2446	3233	0.262	617.796	0.401	980.846	0.578	1868.674	0.348	0.447	0.549	0.113	0.247	0.493
Teixeira (PB)	12724	13103	14153	0.305	3880.82	0.427	5594.981	0.605	8562.565	0.411	0.488	0.566	0.135	0.255	0.527
Serra Negra do Norte (RN)	7505	7543	7770	0.332	2491.66	0.454	3424.522	0.597	4638.69	0.482	0.525	0.578	0.123	0.237	0.468

Tabela 93.Sub-bacia Difusas Baixo Piranhas

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DIFUSAS DO BAIXO PIRANHAS															
Lugar	População total (1991)	População total (2000)	População total (2010)	IDH M (1991)	1991 (IDHM PODE NRADO)	IDH M (2000)	2000 (IDHM POND ERADO)	IDH M (2010)	2010 (IDH M POD ERA DO)	IDH M (2010) (1991)	IDH M (2010) (2000)	IDH M (2010) (2010)	IDH M Educaçã o (1991)	IDH M Educaçã o (2000)	IDH M Educaçã o (2010)
Afonso Bezerra (RN)	10461	10575	10844	0.343	3588.123	0.456	4822.2	0.585	6343.74	0.415	0.508	0.56	0.173	0.277	0.502
Alto do Rodrigues (RN)	8247	9499	12305	0.373	3076.131	0.513	4872.987	0.672	8268.96	0.451	0.578	0.647	0.191	0.329	0.585
Carnaubais (RN)	7499	8192	9762	0.352	2639.648	0.481	3940.352	0.589	5749.818	0.464	0.559	0.583	0.17	0.288	0.476
Macau (RN)	25985	25700	28954	0.405	10523.925	0.556	14289.2	0.665	19254.41	0.525	0.566	0.65	0.213	0.426	0.572
Pedro Avelino (RN)	11447	8006	7171	0.289	3308.183	0.469	3754.814	0.583	4180.693	0.418	0.542	0.577	0.111	0.29	0.435
Pendências (RN)	11055	11401	13432	0.377	4167.735	0.493	5620.693	0.631	8475.592	0.466	0.52	0.633	0.231	0.365	0.526

Tabela 94.Sub-bacia Alto Piranhas

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PIRANHAS															
Lugar	População total (1991)	População total (2000)	População total (2010)	IDHM (1991)	1991 (IDHM PODE NRADO)	IDHM (2000)	2000 (IDHM POND ERADO)	IDHM (2010)	2010 (IDHM POD ERA DO)	IDHM (1991)	IDHM (2000)	IDHM (2010)	IDHM Educaçã o (1991)	IDHM Educaçã o (2000)	IDHM Educaçã o (2010)
Bonito de Santa Fé (PB)	9043	9230	10804	0.293	2649.599	0.413	3811.99	0.574	6201.496	0.391	0.491	0.564	0.122	0.219	0.427
Carrafeira (PB)	1497	1813	2378	0.352	526.944	0.433	785.029	0.603	1433.934	0.425	0.482	0.529	0.167	0.264	0.543
Monte Horebe (PB)	4053	4112	4508	0.287	1163.211	0.426	1751.712	0.587	2646.196	0.434	0.467	0.579	0.089	0.251	0.463
Nazarinho (PB)	6999	7619	7280	0.265	1854.735	0.394	3001.886	0.562	4091.36	0.346	0.43	0.528	0.101	0.228	0.449
São Domingos (PB)	2692	2498	2855	0.205	551.86	0.348	869.304	0.548	1564.54	0.366	0.476	0.555	0.048	0.143	0.394
São José da Lagoa Tapada (PB)	7070	7184	7564	0.247	1746.29	0.341	2449.744	0.53	4008.92	0.352	0.421	0.53	0.078	0.151	0.389
São José de Piranhas (PB)	17625	17876	19096	0.284	5005.5	0.416	7436.416	0.591	11285.736	0.395	0.483	0.594	0.097	0.233	0.461

ANEXO III

Com base no Software Lab fit ajuste de curvas (SILVA et al, 2004) foi feita a estimativa da demanda bioquímica de oxigênio para os anos 2005 e 2009 com base nos dados de monitoração fornecidos pela ANA (2016). Parte do estudo foi publicada em Silva et al (2017). A seguir as funções selecionadas pelo software aplicadas para estimativa:

Tabela 95. Funções de ajuste

Sub-bacia hidrográfica	Função	R ²
Alto Piranhas	$Y=(A+X)/(B+C*X^{**2})$	0.99703
Difusas Baixo Piranhas	$Y=(A+X)/(B+C*X)$	0.9794
Espinharas	$Y=A*X+B*X^{**2}$	0.5654
Média Piranhas Paraibano	$Y=A*X+B*X^{**2}+C*X^{**3}$	0.5980154
Média Piranhas Paraibano Potiguar	$Y=A/X^{**2}$	0.35511
Média Piranhas Potiguar⁴⁶	$Y = A*X^{**2} +B*X+C$	1
Paraú	$Y=A*\text{COS}(B*X+C)+D$	0.9625
Pataxó	$Y=A*\text{SIN}(B*X+C)+D$	0.9699
Peixe	$Y=(A+X)/(B+C*X^{**2})$	0.6354
Piancó	$A*\text{EXP}(((\text{LN}X-B)^2)/C)$	0.6720
Seridó ⁴⁷	$Y=A*X+B*X^{**2}+C*X^{**3}$	1

⁴⁶⁴⁶ Santos et al (2004) apresenta este valor para função quadrática. Para amostrar de 3 pontos onde o Lab Fit não possui eficácia (pois tem como ponto de partida 4 amostras) a função quadrática torna-se uma alternativa interessante.

⁴⁷⁴⁷ Idem nota anterior

ANEXO IV

Matriz do Método Copeland

Tabela 96. Método Copeland

	SERIDÓ																									P O N T O S		
SUB-BACIA/DECISORES	DECISOR																											
Seridó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Piancó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peixe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pataxó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Paraú	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Média Piranhas Potiguar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Médio P. Paraíba Potiguar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Médio Piranhas Paraíba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Espinhas	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	9
Difusas Baixas	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	22
Alto Piranhas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
																												60
	PIANCÓ																									P O N T O S		
SUB-BACIA/DECISORES	DECISOR																											
Seridó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Piancó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peixe	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26
Pataxó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Paraú	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Média Piranhas Potiguar	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23
Médio P. Paraíba Potiguar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26

Alto Piranhas	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	16
																														230
MÉDIO P. PARAÍBANO POTIGUAR																														
																														PONTOS
SUB-BACIA/DECISORES	DECISOR																													
Seridó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Piancó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Peixe	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	11
Pataxó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Paraú	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	23
Média Piranhas Potiguar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Médio P. Paraibano Potiguar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Médio Piranhas Paraibano	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	25
Espinhas	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26
Difusas Baixo Piranhas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Alto Piranhas	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
																														172
MÉDIO PIRANHAS PARAÍBANO																														
																														PONTOS
SUB-BACIA/DECISORES	DECISOR																													
Seridó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	26
Piancó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peixe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Pataxó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Paraú	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	11
Média Piranhas Potiguar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Médio P. Paraibano Potiguar	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
Médio Piranhas Paraibano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Espinhas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25
Difusas Baixo Piranhas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Alto Piranhas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
																														121

ESPINHARAS																											P O N T O S	
	DECISOR 1	DECISOR 2	DECISOR 3	DECISOR 4	DECISOR 5	DECISOR 6	DECISOR 7	DECISOR 8	DECISOR 9	DECISOR																		
Seridó	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	18
Piarcó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peixe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pataxó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	26
Paraú	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Média Piranhas Potiguar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Médio P. Paraibano Potiguar	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Médio Piranhas Paraibano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
Espinharas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Difusas Baixo Piranhas	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	21
Alto Piranhas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
																											70	
DIFUSAS BAIXO PIRANHAS																											P O N T O S	
	DECISOR 1	DECISOR 2	DECISOR 3	DECISOR 4	DECISOR 5	DECISOR 6	DECISOR 7	DECISOR 8	DECISOR 9	DECISOR																		
Seridó	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
Piarcó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Peixe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Pataxó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Paraú	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Média Piranhas Potiguar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Médio P. Paraibano Potiguar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Médio Piranhas Paraibano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Espinharas	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	6
Difusas Baixo Piranhas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Alto Piranhas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
																											39	
ALTO PIRANHAS																											P O N T O S	

	DECISOR 1	DECISOR 2	DECISOR 3	DECISOR 4	DECISOR 5	DECISOR 6	DECISOR 7	DECISOR 8	DECISOR 9	DECISOR 10	DECISOR 11	DECISOR 12	DECISOR 13	DECISOR 14	DECISOR 15	DECISOR 16	DECISOR 17	DECISOR 18	DECISOR 19	DECISOR 20	DECISOR 21	DECISOR 22	DECISOR 23	DECISOR 24	DECISOR 25	DECISOR 26	DECISOR 27	T S O
Seridó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Piancó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peixe	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24
Pataxó	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Paraú	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Média Piranhas Potiguar	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	11
Médio P. Paraibano Potiguar	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23
Médio Piranhas Paraibano	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26
Espinharas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Difusas Baixo Piranhas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
Alto Piranhas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
																												21 9

ANEXO V

Fluxograma da sequência metodológica proposta

