



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**CAMPUS I – CAMPINA GRANDE**

**IGOR SOUZA OGATA**

**DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA PARA A BACIA**  
**HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**

Campina Grande - PB  
Fevereiro 2014

**IGOR SOUZA OGATA**

**DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA PARA A BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Prof. Dr. Rui de Oliveira

Profa. Dra. Andrea Carla Lima Rodrigues

Campina Grande - PB  
Fevereiro 2014

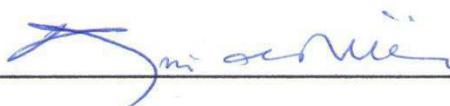
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- O34d Ogata, Igor Souza.  
Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica para a bacia hidrográfica do Rio Paraíba. / Igor Souza Ogata. – Campina Grande, 2014.  
104 f.: il. color
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2014.
- "Orientação: Prof. Dr. Rui de Oliveira, Prof. Dra. Andrea Carla Lima Rodrigues".  
Referências.
1. Bacia Hidrográfica - Paraíba. 2. Pobreza Hídrica - Índice. 3. Índices de Sustentabilidade – Bacias Hidrográficas I. Ogata, Igor Souza. II. Título.
- CDU 624:556.51 (813.3)(043)

**DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA PARA A BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**

Dissertação aprovada em 26 de Fevereiro de 2014.

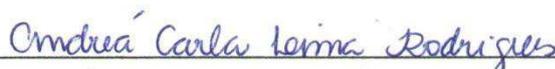
COMISSÃO EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Rui de Oliveira

Orientador



---

Profa. Dra. Andrea Carla Lima Rodrigues

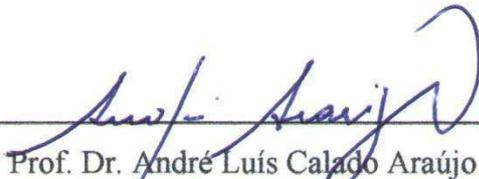
Orientadora



---

Profa. Dra. Márcia Maria Rios Ribeiro

Examinadora Interna



---

Prof. Dr. André Luís Calado Araújo

Examinador Externo

*À Vovó por continuar se esforçando para que  
eu conquiste meus objetivos.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me proporcionar discernimento para suportar os momentos de provação e perceber a sua fidelidade e minha capacidade de resistir a situações difíceis.

A minha família, pela dedicação empenhada no meu sucesso profissional, em especial a vovó, que é base de todos nós.

Aos meus colegas de trabalho, Emanuel, Cayo e Cassio, por me mostrarem outra perspectiva da engenharia e me darem a oportunidade de ser um profissional melhor.

Aos meus colegas do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Pablo, Narcísio, Kalina e Elder, pelos bons momentos compartilhados.

A Alesca, por ter colocado doçura em dias tão amargos.

Ao meu mestre e orientador Rui de Oliveira, por ter me guiado brilhantemente, reforçando a admiração que tenho por ele.

As professoras Andrea Carla Lima Rodrigues e Márcia Maria Rios Ribeiro e ao professor André Luís Calado Araújo, pelas contribuições ao meu trabalho.

Aos técnicos da AESA, SUDEMA, CAGEPA e do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, pelas dúvidas esclarecidas e as informações disponibilizadas.

E a todos que contribuíram para o êxito desse trabalho.

*Os mais fortes não nasceram para sobrepor aos  
mais fracos, mas para suportar suas fraquezas.*

## RESUMO

O Índice de Pobreza Hídrica é uma medida de avaliação da gestão integrada dos recursos hídricos, segundo fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, através da base conceitual da pobreza hídrica, sendo constituído pelos componentes Recurso, Acesso, Capacidade, Uso, e Meio Ambiente. Neste trabalho, o Índice de Pobreza Hídrica foi desenvolvido para se adequar as características da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, bem como solucionar algumas limitações inerentes ao índice. De acordo com a metodologia adotada para ponderar o índice, foram necessários duas ponderações, empregando uma componente principal referente ao desenvolvimento sustentável e outra componente principal referente aos recursos hídricos. Desta maneira, verificou-se que a metodologia de desenvolvimento do índice foi capaz de solucionar as limitações de escala espacial no nível de bacia, da ponderação subjetiva e do componente Recurso. Os valores do Índice de Pobreza Hídrica resultaram em uma pobreza hídrica moderada para toda a extensão da bacia, independente da forma de ponderação utilizada, sendo representativo do sistema estudado. Sendo assim, conclui-se que o Índice de Pobreza Hídrica realizou seu papel de indicador com eficácia, apresentando uma visão abrangente do sistema através de uma abordagem simplificada e que a análise dos resultados dos componentes do Índice de Pobreza Hídrica fornece subsídios técnicos para os tomadores de decisão, guiando-os nos aspectos que devem ser priorizados no gerenciamento dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Índice de Pobreza Hídrica. Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Desenvolvimento de indicadores e índices. Índices de sustentabilidade para bacias hidrográficas.

## **ABSTRACT**

The Water Poverty Index is a parameter for the assessment of integrated water resource management, based on physical, social, economic and environmental factors, through of water poverty conceptual framework, made up of Resource, Access, Capacity, Use and Environment components. This work was developed in order to adequate Water Poverty Index methodology to the characteristics of Paraíba River Watershed, besides to solve some limitation inherent to the index. According with the methodology adopted for weighting the index, two weighting employing a principal component related to sustainable development and other principal component related to water resources, were required. Therefore, it has been found that the development of such an index was able to solve the limitations of spatial scale in the level of a watershed, of subjective weighting and of Resource component. The values of Water Poverty Index resulted in a moderate water poverty level throughout the basin, independently on the mode of weighting utilized, being representative of the studied system. Hence, it has been concluded that the Water Poverty Index played its role with effectiveness, favoring an embracing view of the system through a simple approach. Also, the analysis of Water Poverty Index components provides technical support for the decision makers, guiding them on the aspects which should be prioritized in the water resource management.

**Keywords:** Water Poverty Index. Paraíba River Watershed. Development of indicators and indexes. Sustainability indexes for watershed.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Triângulo da sustentabilidade	21
Figura 2 – Sistema de gestão dos recursos hídricos	22
Quadro 1 – Funções dos recursos hídricos	23
Figura 3 – Níveis de participação das partes interessadas na GIRH	24
Figura 4 – Fluxograma do funcionamento da GIRH	26
Figura 5 – Pirâmide de informação	28
Figura 6 – Características de um bom indicador	29
Figura 7 – Classificação dos indicadores por Cecconi, Franceschini e Galetto (2007)	32
Figura 8 – Estruturas conceituais PSR, DSR e DPSIR	35
Figura 9 – Exemplo do IPH pelo método da matriz	40
Quadro 2 – Usos da água e causas da pobreza de água	45
Figura 10 – Possíveis escalas espaciais de aplicação do IPH	47
Figura 11 – Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba	55
Figura 12 – Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba	60
Quadro 3 – Classificação dos resultados do IPH	76
Figura 13 – Componentes do IPH da Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba	80
Figura 14 – Componentes do IPH da Região Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba	81
Figura 15 – Componentes do IPH da Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba	82
Figura 16 – Componentes do IPH da Sub-bacia do Taperoá	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis selecionadas para desenvolvimento do Índice de Pobreza Hídrica	63
Tabela 2 – Limites da normalização das variáveis do IPH	73
Tabela 3 – Componentes principais dos componentes do IPH na BHRPB	75
Tabela 4 – Pesos dos componentes do IPH na BHRPB (componente principal do desenvolvimento sustentável)	75
Tabela 5 – Pesos dos componentes do IPH na BHRPB (componente principal dos recursos hídricos)	75
Tabela 6 – Valores das variáveis do IPH para a BHRPB	78
Tabela 7 – Valores normalizados das variáveis do IPH da BHRPB	79
Tabela 8 – Resultados dos IPH's para a BHRPB, utilizando a ponderação pela componente principal do desenvolvimento sustentável e a componente principal dos recursos hídricos	83
Tabela 9 – Correlação do IPH e seus componentes	84

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise das Componentes Principais
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BHRPB	Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CBH-PB	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DPSIR	Força Propulsora-Pressão-Estado-Impacto-Resposta
DSR	Força Propulsora-Estado-Resposta
GIRH	Gestão Integrada dos Recursos Hídricos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPH	Índice de Pobreza Hídrica
IQA	Índice de Qualidade da Água
MEMIS	Marco de Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais incorporando Indicadores de Sustentabilidade
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PIB	Produto Interno Bruto
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos

PoERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PSR	Pressão-Estado-Resposta
SAI	Sistema Administrativo e Institucional
SGRH	Sistema de Gestão dos Recursos Hídricos
SN	Sistema Natural
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento
SSE	Sistema Socioeconômico
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente
UAR	Unidade Ambiental de Referência
UNICEF	United Nation Children's Fund
WHO	World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1.0 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1.1 Objetivo geral</b> .....	18
<b>1.2 Objetivos específicos</b> .....	18
<b>2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
<b>2.1 Gestão integrada de recursos hídricos</b> .....	19
<b>2.2 Indicadores e índices</b> .....	27
<i>2.2.1 Tipos de indicadores</i> .....	31
<i>2.2.2 Etapas do desenvolvimento de um índice</i> .....	33
<b>2.3 O Índice de Pobreza Hídrica</b> .....	38
<i>2.3.1 Método do intervalo</i> .....	39
<i>2.3.2 Método da abordagem de matriz</i> .....	40
<i>2.3.3 Método da abordagem da simples análise de tempo</i> .....	40
<i>2.3.4 Método do índice composto</i> .....	41
<i>2.3.5 Relação entre recursos hídricos e pobreza</i> .....	43
<i>2.3.6 Limitações do Índice de Pobreza Hídrica</i> .....	46
<i>2.3.7 Implementações do Índice de Pobreza Hídrica</i> .....	49
<b>3.0 METODOLOGIA</b> .....	54
<b>3.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba</b> .....	54
<i>3.1.1 Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba</i> .....	54
<i>3.1.2 Região Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba</i> .....	56
<i>3.1.3 Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba</i> .....	57
<i>3.1.4 Sub-bacia do Rio Taperoá</i> .....	58
<i>3.1.5 Gestão dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba</i> .....	59
<b>3.2 Desenvolvimento do Índice de Pobreza Hídrica</b> .....	62
<i>3.2.1 Seleção das variáveis</i> .....	62

3.2.1.1 Variáveis do componente Recurso .....	64
3.2.1.2 Variáveis do componente Acesso .....	65
3.2.1.3 Variáveis do componente Capacidade .....	68
3.2.1.4 Variáveis do componente Uso .....	69
3.2.1.5 Variáveis do componente Meio Ambiente .....	70
3.2.2 Normalização das variáveis .....	72
3.2.3 Ponderação dos componentes .....	74
3.2.4 Agregação dos componentes .....	75
3.2.5 Classificação do índice .....	76
<b>4.0 RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
<b>5.0 DISCUSSÃO .....</b>	<b>85</b>
<b>5.1 Sobre as soluções das limitações do Índice de Pobreza Hídrica.....</b>	<b>85</b>
<b>5.2 Sobre a avaliação da adequação do Índice de Pobreza Hídrica a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.....</b>	<b>86</b>
<b>5.3 Sobre a análise dos componentes do Índice de Pobreza Hídrica .....</b>	<b>88</b>
<b>6.0 CONCLUSÃO.....</b>	<b>96</b>
<b>7.0 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>97</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>98</b>

## 1.0 INTRODUÇÃO

No ano de 1992 houve a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (também conhecida como ECO-92 ou Rio-92), com o intuito de discutir os efeitos da degradação do meio ambiente e as evoluções alcançadas desde a Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente, primeira conferência mundial sobre o tema, mais conhecida como Conferência de Estocolmo, ocorrida em 1972. Como resultado da Rio-92, houve a criação da Agenda 21, que é um documento que planeja ações para o alcance do desenvolvimento sustentável, com projeção para o século XXI, em níveis local, regional, nacional e até internacional (BRASIL, 2013).

Dentro da Agenda 21, encontra-se um capítulo, enumerado de 18, destinado apenas à proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos. Nesse capítulo, há o objetivo de garantir o abastecimento de água em quantidade e qualidade adequadas a toda a população do mundo, mas ainda preservando as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas dependentes desse recurso hídrico. Este alvo deve ser conquistado através de uma abordagem integrada, com caráter multissetorial, em busca do desenvolvimento dos usos múltiplos na bacia hidrográfica (ONU, 1992).

Esta abordagem holística das águas, como um recurso finito e vulnerável, além da integração de vários setores para adequada gestão dos recursos hídricos é de fundamental importância para o futuro das águas. Contudo, esta integração vem tornando o processo de desenvolvimento dos recursos hídricos muito complexo, dificultando a gestão destes (ONU, 1992). Para sanar esse impasse é necessária uma série de atividades propostas pela Agenda 21, pautadas na definição de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH).

A GIRH é o processo que promove a coordenação, desenvolvimento e gestão das águas, solo e recursos naturais relacionados, com a finalidade de maximizar a economia e o bem estar social, de uma forma equitativa, sem comprometer a sustentabilidade do ecossistema (GLOBAL WATER PARTNERSHIP, 2000). Na Conferência Internacional das Águas e Meio Ambiente em Dublin na Irlanda, 1992, foram apresentados quatro princípios relacionados à GIRH, são estes: a água é finita, vulnerável e essencial ao sustento da vida, desenvolvimento e meio ambiente; a gestão das águas deve ser com base na participação, envolvendo usuários, planejadores e tomadores de decisão; a mulher tem papel central na gestão, provisão e segurança da água; a água tem um valor econômico e deve ser reconhecida como um bem desta natureza (CAP-NET, 2008).

Para verificar a efetividade da GIRH e dos princípios vinculados a ela, em uma bacia hidrográfica, Deltares (2012) mostra que podem ser utilizados indicadores, que unam várias informações e forneçam, de forma simplificada, um panorama da situação da gestão das águas. Estes indicadores, segundo N. Maranhão (2007), fornecem uma percepção profunda do sistema a partir da observação de parte dele, sendo este o principal objetivo do indicador.

Mesmo com a capacidade do indicador de resumir o sistema sem perder informação, ainda existem sistemas onde sua complexidade não pode ser representada por um único indicador, o que ocorre frequentemente na GIRH. A fim de analisar os vários aspectos de um sistema, os indicadores que o representam são agregados em índices, que são valores escalares, adimensionais, que obtêm uma representação compacta e objetiva de um sistema complexo (MARANHÃO, N., 2007; UNEP, 2007).

Dentre os índices que representam a efetividade na GIRH, foi desenvolvido no Reino Unido, pelo *Centre for Ecology and Hydrology*, o Índice de Pobreza Hídrica (IPH), que tem o intuito de avaliar a GIRH segundo os fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, relacionando a pobreza da população com a disponibilidade de água (MLOTE; SULLIVAN; MEIGH, 2002). Essa abordagem multicriterial, levando em consideração conhecimentos locais e valores culturais, torna o índice mais capaz de direcionar os tomadores de decisão a escolhas mais acertadas (MOLLE; MOLLINGA, 2003).

Sullivan, Meigh e Lawrence (2006) mostram que o IPH é dividido em cinco componentes: Recurso, Acesso, Capacidade, Uso e Meio Ambiente. O componente Recurso considera a quantidade e a qualidade da água dentro do sistema estudado, outro fator importante que é levado em consideração é a variabilidade temporal da água. O componente Acesso avalia a extensão do acesso à água para usos múltiplos, levando em consideração o tempo gasto com a coleta de água, a distância da fonte de água, o papel da mulher e a existência de conflitos. O componente Capacidade mostra a habilidade que a população tem em gerir sua água, através de variáveis que medem a renda, educação e saúde. O componente Uso abrange os principais usos da água no sistema (doméstico, industrial, agrícola, pecuário, de geração de energia entre outros) e a eficiência destes. E por fim, o componente Meio Ambiente que considera a integridade ambiental relacionada aos recursos naturais, considerando a degradação e a produtividade do meio ambiente.

O IPH já foi implementado em vários locais do mundo, incluindo o Brasil, dentre os quais a Região Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba já foi contemplada. A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (AESAs, 2006) se encontra, em geral, com problemas de disponibilidade de recursos hídricos, na qual as

fontes superficiais estão sendo utilizadas quase em sua totalidade e as fontes subterrâneas são muito escassas; a qualidade das águas leva a certas restrições para o uso doméstico, agrícola e industrial; apresenta também problemas em relação à qualidade de vida da população, com problemas em relação a saúde, educação e economia; o uso também é limitado, pois grande parte da população depende da pequena açudagem, que na época de seca, na qual a água é mais necessária, esvaziam; e ainda a gestão é deficitária com poucos usuários outorgados, práticas inconsistentes com a realidade do semiárido e falta de informação sobre o sistema.

Com base nos problemas citados da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, a análise através do IPH mostra um alto potencial para auxiliar na tomada de decisão na GIRH da bacia, indicando que o uso do IPH na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, proposta deste trabalho, pode subsidiar as possíveis soluções dos problemas que percorrem o âmbito físico, socioeconômico e ambiental.

### **1.1 Objetivo geral**

Desenvolver o Índice de Pobreza Hídrica para a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Efetuar um levantamento de informações sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e da metodologia de desenvolvimento do Índice de Pobreza Hídrica;
- Identificar as variáveis adequadas ao desenvolvimento do Índice de Pobreza Hídrica na bacia hidrográfica em estudo;
- Solucionar limitações inerentes ao Índice de Pobreza Hídrica;
- Avaliar a pobreza hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba;
- Realizar avaliação da adequação do Índice de Pobreza Hídrica desenvolvido.

## 2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Gestão integrada de recursos hídricos

A gestão dos recursos hídricos é o conjunto de procedimentos organizados para solucionar os problemas de uso, controle e proteção dos recursos hídricos, a fim de utilizar adequadamente estes recursos, limitada por aspectos econômicos, sociais e ambientais, buscando otimizar os benefícios para a sociedade (ANEEL; ANA, 2001; CAMPOS, 2003). A gestão dos recursos hídricos é formada por três elementos:

- Política: conjunto de princípios e diretrizes legais que regulamentam o uso, controle e proteção dos recursos hídricos, estabelecidos por leis, decretos, portarias, instruções e regulamentos;
- Planejamento: avaliação prospectiva da oferta e da demanda dos recursos hídricos, buscando adequar o uso, controle e proteção dos recursos hídricos com os anseios expressos na política dos recursos hídricos;
- Gerenciamento: conjunto de ações que executam e avaliam os planos de uso, controle e proteção dos recursos hídricos, construídos no planejamento, fornecendo suporte técnico, jurídico e administrativo.

A forma que a política, o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos se desenvolvem é chamado de modelo de gestão dos recursos hídricos. Vários modelos de gestão foram adotados ao longo da história da gestão dos recursos hídricos. Inicialmente o modelo dirigido ao suprimento era adotado e permaneceu até o final do século XX, no qual a única preocupação era fornecer água em quantidade e qualidade adequadas aos usos doméstico, agrícola e industrial. Até o final do século XIX esse objetivo era fácil de alcançar, pois a população mundial era pequena (cerca de 2 bilhões de pessoas) e os recursos hídricos conservados. Contudo, à medida que a população cresceu e as necessidades também, isso foi se tornando mais complexo, ocorrendo uma maximização do suprimento através de melhorias nas tecnologias de armazenamento de água (AL RADIF, 1999; FENG, 2009; THOMPSON, 1999).

Allan (2003) divide o tempo de vigência do modelo dirigido ao suprimento em dois paradigmas, o pré-moderno e o da modernidade industrial. O primeiro é uma fase de limitação técnica e organizacional, mas compensada pelo pouco uso e boa preservação dos recursos hídricos e o segundo paradigma é uma fase marcada por medidas estruturais e investimentos públicos e privados para aumentar a disponibilidade de água para a população, que cresceu exponencialmente e inseriu uma maior pressão sobre os recursos hídricos.

Por sua vez, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Agência Nacional de Águas (ANA) (2001) dividem o modelo dirigido ao suprimento em dois modelos, o modelo burocrático e o modelo econômico-financeiro.

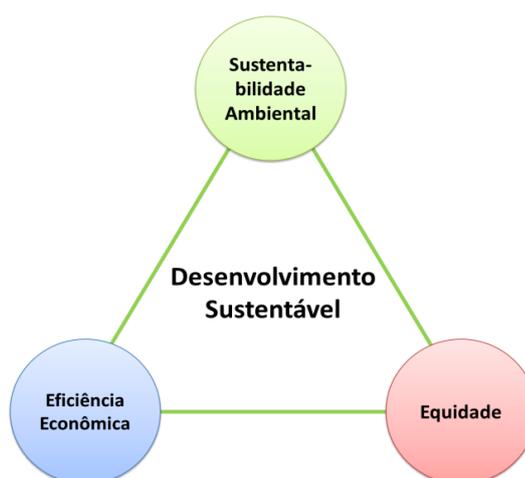
O modelo burocrático tem por finalidade fazer serem cumpridos os dispositivos legais da política dos recursos hídricos, tendo como características a racionalidade e a hierarquização. Todavia, devido à complexidade da gestão dos recursos hídricos, uma grande quantidade de dispositivos legais necessita ser criada, tornando-os, muitas vezes, conflitantes. Essa prática engessa as ações de gerenciamento, padronizando a resolução dos diferentes problemas e restringindo a eficácia do modelo, principalmente no que concerne às situações não rotineiras. Além disso, para manter o objetivo do modelo, o gerenciamento deve ser centralizado em entidades públicas, distanciando a tomada de decisão dos locais que as demandam, causando morosidade no atendimento, comunicação e resolução dos problemas, devido ao excesso de burocracia, que leva, somente, a ações remediadoras. Outra limitação do modelo é a visão fragmentada do sistema que impede a ação integradora, deixando de verificar as demandas externas que influenciam na dinâmica da gestão dos recursos hídricos.

O modelo econômico-financeiro é caracterizado pela utilização de instrumentos econômicos pelo Estado, que impõem seus interesses na promoção do desenvolvimento de determinados setores que dependem da água (saneamento, agricultura, sistema elétrico, entre outros), essa abordagem, apesar de seguir uma visão sistêmica e planejada, falha quanto à integração no gerenciamento, causando fortalecimento de determinados setores em detrimento de outros. O grande problema desse modelo é a perda de investimentos realizados em um setor que posteriormente não seja privilegiado nos planos do Estado. Outra abordagem desse modelo é a multissetorial, no qual os investimentos são aplicados buscando o desenvolvimento, por completo, da bacia hidrográfica, mas por essa abordagem necessitar da criação de instituições de gerenciamento de setores dependentes da água, isso cria conflitos com instituições já existentes.

Em todas as diferentes visões do modelo dirigido ao suprimento, verifica-se que é realizada uma abordagem *Top-Down*, que segundo Loucks e Van Beek (2005) é uma forma de gestão feita por especialistas sem considerar os anseios da população interessada na gestão dos recursos hídricos. Essa forma de gerir é indesejável, pois sem uma abordagem integrada e descentralizada, aliada aos interesses de quem realmente conhece os recursos hídricos (os usuários), fica difícil alcançar a solução dos problemas de uso, controle e proteção dos recursos hídricos. Devido a isso outro modelo de gestão foi desenvolvido, o modelo de gestão integrada dos recursos hídricos.

A GIRH foi formada por três paradigmas, o ambiental, no qual é introduzida a ideia de alocar água para as necessidades do meio ambiente, a fim de mantê-lo produtivo; o econômico, no qual as discussões sobre o valor econômico da água é inserido na gestão dos recursos hídricos; e o político/institucional, no qual é reconhecido que a gestão dos recursos hídricos é um processo político, no qual devem ser incluídos os interesses da sociedade civil, governo, organizações não governamentais e setor privado nas tomadas de decisão, com a finalidade de evitar conflitos (ALLAN, 2003). Estes paradigmas são baseados no triângulo da sustentabilidade (Figura 1), onde se deve ter eficiência econômica, pois devido à escassez de água e o aumento da demanda é necessário o uso eficiente da água; ser equitativo, para garantir o direito básico à água de qualidade e em quantidade suficiente para a população; e ter sustentabilidade ambiental, de forma que os usos presentes não comprometam a produtividade do ecossistema (CAP-NET, 2008).

**Figura 1 – Triângulo da sustentabilidade**



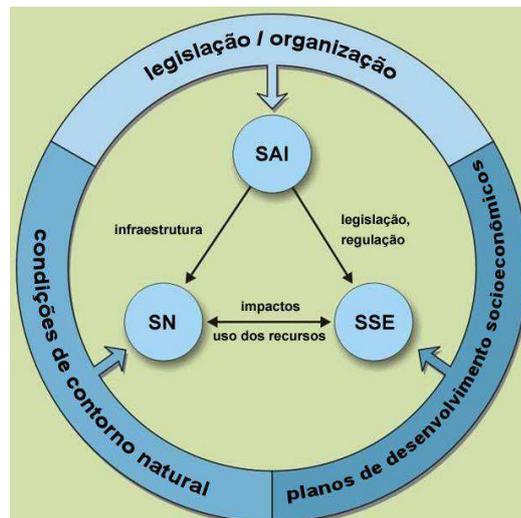
Fonte: Elaborada pelo autor.

Além disso, o conceito de GIRH é baseado nos princípios concebidos na Conferência Internacional das Águas e Meio Ambiente em Dublin na Irlanda, no ano de 1992, estabelecendo que a água é finita, vulnerável e essencial ao sustento da vida, desenvolvimento e meio ambiente; a gestão das águas deve ser com base na participação, envolvendo usuários, planejadores e tomadores de decisão; a mulher tem papel central na gestão, provisão e segurança da água; e que a água tem um valor econômico e deve ser reconhecida como um bem desta natureza (CAP-NET, 2008).

O princípio de que a água é finita, vulnerável e um recurso essencial ao sustento da vida, do desenvolvimento e do meio ambiente é fundamentado nos conceitos de Sistema de

Gestão dos Recursos Hídricos (SGRH) e funções dos recursos hídricos. O SGRH é formado pelo Sistema Natural (SN), que compreende as fontes naturais de água (lagos, rios, aquíferos, mares, entre outras), a infraestrutura que disponibiliza água (açudes, barragens, reservatórios, canais, adutoras, estações de bombeamento e tratamento de água, entre outras) e a própria característica da água (física, química e biológica), caracterizando a oferta do SGRH; o Sistema Socioeconômico (SSE) representa a demanda do SGRH, englobando a água empregada nas atividades humanas; e o Sistema Administrativo e Institucional (SAI), que inclui as autoridades de administração, legislação e regulação que tem papel de gestor, representa o controle do SGRH (DELTARES, 2012). Na Figura 2 estão ilustrados os sistemas do SGRH e como eles se relacionam.

**Figura 2 – Sistema de gestão dos recursos hídricos**



Fonte: Adaptado de CAP-NET (2008).

O SGRH é gerido no âmbito da bacia hidrográfica, como mostrado por Thomas e Durham (2003) na dimensão espacial da GIRH. A adoção da unidade natural como unidade de planejamento torna a prática de integração viável, uma vez que vários setores demandam água e é preciso um planejamento global, para se realizar uma ação local mais efetiva (ANEEL; ANA, 2001). Além disso, compreende-se que, naturalmente, a bacia hidrográfica é provida de sistema natural e socioeconômico, mas à medida que esta é considerada como unidade de planejamento, então recebe também o sistema administrativo e institucional, completando um SGRH que pode ser gerido em toda sua integralidade.

Para gerir corretamente os recursos hídricos é necessário reconhecer as funções destes. De uma forma resumida essas funções são apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1 – Funções dos recursos hídricos**

<b>Função</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos</b>
Função de subsistência	Água utilizada por moradores locais sendo seus produtos não comercializados	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Suprimento de água local</li> <li>● Pesca de subsistência</li> <li>● Irrigação de subsistência</li> </ul>
Função comercial	Água ou produtos com base nela que são comercializados ou dado um valor monetário.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Suprimento de água urbano</li> <li>● Suprimento industrial</li> <li>● Irrigação</li> <li>● Geração de energia elétrica</li> <li>● Pesca comercial</li> <li>● Transporte</li> </ul>
Função ambiental	Função de regulação, usos não consuntivos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacidade de purificação</li> <li>● Prevenção de intrusão salina</li> <li>● Recreação e Turismo</li> </ul>
Valor ecológico	Valor do recurso hídrico como um ecossistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Integridade</li> <li>● Biodiversidade</li> <li>● Conservação do valor natural</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Deltares (2012).

A função de subsistência é quando a água é utilizada para sustentar a vida em pequenas comunidades, onde são produzidos bens que não são comercializados ou são apenas a nível local, sem nenhuma influência na macroeconomia. Esses usos geralmente não incrementam a demanda de água, de forma significativa.

A água tem uma função comercial quando é dado um valor monetário, seja pelo bem *in natura* ou pelo beneficiamento deste em produtos que utilizem a água. Nessa função, a água pode ter um uso consuntivo, quando o uso interfere, consideravelmente, na quantidade de água disponível e não-consuntivo, quando o uso não interfere na quantidade da água, mas influencia na qualidade e muitas vezes no regime hidrológico da bacia hidrográfica.

Quando o uso da água não requer a ação humana, mas beneficia diretamente o homem, como o poder de autodepuração de corpos d'água ou atividades de lazer e turismo, a função da água é ambiental. A água empregada nessa função é de difícil quantificação monetária, para isso geralmente são utilizados métodos de valoração econômica.

Outra função é o do valor ecológico, no qual a água é empregada para manter o ecossistema, o valor dessa água é fundamentado em conceitos de valor intrínseco do ecossistema.

Para atender a todas essas funções existe o conceito de usos múltiplos, que direciona a gestão dos recursos hídricos para suprir diferentes demandas dentro da bacia hidrográfica. Os usos múltiplos podem aumentar a eficiência dos usos na bacia hidrográfica, pois existem casos em que, devido à sazonalidade da oferta e da demanda de água, pode existir ociosidade

de recursos hídricos que podem ser aproveitados para outros usos, em épocas específicas. Existem também usos que podem coexistir sem gerar conflitos, suprimindo várias demandas sem aumentar a quantidade de água consumida, geralmente isso acontece entre usos consuntivos e não-consuntivos, pois não concorrem pela quantidade de água. Além disso, usos compartilhados podem também dividir os custos da infraestrutura necessária aos usos, tornando os investimentos, manutenção e operação nos usos múltiplos mais vantajosos, economicamente falando. Porém, os usos múltiplos tornam a gestão dos recursos hídricos mais complicada, necessitando de regras muitas vezes complexas, para manter os usos dos recursos hídricos harmônicos (ANEEL; ANA, 2001).

O princípio de que o desenvolvimento e a gestão dos recursos hídricos devem ser baseados numa abordagem participativa, envolvendo usuários, planejadores e tomadores de decisão em todos os níveis está relacionado com a dimensão participativa da GIRH, mostrada por Thomas e Durham (2003), no qual é discutido que a tomada de decisão deve ser tão próxima quanto possível das partes interessadas, a fim de levar em consideração os diferentes anseios e evitar que conflitos sejam criados.

Para que o segundo princípio seja seguido com eficiência, o gerenciamento dos recursos hídricos deve ser descentralizado, levando a tomada de decisão aos níveis mais básicos de gestão. Quando isso acontece surgem conflitos que tornam a gestão muito complexa, devido a isso a gestão participativa não exime o poder público do seu papel de gestor, pelo contrário, acrescenta a este o papel de mediador, buscando um acordo entre as partes conflitantes (ANEEL; ANA, 2001). Em Deltares (2012) há uma classificação dos níveis de participação das partes interessadas (Figura 3), passando desde a ignorância total sobre a gestão dos recursos hídricos até o próprio empoderamento dos recursos hídricos pelas partes interessadas.

**Figura 3 – Níveis de participação das partes interessadas na GIRH**



Fonte: Adaptado de Deltares (2012).

Um requisito para a gestão participativa e descentralizada é a inserção da visão multidisciplinar na tomada de decisão, essa forma de analisar os problemas oferece mais possibilidades de ações de gerenciamento e uma maior probabilidade de alcançar resultados que satisfaçam a todas as partes interessadas. Na dimensão multidisciplinar da GIRH (THOMAS; DURHAM, 2003), geralmente são considerados o triângulo da sustentabilidade, a legislação, as questões técnicas, econômicas, sociais, políticas e institucionais, de saúde, históricas e culturais.

A ação da mulher tem papel central na provisão, gestão e na guarda da água. Este é o texto descrito em um dos princípios da GIRH. Apesar de na sociedade pós-moderna, nos grandes centros urbanos a mulher não ter mais esse papel de provedora e guardiã da água, nas zonas rurais, principalmente em países não desenvolvidos e em desenvolvimento, onde o abastecimento humano de água ainda não é universal, as mulheres têm esse papel de coletar a água, garantindo a família os usos domésticos da água, como a dessedentação humana, a preparação de alimentos, a higiene pessoal e a limpeza doméstica. Essa é uma atividade que não envolve apenas a questão física da escassez da água, mas também aspectos econômicos, sociais e culturais, infligindo às mulheres uma carga muito pesada, que as impede de investir seu tempo em atividades mais recompensadoras, como educação, trabalho remunerado e até mesmo cuidar de si próprias.

O último princípio da GIRH versa que a água tem um valor econômico em todos os usos competitivos e deve ser reconhecida como um bem econômico. Os instrumentos econômicos são as maneiras de concretizar esse princípio, pois através de medidas de cobrança pelo uso da água, subsídios e criação de mercados de água, as externalidades causadas pelo uso dos recursos hídricos podem ser internalizadas.

A partir dos princípios e conceitos supracitados, nos anos 2000, foi construída uma definição para GIRH, que é apresentada pela Global Water Partnership (2000, p. 22, tradução nossa) como um “processo que promove a coordenação, desenvolvimento e gestão das águas, solo e recursos naturais relacionados, com a finalidade de maximizar os resultados econômicos e o bem estar de uma maneira equitativa, sem comprometer a sustentabilidade do ecossistema vital”.

Ao analisar a definição, devemos entender coordenação como o processo com que as partes envolvidas cooperam para desenvolver e gerir os recursos hídricos, trazendo uma ideia de integração. A coordenação pode ser horizontal, quando há uma relação intersetorial entre diferentes setores relacionados à água (saneamento, agrícola, industrial, energético, entre

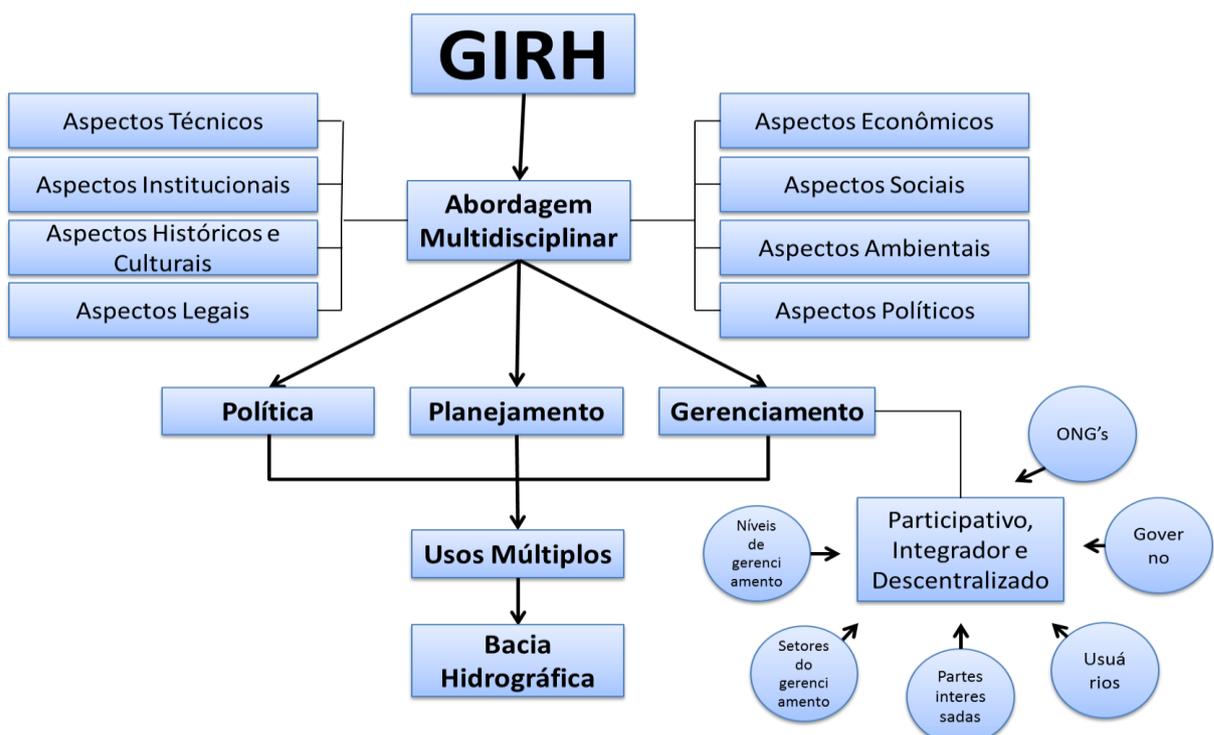
outros) e pode ser vertical, quando a coordenação ocorre entre diferentes níveis de gestão (local, regional, nacional e internacional) (DELTARES, 2012).

O desenvolvimento citado na definição de GIRH está relacionado com o conceito de desenvolvimento sustentável, como mostrado por Thomas e Durham (2003) em que a dimensão temporal da GIRH deve atender as demandas atuais sem comprometer as demandas futuras. Além disso, o desenvolvimento deve obedecer ao triângulo da sustentabilidade citado e discutido anteriormente na Figura 1.

Segundo CAP-NET (2008) outro aspecto muito importante, na definição de GIRH, é a relação entre o solo e as águas, pois os usos do solo influenciam o regime hidrológico, que através de ocupação de áreas de infiltração e ações de desmatamento, frequentemente aumentam a ocorrência de eventos extremos (secas e inundações), que por sua vez afetam os usos dos recursos hídricos nessas ocupações do solo, fechando um ciclo de problemas relacionados à disponibilidade e qualidade da água.

A Figura 4 apresenta um fluxograma que resume o funcionamento da GIRH. No qual, a política, o planejamento e o gerenciamento são construídos através de uma abordagem multidisciplinar, considerando aspectos sociais, econômicos, políticos, ambientais, técnicos, institucionais, legais, históricos e culturais.

**Figura 4 – Fluxograma do funcionamento da GIRH**



Fonte: Elaborada pelo autor.

A política, o planejamento e o gerenciamento devem ser integrados para alcançar os usos múltiplos, considerando todas as vantagens e limitações dessa maneira de gerenciar, na unidade de gerenciamento por excelência, a bacia hidrográfica; onde serão inseridas as ações de gerenciamento de recursos hídricos, de uma maneira participativa, integrada e descentralizada, coadunando os interesses de organizações governamentais e não governamentais, dos usuários e de todas as partes interessadas; harmonizando as decisões dos diferentes setores do gerenciamento dos recursos hídricos (saneamento, energia, agricultura, indústria, meio ambiente entre outros) com os diferentes níveis de gerenciamento dos recursos hídricos, sejam eles locais, regionais, nacionais e internacionais.

## **2.2 Indicadores e índices**

Devido à complexidade da GIRH torna-se necessário avaliar sua efetividade e dos princípios vinculados a esta, podendo ser empregado indicadores e índices nessa atividade, pois estes têm a capacidade de fornecer uma percepção abrangente do sistema, através de uma base conceitual limitada.

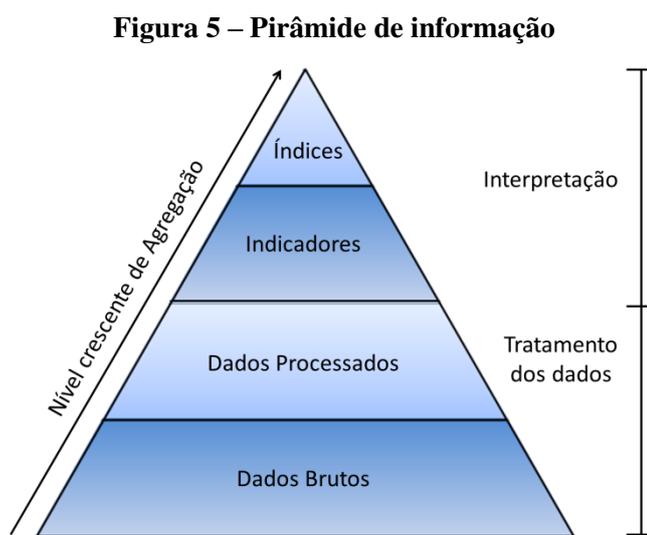
Há registros de indicadores desde a antiguidade, os quais eram coletados através de censos e serviam principalmente para se ter controle sobre as populações dos impérios e cobrar-lhes impostos. Todavia, estes só se tornaram instrumentos voltados ao planejamento prospectivo após a segunda guerra mundial, nascendo o que Kayano e Caldas (2002) chamam de primeira geração de indicadores, que são indicadores direcionados a uma visão unidimensional, geralmente econômica, do sistema, sendo de fácil entendimento e disponíveis em praticamente todos os países, como é o caso do Produto Interno Bruto (PIB), que por muito tempo foi utilizado para balizar o nível de desenvolvimento dos países.

O indicador por etimologia significa aquilo que indica, mas o indicador é muito mais que isso. Realizando um compendio dos diferentes conceitos de indicador (CECCONI; FRANCESCHINI; GALETTO, 2007; DEPONTI; ECKERT; AZAMBUJA, 2002; GARRIGA; FOGUET, 2010; JUNIOR; COSTA, 2011; KAYANO; CALDAS, 2002; LUNA, 2007; MARANHÃO, N., 2007; UNEP, 2007; UNESCO, 2013) verificou-se que indicador é uma ferramenta de representação confiável e imparcial de um sistema sob uma base contextual, no qual essa representação extrapola os limites da base contextual, fornecendo uma visão abrangente de todo o sistema, com a finalidade de melhorar o entendimento,

comparar, avaliar resultados de intervenções, avaliar a distância para um objetivo, auxiliar na tomada de decisão, monitorar, fiscalizar ou prever tendências.

Na maioria das vezes um único indicador não é capaz de representar o sistema como um todo, assim, N. Maranhão (2007) cita que pode ser realizada uma agregação dos dados na forma de um índice. O índice é um valor escalar, adimensional, gerado pela agregação matemática de indicadores, obtendo uma representação compacta e objetiva de um sistema complexo (MARANHÃO, N., 2007; UNEP, 2007).

A relação entre indicadores e índice pode ser melhor entendida através da pirâmide da informação (Figura 5), na qual, a base é formada por uma diversidade alta de dados, sem nenhuma espécie de tratamento, chamada de dados brutos, ou seja, resultados de observações e medições diretas ou indiretas. À medida que os dados brutos são tratados estatisticamente, retirando os erros e as inconsistências, estes se tornam capazes de serem organizados em um banco de dados e apresentarem uma informação; até esse nível ocorre um trabalho de tratamento de dados e é voltado aos especialistas, cientistas e técnicos. Aumentando o nível de agregação chega-se aos indicadores, que unem as informações, também conhecidas como variáveis. Por sua vez, os índices são agregações de indicadores, esses níveis de agregação (indicadores e índices) fazem parte de um trabalho de interpretação, que busca através de uma representação de um sistema, por uma base contextual, entendê-lo de maneira abrangente; isso é realizado por tomadores de decisão, gestores e o público em geral (LUNA, 2007; MARANHÃO, N., 2007; MOLLE; MOLLINGA, 2003).

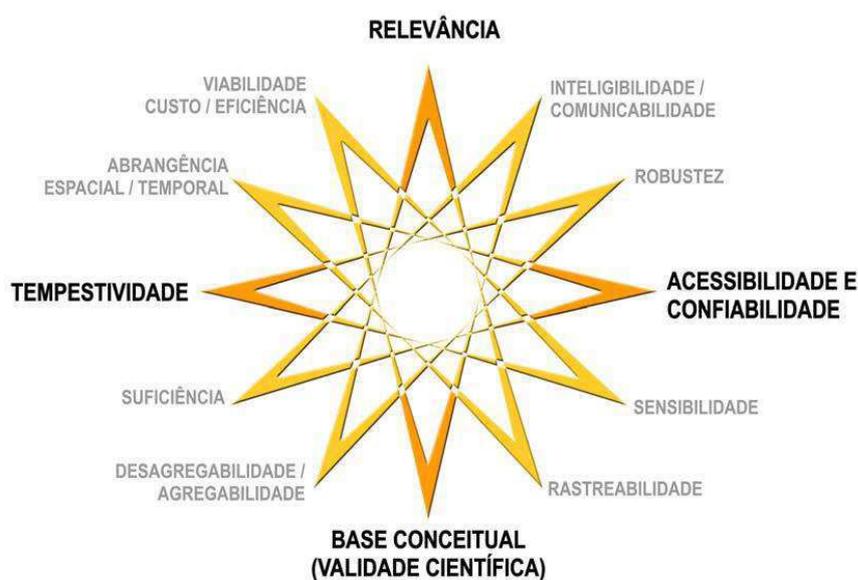


Fonte: Elaborada pelo autor.

Apesar de indicadores e índices serem conceitualmente diferentes, existem características comuns a eles que devem ser observadas para que esses sejam considerados adequados. Dessa forma, para simplificar a exposição das características de um bom indicador ou índice, ao falar das propriedades desses, os indicadores e índices serão denominados apenas de indicadores.

Há uma série de autores discutindo as melhores características que um indicador deve ter (DALE; BEYELER, 2001; DEPONTI; ECKERT; AZAMBUJA, 2002; JUNIOR; COSTA, 2011; JUWANA; MUTTIL; PERERA, 2012; KAYANO; CALDAS, 2002; LUNA, 2007; MARANHÃO, N., 2007; NIEMEIJER; DE GROOT, 2008; UNEP, 2007), mas N. Maranhão (2007) mostra em seu trabalho uma figura (Figura 6), que resume grande parte dessas características dos bons indicadores, portanto, esta foi a principal referência utilizada na exposição das características de um bom indicador.

**Figura 6 – Características de um bom indicador**



Fonte: N. Maranhão (2007).

Como mostrado na Figura 6, as quatro características mais importantes de um indicador são relevância, tempestividade, base conceitual e acessibilidade e confiabilidade. A relevância é a capacidade que o indicador tem de fornecer as informações para as quais este foi criado, identificando a essência do sistema que este estuda. A tempestividade é a capacidade do indicador de prover informações em tempo hábil, dando condições que ações sejam tomadas antes que os problemas possam surgir. O indicador deve ser construído sob uma base conceitual com validade científica e de metodologia conhecida, a fim de evitar

qualquer ambiguidade sobre o que o indicador mede e seus resultados. Por último a acessibilidade e confiabilidade referem-se aos dados e ao indicador, respectivamente; ou seja, os dados que compõem o indicador devem ser acessíveis, de fácil manuseio, que possam ser usados com o mínimo de tratamento possível e de preferência que já existam em bancos de dados; por sua vez, o indicador deve ser confiável, tendo sido testado nas mais diversas situações; isso não garante que o indicador seja acurado, pois um indicador apenas precisa dar um sinal de como está o sistema e quais suas tendências (DALE; BEYELER, 2001; JUWANA; MUTTIL; PERERA, 2012; MARANHÃO, N., 2007).

Em Niemeijer e de Groot (2008), é mostrada a sugestão de o indicador ser *SMART* (uma alusão à palavra inglesa que significa esperto/inteligente), acrônimo formado pelas iniciais das características *Specific* (específico), *Measurable* (mensurável), *Achievable* (acessível), *Relevant* (relevante) e *Time-bound* (tempestivo), que se comparado às características expostas no parágrafo anterior, a acessibilidade, relevância e tempestividade coincidem e a especificidade e mensurabilidade são definidas em uma base conceitual, assim, as duas propostas são iguais.

Retornando às características da Figura 6, o indicador também deve ter:

- Viabilidade: O indicador deve ser viável economicamente e tecnicamente, pois não há utilidade alguma de um indicador, se os dados que o compõe não possam ser gerados por falta de recursos financeiros ou tecnológicos (KAYANO; CALDAS, 2002).
- Abrangência espacial e temporal: O indicador pode apresentar resultados locais, regionais, nacionais e internacionais pela escala espacial e de curto, médio e longo prazos para a escala temporal, desta forma, deve haver a definição das escalas adequadas já na base conceitual.
- Suficiência: O indicador deve ser capaz de, por si só, representar todas as nuances do sistema, que este se propõe a representar.
- Agregabilidade e desagregabilidade: O indicador deve ser flexível o suficiente para que os dados que o compõem possam ser agregados e desagregados sempre que necessário, podendo também ser realizada a integração do indicador com outros dados, indicadores ou índices (DALE; BEYELER, 2001; JUWANA; MUTTIL; PERERA, 2012).
- Rastreabilidade: Esta propriedade é a capacidade de reproduzir os resultados do indicador, seja pelo acesso aos dados utilizados ou pela forma como eles foram tratados e calculados no indicador.

- **Sensibilidade:** O indicador deve ser sensível para as mudanças do sistema no tempo e no espaço, a fim de poder avaliar o que causa essas mudanças, mas essa sensibilidade não deve ser demasiada, para evitar que fatores insignificantes do sistema venham a interferir nos resultados, bem como evitar que o indicador seja manipulável (DALE; BEYELER, 2001; JUWANA; MUTTIL; PERERA, 2012).

- **Robustez:** Esta característica está ligada à característica da confiabilidade e da sensibilidade, pois é a ideia do indicador produzir dados confiáveis, mesmo com interferência de fatores previamente definidos e em diferentes circunstâncias (NIEMEIJER; DE GROOT, 2008).

- **Inteligibilidade/comunicabilidade:** Como o indicador tem a função de comunicar, essas características são essenciais. Tanto os resultados, como o cálculo do indicador deve ser o mais simples e claro possível, permitindo o entendimento de todos, mesmo que não sejam especialistas e também permitir a comparação com outros casos de aplicação do indicador. Porém, é importante ressaltar que deve haver a busca pelo equilíbrio entre simplicidade e apresentação de resultados robustos (DALE; BEYELER, 2001).

Difícilmente um indicador será capaz de englobar todas essas características, e muitas vezes o aumento de uma característica implica na diminuição de outra. Devido a isso, aquele que se propõe a desenvolver um indicador deve ter a habilidade de ser flexível e equilibrar o indicador para que essas características sejam aplicadas.

### ***2.2.1 Tipos de indicadores***

Vários autores categorizam os indicadores por diferentes abordagens, uma delas já foi mostrada no início da Seção 2.2, na qual Kayano e Caldas (2002) dividem os indicadores em primeira, segunda e terceira gerações. Indicadores de primeira geração como mostrado são indicadores simples, compostos por uma visão unidimensional. Os indicadores de segunda geração surgiram a partir da década de 1990, com a ideia de unir diferentes aspectos do sistema, num único indicador composto, através de metodologia participativa; o problema desse tipo de indicador é quais aspectos do sistema incluir no indicador. O grande exemplo desse tipo de indicador é o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Por sua vez, os indicadores de terceira geração que trazem uma abordagem dinâmica, na qual o indicador e suas variáveis são definidos continuamente, à medida que as metas e objetivos mudam. Esses indicadores se baseiam no pressuposto que o indicador não reflete a complexidade da realidade e que o sistema é dinâmico e muda sempre que há ações sobre ele.

Por outro lado, Cecconi, Franceschini e Galetto (2007) classificam os indicadores por dois fatores, a empiricidade e a objetividade, sendo a empiricidade a capacidade de medir o sistema acuradamente, com um estado de caracterização bem definido e sem ambiguidades; e a objetividade é a reprodutibilidade da medida de um sistema, ou seja, por mais que a medida de um sistema seja repetida, mesmo que por diferentes observadores, esta obterá o mesmo valor, dentro dos limites de erros. Dentro desses aspectos, os autores classificam os indicadores em: Indicadores de medição, de preferência, de avaliação e de ordem (Figura 7).

**Figura 7 – Classificação dos indicadores por Cecconi, Franceschini e Galetto (2007)**

<b>Empiricidade</b>	Sim	Avaliação	Medição
	Não	Preferência	Ordem
		Não	Sim
		<b>Objetividade</b>	

Fonte: Adaptado de Cecconi, Franceschini e Galetto (2007).

Indicadores de medição são aqueles que têm empiricidade e objetividade, de maneira que o sistema é representado acuradamente e sempre apresenta a mesma interpretação, independente do observador. Geralmente esses indicadores não consideram variáveis da vizinhança do sistema que influenciem no resultado do indicador.

O indicador de preferência é aquele que nem é empírico nem objetivo, tendo características subjetiva e conflitante, no qual o sistema é representado sem nenhuma metodologia específica além da percepção do observador, que varia com as crenças de cada um.

Outro indicador é o de avaliação, que é empírico, mas não é objetivo. Isso ocorre quando o indicador representa o sistema acuradamente, mas os resultados da medida são passíveis de diferentes interpretações pelos observadores.

Classificado como objetivo, mas não empírico, estão os indicadores de ordem. Nesses casos a representação do sistema pelo indicador varia de uma forma subjetiva, mas os

resultados sempre serão os mesmos, pois há uma ordenação para que mesmo existindo mudanças no sistema o indicador apresente os mesmos resultados.

N. Maranhão (2007) ainda classifica os indicadores pelos sistemas que eles representam: sistemas demográficos e econômicos, sistemas sociais, sistemas ambientais e sistemas de sustentabilidade.

Os indicadores demográficos e econômicos foram os primeiros a serem empregados, com registros desde a antiguidade. O primeiro tipo é referente às características das populações humanas e suas dinâmicas, sendo alimentado por dados censitários e muito usado em planejamento público. O segundo revela a condição da economia de uma região, bem como prediz cenários futuros para ações de estabilização da economia, sendo muito popular e muito presente no cotidiano da população, como o PIB, a taxa de desemprego, o preço da cesta básica, entre outros (MARANHÃO, N., 2007).

Indicadores sociais são todos aqueles que representam os diferentes aspectos de uma sociedade, sempre buscando verificar o nível de bem estar social. Estes indicadores são comumente aplicados para analisar as melhorias no bem estar social devido a alguma decisão tomada. Os indicadores sociais são muito usados na formulação de políticas sociais e planejamento público, além de monitorar as condições de vida de uma população e auxiliar na investigação acadêmica sobre os fenômenos e as mudanças sociais (MARANHÃO, N., 2007).

Com a década de 1980 vieram as preocupações com o meio ambiente e, nesse sentido era necessária a existência de indicadores que representassem o meio ambiente e assim nasceram os indicadores ambientais que, segundo N. Maranhão (2007) são indicadores que representam a qualidade do ambiente. Esses indicadores são especialmente envolvidos em uma base conceitual cientificamente validada, pois a dinâmica dos ecossistemas é complexa e precisa ser considerada.

Por fim, os indicadores de sustentabilidade são os que unem os indicadores supracitados e classificados por N. Maranhão (2007), o qual com base no conceito de desenvolvimento sustentável considera os aspectos econômicos, sociais e ambientais do sistema. Esse tipo de indicador requer uma visão multidisciplinar e integrada, que seja capaz de encontrar as conexões entre os diferentes aspectos representados.

### ***2.2.2 Etapas do desenvolvimento de um índice***

Juwana, Muttill e Perera (2012) apresentam uma descrição de como desenvolver um índice, seguindo cinco etapas predefinidas, na qual a primeira é a seleção de variáveis, a

segunda a normalização das variáveis, a terceira a ponderação, a quarta a agregação e a quinta a análise de robustez. Sendo que as duas primeiras estão relacionadas à construção do indicador, a terceira e a quarta ligada à construção do índice e a última de validação do índice.

Na primeira etapa é realizada a seleção das variáveis que compõem o indicador, sendo esta escolha sempre sob uma base conceitual, respeitando também as características de um bom indicador, supracitadas na Seção 2.2. Dale e Beyeler (2001) mostram três dificuldades na etapa de seleção: os programas de monitoramento geralmente têm limitações da quantidade de dados, isso é um problema, pois pode tornar a representação por indicadores falha, devido à falta de dados seguros, que muitas vezes implica em excesso de simplicidade, pela aplicação de estimativas, contudo, é importante não exagerar no detalhamento, pois pode tornar o indicador impraticável; definição ambígua dos objetivos é outra dificuldade, pois é necessário a clareza dos objetivos para se saber o que será medido; e o fato da etapa de seleção frequentemente não estar pautada em um rigor científico, finaliza esse conjunto de dificuldades, que impede as variáveis escolhidas de serem imparciais, não repetidas e/ou não manipuláveis.

Existem várias estruturas conceituais para basear a escolha das variáveis, mas todas elas utilizam o mesmo princípio de separar as variáveis por tipos e analisar dentre esses tipos os que melhor representam o sistema.

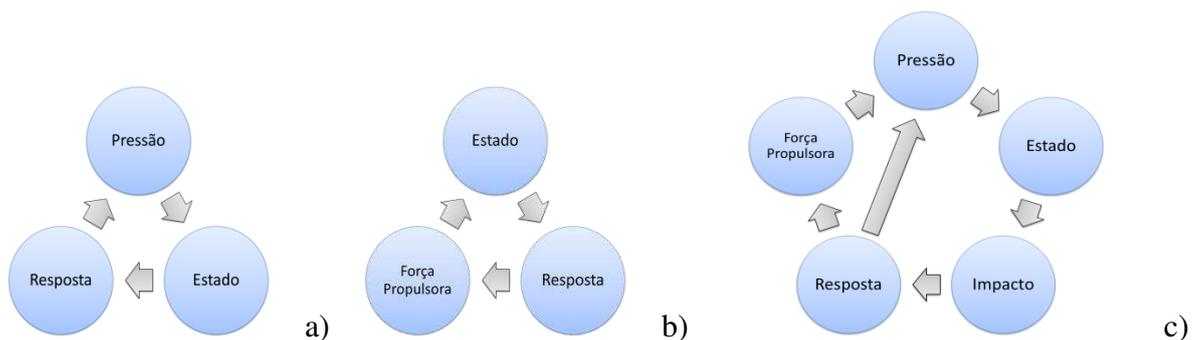
N. Maranhão (2007) apresenta a estrutura conceitual de Matriz de Indicadores-Metas, que relaciona os candidatos às variáveis que compõem o indicador com a base conceitual envolvida, os objetivos, as metas, o local e o tempo em que será aplicado o indicador; dentro desses aspectos as variáveis são segregadas em de recurso, de produto e de resultado. As variáveis de recurso são aquelas que representam os recursos do sistema que afetam diretamente nos resultados produzidos por este, por exemplo, disponibilidade per capita de água ou porcentagem da população com coleta de esgoto. As variáveis de produto representam os bens, serviços e materiais produzidos pelo planejamento, mas que não interferem nos resultados dos objetivos deste planejamento, como exemplo, reuniões, relatórios, cursos e treinamentos. As variáveis de resultado representam os resultados efetivamente alcançados por um planejamento, que podem ser comparados com metas estabelecidas neste, como é o caso de informações sobre melhorias da qualidade de vida da população.

A estrutura conceitual de Marco de Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais incorporando Indicadores de Sustentabilidade (MEMIS), apresentada por Deponti, Eckert e Azambuja (2002), escolhe as variáveis através da apresentação delas pelos

interessados na análise do sistema, sendo aquelas mais repetidas escolhidas ao final. Contudo, é importante ressaltar que todos os participantes do processo passam por um treinamento, sobre o que é o sistema e os objetivos que devem ser alcançados, para serem capazes de selecionar as variáveis adequadas.

Mostrada em vários trabalhos (MARANHÃO, N., 2007; NIEMEIJER; DE GROOT, 2008; UNEP, 2007) a estrutura conceitual de Pressão-Estado-Resposta (PSR) (Figura 8a) e suas variantes Força Propulsora-Estado-Resposta (DSR) (Figura 8b) e Força Propulsora-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (DPSIR) (Figura 8c), aparecem como as mais favoráveis estruturas a empregar numa escolha de variáveis, sendo baseadas numa análise de causa e efeito, no qual uma pressão, causada pelas atividades humanas (força propulsora), muda o estado (criando um impacto) do sistema que por sua vez, cria uma resposta da sociedade ao tentar se adaptar às mudanças no sistema, que novamente gera uma pressão, fechando o ciclo.

**Figura 8 – Estruturas conceituais PSR, DSR e DPSIR**



Fonte: Elaborada pelo autor.

As variáveis são classificadas nos seguintes grupos:

- Força propulsora: Representações das diversas atividades humanas que podem ocasionar tanto mudanças positivas como negativas. Exemplo: Uso do transporte à base de combustível fóssil.
- Pressão: Representações de ações que afetam diretamente o sistema. Exemplo: Emissão de gases do efeito estufa.
- Estado: Representações que refletem a situação do sistema, bem como suas tendências. Exemplo: Concentração de gases do efeito estufa na atmosfera.
- Impacto: Representações dos efeitos causados pelas pressões exercidas no sistema. Exemplo: Aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera ou aumento da temperatura média do Planeta.

- Resposta: Representações das ações realizadas pela sociedade para alcançar algum objetivo, frente às mudanças do estado e impactos no sistema, influenciando as forças propulsoras e pressões. Exemplo: Controle da emissão de gases do efeito estufa ou mudança de hábitos da população.

Ainda no trabalho de Niemeijer e de Groot (2008) foi desenvolvido, dentro da metodologia do PSR e suas variantes, uma rede de causas-efeitos, que não considera o sistema como corrente linear, como mostrado na Figura 8, tornando a análise mais próxima da complexidade do sistema, porém também mais complicada e muitas vezes até impraticável.

Todas essas metodologias de seleção de variáveis e indicadores devem ser realizadas de forma participativa, unindo a produção do conhecimento com a criação de normas (RAMETSTEINER et al., 2011), representadas pelo conhecimento científico, produzido pelos especialistas, e os anseios da sociedade, respectivamente. Esta abordagem participativa é interessante para entender melhor as interações entre o meio natural e o social, bem como os objetivos e os aspectos mais importantes a se considerar na base conceitual, pois muitas vezes a melhor representação científica não é a melhor para alcançar os objetivos.

A segunda etapa da metodologia exposta em Juwana, Muttill e Perera (2012) é a normalização das variáveis, pois como o indicador agrega informação de diversas unidades é necessário torná-las adimensionais para poder uni-las.

Uma das metodologias mais simples de normalização é o da classificação, no qual, após a obtenção das variáveis, estes são arranjados de forma ascendente ou descendente e normalizados em valores adimensionais; esta metodologia apesar de simples causa perda de informação no processo.

Outra metodologia é o redimensionamento contínuo, que classifica os valores entre 0 e 1 ou 0 e 100. As variáveis são classificadas através de limites superior e inferior, que podem ser definidos por metas a serem alcançadas ou os valores extremos do conjunto de dados. As Equações 1 e 2 mostram as fórmulas para fazer o redimensionamento contínuo nas escalas de 0-1 e 0-100, respectivamente, quando o limite superior é o mais preferido, caso contrário são usadas as Equações 3 e 4.

$$S_i = \frac{X_i - X_{inf}}{X_{sup} - X_{inf}} \quad (1)$$

$$S_i = \frac{X_i - X_{inf}}{X_{sup} - X_{inf}} \times 100 \quad (2)$$

$$S_i = 1 - \left( \frac{X_i - X_{inf}}{X_{sup} - X_{inf}} \right) \quad (3)$$

$$S_i = 100 - \left( \frac{X_i - X_{inf}}{X_{sup} - X_{inf}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde,  $S_i$  é o valor normalizado,  $X_i$  é o valor a ser normalizado,  $X_{inf}$  o limite inferior e  $X_{sup}$  o limite superior.

O método do redimensionamento categórico é calculado da mesma forma que o método do redimensionamento contínuo, com apenas uma modificação, no qual após a normalização dos valores, estes são categorizados em classes, que podem ser numéricas ou qualitativas.

A porcentagem das diferenças anuais durante dois anos consecutivos é outro método de normalização. Nesta, os valores são normalizados por limites impostos pelos resultados do ano anterior; a Equação 5 mostra como normalizar por este método.

$$S_i = \frac{X_{i,t} - X_{i,t-1}}{X_{i,t}} \quad (5)$$

Onde,  $S_i$  é o valor normalizado,  $X_{i,t}$  é o valor a ser normalizado e  $X_{i,t-1}$  é o valor do ano anterior.

A última metodologia apresentada por Juwana, Muttill e Perera (2012) é a da distância para uma referência, no qual o valor a ser normalizado é dividido por um valor de referência (Equação 6), resultando no valor normalizado.

$$S_i = \frac{X_i}{X_r} \quad (6)$$

Onde, o  $X_i$  é o valor a ser normalizado,  $X_r$  é o valor de referência e  $S_i$  é o valor normalizado.

Continuando na etapa três da metodologia de Juwana, Muttill e Perera (2012) para construção de índices, vem o passo da ponderação. Na construção de um índice podem ser agregados variáveis ou indicadores (componentes) mais ou menos importantes dentro do sistema, sendo necessário determinar pesos para cada componente do índice, podendo ser realizado por métodos estatísticos ou participativos. O primeiro grupo reúne métodos estatísticos para analisar a correlação entre os componentes de um índice e avaliar qual o peso referente a cada um, dependendo da influência que cada um causa no resultado final do

índice. O segundo grupo utiliza a opinião de experts e/ou interessados no sistema, para avaliar quais componentes do índice são mais ou menos importantes e ponderá-los.

A quarta etapa da metodologia é a agregação, que é realizada por um método aritmético ou geométrico. O cálculo aritmético (Equação 7) realiza uma perfeita substituíbilidade e compensação dos componentes do índice pelo valor do índice, que busca o valor médio entre todos os componentes, o que faz com que os componentes de valores maiores sejam compensados por componentes de valores menores. O cálculo geométrico (Equação 8), por outro lado, não realiza uma perfeita substituíbilidade e compensação dos componentes, buscando valorizar as extremidades do conjunto de dados agregados, de maneira que quanto mais distantes forem os valores dos componentes, mais distante da medida central o resultado do índice será (JUWANA; MUTTIL; PERERA, 2012).

$$I = \sum_{i=0}^N w_i S_i \quad (7)$$

$$I = \prod_{i=0}^N S_i^{w_i} \quad (8)$$

Onde, I é o valor do índice,  $w_i$  o peso atribuído ao componente  $S_i$  e N é o número de componentes no índice.

A quinta e última etapa é referente à análise de robustez, na qual o índice passa por análises de incerteza e sensibilidade, em diferentes circunstâncias, como locais, conjunto de indicadores, método de cálculo, entre outras. Esta análise é importante para avaliar situações particulares do índice, seus pontos fortes e limitações e componentes do índice que gerem inconsistências nos resultados do índice (JUWANA; MUTTIL; PERERA, 2012).

### 2.3 O Índice de Pobreza Hídrica

Alguns indicadores de sustentabilidade vêm sendo elaborados a partir do início do século XXI, objetivando avaliar a GIRH, ficando conhecidos como índices de sustentabilidade de água.

Dentre os índices de sustentabilidade pode-se destacar o Índice Canadense de Sustentabilidade de Água (POLICE RESEARCH INITIATIVE, 2007) que tem como base conceitual o estudo do bem-estar hídrico, aplicado ao caso específico do Canadá, empregando as categorias de indicadores segregados em Recursos Hídricos, Meio Ambiente Saudável, Infraestrutura, Saúde Humana e Capacidade. Outro índice de sustentabilidade é o Índice de Sustentabilidade de Bacia (CHAVES; ALIPAZ, 2006), empregado apenas para escala de

bacia e com a base conceitual baseada na inter-relação entre a sustentabilidade da água e aspectos econômicos, sociais e ambientais, utilizando quatro componentes denominados Hidrologia, Meio Ambiente, Vida e Questões Políticas. Também há o Índice de Sustentabilidade de Água para o Oeste de Java (JUWANA, 2012), criado para aplicar o conceito de índices de sustentabilidade de água no Oeste de Java, na Indonésia, empregando conjuntos de indicadores denominados de Recursos Hídricos, Provisão de Água, Capacidade e Saúde Humana. Existe ainda um índice de sustentabilidade de água que serviu como base para os índices supracitados, denominado de Índice de Pobreza Hídrica, o qual será objeto de discussão dessa seção e ferramenta desse trabalho.

Há uma variedade de definições do IPH, alguns autores o definem simplesmente como um índice que combina medidas de disponibilidade e acesso à água com a capacidade das pessoas em ter o acesso à água (MOLLE; MOLLINGA, 2003), outros, como um índice que vincula o bem-estar da população com a disponibilidade de água, indicando o grau de impacto da escassez de água nas populações humanas (LAWRENCE; MEIGH; SULLIVAN, 2002; LUNA, 2007; SULLIVAN; MEIGH; LAWRENCE, 2006). Todavia, a definição mais completa é apresentada em Foguet e Garriga (2011), Garriga e Foguet (2010), Mlote, Sullivan e Meigh (2002) e Sullivan e Meigh (2003), no qual o IPH é conceituado como uma ferramenta interdisciplinar e holística que integra dados das ciências naturais e sociais, envolvendo a disponibilidade de água, o uso desta de maneira produtiva, a capacidade das pessoas em ter acesso à água e os fatores ambientais que esta água sustenta, para avaliar a pobreza hídrica.

O IPH foi desenvolvido na década de 2000, pelo *Centre for Ecology and Hydrology* de Wallingford no Reino Unido, com o objetivo de realizar uma medida integrada da escassez de água, unindo estimativas de disponibilidade de água e variáveis socioeconômicas que indicam pobreza, avaliando a relação entre pobreza e disponibilidade de água (KOMNENIC; AHLERS; VAN DER ZAAG, 2008; MLOTE; SULLIVAN; MEIGH, 2002). Sullivan (2002) mostra em seu trabalho que o IPH pode ser desenvolvido por quatro metodologias, o método do intervalo, a abordagem de matriz, a abordagem de simples análise do tempo e a abordagem do índice composto convencional.

### ***2.3.1 Método do intervalo***

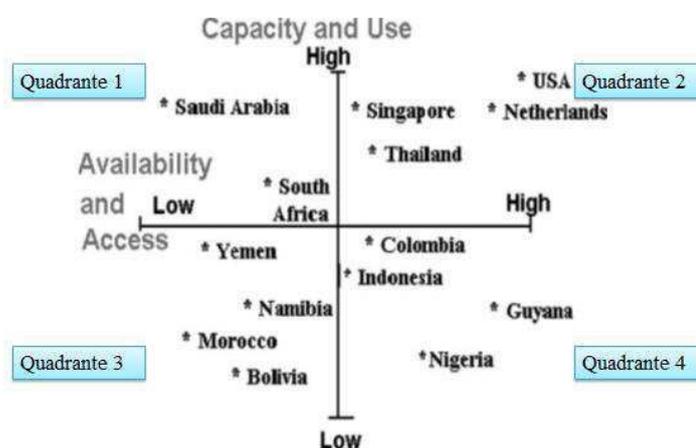
No método do intervalo, o índice é calculado através de um padrão da quantidade de água necessária para desenvolver uma determinada atividade. No trabalho de Sullivan (2002)

as atividades são manter o ecossistema saudável, o bem-estar da comunidade, a saúde humana e a prosperidade da economia. Então, analisa-se o quanto de água é empregado nestas atividades e qual o intervalo, ou distância, para o valor padrão adotado, essa diferença é o IPH. O mais importante do desenvolvimento do IPH por esse método é que não há um valor único e sim valores correspondentes a cada atividade avaliada.

### 2.3.2 Método da abordagem de matriz

A abordagem de matriz utiliza variáveis que representem disponibilidade com acesso e capacidade com uso, apresentando esses valores em uma matriz bidimensional (Figura 9). A matriz é composta por quatro quadrantes que delineiam as características dos lugares estudados. Na Figura 9, analisando simplificada, o quadrante 1 engloba países que têm pouca água, mas o uso é eficiente, no quadrante 2 estão os países que têm água em abundância e o uso é eficiente, no quadrante 3 estão os países com pouca quantidade de água e o uso ineficiente e no quadrante 4 estão os países com água em abundância, mas o uso é ineficiente.

Figura 9 – Exemplo do IPH pelo método da matriz



Fonte: Adaptado de Sullivan (2002).

### 2.3.3 Método da abordagem da simples análise de tempo

Com a abordagem de simples análise de tempo o IPH é calculado através da Equação 9, utilizando apenas o tempo gasto para coletar certa quantidade de água per capita. No trabalho de Sullivan (2002), o volume de referência é  $1000 \text{ m}^3$ . Quando a água é fornecida por sistema de abastecimento de água, o tempo T é calculado pelo tempo equivalente de trabalho

que gere uma renda capaz de pagar por essa quantidade de água. Esse método tem uma série de limitações, pois apesar de produzir uma medida de IPH de fácil entendimento, falha na capacidade de criar uma análise integrada e holística.

$$IPH = \frac{T}{1000m^3} \quad (9)$$

Onde, IPH é o Índice de Pobreza Hídrica e T é o tempo gasto para coletar 1000 m<sup>3</sup> de água.

### **2.3.4 Método do índice composto**

Na abordagem do índice composto convencional, uma série de componentes são conjugadas para construção do índice, medindo a disponibilidade de água, o acesso à água segura e ao esgotamento sanitário e o tempo gasto na coleta de água, esses componentes têm pesos, respectivamente, que quando somados devem resultar no valor um. O cálculo do IPH por esse método é realizado através da Equação 10.

$$IPH = w_A A + w_S S + w_T (100 - T) \quad (10)$$

Onde, IPH é o Índice de Pobreza Hídrica,  $w_A$  é o peso atribuído ao componente disponibilidade de água, A é o componente disponibilidade de água,  $w_S$  é o peso atribuído ao componente esgotamento sanitário, S é o componente esgotamento sanitário,  $w_T$  é o peso atribuído ao componente tempo gasto na coleta de água e T é o componente tempo gasto na coleta de água.

À medida que o índice foi sendo desenvolvido, a abordagem do índice composto foi se tornando o método mais conhecido, passando por melhorias que resultou num IPH constituído por cinco componentes (Recurso, Acesso, Capacidade, Uso e Meio Ambiente), com pesos para cada componente, que somados resultam no valor um, sendo o índice estimado pela Equação 11. O componente Recurso é a disponibilidade física de água superficial, subterrânea, entre outras formas que sejam relevantes no local estudado (águas meteóricas, águas virtuais, água armazenada, água dessalinizada e reuso, por exemplo), levando em consideração não apenas a quantidade de água, mas também a variabilidade e a qualidade desta. O componente Acesso transmite a extensão do acesso à água para usos

múltiplos, considerando a distância da fonte de água segura, o tempo para coleta da água e outros fatores como o papel da mulher na provisão de água e a existência de conflitos. O componente Capacidade mede a habilidade da população em gerir a água, caracterizada por variáveis relacionadas com renda, educação e saúde, podendo ser incluídas também variáveis que meçam o nível de participação pública no processo de gestão dos recursos hídricos. O componente Uso mede a eficiência do uso múltiplo da água, com ênfase nos usos doméstico, agropecuária, industrial. E o componente Meio Ambiente representa a integridade ambiental relacionada aos recursos naturais, considerando a degradação e a produtividade do meio ambiente (SULLIVAN; MEIGH, 2003; SULLIVAN; MEIGH, 2006; SULLIVAN; MEIGH; LAWRENCE, 2006).

$$IPH = w_R R + w_A A + w_C C + w_U U + w_{MA} MA \quad (11)$$

Onde, IPH é o Índice de Pobreza Hídrica,  $w_R$  é o peso atribuído ao componente Recurso, R é o componente Recurso,  $w_A$  é o peso atribuído ao componente Acesso, A é o componente Acesso,  $w_C$  é o peso atribuído ao componente Capacidade, C é o componente Capacidade,  $w_U$  é o peso atribuído ao componente Uso, U é o componente Uso,  $w_{MA}$  é o peso atribuído ao componente Meio Ambiente e MA é o componente Meio Ambiente.

Há uma tendência da utilização do IPH em detrimento de outros índices que analisam a disponibilidade da água, como ferramenta de diagnóstico, para representar a situação da escassez de água e pobreza da população num determinado espaço e tempo ou como uma ferramenta de monitoramento, a fim de avaliar o progresso das ações de gestão dos recursos hídricos, devido às vantagens que esse apresenta (SULLIVAN; MEIGH, 2003). Luna (2007), Mlote, Sullivan e Meigh (2002) e Sullivan e Meigh (2003) mostram que as principais vantagens do IPH são a abordagem holística; a construção sistemática e transparente do índice; a utilização de uma base de dados já existente; a possibilidade de uma representação da complexidade das questões da água por valores numéricos; a capacidade de eleger prioridades de necessidades; a capacidade de habilitar os tomadores de decisão a agir imparcialmente, com base em escolhas racionais; a capacidade de informar as comunidades sobre a situação em que elas se encontram; a capacidade de aplicação em diferentes escalas espaciais; e a simplicidade de expressão dos resultados.

Apesar das vantagens do IPH, nenhum país ainda o utiliza como ferramenta de apoio à decisão, na extensão de seu território, pois essa prática se limita a falta de um banco de dados que una as diferentes instituições, nos diferentes níveis de gestão, criando uma rede de

informações com uma abordagem integrada de coleta, armazenamento e uso dos dados e a inclusão do valor dos recursos naturais no planejamento macroeconômico do país, para que estivessem justificados os investimentos que por ventura fossem realizados. Nesse aspecto, fica clara a relação do IPH com as políticas públicas, mostrando que este é um índice com capacidade de melhorar diferentes enfoques da sociedade, com foco na disponibilidade de água.

### ***2.3.5 Relação entre recursos hídricos e pobreza***

Como discutido, o objetivo do IPH é avaliar a relação entre a pobreza e os recursos hídricos, mas como ocorre essa relação? Inicialmente para entender essa relação é preciso definir o que é pobreza. No trabalho de Luna (2007) há uma discussão sobre os diversos fatores que devem ser considerados na definição de pobreza, mas a autora somente conclui que o conceito deve estar adequado à aplicação na tomada de decisão de políticas públicas, objetivando a redução ou erradicação da pobreza, e não defini pobreza, pois esta é muito complexa e dinâmica variando em relação ao tempo e ao espaço.

Luna (2007) classifica a pobreza como absoluta e relativa. A pobreza absoluta equivale a uma medida, geralmente de renda, na qual todos os indivíduos que estiverem abaixo desse valor são considerados pobres; um exemplo disso é a linha da pobreza, que avalia certa quantidade monetária necessária para manter as necessidades básicas e participar da vida em sociedade. A pobreza relativa, por sua vez, é uma relação entre o padrão médio de vida de uma população, geralmente medido através da renda, e todos os indivíduos que estão abaixo desse padrão são considerados pobres.

Algo interessante de notar é que nessas classificações, a pobreza é sempre medida pela renda, contudo, a renda não é a única forma de medir pobreza ou riqueza de uma população, pois existem outros bens como acesso à informação, bem estar social e interação com a natureza que independem e não são medidos pela renda. Com ênfase nesses aspectos Sen (1983) *apud* Luna (2007) introduz o conceito de qualidade de vida, a qual não é medida pelos bens que um indivíduo possui e sim pela capacidade que o indivíduo tem de utilizar esses bens para satisfazer-se, logo “a qualidade de vida das pessoas não é consequência direta do desenvolvimento econômico e sim um requisito para esse desenvolvimento” (LUNA, 2007, p. 22).

Nesse sentido, há três perspectivas da pobreza, a pobreza relacionada a um nível de rendimento, a pobreza relacionada à privação das condições básicas para manter as

necessidades humanas e a pobreza relacionada à capacidade, na qual o indivíduo é pobre quando ele sente a ausência de alguma capacidade, que o impede de ter qualidade de vida (LUNA, 2007).

Apesar da complexidade e dinâmica da pobreza, Desai (1995) *apud* Mlote, Sullivan e Meigh (2002) define, brilhantemente e de uma forma simples, a pobreza como privação da capacidade, que é classificado em:

- Capacidade de ficar vivo/usufruir uma vida longa;
- Capacidade de assegurar a reprodução biológica;
- Capacidade para vida saudável;
- Capacidade para interação social; e
- Capacidade de ter conhecimento e liberdade de pensamento e expressão.

As capacidades anteriores são analisadas em termos de direitos de capital, que são o capital natural, o capital físico, o capital financeiro, o capital humano e o capital social. Estes direitos de capital são encarados como fatores de produção que devem ser utilizados para desenvolver um contínuo crescimento da qualidade de vida da população, sem trazer uma redução irreversível destas capacidades, focando na sustentabilidade e respeitando os limites da Terra (MLOTE; SULLIVAN; MEIGH, 2002).

Diversos estudos sobre a pobreza já foram desenvolvidos, mas muito poucos relacionaram os recursos hídricos à pobreza, dentre estes está o trabalho da World Health Organization (WHO) e da United Nation Children's Fund (UNICEF) pela Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Este programa realiza, em nível nacional, uma relação entre os dados de acesso à água e ao esgotamento sanitário, relacionando-os à situação socioeconômica dos países avaliados (SULLIVAN; MEIGH; LAWRENCE, 2006). Esse estudo deu início à discussão do conceito de pobreza de água, que para alguns autores é apenas a dificuldade das pessoas assegurarem o acesso adequado e confiável à água, por outro lado, alguns autores definem como a incapacidade das pessoas em pagar pela água (KOMNENIC; AHLERS; VAN DER ZAAG, 2008). Desta maneira, Lawrence, Meigh e Sullivan (2002) estabelecem que as pessoas são pobres de água quando não têm este recurso para as necessidades básicas devido à indisponibilidade dele, seja pela distância do corpo hídrico, pela degradação da qualidade da água ou simplesmente pela inexistência de água. Nesse mesmo trabalho, os autores dizem que as pessoas também podem ser pobres de água devido à pobreza de renda, situações em que há água disponível, mas a população não tem como pagar por ela. Contudo, no trabalho desenvolvido por Komnenic, Ahlers e van der Zaag

(2008), aplicando o IPH em países com alto acesso à água, foi concluído que nessas localidades até mesmo os pobres de renda têm acesso à água, logo a definição de pobreza de água dada por Lawrence, Meigh e Sullivan (2002) não é universalmente aplicável, necessitando que haja um aperfeiçoamento da definição.

Com a finalidade de avaliar as diferentes circunstâncias da pobreza de água Molle e Mollinga (2003) propuseram uma classificação dos usos de água e das causas da pobreza de água, apresentados no Quadro 2, tornando possível uma diversidade de combinações para explicar a pobreza de água, sem pretensões de unir todas as possibilidades, mas apenas de fornecer uma visão geral de como pode ocorrer a pobreza de água.

**Quadro 2 – Usos da água e causas da pobreza de água**

Uso
[U1] <i>Dessedentação</i> – O mais vital e inelástico uso, considerado um direito humano, varia de 1 a 5 litros por dia, dependendo do clima local.
[U2] <i>Uso Doméstico</i> – Compreende o uso doméstico mais básico: cozinhar, limpar e realizar a higiene pessoal.
[U3] <i>Segurança Alimentar</i> – Corresponde ao recurso hídrico necessário às populações que produzem seu próprio alimento, como as comunidades rurais que realizam uma agricultura de subsistência.
[U4] <i>Produção Econômica</i> – O recurso hídrico necessário à produção de bens e que a escassez não afeta drasticamente o uso doméstico e a segurança alimentar.
[U5] <i>Necessidades Ambientais</i> – Recurso hídrico necessário para manter o ecossistema sustentável, não só em quantidade, mas também em qualidade.
Causa
[C1] <i>Escassez Física</i> – A escassez absoluta, na qual a disponibilidade do recurso hídrico é limitada pela natureza.
[C2] <i>Escassez Econômica</i> – Falta de acesso ao recurso hídrico pela impossibilidade dos indivíduos de pagar ou dispor de tempo para coleta da água, devido à distância.
[C3] <i>Escassez Gerencial</i> – Escassez devido à falta de gestão no sistema físico de suprimento de água, como vazamento no sistema de abastecimento de água, reservatórios sem manutenção, falta de controle na irrigação, aquíferos comprometidos, entre outras situações.
[C4] <i>Escassez Institucional</i> – Falha da sociedade em manejar o crescimento da demanda ou antecipar situações de crise, sendo incapaz de aplicar tecnologia e inovação institucional adequada.
[C5] <i>Escassez Política</i> – A subordinação política cria uma barreira para os indivíduos terem acesso à água disponível.

Fonte: Adaptado de Molle e Mollinga (2003).

A combinação U1C1 é a situação mais crítica, que ocorre no semiárido nordestino brasileiro, onde eventos de seca impedem a população de ter água até para beber. A combinação U3C3 é uma situação de comprometimento da produção alimentar de subsistência devido a problemas com o sistema de distribuição, seja por perdas ao longo da

rede ou tecnologia ineficiente de irrigação. A combinação U3C4 seria novamente o comprometimento da produção alimentar de subsistência, mas agora devido à incapacidade da população em gerir suas ações frente aos recursos hídricos, como um caso de impossibilidade de irrigação, devido a poluição causada pelo lançamento de poluentes a montante do corpo de água. Outra combinação interessante é a U3/4C5, que representa uma situação semelhante à encontrada entre Israel e Palestina, onde a Palestina é impedida de realizar suas atividades econômicas e de subsistência, devido a problemas políticos com Israel, que detém o controle da água a montante dos rios que passam na Palestina.

A partir dos conhecimentos previamente expostos fica, então, possível entender a relação entre os recursos hídricos e a pobreza, na qual a escassez de água é causa e consequência da pobreza, isso porque a escassez de água diminui sensivelmente a capacidade das pessoas, tornando-as pobres e incapazes de gerir corretamente os recursos hídricos, de maneira que os usos ineficientes decorrentes dessa má gestão induzem à escassez de água (KOMNENIC; AHLERS; VAN DER ZAAG, 2008; LUNA, 2007; MANANDHAR; PANDEY; KAZAMA, 2011, MARANHÃO, R., 2010), criando um círculo vicioso. Todavia, deve-se ter em mente que a escassez de água, por si só, não determina o nível de pobreza ou prosperidade da uma comunidade (FOGUET; GARRIGA, 2011; MLOTE; SULLIVAN; MEIGH, 2002), pois há uma infinidade de fatores que influenciam na pobreza, necessitando para isso uma abordagem holística; por isso o IPH é uma ferramenta tão pertinente.

### ***2.3.6 Limitações do Índice de Pobreza Hídrica***

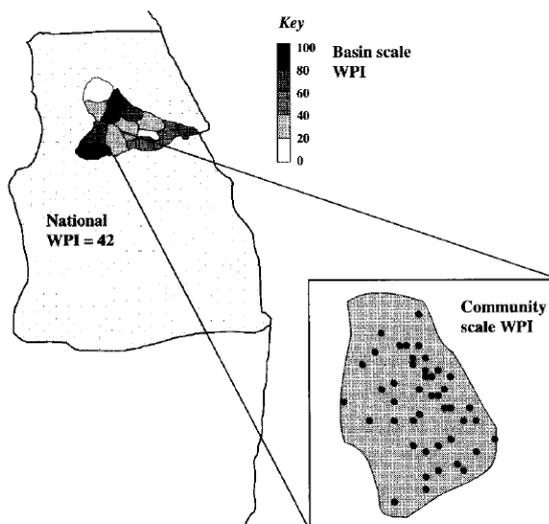
Embora o IPH seja uma ferramenta que trouxe novidades na forma de medir pobreza, considerando as mais importantes dimensões da indisponibilidade de água para a sociedade, ainda existe uma série de limitações que necessitam ser discutidas e estudadas, para melhorar a utilidade do índice.

Uma das vantagens do IPH é a possibilidade de ser aplicado em diferentes escalas espaciais. Porém, as diferentes escalas espaciais têm diferentes limitações de análises. Sullivan e Meigh (2003) apresentam em seu trabalho três escalas de aplicação do IPH, a nacional, a escala de bacia e a escala de comunidade (Figura 10).

O IPH pode ser estimado para um país como um todo, utilizando dados agregados em nível nacional, mas esse tipo de análise serve apenas para comparação entre países, tendo uma aplicabilidade muito limitada para ações de gestão dentro do próprio país, pois negligencia a variabilidade que ocorre dentro de uma nação (SULLIVAN, 2002). A escala de

bacia é uma escala intermediária, compreendendo a área de uma bacia hidrográfica ou sub-bacia hidrográfica, apresenta um grau moderado de detalhamento espacial e o componente Recurso pode ser estimado mais prontamente por ser o território uma unidade hidrológica. Por fim, a escala de comunidade é a que apresenta maior detalhamento espacial e tem a melhor aplicabilidade do IPH, pois a análise é feita na menor escala com dados disponíveis (SULLIVAN; MEIGH, 2003; SULLIVAN; MEIGH; LAWRENCE, 2006).

**Figura 10 – Possíveis escalas espaciais de aplicação do IPH**



Fonte: Sullivan e Meigh (2003).

Nas aplicações realizadas nenhuma dessas escalas se mostrou completamente satisfatória. Buscando a cobertura de um país pelo IPH, vê-se que a escala nacional não tem detalhamento suficiente para aplicação prática do IPH, a escala de bacia melhora o detalhamento, apresenta vantagens no componente Recurso, mas precisa de manipulações no componente Capacidade, pois as bacias hidrográficas, geralmente, não são consideradas como unidades nas estratégias de amostragem socioeconômica e a escala de comunidade apesar de apresentar melhores resultados do IPH, exige fazer estimativas no componente Recurso, sendo quase impraticável cobrir todo um país, realizando um IPH para cada comunidade existente. Assim, os pesquisadores vêm tentando determinar uma combinação de escalas e estratégias de amostragem socioeconômica para definir uma abordagem ótima (GARRIGA; FOGUET, 2010; SULLIVAN; MEIGH, 2003; SULLIVAN; MEIGH, 2006; SULLIVAN; MEIGH; LAWRENCE, 2006).

A escala de comunidade ainda apresenta outra limitação quando se considera a presença de um grande usuário de água, que tenha influência sobre uma bacia hidrográfica

inteira e até mesmo o país. Nesses casos, há uma incompatibilidade nos componentes Uso e Acesso, pois é difícil atribuir qual a influência do grande usuário numa escala reduzida, como por exemplo, quantas pessoas são diretamente beneficiadas pelas ações desse grande usuário, numa comunidade (SULLIVAN; MEIGH, 2003).

Além da limitação devido às escalas espaciais existe a limitação quanto à escala temporal, pois além de ser difícil acompanhar e quantificar a variação temporal dos recursos hídricos, ainda há uma diferença de atualização dos dados hidrológicos e socioeconômicos, enquanto a atualização dos primeiros é contínua, a dos outros ocorre em décadas, através dos censos (GARRIGA; FOGUET, 2010; HEIDECHE, 2006; SULLIVAN; MEIGH, 2006), o que pode acarretar em interpretações errôneas do resultado do IPH. Por exemplo, se uma medida estrutural que aumente a disponibilidade e o acesso à água ocorrem (elevando os componentes Recurso, Acesso e Uso), mas dados socioeconômicos desatualizados, são utilizados no desenvolvimento do IPH, então os possíveis impactos que a obra possa ter causado no componente Capacidade não são, possivelmente, evidenciados.

A ponderação dos componentes é uma limitação discutida em Komnenic, Ahlers e van der Zaag (2008), Sullivan, Meigh e Lawrence (2006), Sullivan e Meigh (2006) e Manandhar, Pandey e Kazama (2011), pois esta é realizada subjetivamente, com base em critérios pessoais. A indefinição dos pesos a serem aplicados a cada componente é uma tentativa de tornar o índice universal, contudo, se em cada local que for empregado o IPH houver uma ponderação diferente, nunca vai ser possível efetuar comparações e há um grande risco de haver interpretações errôneas sobre a situação da pobreza hídrica. Com o mesmo intuito de tornar o índice universal, há também uma indefinição das variáveis que constituem os componentes, havendo liberdade para que cada local inclua características específicas no cálculo do IPH, tornando impraticável fazer comparações e dando margem a erros de interpretação (KOMNENIC; AHLERS; VAN DER ZAAG, 2008; MLOTE; SULLIVAN; MEIGH, 2002).

O uso não padronizado das variáveis, além dos problemas anteriormente citados, também pode criar repetição de informações dentro do IPH (FOGUET; GARRIGA, 2011; MANANDHAR; PANDEY; KAZAMA, 2011). Através de estudos de regressão linear, Komnenic, Ahlers e van der Zaag (2008) concluíram que o IPH poderia ser substituído pelos componentes Acesso e Capacidade, por sua vez, Cho, Ogwang e Opio (2009), através de análise de correlação, concluíram que o IPH, poderia ser resumido pelos componentes Capacidade e Meio Ambiente. Isso ocorreu porque as variáveis nos componentes que foram

eliminados do IPH, nos dois trabalhos, apesar de serem diferentes, representavam uma mesma interpretação da realidade.

Distinção entre IPH rural e urbano é outra limitação, discutida no trabalho de Sullivan e Meigh (2003). Existem algumas variáveis que não são adequadas aos cenários rurais e urbanos simultaneamente, por exemplo, a variável grau de erosão do componente Meio Ambiente não faz sentido em áreas urbanas, assim como, a variável eficiência na irrigação do componente Uso. Contudo, o resultado do IPH em cenários que possuem áreas rurais e urbanas associadas, utilizando tais variáveis, é confiável, desde que essas sejam corretamente aplicadas dentro da metodologia.

O componente Recurso tem limitações bem específicas. Além dos problemas da escala de comunidade já discutidos, ainda há uma dificuldade em obter dados sobre os recursos hídricos, principalmente no que tange à qualidade e à variabilidade desse recurso. Outro aspecto a se considerar é a existência de infraestrutura, que modifica drasticamente a quantidade, qualidade e variabilidade do recurso hídrico, necessitando ser levado em consideração no IPH (SULLIVAN; MEIGH, 2003).

Segundo Sullivan e Meigh (2003) uma limitação importante é a não inclusão dos usos não consuntivos no componente Uso, pois alguns desses usos, apesar de não diminuir a quantidade de água disponível, podem afetar consideravelmente a qualidade desta.

A limitação do componente Meio Ambiente está relacionada com os fatores que o compõe, sendo a produtividade do ecossistema, o grau de degradação e a população dependente deste. Estes fatores apresentam uma visão muito antropocêntrica da necessidade de conservar a água, considerando apenas a demanda de água para manter o ecossistema produtivo, sem considerar as necessidades do próprio ecossistema (SULLIVAN; MEIGH, 2003).

Mesmo com essa série de limitações, as quais podem e devem ser sanadas, o IPH, por inserir no âmbito da tomada de decisão uma visão holística da gestão dos recursos hídricos com base na definição de pobreza hídrica, compensa as falhas pela melhoria da informação e comunicação, capacitando os tomadores de decisão a realizarem análises mais elaboradas das situações que eles enfrentarão.

### ***2.3.7 Implementações do Índice de Pobreza Hídrica***

O IPH foi experimentado em diversas partes do mundo e nas diferentes escalas em que pode ser utilizado, contudo, de uma forma muito experimental, a fim de avaliar o

potencial que o índice tem de ser empregado universalmente. Nessa seção, os principais casos de emprego do IPH no mundo e também no Brasil serão mostrados e discutidos os principais resultados.

A primeira implementação do IPH foi feita pelos próprios pesquisadores do *Centre for Ecology and Hydrology*, em escala nacional. Lawrence, Sullivan e Meigh (2002) aplicaram o IPH em 147 países, criando uma classificação do país com maior IPH para o de menor; em geral os países desenvolvidos lideraram a classificação feita pelos autores, mas algumas surpresas foram bem interessantes, como o caso da Guiana e do Suriname que ficaram na quinta e sexta posição, respectivamente, devido aos altos valores nos componentes Recurso, Acesso e Uso e o caso da Bélgica que ficou na quinquagésima sexta posição, pois os componentes Recurso e Meio Ambiente tiveram valores muito baixos. O Brasil ficou na quinquagésima posição, apresentando valores médios para os componentes Recurso, Acesso e Uso e baixos valores para os componentes Capacidade e Meio Ambiente.

A comparação entre o Haiti e a República Dominicana, apresentada em Sullivan, Meigh e Lawrence (2006) mostra claramente a utilidade do IPH em escala nacional, pois estes dois países, que dividem uma mesma pequena ilha, têm condições meteorológicas e hidrológicas iguais, contudo a clara pobreza da população e falta de gestão com os recursos hídricos e o meio ambiente no Haiti, faz com que este tenha um IPH de 35,12 pontos, enquanto que a República Dominicana tem IPH de 59,40 pontos.

Sullivan e Meigh (2006) e Sullivan, Meigh e Lawrence (2006) mostram em seus trabalhos a limitação do IPH em escala nacional, através dos resultados da implementação feita por Lawrence, Sullivan e Meigh (2002), no qual a Guiana se mostra abundante em recursos hídricos, com uma população pequena e com bons níveis de educação e saúde e grande parte de suas florestas preservadas. Contudo, essa é a realidade da população costeira do país, que difere bastante das condições da população urbana e periurbana, que tem sérios problemas de quantidade e qualidade da água. Nesses casos é muito mais efetivo concentrar os esforços para melhorar o acesso à água dessa população, diferente do que sugere o IPH em escala nacional.

Utilizando uma metodologia para eliminar os componentes do IPH que tivessem alta correlação, ainda empregando os dados de Lawrence, Sullivan e Meigh (2002), Cho, Ogwang e Opio (2009), chegaram à conclusão que apenas os componentes Capacidade e Meio Ambiente eram representativos e que os quinze primeiros países classificados foram todos países desenvolvidos, com o Canadá liderando-os. Contudo, a busca por remover dados repetidos terminou por culminar na eliminação do caráter holístico do índice, mostrando

resultados que desconsideram a disponibilidade dos recursos hídricos e como essa água alcança a população e é utilizada, pois países como Estados Unidos, França e Alemanha, com baixos valores nos componentes Recurso e Uso, estiveram entre os primeiros países da classificação feita pelos autores.

Um estudo em escala nacional para os países limítrofes da Bacia do Rio Sava (Eslovênia, Croácia, Bósnia-Hezergovina e a antiga Sérvia-Montenegro) foi realizado, com o intuito de analisar como o IPH se comportaria em países com alto acesso, mas em diferentes situações de desenvolvimento socioeconômico; foi encontrado que a Sérvia e Montenegro era pobre em água, mas no país até os pobres tinham acesso à água e ao esgotamento sanitário, com uma cobertura de 93% e 87%, respectivamente, muito mais que a maioria dos países do mundo. Logo, não faz sentido dizer que um país desse nível é pobre em água (KOMNENIC; AHLERS; VAN DER ZAAG, 2008). Essa conclusão foi alcançada devido à falta de padronização para a normalização das variáveis do IPH, aspecto esse que será discutido mais à frente na metodologia.

Em escala de bacia o IPH foi implementado nas porções média e superior da Bacia do Rio Jequetepeque no Peru, em 41 sub-bacias, por Garriga e Foguet (2010) e Foguet e Garriga (2011) utilizando uma metodologia que mistura a abordagem do índice composto do IPH com o modelo PSR. O IPH se mostrou muito útil, apresentando as sub-bacias que precisavam de mais atenção e os componentes que estavam com os piores valores.

Outra implementação foi realizada no Departamento de Lavalle em Mendoza, Argentina. O Departamento de Lavalle é uma Unidade Ambiental de Referência (UAR), área que vincula um conjunto de subsistemas natural, antrópico e cultural com características semelhantes. Essa espacialização foi escolhida porque na Argentina os dados são dispostos por UAR's e não por bacias hidrográficas. Foi aplicado o IPH para todo o Departamento de Lavalle, dividindo-o em região de oásis e deserto da UAR e foi observado que o grande problema da UAR é a disponibilidade dos recursos hídricos e a fragilidade do ecossistema, por ser um deserto, sendo esses fatores mais críticos no deserto que no oásis (ABRAHAM; FUSARI; SALOMÓN, 2013).

A bacia hidrográfica do rio Kali Gandaki, estudada por Manandhar, Pandey e Kazama (2011), também indicou diretrizes muito importantes aos tomadores de decisão sobre a situação das sub-bacias que a compõem.

Mlote, Sullivan e Meigh (2002) implementaram o IPH em escala de comunidade, em doze comunidades piloto da Tanzânia, Sri Lanka e África do Sul, coletando dados diretamente com os moradores, por meio de questionários. Várias formas de IPH foram testadas, IPH para

estação seca e chuvosa, para áreas urbanas e rurais e aplicando pesos às variáveis dos componentes. Os autores encontraram resultados bem consistentes com a realidade local, todavia, essa metodologia se torna impraticável de ser aplicada em grandes áreas; bem como houve sobreposição nas variáveis que constituem o índice (SULLIVAN; MEIGH, 2006; SULLIVAN; MEIGH; LAWRENCE, 2006).

Uma implementação do IPH, em escala de comunidade, que cobriu todo um país foi realizada por Heidecke (2006) em Benin. Destaca-se que isso só foi possível, porque o país é muito pequeno, com apenas 112.000 km<sup>2</sup> de área. Ele testou o IPH com uma variedade de formas, com pesos iguais e diferentes, com e sem o componente Capacidade e construíram cenários prevendo determinadas prioridades de ações governamentais, dando um poderoso subsídio aos tomadores de decisão.

Na Bolívia o IPH foi implementado em dez comunidades pilotos através da mesma metodologia utilizada por Garriga e Foguet (2010) e Foguet e Garriga (2011) na implementação do IPH no Peru. Foram encontrados resultados muito condizentes com a realidade, classificando as dez comunidades em três grupos de pobreza hídrica, criando uma diretriz das áreas que necessitavam de maior atenção (GARRIGA; FOGUET, 2010).

Parga et al. (2013) usaram o IPH na Província de Límari, no Chile, para cinco comunidades e na própria província que está localizada na bacia hidrográfica de mesmo nome, tendo sido concluído que as comunidades que estão na parte superior da província apresentam menor pobreza hídrica do que as demais comunidades, devido principalmente as condições socioeconômicas da população que permite uma melhor gestão dos recursos hídricos.

O IPH também já foi implementado no Brasil. No Ceará foi trabalhado por Luna (2007) e R. Maranhão (2010), a primeira autora utilizou o índice nos 33 municípios da Bacia do Salgado, utilizando uma metodologia que busca adequar o IPH ao semiárido brasileiro, subtraindo o componente Recurso do componente Uso, chamando a diferença de componente Disponibilidade; verificou que os municípios de Umari, Caririaçu, Abaiara e Jardim eram os mais pobres de água e Barbalha, Juazeiro do Norte e Crato os com maiores IPH's; a segunda autora utilizou a mesma metodologia proposta por Luna (2007), para os municípios de Cratús, Independência, Novo Oriente, Parambu, Quiterianópolis e Tauá, mas não conseguiu adequar o índice a esses lugares, pois os resultados não foram representativos.

A Bacia do Rio Paraíba foi estudada quanto à pobreza hídrica através do IPH, especificamente nos municípios do médio curso do Rio Paraíba, tendo sido empregada a mesma metodologia do trabalho de Luna (2007) e sido constatado que o componente Acesso

fez toda a diferença no valor final do índice, levando Campina Grande, município com maior percentual de domicílios com esgotamento sanitário dos municípios estudados, ao topo da classificação feita e Gado Bravo e Barra de Santana com os piores valores de IPH, pois também tiveram as piores porcentagens de cobertura de suprimento de água e esgotamento sanitário (ALMEIDA; LIRA; CURI, 2012).

### **3.0 METODOLOGIA**

#### **3.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba**

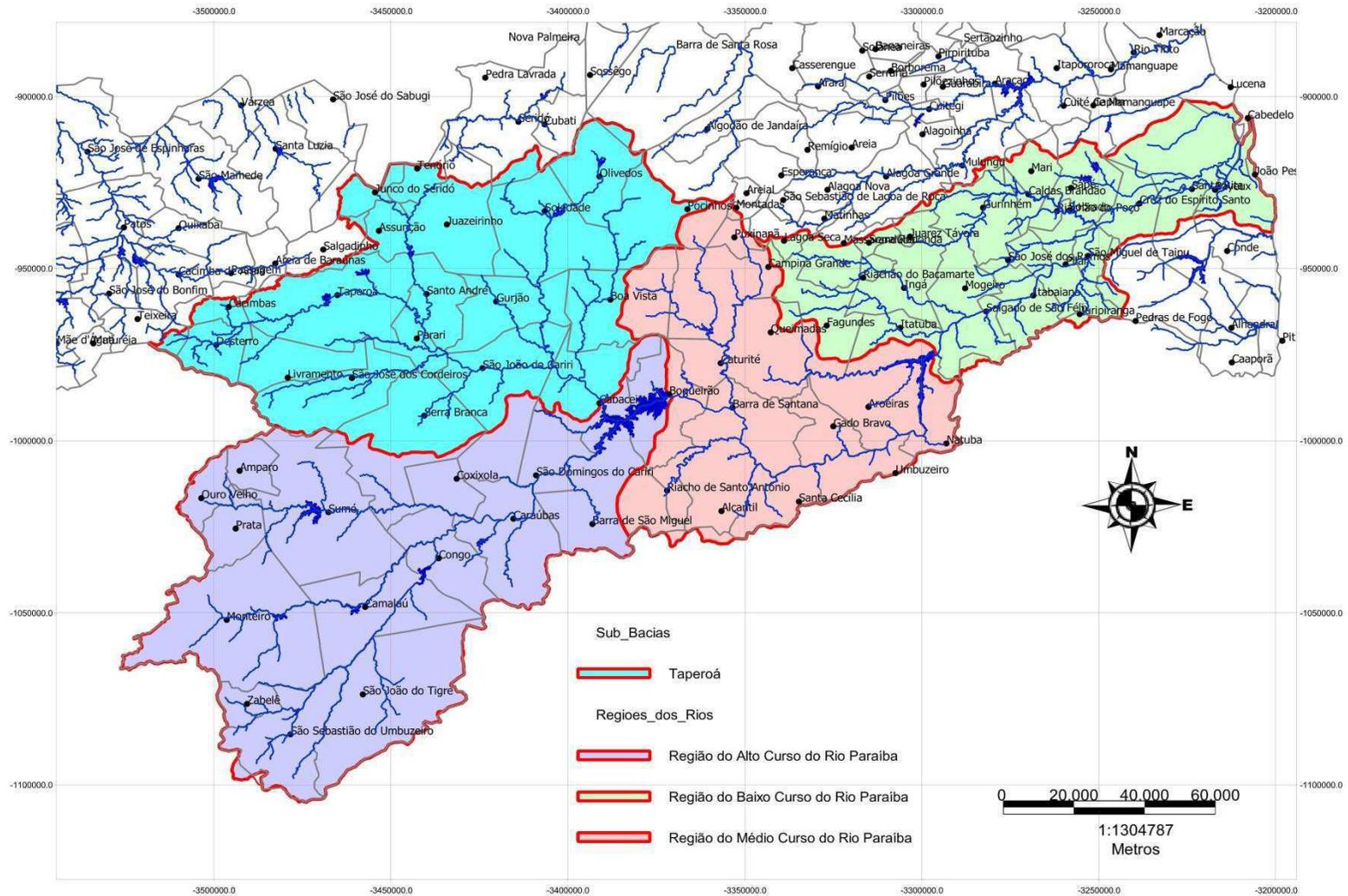
A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (BHRPB) está localizada no Estado da Paraíba entre as latitudes 6°51'31" e 8°26'21" Sul e as longitudes 34°48'35" e 37°2'15" Oeste, possuindo uma área de 20.071,83 km<sup>2</sup> e fazendo fronteiras com o Estado de Pernambuco a oeste e a sul, com a Bacia do Rio Gramame a sul, com o Oceano Atlântico a leste e com as Bacias do Espinharas, Seridó, Jacu, Curimataú, Mamanguape e Miriri a norte. Sendo a principal bacia hidrográfica de domínio estadual, nesta estão incluídos os municípios de João Pessoa e Campina Grande, os dois maiores centros urbanos do Estado, além de outros 83 municípios que estão inseridos totalmente ou parcialmente na bacia. A BHRPB recebe o nome do principal rio que a drena, o Rio Paraíba; este nasce na Região dos Cariris Velhos, especificamente no município de São Sebastião do Umbuzeiro e deságua no Oceano Atlântico no município de Cabedelo e ao longo do seu percurso recebe várias contribuições, destacando-se os Rios do Meio, Sucuru, Taperoá, Paraibinha, Ingá, Gurinhém e os Riachos da Barra e de Santo Antônio (AESAs, 2004; AESAs, 2006; BARRETO; NETO; FARIAS, 2010; PARAÍBA, 2001; RIBEIRO, 2012; UFSM-UFCG, 2008).

A BHRPB é dividida nas regiões hidrográficas do Alto, Médio e Baixo Paraíba e na Sub-bacia do Rio Taperoá, havendo distinções entre elas tanto nas características naturais, quanto nas socioeconômicas (Figura 11). Ao longo das Seções 3.1.1 a 3.1.4 são apresentados resumos das características das regiões hidrográficas e sub-bacia, podendo ser utilizado, para maiores esclarecimentos, os trabalhos de Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) (2004), AESAs (2006), AESAs (2009), Barreto, Neto e Farias (2010), Paraíba (2001), Ribeiro (2012), UFSM-UFCG (2008), em relação às características naturais e os trabalhos de BRASIL (2011) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), em relação às características socioeconômicas.

##### ***3.1.1 Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba***

A Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba possui 6.717,39 km<sup>2</sup> de área, estando inserida num clima semiárido quente a semiárido desértico, com pluviosidade entre 350 mm e 600 mm, concentrada nos meses de fevereiro a maio, caracterizando a alta variabilidade temporal e espacial da região.

Figura 11 – Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba



Fonte: Elaborada pelo autor.

Está localizada na escarpa sudoeste do Planalto da Borborema, em torno de 600 m de altitude, na qual se encontra vegetação típica da caatinga, que vem sofrendo um processo de desertificação, devido a atividades agropecuárias e de extração mineral.

A disponibilidade hídrica é de 129.550.000 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo praticamente toda superficial, destacando-se o Açude Epitácio Pessoa, que com capacidade de armazenamento de 400.000.000 m<sup>3</sup>, abastece não só o Alto Paraíba, mas municípios de outras regiões da BHRPB e fora desta, sendo de vital importância para o Estado da Paraíba, a qualidade da água disponível possui restrições aos usos no abastecimento humano, na agricultura e indústria, principalmente relacionadas à salinidade e à dureza. Quanto à demanda hídrica, para o ano de 2013, segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), é de 82.994.006 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Com relação à situação socioeconômica, foi verificado que a riqueza média da população esta abaixo da riqueza média do Estado da Paraíba, que é bem pouco, cerca de R\$ 6.800,00, além disso, a desigualdade é mediana, numa população de 90.679 habitantes, sendo 61% urbanos e 39% rural, com IDH médio de 0,608. O setor educacional possui 268 escolas de ensino pré-escolar, fundamental e médio, muitas delas com infraestrutura precárias, refletindo nas taxas médias de alfabetização e de escolaridade, que são de 0,69. A saúde apesar de possuir baixos índices de mortalidade infantil, deixa a desejar na quantidade de leitos, pois há apenas 86 leitos hospitalares, concentrados nos municípios de Monteiro e Sumé, com uma média de 1054 habitantes por leito, bem acima do padrão recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que é de 200 habitantes por leito (UFMS-UFMG, 2008). O setor de saneamento também sofre com a falta de infraestrutura, pois 63% da população é abastecida com água proveniente de rede, enquanto 42,7% ainda tem coleta de efluentes por fossas rudimentares, por sua vez, 64% dos domicílios possui coleta de resíduos sólidos, concentrada, praticamente na zona urbana, pois a zona rural possui o hábito de queimar os resíduos, devido a falta de coleta.

### ***3.1.2 Região Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba***

Com 3.760,65 km<sup>2</sup> de área, a Região Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba, possui um clima semiárido quente a semiúmido, com pluviosidade entre 600 mm e 1.100 mm, concentrado nos meses de abril a julho. Localizada no Planalto da Borborema, o Médio Paraíba é uma região de transição de clima, relevo, fauna e flora, apesar do bioma predominante ser a caatinga, que sofre um processo de *agrestização* do brejo, devido a atividades agropecuárias.

A região apresenta uma disponibilidade hídrica de  $84.290.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , praticamente toda superficial, tendo como maior corpo hídrico o Açude Argemiro de Figueiredo (Acauã), com capacidade máxima de acumulação de  $253.000.000 \text{ m}^3$ , apresentando qualidade da água prejudicada pela salinidade e dureza, possuindo restrição para os usos no abastecimento humano, na agricultura e indústria. Para o ano de 2013, a demanda seria de  $69.622.393 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , segundo o PERH, estando a disponibilidade praticamente toda ativada.

A Região Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba é habitada por 540.519 pessoas, estando 81% na zona urbana e 19% na zona rural, possuindo IDH médio de 0,682 e PIB per capita de R\$ 9.523,82. O setor educacional conta com 1275 escolas de ensino pré-escolar, fundamental e médio, taxa de escolaridade média de 0,76 e taxa de alfabetização média de 0,77. A mortalidade infantil, como em toda a BHRPB é baixa, mas a infraestrutura de saúde ainda deixa a desejar, possuindo 1429 leitos hospitalares, distribuídos nos municípios de Campina Grande, Barra de Santana, Boqueirão, Natuba e Umbuzeiro, abaixo do recomendado pela OMS. O saneamento é bom na condicionante abastecimento de água, pois 84% dos domicílios são abastecidos por rede, mas o esgotamento é precário com apenas 64% dos domicílios cobertos por rede de coleta, por sua vez, a coleta de resíduos sólidos acontece em 84% dos domicílios, mas todo o restante possui um manejo inadequado, em especial na zona rural, pois são os locais que comumente não possuem coleta de resíduos sólidos.

### ***3.1.3 Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba***

A Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba possui  $3.925,40 \text{ km}^2$  de área, estando num clima úmido, com pluviosidade entre 1.200 mm e 1.600 mm, concentrado nos meses de abril e julho, mostrando que na BHRPB, a medida que se vai para o litoral o clima passa de semiárido a úmido e a pluviosidade aumenta. Diferente das demais áreas da BHRPB, que estão em regiões predominantemente cristalinas, o Baixo Paraíba está localizado em áreas sedimentares, que favorece a armazenamento de água subterrânea. A vegetação é característica de mata atlântica, que sofre com a urbanização e atividades agrícolas.

Quanto à situação dos recursos hídricos, a Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba possui uma disponibilidade de  $103.200.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , sendo 58% subterrânea, proveniente, principalmente, do sistema aquífero Paraíba-Pernambuco. As águas desta região hidrográfica são de melhor qualidade, que das demais áreas da BHRPB, possuindo restrição apenas para o uso industrial. A demanda, para o ano de 2013, segundo PERH, é de

207.829.855 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, mais que o dobro da disponibilidade, mas este sistema não pode ser considerado em colapso, pois os centros urbanos são abastecidos por água da Bacia do Rio Gramame.

A população do Baixo Paraíba é de 1.325.543 habitantes, sendo 89% urbanos e 11 rural. Com IDH médio de 0,698 e riqueza média de 12.103,37, a região hidrográfica possui a maior desigualdade na distribuição de renda da BHRPB, refletindo que na BHRPB, quanto maior a riqueza maior a desigualdade. O setor de saúde, apesar de possuir a melhor infraestrutura da BHRPB, com maior quantidade de leitos (3697 leitos) e melhor distribuição (12 municípios), ainda não está em conformidade com o sugerido pela OMS. A região ainda possui 2195 escolas de ensino pré-escolar, fundamental e médio, taxa média de escolaridade de 0,77 e taxa média de alfabetização de 0,76. Foi verificado que 86% dos domicílios possuem abastecimento de água por rede, 40% ainda possuem fossas rudimentares como destino de seus efluentes sanitários e 90% possuem coleta dos resíduos sólidos.

### ***3.1.4 Sub-bacia do Rio Taperoá***

A única sub-bacia da BHRPB possui o nome do principal rio que a drena, o Rio Taperoá, esta sub-bacia tem 5.666,38 km<sup>2</sup> de área e está inserida num clima semiárido quente, com pluviosidade entre 350 mm e 600 mm, concentrado nos meses de fevereiro e maio, possuindo alta variabilidade temporal e espacial. Com altitudes de 600 m, a Sub-bacia do Taperoá está localizada nas escarpas orientais do Planalto da Borborema, com bioma do tipo caatinga, fortemente pressionado pelas atividades agropecuárias e minerais.

Esta sub-bacia possui a menor disponibilidade hídrica da BHRPB, com apenas 24.700.000 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, praticamente todo superficial e com alta incidência da pequena açudagem, que seca nos períodos de estiagem. A qualidade da água é comprometida, devido à salinidade e dureza, apresentando restrições para o uso no abastecimento humano, na agricultura e indústria. Segundo o PERH, para o ano de 2013 a demanda hídrica seria de 11.140.390 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, havendo uma tendência de diminuição, pois vem havendo um êxodo humano dessa sub-bacia para os centros urbanos do Estado da Paraíba.

A Sub-bacia do Taperoá possui 142.516 habitantes, equilibrados entre a zona urbana e a zona rural, tendo IDH médio de 0,593 e PIB per capita de R\$ 5.166,37. No setor da educação, a Sub-bacia do Taperoá possui 572 escolas de ensino pré-escolar, fundamental e médio, taxa média de escolaridade de 0,72 e taxa média de alfabetização de 0,69. A mortalidade infantil é baixa como em toda a BHRPB, com apenas 229 leitos. Quanto ao setor

de saneamento, foi verificado que apenas 57% dos domicílios possui rede de abastecimento de água, 38% ainda realizam esgotamento sanitário por fossas rudimentares e 60% possuem coleta de resíduos sólidos e o restantes são queimados ou lançados em terrenos, sendo estes últimos características da zona rural.

### ***3.1.5 Gestão dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba***

A Lei 6.308/96, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos (PoERH) do Estado da Paraíba, tem como princípios que o acesso aos recursos hídricos é um direito de todos, que o recurso hídrico é um bem público e dotado de valor econômico, que a bacia hidrográfica é a unidade básica do planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, que o gerenciamento deve ser realizado de forma participativa e integrada, que o uso dos recursos hídricos deve ser racional e que o uso e o gerenciamento dos recursos hídricos devem ser instrumentos para combater os efeitos adversos da degradação dos recursos hídricos. Esses princípios são um pouco diferentes dos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei 9.433/97, sancionada um ano depois do estabelecimento da PoERH do Estado da Paraíba, que se antecipou, pois a Paraíba, por se localizar numa região semiárida, não poderia ficar sem um direcionamento sobre a gestão dos recursos hídricos, uma vez que essas áreas são caracterizadas pela pobreza hídrica.

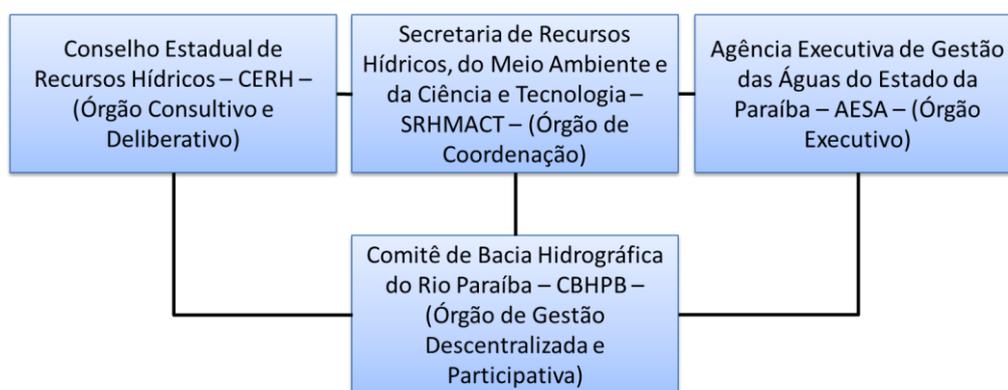
Os instrumentos da PoERH são, também, um pouco diferentes dos instituídos pela PNRH, estes são divididos em duas categorias, os instrumentos de execução e os instrumentos de gerenciamento. Os instrumentos de execução são o sistema integrado de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, o plano estadual de recursos hídricos e os planos e programas intergovernamentais (AESA, 2006; ARAÚJO, 2011).

O sistema integrado de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos (Figura 12) tem a finalidade de executar a PoERH, bem como formular, atualizar e aplicar o PERH, sendo desenvolvido com o intuito de substituir uma gestão burocrática, com base na centralização, visão fragmentada do sistema e ações remediadoras, por uma gestão integrada, descentralizada, inserindo a participação pública no processo de tomada de decisão.

Exceto pela inexistência de agências de água em nível de bacia, o sistema de gerenciamento da PoERH é igual ao sistema da PNRH, possuindo órgão de coordenação, órgão deliberativo e normativo, órgão gestor e órgão de gestão participativa e descentralizada. Sendo o órgão de coordenação responsável por planejar, supervisionar, coordenar e executar ações governamentais relacionadas aos recursos hídricos; o órgão deliberativo e normativo em

fiscalizar e deliberar coletivamente e normativamente as ações de execução do PERH; o órgão executivo tendo a função de gerenciar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado da Paraíba, além de águas de outras bacias estaduais e da união, transferidas para o domínio da Paraíba; o órgão de gestão participativa e descentralizada, como um órgão colegiado, composto por representantes do poder público, usuários de água e sociedade civil organizada, buscando gerenciar as águas de uma ou mais bacias de forma participativa e integrada (AESAs, 2006; RIBEIRO, 2012).

**Figura 12 – Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba**



Fonte: Elaborada pelo autor.

O PERH é o instrumento que tem como finalidade a orientação da implementação dos demais instrumentos da PoERH e da PNRH, tendo sido publicado em 2006, dividido em três etapas denominadas de *consolidação de informação e regionalização*; *criação de cenários, definição de objetivos e identificação de programas* e *os programas e sistemas de gestão do PERH* (ARAÚJO, 2011; RIBEIRO, 2012).

Os planos e programas intergovernamentais são instrumentos que buscam promover a coordenação entre os governos federal e municipais para identificar as áreas de proteção e conservação de águas de possível utilização para abastecimento, implantar a conservação e recuperação das áreas de proteção permanente e obrigatória, tratar as águas residuárias, efluentes e esgotos urbanos e industriais, construir barragens, transposição e reversão de águas interbacias, combater e prevenir inundações, e promover campanhas educativas, visando o disciplinamento do uso dos recursos hídricos (AESAs, 2006; ARAÚJO, 2011).

Por sua vez, os instrumentos de gerenciamento são a outorga de direito de uso da água, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o rateio dos custos de obras de usos múltiplos (AESAs, 2006; RIBEIRO, 2012).

A outorga é o instrumento que garante o direito de uso, de uma quantidade pré-estabelecida, do recurso hídrico, por tempo determinado, a fim de assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos. Este instrumento é regulamentado pelo Decreto 19.260/97, definindo que os usos para abastecimento humano e animal, irrigação, piscicultura e carcinicultura, indústria e comércio, lazer, lançamento de efluentes e quaisquer outros usos que alterem o regime quali-quantitativo dos recursos hídricos necessitam de outorga, com exceção de captações diretas de fontes superficiais ou subterrâneas com vazões de até 2.000 L.h<sup>-1</sup>. Nesse mesmo decreto, ficou estabelecido que deve ser dada prioridade a outorga para os usos de abastecimento doméstico, resultante de um serviço específico de fornecimento de água, seguido, nessa ordem, de abastecimento coletivo especial (hospitais, quartéis, presídios, colégios entre outras formas); de abastecimentos coletivos em cidades, distritos, povoados e demais núcleos habitacionais; de usos industriais, comerciais e de prestação de serviço; de usos agropecuários; e demais usos permitidos por legislação específica (ARAÚJO, 2011; RIBEIRO, 2012).

Na BHRPB, a outorga é o instrumento de gerenciamento mais difundido, principalmente, nos centros urbanos, podendo ser dos tipos cessão de uso, autorização de uso e concessão de uso. A cessão de uso é a outorga concedida, de forma gratuita ou onerosa, a órgãos públicos. No entanto, a autorização de uso é concedida a pessoas físicas ou jurídicas, em caráter unilateral. Por sua vez, quando a outorga é concedida a pessoa física ou jurídica, mas com um caráter contratual, permanente e privativo. Deve-se ressaltar que qualquer outorga, pode ser suspensa quando houver casos como fenômenos climáticos críticos ou quando o outorgado ferir qualquer condição estabelecida na entrega da outorga (ARAÚJO, 2011).

Com a finalidade de reconhecer o valor econômico do recurso hídrico, incentivar a racionalização do uso e captar recursos para a execução das ações do PERH, o instrumento de cobrança foi instituído pela PoERH. O instrumento é normatizado pela Resolução 07/09 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos e modificado pela Resolução 11/11 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, mas ainda não foi regulamentado por nenhum decreto (AESA, 2006; RIBEIRO, 2012).

O rateio dos custos de obras de uso múltiplo ocorre em obras de uso múltiplo ou de interesse coletivo, sendo o mesmo precedido por negociação das partes beneficiadas, obedecendo regulamento a ser criado pelo Conselho Estadual dos Recursos Hídricos (ARAÚJO, 2011; RIBEIRO, 2012).

### 3.2 Desenvolvimento do Índice de Pobreza Hídrica

O IPH foi desenvolvido na Universidade de Wallingford, no Reino Unido, no início da década de 2000, pela equipe do *Centre for Ecology and Hydrology*, liderada pela pesquisadora Caroline Sullivan, com o intuito de construir um índice capaz de medir a pobreza hídrica de um país, bacia hidrográfica ou comunidade. Como exposto na Seção 2.3.7 a primeira implementação do IPH foi a nível nacional, utilizando como objeto de estudo 147 países, o que tornou o índice bastante abrangente e muitas vezes não representativo da pobreza hídrica em escalas menores. Assim, outros autores (ABRAHAM; FUSARI; SALOMÓN, 2013; ALMEIDA; LIRA; CURI, 2012; FOGUET; GARRIGA, 2011; GARRIGA; FOGUET, 2010; HEIDECKE, 2006; KOMNENIC; AHLERS; VAN DER ZAAG, 2008; LUNA, 2007; MANANDHAR; PANDEY; KAZAMA, 2011; PARGA et al., 2013; R. MARANHÃO, 2010) empregaram o IPH em escalas de bacia e comunidade, com algumas modificações, buscando adequá-lo à realidade local. Com o mesmo intuito dos autores que implementaram o IPH em escala de bacia e comunidade, foi realizado o desenvolvimento do IPH, com a finalidade de adequar o IPH às particularidades da BHRPB, suas regiões hidrográficas e sub-bacia, bem como, eliminar algumas limitações inerentes ao índice, mas sempre respeitando a essência do IPH introduzida nos trabalhos de Sullivan (2002) e Lawrence, Meigh e Sullivan (2002).

O IPH é um índice formado por três níveis de agregação, sendo o primeiro nível denominado variáveis, o segundo nível componentes e o terceiro nível índice. Todavia, compondo o primeiro nível de agregação existem índices, indicadores e variáveis, e não apenas variáveis.

#### 3.2.1 Seleção das variáveis

A seleção das variáveis ocorreu através de uma lista de verificação de variáveis utilizadas em trabalhos anteriores de implementação do IPH, das quais foram escolhidas aquelas mais adequadas às características da BHRPB e que possuíssem um banco de dados pré-existente de origem confiável, além de unir características de um bom indicador; com ênfase na relevância, viabilidade, acessibilidade, confiabilidade, tempestividade e robustez. A lista de variáveis selecionadas é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis selecionadas para desenvolvimento do Índice de Pobreza Hídrica

Componente Recurso	
Variável	Unidade
- Disponibilidade per capita de água	$m^3 \cdot ano^{-1} \cdot hab^{-1}$
- Índice de qualidade da água	-
- Variabilidade quantitativa da água (coeficiente de variação)	%
- Variabilidade qualitativa da água (coeficiente de variação)	%
Componente Acesso	
Variável	Unidade
- Acesso ao abastecimento de água	%
- Acesso ao esgotamento sanitário	%
- Acesso à irrigação	%
Componente Capacidade	
Variável	Unidade
- PIB per capita	$R\$.hab^{-1}$
- Índice de GINI	-
- Taxa de mortalidade infantil em menores de 5 anos	%
- Índice de educação	-
- Participação pública	-
Componente Uso	
Variável	Unidade
- Consumo per capita de água	$L.hab^{-1} \cdot dia^{-1}$
- Eficiência monetária do uso agropecuário	$R\$.m^{-3}$
- Eficiência monetária do uso industrial	$R\$.m^{-3}$
Componente Meio Ambiente	
Variável	Unidade
- Porcentagem de cobertura vegetal	%
- Quantidade de espécies em ameaça de extinção	-
- Variação da safra	%
- Eficiência na outorga	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.2.1.1 Variáveis do componente Recurso

A primeira variável do componente Recurso é a disponibilidade per capita de água. Para entender o significado dessa variável, torna-se necessária a definição de potencialidade hídrica, que é a vazão média anual de um corpo d'água superficial ou um aquífero. Sendo assim, a disponibilidade hídrica é a parcela da potencialidade hídrica que foi ativada, ou seja, está acessível aos usos múltiplos (AESAs, 2006). Dividindo a disponibilidade hídrica pela população que se beneficia dela, encontra-se a disponibilidade per capita de água, que tem o intuito de indicar a quantidade de água que é disponível para cada habitante.

Uma vez que, a disponibilidade per capita de água representa apenas as fontes naturais de água de uma área, então foi necessário incrementar as vazões importadas e decrementar as vazões exportadas, através de adutoras. Assim, foi verificado que na Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba ocorre a exportação de água pelas adutoras do Congo, Boqueirão e Cariri; o Médio Paraíba recebe a água da adutora de Boqueirão e exporta água pela adutora Acauã-Leste; a região do Baixo Paraíba, por sua vez, recebe água das adutoras Acauã-Leste e Gramame, sendo esta última proveniente da bacia do Gramame e a Sub-bacia do Taperoá recebe água da adutora do Cariri e do Congo, sendo que esta última também transporta água para a bacia do Rio Piranhas.

Os dados de disponibilidade de água superficial e subterrânea foram obtidos através do PERH, enquanto que as vazões das adutoras que importam e exportam água foram obtidas do relatório final do Plano de Administração, Operação e Manutenção dos Sistemas Adutores do Cariri e do Congo (AESAs; SECTMA, 2006) e o relatório final do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (SEMARH, 2001), bem como de informações fornecidas pela divisão de Controle Operacional da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), Regional da Borborema. Por sua vez, a população da BHRPB, suas regiões hidrográficas e sub-bacia foi estimada pela população dos municípios que compõem as áreas, através dos dados do Censo 2010 do IBGE, estimativa populacional para o ano de 2012. Devido às áreas dos municípios não respeitarem os contornos da BHRPB, então foram selecionados para compor a bacia, os municípios que tem a maioria de sua área ou a sede do município dentro da bacia hidrográfica.

A variável selecionada para medir a qualidade da água no componente Recurso foi o Índice de Qualidade da Água (IQA), criado pela *US National Sanitation Foundation* na década 1970 e adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para as características das águas brasileiras, incorporando nove indicadores de qualidade da água

considerados relevantes para águas utilizadas no abastecimento público (CETESB, 2014). O IQA foi selecionado, porque o monitoramento da qualidade da água na BHRPB o utiliza como indicador, porém, nenhum dos autores apresentados na Seção 2.3.7, que implementaram o IPH, o utilizaram como variável referente a qualidade da água.

O monitoramento qualitativo das águas da BHRPB é realizado pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), apenas nos principais açudes da bacia, duas vezes ao ano, uma na estação chuvosa e outra na estação seca. Para estimar o IQA médio para cada açude monitorado, foram obtidos os IQA's destes para os anos de 2012 e 2013, período que inclui o ciclo hidrológico da BHRPB, definido pela AESA, como sendo do dia 1 de outubro de um ano a 30 de setembro do ano seguinte, e determinada uma média. Por sua vez, para estimar o IQA médio da região estudada foi realizada uma média ponderada entre os IQA's médios dos açudes e suas respectivas capacidades de armazenamento, estas obtidas junto à AESA.

As últimas variáveis do componente Recurso representam a variabilidade quantitativa e qualitativa das águas. Para representar essa variabilidade foi selecionada a medida de dispersão conhecida como coeficiente de variação, que é a razão entre o desvio padrão e a média de um conjunto de dados, resultando em uma medida de variabilidade relativa que pode ser medida em porcentagem (SILVA, 2009).

O monitoramento quantitativo e qualitativo das águas da BHRPB é bastante limitado, pois só ocorre, para as águas armazenadas nos principais açudes, sem contemplar as águas dos rios e as águas subterrâneas. Desta forma, foi calculado o coeficiente de variação para os volumes armazenados dos principais açudes da bacia, durante o ciclo hidrológico 2012-2013, segundo período definido pela AESA; os dados do monitoramento quantitativo das águas foram obtidos junto a AESA. Por sua vez, a variabilidade qualitativa foi determinada pelo coeficiente de variação dos IQA's do mesmo ciclo hidrológico anteriormente mencionado. Para estimar o coeficiente de variação da área estudada, foi realizada uma média ponderada entre os coeficientes de variação dos açudes e suas respectivas capacidades de armazenamento.

### *3.2.1.2 Variáveis do componente Acesso*

A variável acesso ao abastecimento de água é a variável que busca representar o grau de abastecimento humano e industrial, através da quantidade de domicílios que possuem abastecimento de água. Apesar da variável levar em consideração apenas os domicílios, torna-

se possível representar o acesso ao abastecimento humano e industrial, pois as indústrias, em geral, localizam-se próximo aos domicílios, utilizando a mesma forma de abastecimento destes.

Essa variável foi utilizada em implementações do IPH como sendo a porcentagem de domicílios com abastecimento por rede de distribuição. Todavia, torna-se necessário reconhecer a existência de domicílios com soluções alternativas de abastecimento, que mesmo não sendo a maneira ideal de abastecimento de água, ainda assim, é capaz de suprir, pelo menos quantitativamente, as demandas humanas e industriais.

Tendo em vista o anteriormente exposto foi considerado não só o abastecimento de água por rede de distribuição para representar o acesso ao abastecimento de água, mas também os abastecimentos por carro-pipa; poço ou nascente dentro da propriedade; poço ou nascente fora da propriedade; rio, açude, lago ou igarapé; água da chuva e outras maneiras de abastecimento.

Essas formas de abastecimento foram categorizadas em três classes, tendo a porcentagem dos domicílios referente a cada classe sido aplicada na Equação 12, para calcular a variável acesso ao abastecimento de água. A primeira classe é composta pelos domicílios abastecidos por rede geral, a qual é a forma mais adequada de acesso à água, pois presume-se um abastecimento mais seguro com água de melhor qualidade, sendo assim, a porcentagem dos domicílios da primeira classe recebeu um peso máximo na Equação 12. A classe que comporta as formas de abastecimento parcialmente adequadas é a segunda classe, sendo constituída pelos domicílios abastecidos por carro-pipa, poço ou nascente dentro da propriedade ou água da chuva, as quais são formas de abastecimento em que não existe garantia se houve o tratamento, mas são águas brutas, em geral, de melhor qualidade e/ou estão localizadas próximo dos usuários, assim, a porcentagem dos domicílios da segunda classe recebeu peso intermediário na Equação 12. A última classe é composta pelos domicílios abastecidos por poço ou nascente fora da propriedade; rio, açude, lago ou igarapé e outras maneiras, sendo consideradas formas inadequadas de abastecimento, pois são fontes com facilidade de contaminação, não possuem garantia de existência de tratamento e/ou estão distantes do consumidor, desta forma a porcentagem dos domicílios da terceira classe foi associado peso zero na Equação 12.

$$A_{\text{água}} = C_1 * 1 + C_2 * 0,5 + C_3 * 0 \quad (12)$$

Sendo  $A_{\text{água}}$  a variável acesso ao abastecimento de água,  $C_1$  a porcentagem de domicílios da primeira classe,  $C_2$  a porcentagem de domicílios na segunda classe e  $C_3$  a porcentagem de domicílios na terceira classe.

Os dados que compõem a variável acesso ao abastecimento de água foram obtidos junto ao Censo Demográfico 2010 do IBGE, nos resultados sobre as características da população e dos domicílios.

Além do acesso ao abastecimento de água é importante verificar também o acesso ao esgotamento sanitário, variável que representa a cobertura da população por esgotamento sanitário. Da mesma forma que a variável acesso ao abastecimento de água, na variável acesso ao esgotamento sanitário foram considerados, em outras implementações do IPH, apenas os domicílios com rede de esgotamento sanitário. Todavia, neste trabalho foram inseridos também os domicílios que possuem fossa séptica, fossa rudimentar, vala, lançam os efluentes diretamente em rios, lagos ou mar, não possuem banheiro e outras formas de manejar os efluentes domésticos.

Essas formas de gerenciar os efluentes foram categorizadas em três classes, das quais foi calculada a porcentagem de domicílios de cada, para ser aplicada na Equação 13, a fim de estimar a variável acesso ao esgotamento sanitário. A primeira classe representa as formas adequadas de realizar o manejo dos efluentes, sendo constituída pelos domicílios com rede de esgoto ou fossa séptica; desta maneira, a porcentagem dos domicílios da primeira classe possuem peso máximo na Equação 13. A segunda classe representa as formas parcialmente adequadas de manejar o efluente, nas quais este é lançado em corpos d'água para ser diluído; a porcentagem dos domicílios da segunda classe recebeu peso intermediário na Equação 13. Constituída de manejos inadequados para os efluentes domésticos, a terceira classe une os domicílios com fossas rudimentares, valas, que não possuem banheiro e realizam outros manejos de seus efluentes, constituindo formas mais nocivas ao meio ambiente, uma vez que não há nenhum tratamento ou diluição e ainda têm uma grande possibilidade de contaminar aquíferos, a porcentagem dos domicílios da terceira classe recebeu peso nulo na Equação 13.

$$A_{\text{esgoto}} = C_1 * 1 + C_2 * 0,5 + C_3 * 0 \quad (13)$$

Sendo  $A_{\text{esgoto}}$  a variável acesso ao esgotamento sanitário,  $C_1$  a porcentagem de domicílios da primeira classe,  $C_2$  a porcentagem de domicílios na segunda classe e  $C_3$  a porcentagem de domicílios na terceira classe.

As informações da variável acesso ao esgotamento sanitário foram estimadas com base nos dados do Censo Demográfico 2010 do IBGE.

Para representar o acesso ao abastecimento para uso agrícola foram empregados dados da área plantada e da área irrigada para o ano de 2006 segundo o Censo Agropecuário e a Produção Municipal Agrícola, ambos desenvolvidos pelo IBGE, assim, a variável acesso à irrigação foi estimada pela razão entre a área irrigada e a área plantada.

Durante a escolha das variáveis para o componente Acesso, foi selecionada também, a variável existência de conflito, que representaria a ocorrência de perdas no acesso aos usos múltiplos, devido à ocorrência de conflitos entre os usuários. Os dados seriam obtidos através de registros dos órgãos gestores, utilizando uma variável binária, que possuiria valor 100 se houvesse conflitos e 0 se não houvesse. Contudo, foi verificado que os órgãos gestores dos recursos hídricos no Estado da Paraíba, ainda não possuíam registros sobre os conflitos na BHRPB, portanto, não foi possível incluir a variável no componente Acesso.

Os aspectos relacionados ao papel da mulher como provedora de água e o tempo gasto na coleta de água, não foram abordados diretamente, uma vez que, na variável acesso ao abastecimento de água, por considerar as diferentes formas de abastecimento, esses aspectos já estão inseridos, pois, além de considerar os abastecimentos próximos e distantes dos domicílios na variável, sabe-se que na BHRPB todas as formas de abastecimento de água, exceto o abastecimento por rede de distribuição, são gerenciadas pelas mulheres e crianças.

### *3.2.1.3 Variáveis do componente Capacidade*

Como discutido anteriormente na Seção 2.3.4, o componente Capacidade busca representar a habilidade da população em gerir os recursos hídricos através de indicadores referentes à renda, saúde e educação. Para representar a renda foram selecionadas duas variáveis, o PIB per capita e o índice de GINI. O PIB per capita é a divisão de toda a renda gerada numa localidade durante um período, pela população dessa localidade, de maneira que expressa a renda média da população no período, desconsiderando a desigualdade na distribuição de renda. Para incluir a desigualdade na medida de renda no IPH, foi selecionado o índice de GINI, uma variável largamente empregada para essa função.

As variáveis indicadoras de renda foram obtidas no IBGE, sendo o PIB per capita referente ao ano de 2010 e o índice de GINI ao ano de 2003.

A variável selecionada para indicar o nível de saúde no componente Capacidade foi a taxa de mortalidade infantil em menores de cinco anos, sendo estimada pela razão entre o

número de óbitos em menores de cinco anos por todos os nascidos vivos. Esta variável representa agravos à saúde devido ao desenvolvimento socioeconômico e infraestrutura sanitária e ambiental precárias.

Os dados dos números de nascidos vivos e óbitos em crianças menores de cinco anos foram obtidos no DATASUS, sendo o sistema de informação do Ministério da Saúde, que une todas as informações relacionadas à saúde do país, para o ano de 2011.

O índice de educação foi a variável selecionada para representar o nível educacional da população, sendo o mesmo índice empregado no cálculo do IDH até o ano de 2009, no qual era realizada uma média ponderada entre a taxa de alfabetização e taxa de escolaridade, com pesos de 2 e 1, respectivamente. A taxa de alfabetização é a razão entre o número de pessoas alfabetizadas, pela população total, enquanto, que a taxa de escolaridade é razão entre o número de pessoas cursando o ensino fundamental, médio e superior pela população com idade entre 7 e 24 anos.

A última variável do componente Capacidade representa diretamente a participação da população na gestão dos recursos hídricos, através da avaliação da participação pública, tendo como intuito a avaliação do engajamento da população nas tomadas de decisão relacionadas aos recursos hídricos.

Para avaliar a participação pública, foram inseridos os aspectos da assiduidade dos membros do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (CBH-PB) nas reuniões realizadas e a frequência de realização dessas reuniões. A assiduidade dos membros do Comitê foi avaliada pelas listas de presença às reuniões realizadas, sendo a razão entre os membros presentes na reunião e todos os membros do Comitê. Por sua vez, a frequência das reuniões é a razão entre o número de reuniões realizadas no ano pelo número de reuniões planejadas para o ano. O ano de referência analisado foi o de 2012. Dessa maneira, para estimar a variável participação pública foi realizada uma média entre as variáveis assiduidade dos membros do CBH-PB e a frequência de reuniões do mesmo.

#### *3.2.1.4 Variáveis do componente Uso*

No componente Uso foram selecionados os usos doméstico, agropecuário e industrial, para serem analisados, uma vez que são os usos mais representativos da área em estudo. Para representar o uso doméstico foi empregada a variável consumo per capita de água, que avalia a eficiência do uso doméstico através da quantidade de água que é consumida por dia, pela população atendida com abastecimento de água.

A variável consumo per capita de água foi adquirida junto ao Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento (SNIS), para o ano de 2010.

A fim de avaliar a eficiência do uso agropecuário foi selecionada a variável eficiência monetária do uso agropecuário, que realiza uma avaliação da eficiência do uso dos recursos hídricos na agropecuária com base em valores monetários, sendo obtida pela razão entre a riqueza gerada pelas atividades agropecuária e o volume de água utilizado no setor.

Os dados da riqueza gerada pela agropecuária foram obtidos do valor adicionado bruto do PIB pelo setor da agropecuária, publicado pelo IBGE para o ano de 2010. Por outro lado, os dados referentes à quantidade de água usada na agropecuária tiveram duas fontes, a primeira proveniente dos registros de outorga da AESA até o ano de 2013 e a segunda a estimativa feita no PERH para o ano de 2013. Foi dada prioridade ao uso dos dados do registro de outorga da AESA, por representarem a realidade sem estimar, contudo, o instrumento da outorga é amplamente difundido apenas nas regiões hidrográficas do Médio e Baixo Paraíba, onde a AESA é mais atuante, assim, os dados de volume de água, originados pelo sistema de outorga, para as demais áreas da BHRPB, não são representativos. Além do supracitado, na região do Médio Paraíba, não há registros consistentes do uso agropecuário da água, pois as atividades agropecuárias não são expressivas. Assim, apenas para a o Baixo Paraíba foram utilizados os dados do sistema de outorga, para as demais regiões hidrográficas e sub-bacia foram utilizados os dados estimados pelo PERH.

Para avaliar a eficiência do setor industrial foi selecionada a variável eficiência monetária do uso industrial, que representa a riqueza gerada para cada m<sup>3</sup> de água utilizada na indústria, através da razão entre a riqueza gerada e o volume de água usado pela indústria. Os dados que constituem a variável eficiência monetária do uso industrial têm as mesmas origens da variável eficiência monetária do uso agropecuário. Sendo empregados os dados do sistema de outorga para o Médio e Baixo Paraíba, enquanto que para a região do Alto Paraíba e a Sub-bacia do Taperoá foram utilizados a estimativa feita pelo PERH.

### *3.2.1.5 Variáveis do componente Meio Ambiente*

Dentro da base conceitual do componente Meio Ambiente, busca-se avaliar a degradação ambiental e a produtividade do meio ambiente. Sendo assim, para representar a degradação ambiental foram selecionadas as variáveis porcentagem de cobertura vegetal, quantidade de espécies em ameaça de extinção e eficiência na outorga e para representar a produtividade do meio ambiente a variável variação da safra.

A porcentagem de cobertura vegetal representa a preservação da flora, estimada pela razão entre a área com vegetação e a área total estudada. Os valores da porcentagem de cobertura vegetal foram adquiridos junto aos resultados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite, realizado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), para os anos de 2008-2009.

Por sua vez, a variável quantidade de espécies em ameaça de extinção busca representar a preservação da fauna, considerando apenas as aves e os mamíferos, classificados como ameaçados de extinção. Os dados foram obtidos no IBGE pelos mapas temáticos sobre fauna ameaçada de extinção e foram cruzados com os registros do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), para definição dos biomas a que pertenciam as espécies ameaçadas de extinção. Devido aos registros serem categorizados por biomas, então foi feita uma adaptação para a BHRPB, no qual as regiões hidrográficas do Alto e Médio Paraíba, bem como a Sub-bacia do Taperoá foram classificadas dentro do bioma caatinga e a Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba dentro do bioma mata atlântica.

Com a finalidade de representar os mecanismos de proteção ao meio ambiente, foi selecionada a variável eficiência na outorga, que é um instrumento da PoERH e da PNRH implementado há alguns anos na BHRPB e a análise da quantidade de usuários outorgados pode subsidiar a qualidade do sistema de gestão, não somente dos recursos hídricos, mas também do meio ambiente. A variável eficiência na outorga é estimada pela razão entre os usuários com outorga atualizada e todos os usuários outorgáveis, sejam estes com outorgas atualizadas, vencidas ou em processo de outorga. Os dados necessários à estimativa da variável eficiência na outorga foram obtidos nos registros da AESA, para o ano de 2013.

Ainda para representar os mecanismos de proteção ao meio ambiente, foi decidido inserir uma avaliação do sistema de licenciamento ambiental na BHRPB, contudo, os órgãos licenciadores da área em estudo não possuem um banco de dados, que pudesse subsidiar a avaliação. Logo, não foi possível inserir a avaliação no índice.

Representando a produtividade do meio ambiente, está a variável variação da safra, na qual foi analisada a variação da quantidade de produtos agrícolas produzidos nos últimos cinco anos, para todas as culturas da região estudada. A variável é estimada pela Equação 14, e se o resultado for positivo houve um aumento na produção agrícola e se for negativo houve uma diminuição na produção agrícola. Os valores da variável variação da safra para a BHRPB foram obtidos junto ao IBGE, na pesquisa da Produção Agrícola Municipal para os anos de 2006 e 2011.

$$V_{safra} = \left( \left( \frac{S_{t+5}}{S_t} \right) - 1 \right) * 100\% \quad (14)$$

Onde,  $V_{safra}$  é a variação da safra,  $S_t$  é a safra em um tempo predeterminado e  $S_{t+5}$  é a safra cinco anos após um tempo predeterminado.

### 3.2.2 Normalização das variáveis

No desenvolvimento do IPH foi necessário realizar a etapa de normalização, pois a multiplicidade de variáveis, e conseqüentemente de unidades, impede que estas sejam agregadas sem antes torná-las adimensionais.

O método empregado foi o redimensionamento contínuo, apresentado na Seção 2.2.2, utilizando uma escala de 0-100. Cada variável foi normalizada através de um limite superior e de um limite inferior, apresentados na Tabela 2, limites esses selecionados através de dados de órgãos oficiais ou trabalhos acadêmicos, que indicavam valores extremos que representassem metas a serem alcançadas e evitadas, respectivamente. Todavia, para algumas variáveis não foram encontrados estes valores extremos, e, nesses casos, os limites superior e inferior foram os valores máximo e mínimo que a variável era capaz de alcançar.

A variável consumo per capita de água, possui uma particularidade na normalização, no qual esta ocorre através de limites extremos ( $200 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  e  $50 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ ) e de um limite ótimo ( $100 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ ), de maneira que se o consumo per capita de água estiver entre  $50 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  e  $100 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , utiliza-se a Equação 15 e se estiver entre  $100 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  e  $200 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , utiliza-se a Equação 16; esta forma de normalização tem o intuito de destacar que tanto a falta de água quanto o uso excessivo desta, comprometem a eficiência do uso doméstico. Em casos em que o consumo per capita de água for menor que  $50 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  ou maior  $200 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , o valor normalizado é 0.

$$S_i = \frac{X_i - 50 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}}{100 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1} - 50 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}} * 100 \quad (15)$$

$$S_i = 100 - \frac{X_i - 100 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}}{200 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1} - 100 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}} * 100 \quad (16)$$

Onde,  $S_i$  é o valor normalizado e  $X_i$  é o valor do consumo per capita de água a ser normalizado.

Tabela 2 – Limites da normalização das variáveis do IPH

<b>Componente Recurso</b>			
<b>Variável</b>	<b>Lim. superior</b>	<b>Lim. Inferior</b>	<b>Fonte</b>
- Disponibilidade per capita de água	1700 m <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup> .hab <sup>-1</sup>	500 m <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup> .hab <sup>-1</sup>	Falkenmark(1989) apud Brown e Matlock(2011)
- Índice de qualidade da água	100	0	-
- Variabilidade quantitativa da água (coeficiente de variação)	0%	30%	Manandhar, Pandey e Kazama (2011)
- Variabilidade qualitativa da água (coeficiente de variação)	0%	30%	Manandhar, Pandey e Kazama (2011)
<b>Componente Acesso</b>			
<b>Variável</b>	<b>Lim. superior</b>	<b>Lim. Inferior</b>	<b>Fonte</b>
- Acesso ao abastecimento de água	100%	0%	-
- Acesso ao esgotamento sanitário	100%	0%	-
- Acesso à irrigação	100%	0%	-
<b>Componente Capacidade</b>			
<b>Variável</b>	<b>Lim. superior</b>	<b>Lim. Inferior</b>	<b>Fonte</b>
- PIB per capita	85.000,00 R\$.hab <sup>-1</sup>	1.000,00 R\$.hab <sup>-1</sup>	Banco Mundial (2012)
- Índice de GINI	0,25	0,60	Banco Mundial (2012)
- Taxa de mortalidade infantil em menores de 5 anos	20‰	50‰	DATASUS (2013)
- Índice de educação	1	0,35	PNUD (2009)
- Participação Pública	1	0	-
<b>Componente Uso</b>			
<b>Variável</b>	<b>Lim. superior</b>	<b>Lim. Inferior</b>	<b>Fonte</b>
- Consumo per capita de água	200 L.hab <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup>	50 L.hab <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup>	ONU (2013)
- Eficiência monetária do uso agropecuário	40 R\$.m <sup>-3</sup>	0,70 R\$.m <sup>-3</sup>	Banco Mundial (2012)
- Eficiência monetária do uso industrial	400 R\$.m <sup>-3</sup>	10 R\$.m <sup>-3</sup>	Banco Mundial (2012)
<b>Componente Meio Ambiente</b>			
<b>Variável</b>	<b>Lim. superior</b>	<b>Lim. Inferior</b>	<b>Fonte</b>
- Porcentagem de cobertura vegetal	75%	10%	R. Maranhão (2010)
- Quantidade de espécies em ameaça de extinção	0	72	IUCN (2013)
- Variação da safra	100%	-100%	-
- Eficiência na outorga	100%	0%	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

### ***3.2.3 Ponderação dos componentes***

A etapa de ponderação, no desenvolvimento do IPH, foi realizada em dois momentos, inicialmente para as variáveis e posteriormente para os componentes.

As variáveis foram ponderadas igualmente, pois não houve o intuito de realçar as diferenças de importância entre elas.

Por sua vez, a ponderação dos componentes empregou o método estatístico da Análise de Componentes Principais (ACP), que foi criada por Hotelling em 1933, com o intuito de reduzir a quantidade de variáveis a serem analisadas em um universo amostral, mas preservando a informação, podendo também ser usada como uma metodologia que realiza agrupamentos de indivíduos com características semelhantes, seleciona variáveis mais importantes em determinadas análises e realiza a ponderação de variáveis num universo amostral (JOLLIFFE, 2002).

A ACP é um método de análise multivariada que transforma um conjunto de dados correlacionados em outro conjunto de dados não correlacionados, chamados de componentes principais. Essas componentes são classificadas pela variância do conjunto de dados não correlacionados, contudo, apesar do método da ACP concentrar as análises na variância, ainda emprega a covariância ou a correlação no cálculo das componentes principais, de maneira que estas são representativas das informações fornecidas pelos dados originais (JOLLIFFE, 2002).

Através do software SPSS 13.0, selecionando a opção de cálculo por correlação, a ACP resultou em duas componentes principais (Tabela 3) que juntas explicavam quase 95% da informação dos dados originais, no qual, segundo o critério de Kaiser, na primeira componente principal se destacam os componentes Acesso, Capacidade, Uso e Meio Ambiente e na segunda componente principal se destaca o componente Recurso, sendo assim, está claro que a primeira componente principal representa o desenvolvimento da sociedade e a preservação do meio ambiente, ou seja, o desenvolvimento sustentável e a segunda componente principal representa os recursos hídricos, desta forma, estas podem ser denominadas de componente principal do desenvolvimento sustentável e dos recursos hídricos, respectivamente. Logo, foi decidido utilizar duas ponderações, uma para a componente principal do desenvolvimento sustentável e outra para a componente principal dos recursos hídricos.

**Tabela 3 – Componentes principais dos componentes do IPH na BHRPB**

	<b>Componentes Principais</b>	<b>Variância</b>	<b>Variância acumulada</b>
1ª Componente	$0,664R + 0,934A + 0,908C - 0,745U - 0,724MA$	64%	64%
2ª Componente	$0,700R - 0,121A - 0,373C - 0,651U + 0,684MA$	31%	95%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota: R = Componente Recurso; A = Componente Acesso; C = Componente Capacidade; U = Componente Uso; MA = Componente Meio Ambiente.

Para a definição dos pesos de cada componente do IPH foi realizada uma razão entre o fator que multiplica o componente do IPH e a soma de todos os fatores da componente principal. Os pesos para os componentes do IPH para a componente principal do desenvolvimento sustentável e para a componente principal dos recursos hídricos são expostos nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

**Tabela 4 – Pesos dos componentes do IPH na BHRPB (componente principal do desenvolvimento sustentável)**

<b>Componentes</b>	<b>Peso</b>
Recurso	0,17
Acesso	0,24
Capacidade	0,23
Uso	0,19
Meio Ambiente	0,18

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 5 – Pesos dos componentes do IPH na BHRPB (componente principal dos recursos hídricos)**

<b>Componentes</b>	<b>Peso</b>
Recurso	0,28
Acesso	0,05
Capacidade	0,15
Uso	0,26
Meio Ambiente	0,27

Fonte: Elaborada pelo autor.

### **3.2.4 Agregação dos componentes**

Para o desenvolvimento do IPH foram realizadas duas agregação, uma primeira que agrega as variáveis, formando os componentes e uma segunda que agrega os componentes, formando o índice. A primeira agregação foi realizada por meio de média aritmética. Contudo, na segunda agregação foi empregada uma média geométrica (Equação 17), que é

diferente da agregação original do IPH (SULLIVAN, 2002), mas devido ao método geométrico não realizar a compensação dos componentes do índice, os resultados do IPH apresentam-se mais representativos; essa variação na agregação dos componentes foi utilizada nos trabalhos de Foguet e Garriga (2011) e Garriga e Foguet (2010), apresentando resultados bem consistentes.

$$IPH = R^{w_R} * A^{w_A} * C^{w_C} * U^{w_U} * MA^{w_{MA}} \quad (17)$$

Em que IPH é o Índice de Pobreza Hídrica, R é o componente Recurso, A é o componente Acesso, C é o componente Capacidade, U é o componente Uso, MA é o componente Meio Ambiente,  $w_R$  é o peso atribuído ao componente Recurso,  $w_A$  é o peso atribuído ao componente Acesso,  $w_C$  é o peso atribuído ao componente Capacidade,  $w_U$  é o peso atribuído ao componente Uso e  $w_{MA}$  é o peso atribuído ao componente Meio Ambiente.

### 3.2.5 Classificação do índice

A fim de tornar o resultado do IPH mais inteligível, foi criada uma classificação nominal, que é apresentada no Quadro 3.

**Quadro 3 – Classificação dos resultados do IPH**

<b>Resultado do IPH</b>	<b>Classificação</b>
0 – 30	Crítica
30 – 40	Alta
40 – 60	Moderada
60 – 90	Baixa
90 – 100	Insignificante

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.0 RESULTADOS

Os primeiros resultados do desenvolvimento do IPH são encontrados na etapa de seleção das variáveis, esta etapa foi a mais extensa e exaustiva, pois nela ocorre a coleta de dados, que devido à necessidade de análise dos bancos de dados, demanda muito tempo. Particularmente, para a BHRPB a coleta de dados foi dificultada, pois o monitoramento e o sistema de informação dos órgãos que gerenciam os recursos hídricos e o meio ambiente, do Estado da Paraíba, são falhos, optando, em alguns casos, pela utilização de estimativas e em casos extremos, pela exclusão de variáveis selecionadas, como foi o caso da variável existência de conflito e da avaliação do sistema de licenciamento ambiental. Contudo, os dados monitorados em escala federal foram prontamente encontrados e apresentaram confiabilidade. Os valores das variáveis do IPH para a BHRPB estão dispostos na Tabela 6.

A seleção de variáveis foi realizada buscando eliminar algumas limitações inerentes ao IPH. Nessa etapa, as limitações relacionadas à escala de bacia foram superadas efetuando manejos nas variáveis que não eram analisadas em nível de bacia hidrográfica, como foi o caso das variáveis do componente Acesso, do componente Capacidade, exceto para a variável participação pública e a variável consumo per capita de água, do componente Uso, que eram fornecidas em escala municipal, contudo, uma vez que haviam sido selecionados os municípios que compunham a BHRPB, então foi possível estimar as variáveis supracitadas para a bacia, através da média ponderada entre as variáveis e as populações dos municípios selecionados para compor a bacia hidrográfica. A variável quantidade de espécies em ameaça de extinção do componente Meio Ambiente era fornecida por biomas, todavia, não foi necessário realizar nenhum manejo, pois as regiões hidrográficas e sub-bacia da BHRPB estão inseridas no bioma caatinga ou mata atlântica.

Outra limitação eliminada na etapa de seleção de variáveis é a relacionada ao componente Recurso, em que há a necessidade de incluir a água disponível proveniente da infraestrutura hídrica. Para tanto foi incluído na variável disponibilidade per capita, as vazões importadas e exportadas por adutoras na BHRPB, solucionando a limitação.

Na Tabela 7 estão os resultados do procedimento de normalização das variáveis do IPH. A forma como foi realizada a normalização, utilizando limites superior e inferior, com base em metas a serem alcançadas e evitadas, respectivamente, tem o objetivo de impedir que em um conjunto de localidades onde se aplique o IPH, sempre haja uma localidade com valor normalizado muito alto e outro muito baixo, como o que ocorreu no trabalho de Komnencic, Ahlers e van der Zaag (2008).

Tabela 6 – Valores das variáveis do IPH para a BHRPB

<b>Componente Recurso</b>				
<b>Variável</b>	<b>Alto Paraíba</b>	<b>Médio Paraíba</b>	<b>Baixo Paraíba</b>	<b>Taperoá</b>
- Disponibilidade per capita de água ( $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{hab}^{-1}$ )	1.237,78	268,60	395,50	556,96
- Índice de qualidade da água	68,00	68,07	66,97	64,48
- Variabilidade quantitativa da água (coeficiente de variação) (%)	18,65	11,08	16,15	33,18
- Variabilidade qualitativa da água (coeficiente de variação) (%)	21,70	12,37	13,38	20,24
<b>Componente Acesso</b>				
<b>Variável</b>	<b>Alto Paraíba</b>	<b>Médio Paraíba</b>	<b>Baixo Paraíba</b>	<b>Taperoá</b>
- Acesso ao abastecimento de água (%)	71,44	89,22	90,19	70,90
- Acesso ao esgotamento sanitário (%)	36,25	71,53	53,80	43,88
- Acesso à irrigação (%)	9,26	3,62	12,76	1,61
<b>Componente Capacidade</b>				
<b>Variável</b>	<b>Alto Paraíba</b>	<b>Médio Paraíba</b>	<b>Baixo Paraíba</b>	<b>Taperoá</b>
- PIB per capita ( $\text{R}\$. \text{hab}^{-1}$ )	5.391,72	9.523,82	12.103,37	5.166,37
- Índice de GINI	0,40	0,43	0,46	0,39
- Taxa de Mortalidade infantil em menores de 5 anos (‰)	19,26	18,18	14,04	22,58
- Índice de educação	0,69	0,76	0,77	0,70
- Participação Pública	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Componente Uso</b>				
<b>Variável</b>	<b>Alto Paraíba</b>	<b>Médio Paraíba</b>	<b>Baixo Paraíba</b>	<b>Taperoá</b>
- Consumo per capita de água ( $\text{L} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ )	96,90	108,41	112,45	95,55
- Eficiência monetária do uso agropecuário ( $\text{R}\$. \text{m}^{-3}$ )	1,21	1,63	2,40	5,76
- Eficiência monetária do uso industrial ( $\text{R}\$. \text{m}^{-3}$ )	215,91	114,27	267,09	367,32
<b>Componente Meio Ambiente</b>				
<b>Variável</b>	<b>Alto Paraíba</b>	<b>Médio Paraíba</b>	<b>Baixo Paraíba</b>	<b>Taperoá</b>
- Porcentagem de cobertura vegetal (%)	64,38	32,43	14,28	60,58
- Quantidade de espécies em ameaça de extinção	9	9	28	9
- Variação da safra (%)	21,70	6,55	-11,30	-3,81
- Eficiência na outorga (%)	13,64	25,00	21,37	7,79

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 7 – Valores normalizados das variáveis do IPH da BHRPB

<b>Componente Recurso</b>				
<b>Variável</b>	<b>Alto Paraíba</b>	<b>Médio Paraíba</b>	<b>Baixo Paraíba</b>	<b>Taperoá</b>
- Disponibilidade per capita de água	61,48	0,00	0,00	4,75
- Índice de qualidade da água	68,00	68,07	66,97	64,48
- Variabilidade quantitativa da água (coeficiente de variação)	37,83	63,08	46,16	0,00
- Variabilidade qualitativa da água (coeficiente de variação)	27,66	58,75	55,39	32,54
<b>Componente Acesso</b>				
<b>Variável</b>	<b>Alto Paraíba</b>	<b>Médio Paraíba</b>	<b>Baixo Paraíba</b>	<b>Taperoá</b>
- Acesso ao abastecimento de água	71,44	89,22	90,19	70,90
- Acesso ao esgotamento sanitário	36,25	71,53	53,80	43,88
- Acesso à irrigação	9,26	3,62	12,76	1,61
<b>Componente Capacidade</b>				
<b>Variável</b>	<b>Alto Paraíba</b>	<b>Médio Paraíba</b>	<b>Baixo Paraíba</b>	<b>Taperoá</b>
- PIB per capita	5,23	10,15	13,22	4,96
- Índice de GINI	57,05	48,22	39,02	61,04
- Taxa de Mortalidade infantil em menores de 5 anos	100,00	100,00	100,00	91,40
- Índice de educação	51,95	63,63	64,10	53,86
- Participação Pública	70,42	70,42	70,42	70,42
<b>Componente Uso</b>				
<b>Variável</b>	<b>Alto Paraíba</b>	<b>Médio Paraíba</b>	<b>Baixo Paraíba</b>	<b>Taperoá</b>
- Consumo per capita de água	93,81	91,59	87,55	91,11
- Eficiência monetária do uso agropecuário	1,31	2,36	4,33	12,88
- Eficiência monetária do uso industrial	52,80	26,73	65,92	91,62
<b>Componente Meio Ambiente</b>				
<b>Variável</b>	<b>Alto Paraíba</b>	<b>Médio Paraíba</b>	<b>Baixo Paraíba</b>	<b>Taperoá</b>
- Porcentagem de cobertura vegetal	83,66	34,50	6,59	77,81
- Quantidade de espécies em ameaça de extinção	87,50	87,50	64,56	87,50
- Variação da safra	60,85	53,28	44,35	48,09
- Eficiência na outorga	13,64	25,00	21,37	7,79

Fonte: Elaborada pelo autor.

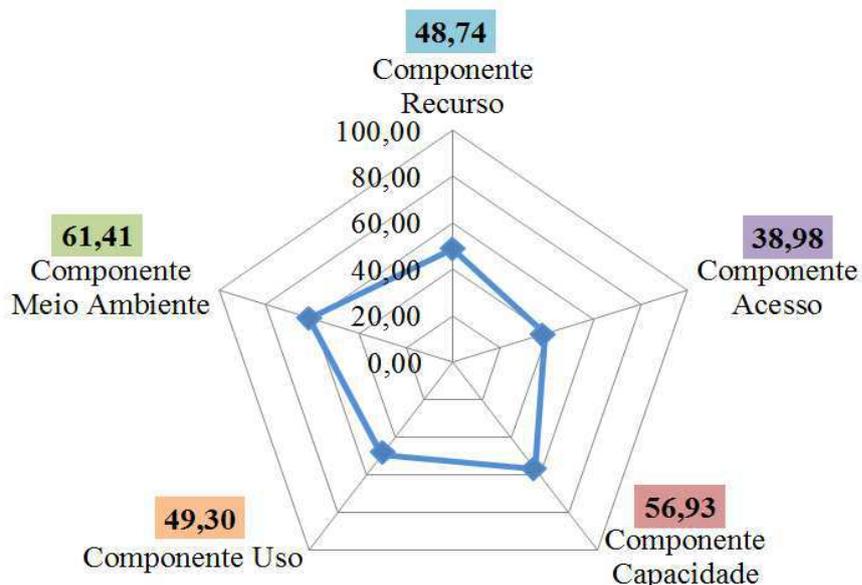
Naquela ocasião os países estudados por Komnenic, Ahlers e van der Zaag (2008), mesmo tendo características muito semelhantes, alguns foram classificados com baixa pobreza hídrica e outros com alta pobreza hídrica, devido à normalização ter sido realizada pelos valores extremos do conjunto de dados, dos países estudados.

A etapa de ponderação teve o intuito de dar pesos as variáveis e aos componentes com o mínimo de critérios subjetivos, logo foi utilizada a ponderação por método estatístico, eliminando a limitação da ponderação subjetiva, que torna a implementação do índice passível de interpretações errôneas e muitas vezes incomparável com outras implementações do IPH.

Também é importante ressaltar que, os resultados da aplicação do método da ACP apresentaram duas componentes bem consistentes com a base conceitual do IPH, pois uma das ponderações ressalta o desenvolvimento sustentável e a outra os recursos hídricos.

A primeira agregação resulta nos valores dos componentes para as áreas estudadas. Na Figura 13 estão os valores dos componentes para a Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba, na qual o componente Meio Ambiente obteve o maior resultado, apresentando um valor em torno de 60 pontos, maior pontuação de toda a BHRPB para o componente. Por sua vez, o Acesso apresentou o pior resultado para a região hidrográfica, estando abaixo de 40 pontos. Enquanto isso, os demais componentes obtiveram resultados moderados, mesmo assim, o componente Recurso foi o que apresentou o melhor resultado de toda a bacia hidrográfica.

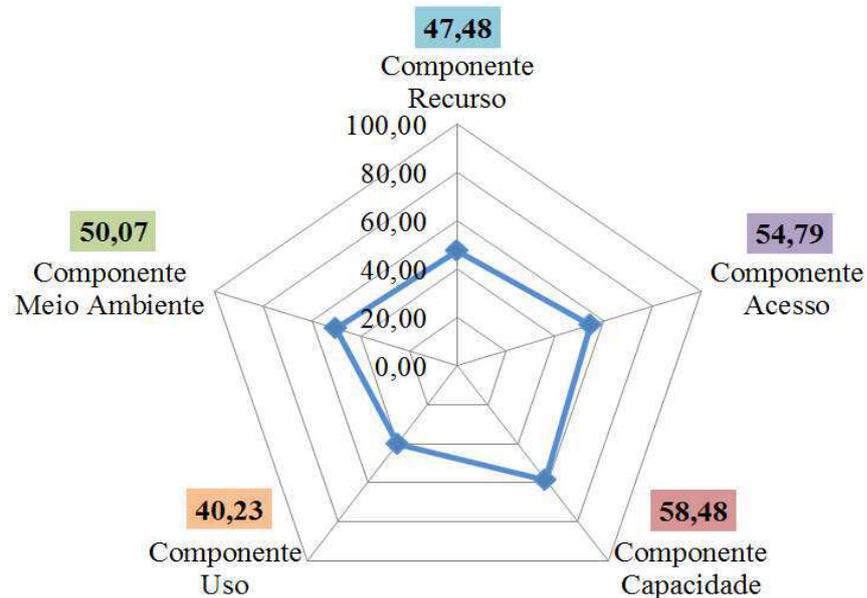
**Figura 13 – Componentes do IPH da Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba**



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Região Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba tem os resultados dos componentes do IPH apresentados na Figura 14, sendo que todos esses apresentaram valores moderados e os mais homogêneos de toda a bacia. Contudo, os componentes Acesso e Capacidade, foram os maiores de toda a BHRPB, e o componente Recurso esteve com valores próximos do Alto Paraíba que possui o melhor resultado para o componente na BHRPB. Por outro lado, o componente Uso foi o pior de todas as áreas estudadas, apresentando um valor pouco maior que 40 pontos.

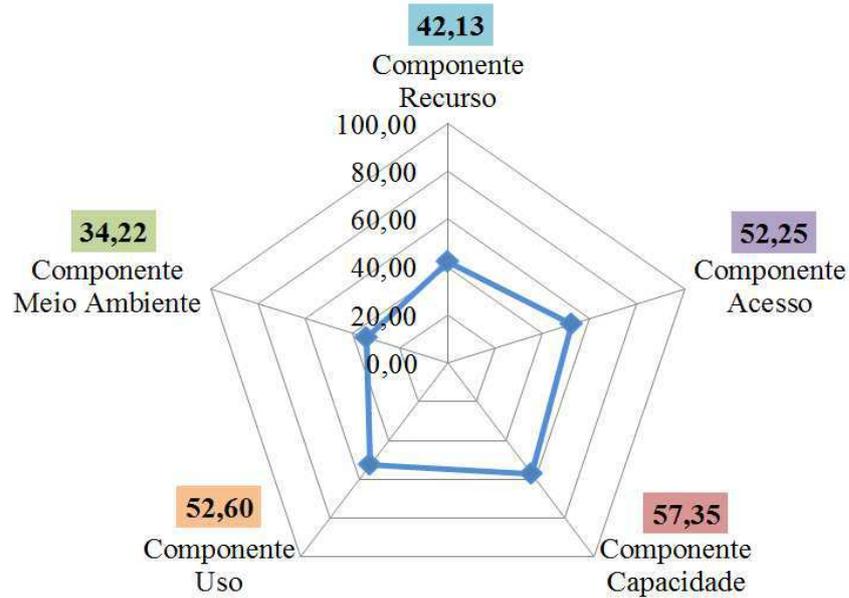
**Figura 14 – Componentes do IPH da Região Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba**



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o Baixo Paraíba os componentes do IPH são apresentados na Figura 15, apresentando resultados de moderados a baixos. Os componentes Acesso, Capacidade e Uso foram os melhores para a região hidrográfica, enquanto que, o componente Meio Ambiente apresentou um valor baixo não só para a região, mas para toda a BHRPB, estando abaixo de 40 pontos.

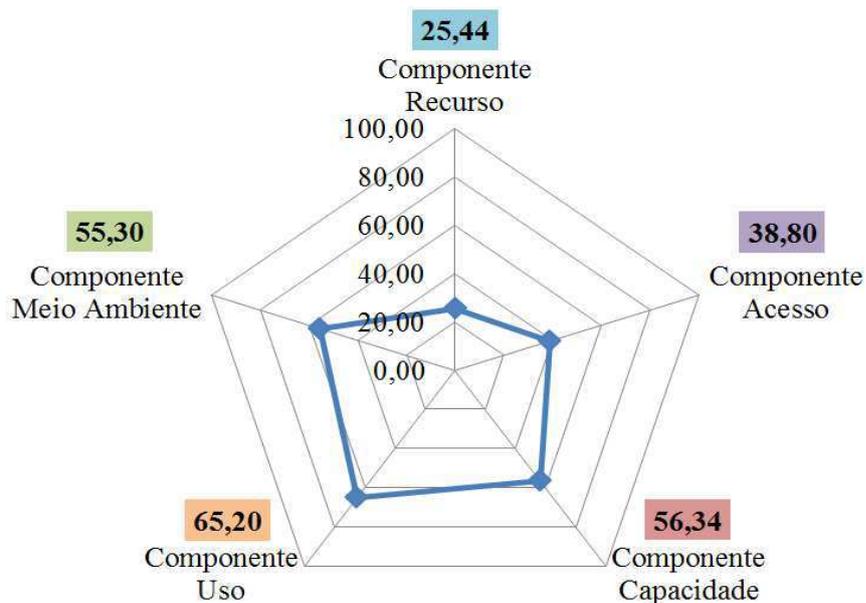
**Figura 15 – Componentes do IPH da Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba**



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 16 apresenta os componentes da Sub-bacia do Taperoá, sendo os componentes Capacidade, Uso e Meio Ambiente de melhores valores, sendo que o componente Uso possui a maior pontuação de toda a BHRPB, estando acima de 60 pontos. Todavia, os componentes Acesso e Recurso são os piores de toda a BHRPB, com uma pontuação abaixo de 40 e 30 pontos, respectivamente.

**Figura 16 – Componentes do IPH da Sub-bacia do Taperoá**



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados da segunda agregação são os IPH's para cada região hidrográfica e sub-bacia da BHRPB, que segundo a classificação feita na Seção 3.2.5, todas as áreas estudadas foram categorizadas como de pobreza hídrica moderada, independente do tipo de ponderação utilizada. Os resultados para os IPH's das áreas em estudo, utilizando a ponderação pela componente principal relacionada ao desenvolvimento sustentável e a componente principal dos recursos hídricos, são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Resultados dos IPH's para a BHRPB, utilizando a ponderação pela componente principal do desenvolvimento sustentável e a componente principal dos recursos hídricos**

<b>Área de estudo</b>	<b>IPH – Componente principal do desenvolvimento sustentável</b>	<b>IPH – Componente principal dos recursos hídricos</b>
Alto Paraíba	50,08	52,68
Médio Paraíba	50,41	47,92
Baixo Paraíba	47,73	44,59
Taperoá	46,29	45,92

Fonte: Elaborada pelo autor.

Diante dos resultados é possível verificar que, na ponderação com a componente principal do desenvolvimento sustentável o Médio Paraíba apresenta IPH levemente maior que o Alto Paraíba, sendo seguido pelo Baixo Paraíba e o Taperoá com resultado menor, mas semelhantes. Entretanto, ao aplicar a ponderação com a componente principal dos recursos hídricos o Alto Paraíba apresentou um resultado maior e destoante das demais áreas em estudo, sendo o Médio Paraíba a área com segundo maior IPH, seguido do Taperoá e do Baixo Paraíba, com valores novamente semelhantes entre si.

Outro aspecto importante a ser levado em consideração é que o conjunto de resultados do IPH, utilizando a componente principal associada ao desenvolvimento sustentável é mais homogêneo que o conjunto de dados da componente principal dos recursos hídricos, indicando que as características socioeconômicas da BHRPB são mais homogêneas que as características relacionadas aos recursos hídricos.

Uma análise de correlação entre o IPH e seus componentes foi realizada, estando os resultados apresentados na Tabela 9. Foi verificado que o valor do IPH ponderado pela componente principal do desenvolvimento sustentável possui alta correlação com os componentes Recurso, Capacidade e Uso, enquanto que o valor do IPH ponderado pela componente principal dos recursos hídricos possui alta correlação com o componente Meio Ambiente e praticamente nenhuma correlação com o componente Capacidade. Além disso,

entre os componentes do IPH foi verificada alta correlação entre os componentes Uso e Recurso; Acesso e Capacidade; Acesso e Meio Ambiente e Capacidade e Uso.

**Tabela 9 – Correlação do IPH e seus componentes**

	<b>R</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>U</b>	<b>MA</b>	<b>IPH CPDS</b>	<b>IPH CPRH</b>
R	1						
A	0,44	1					
C	0,68	0,88	1				
U	-0,91	-0,67	-0,91	1			
MA	-0,03	-0,73	-0,32	0,08	1		
IPH CPDS	0,92	0,33	0,71	-0,92	0,27	1	
IPH CPRH	0,56	-0,44	0,00	-0,38	0,78	0,70	1

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota: R = Componente Recurso; A = Componente Acesso; C = Componente Capacidade; U = Componente Uso; MA = Componente Meio Ambiente; IPH = Índice de Pobreza Hídrica; CPDS = Componente Principal do Desenvolvimento Sustentável; CPRH = Componente Principal dos Recursos Hídricos.

## **5.0 DISCUSSÃO**

### **5.1 Sobre as soluções das limitações do Índice de Pobreza Hídrica**

O objetivo de solucionar as limitações inerentes ao IPH foi alcançada em parte, pois foi solucionado as limitações de escala espacial no nível de bacia, da ponderação subjetiva e do componente Recurso, mas as limitações relacionadas a escala temporal, a padronização do IPH, a distinção entre IPH na zona urbana e na zona rural e dos componentes Uso e Meio Ambiente, não foram solucionadas nesse trabalho.

A limitação da escala espacial em nível de bacia foi solucionada através de manejos nas variáveis, apresentados na Seção 4.0. Contudo, apesar da escala de bacia necessitar de estimativas referente às variáveis que não são fornecidas em escala de bacia, a bacia hidrográfica é a unidade básica de planejamento e gerenciamento, por excelência, da PNRH e da PoERH, de maneira que os estudos sobre os recursos hídricos devem ser realizados nessa escala espacial, tornando viável o conceito de GIRH. Além disso, na escala de bacia não é necessário fazer estimativas sobre a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, que são muito mais difíceis de realizar que as estimativas para variáveis representativas da situação socioeconômica de uma área.

Expandindo a discussão da escala espacial em nível de bacia, para todas as escalas de atuação do IPH, com o intuito de buscar a cobertura de uma nação pelo índice, foi levantada a hipótese que se houvesse a aplicação de um IPH padronizado em escala de sub-bacia, cobrindo toda a extensão de um país, poderiam ser solucionadas as limitações da escala espacial em todas as escalas, uma vez que, o país poderia ser totalmente analisado eliminando a superficialidade do IPH em escala nacional, utilizando um nível de detalhamento similar ao da escala de comunidade, sem tornar o índice impraticável, devido ao excesso de detalhamento, unindo as vantagens relacionadas à realização do planejamento dos recursos hídricos dentro de uma bacia hidrográfica.

Além do supracitado, a aplicação de um IPH padronizado, poderia solucionar a limitação do IPH relacionada à padronização do mesmo. Essa aplicação ocorreria através de um IPH com variáveis e pesos bem definidos, aplicando esse modelo de forma igualitária em toda a extensão de um país, sendo possível realizar comparações e eliminar possíveis sobreposições de informação, devido às variáveis que apresentassem o mesmo significado.

Com relação à limitação da ponderação subjetiva, foi verificado que o método estatístico da ACP apresentou resultados bem consistentes com a base conceitual do IPH, segregando as ponderações em dois aspectos, o do desenvolvimento sustentável e o dos

recursos hídricos, que juntos completam a base conceitual da pobreza hídrica, discutida na Seção 2.3.4.

Por outro lado, a limitação do componente Recurso foi solucionada inserindo as vazões importadas e exportadas por adutoras, adicionando as disponibilidades provenientes da infraestrutura. Todavia, ainda há dificuldade em adquirir informações relacionadas aos recursos hídricos, devido ao monitoramento e ao sistema de informação ser, na maioria das localidades, falho. Em especial, na BHRPB o monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos, apesar de ser realizado periodicamente, ocorre apenas nos principais açudes da bacia e o sistema de informação não disponibiliza os dados prontamente aos interessados. Esses problemas trouxeram dificuldades para o desenvolvimento do IPH na BHRPB, além dos problemas supracitados no componente Recurso, como as estimativas que necessitaram ser feitas no componente Uso, para as variáveis eficiência monetária do uso agropecuário e eficiência monetária do uso industrial, bem como, a exclusão das variáveis existência de conflito e avaliação do sistema de licenciamento ambiental.

Quanto às limitações que não foram solucionadas nesse trabalho, foi levantada a hipótese de que, a limitação da escala temporal poderia ser solucionada realizando uma análise periódica do IPH, sempre que houvesse uma atualização nos dados socioeconômicos, que no caso da BHRPB ocorre a cada 10 anos, no censo demográfico, pois este conjunto de dados são os que possuem um período maior para serem atualizados. Por outro lado, a limitação da diferença entre IPH na zona rural e zona urbana, não faz sentido em escala de bacia, pois a bacia hidrográfica é composta por ambas as zonas.

Por sua vez, as limitações dos componentes Uso e Meio Ambiente não foram solucionadas, pois na metodologia do desenvolvimento do IPH, não houve o intuito de modificar a base conceitual do índice, apenas de utilizar variáveis já aplicadas em outras implementações do IPH.

Apesar do IPH ainda possuir limitações, ressalta-se que não existem índices ou indicadores perfeitos, de fato, índices e indicadores tem o objetivo de representar o sistema e não descrevê-lo em sua complexidade. Mesmo assim, as limitações que puderam ser solucionadas nesse trabalho fornecem uma melhoria na metodologia do IPH, tornando-a mais robusta e aplicável, pelo menos, para a BHRPB.

## **5.2 Sobre a avaliação da adequação do Índice de Pobreza Hídrica a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba**

Relacionado ao objetivo de realizar uma avaliação da adequação do Índice de Pobreza Hídrica para a BHRPB, foi verificado que, a classificação das regiões hidrográficas e sub-bacia da BHRPB como de pobreza hídrica moderada foi representativa, pois em todas as áreas estudadas o conjunto de resultados dos componentes do IPH foi moderado, ocorrendo resultados de alta pontuação apenas para os componentes Meio Ambiente e Uso, para o Alto Paraíba e o Taperoá, respectivamente, possuindo acima de 60 pontos. Por outro lado, apenas os componentes Acesso para o Alto Paraíba e o Taperoá, o componente Meio Ambiente para o Baixo Paraíba e o componente Recurso para o Taperoá possuem resultados de baixa pontuação, com valores entre 25 e 40 pontos. Os demais componentes pontuaram entre 40 e 60 pontos. Desta forma, por haver componentes com resultados altos, baixos e a maioria dos componentes possuem valores de pobreza hídrica moderada, o resultado final do IPH foi equilibrado.

Esse resultado descreve bem a BHRPB, pois esta é uma bacia, em que as fontes hídricas estão comprometidas quantitativamente e qualitativamente, como no caso da Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba em que apesar de possuir alta disponibilidade hídrica, boa parte dessa está comprometida com o abastecimento de municípios fora da região hidrográfica, através do Açude de Boqueirão. Ressalta-se também que praticamente metade da demanda hídrica do Baixo Paraíba é fornecida pela Bacia do Rio Gramame. Além disso, a qualidade da água apresenta restrições para usos domésticos, agropecuários e industriais, exceto a água subterrânea da Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba, que possui uma qualidade superior.

Contudo, o acesso aos usos múltiplos nos grandes centros urbanos é bem difundido, em especial o uso doméstico, apesar do esgotamento sanitário e da irrigação não ser tão difundido. A população, apesar de apresentar bons resultados para a saúde, se encontra em situação socioeconômica e educacional razoável, enquanto que os usos são muito ineficientes, principalmente nas Regiões Hidrográfica do Médio e Baixo cursos do Rio Paraíba.

Por outro lado, o meio ambiente se encontra mais preservado no interior da bacia e mais degradado no litoral, devido à urbanização e atividades agropecuárias.

Logo, o resultado do IPH como de pobreza hídrica moderada, indica que devem ser realizadas ações em todos os componentes analisados pelo índice, nas diferentes regiões hidrográficas e sub-bacia.

No trabalho de Almeida, Lira e Curi (2012) o resultado do IPH foi similar ao encontrado nesse trabalho, todavia, os autores implementaram o IPH apenas para a Região

Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba, no qual o acesso aos usos múltiplos fizeram toda a diferença no resultado final do IPH, assim como no presente trabalho.

Houveram dois conjuntos de resultados relacionados às ponderações empregadas no IPH, na ponderação com a componente principal do desenvolvimento sustentável o Médio Paraíba foi um pouco melhor que o Alto Paraíba, sendo seguidos pelo Baixo Paraíba e o Taperoá, que obtiveram resultados semelhantes, isso ocorreu porque nessa ponderação é realçada a importância dos componentes Acesso e Capacidade, os quais o Médio Paraíba apresenta os melhores resultados para toda a BHRPB, mas ressalta-se que mesmo o Baixo Paraíba apesar de apresentar valores semelhantes ao Médio Paraíba, para os componentes Acesso e Capacidade, possui um valor entre 30 e 40 pontos para o componente Meio Ambiente.

Por sua vez, para a ponderação com a componente principal dos recursos hídricos, o Alto Paraíba foi bem melhor que as demais áreas estudadas, sendo seguidas do Médio Paraíba, Taperoá e o Baixo Paraíba, essa mudança ocorreu porque nessa ponderação foram ressaltados os componentes Recurso, Meio Ambiente e Uso, em que o Alto Paraíba possui altos resultados, enquanto que o componente Acesso, o qual possui valores entre 30 e 40 pontos para o Alto Paraíba e o Taperoá, possui uma baixa importância, fazendo com que a região do Alto Paraíba apresentasse um resultado mais discrepante das demais áreas em estudo.

Além disso, destaca-se que os resultados da ponderação pela componente principal do desenvolvimento sustentável foram mais homogêneos que os resultados para a ponderação com a componente principal dos recursos hídricos, mostrando que as formas de ponderação também foram representativas, uma vez que as características socioeconômicas da BHRPB, representadas pela componente principal do desenvolvimento sustentável, também são bem homogêneas, enquanto que a situação dos recursos hídricos, representada pela componente principal dos recursos hídricos, varia bastante ao longo da bacia.

### **5.3 Sobre a análise dos componentes do Índice de Pobreza Hídrica**

Assim como discutido por Molle e Mollinga (2003), o valor do IPH está relacionado com uma possível análise dos componentes, que pode indicar quais os setores que necessitam de maior atenção, elegendo prioridades no gerenciamento dos recursos hídricos. Desta forma, torna-se necessário discuti-los mais profundamente, realizando o objetivo de avaliar a pobreza hídrica da BHRPB, para ser entendida melhor a adequação do IPH a esta.

O Alto Paraíba possui o maior valor para o componente Recurso de toda a BHRPB, o que o tornou a área com maior valor de pobreza hídrica na ponderação com a componente principal dos recursos hídricos. Esse resultado foi devido, principalmente, à alta disponibilidade per capita de água, caracterizada pela presença de grandes fontes hídricas superficiais e poucos habitantes, apesar de alta variabilidade quantitativa e qualitativa, características do clima semiárido, no qual a pequena açudagem, fontes hídricas muito importantes da região, secam na época de estiagem, quando mais se precisam destas. A qualidade da água medida pelo IQA foi de um valor médio a alto, assim como em todas as áreas da BHRPB.

O componente Acesso apresentou um valor entre 30 e 40 pontos, sendo o componente que necessita de maior atenção na Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba, devido à variável acesso ao esgotamento sanitário e acesso à irrigação, terem baixos resultados, contudo, a irrigação é ruim em toda a extensão da BHRPB e o esgotamento sanitário é pior no Alto Paraíba e no Taperoá. A cobertura do abastecimento de água por rede de abastecimento não chega a 70% da população, bem abaixo das Regiões Hidrográficas do Médio e Baixo cursos do Rio Paraíba que possuem mais de 80% da população com abastecimento de água por rede.

Com relação ao componente Capacidade foi obtido um valor moderado, igualmente as demais áreas da BHRPB, com baixo valor da variável PIB per capita, sendo similar a Sub-bacia do Taperoá e menor que o Médio e Baixo Paraíba, o índice de GINI apresenta o mesmo comportamento anteriormente mencionado. A variável índice de educação tem valor próximo a 0,69, similar ao resultado do Taperoá e um pouco menor que o Médio e Baixo Paraíba. A taxa de mortalidade infantil em menores de 5 anos é bem baixo, apesar da situação difícil em que se encontra o setor de saúde da área, podendo, este resultado, ser explicado pelos programas de saúde na família, que acompanham a saúde das crianças.

Destaca-se que a variável participação pública é igual em toda a extensão da BHRPB, pois só existe um comitê de bacia na BHRPB, apresentando resultados altos, uma vez que as reuniões do comitê de bacia ocorrem como o planejado para o ano, mas a assiduidade às reuniões é baixa, principalmente em relação aos representantes dos municípios que compõem a bacia, contudo, com base nas atas de reunião do ano de 2012, foi verificado que os assuntos discutidos ainda estão aquém do objetivo do CBH-PB, com um caráter mais informativo e menos tomador de decisão, não havendo discussões nem sobre os conflitos existentes na bacia, o que impossibilitou a utilização da variável existência de conflito no componente Acesso.

Sobre o componente Uso, o Alto Paraíba apresentou um valor moderado, no qual a variável consumo per capita apresentou um resultado bem próximo do valor ótimo recomendado pela Organização das Nações Unidas (ONU), no entanto, toda a BHRPB apresenta resultados similares, sendo o Médio e Baixo Paraíba com o consumo per capita um pouco maior. A variável eficiência monetária do uso agropecuário foi representativa para a região hidrográfica, pois o setor não é tão eficiente, direcionado a atividades de subsistência, todavia, para a variável eficiência monetária do uso industrial, o resultado não foi representativo, explicada pela falta de registros do uso industrial da água e/ou pelo fato de grande parte do PIB industrial do Alto Paraíba ser proveniente da extração de minérios como bentonita, caulim e rochas graníticas, que não necessitam de água para ser realizada.

O componente Meio Ambiente para o Alto Paraíba foi o melhor de toda a BHRPB, destacando-se as variáveis cobertura vegetal e a variação da safra, no qual a primeira obteve resultado alto pela preservação das áreas de caatinga na região, bem como na Sub-bacia do Taperoá, e a segunda, porque teve um aumento na safra de mais de 20% no período estudado. A quantidade de espécies em ameaça de extinção é baixa, bem como em todas as áreas em que foi considerado dentro do bioma caatinga. Por outro lado a variável que mede a eficiência na outorga mostra que este instrumento é mais difundido no Médio e Baixo Paraíba.

Sendo assim, foi verificada a necessidade de maior atenção ao acesso aos usos múltiplos na Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba, necessitando de melhorias também na eficiência dos usos múltiplos, no desenvolvimento da irrigação e na atuação dos órgãos responsáveis pelos recursos hídricos e o meio ambiente na região.

Ao analisar a Região Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba, foi verificado que o componente Recurso obteve valor bem próximo do Alto Paraíba, devido à baixa variabilidade quali-quantitativa dos recursos hídricos. A disponibilidade per capita de água na área é bem pouca, muito abaixo do valor considerado por Falkenmark (1989) apud Brown e Matlock (2011) como de escassez absoluta, ou seja, abaixo de  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{hab}^{-1}$ , explicada pela baixa quantidade de água disponível e grande quantidade de habitantes.

O componente Acesso foi o de melhor resultado no Médio Paraíba e toda a BHRPB, pois tanto a variável acesso ao abastecimento de água, quanto a variável acesso ao esgotamento sanitário tiveram altos resultados, reflexo da alta urbanização dessa área, apesar do baixo acesso a irrigação compartilhado por toda a BHRPB. Este componente foi responsável pela região do Médio Paraíba apresentar valor de IPH maior que as demais áreas estudadas, na ponderação pela componente principal do desenvolvimento sustentável.

Relacionado ao componente Capacidade, o resultado é um pouco melhor que no Alto Paraíba e no Taperoá, mas similar ao do Baixo Paraíba, apresentando esse comportamento para as variáveis PIB per capita, índice de GINI e índice de educação. No entanto, os valores da variável taxa de mortalidade infantil em menores de 5 anos é similar para toda a bacia.

Por sua vez, o componente Uso apresentou o pior resultado para o Médio Paraíba e toda a BHRPB, no qual, apesar da variável consumo per capita ser bem próximo do valor ótimo recomendado pela ONU, as eficiências monetárias do uso agropecuário e industrial possuem valores bem baixos, necessitando serem desenvolvidas ações prioritárias a esses usos na região hidrográfica.

Juntamente com o componente Uso, o componente Meio Ambiente possui resultados moderados, necessitando ser tratada como prioridade na GIRH, devido, principalmente, à baixa cobertura vegetal, consequência da alta urbanização da área, apesar da quantidade de espécies ameaçadas de extinção ser pouca, de ter tido um aumento na safra 6,5% entre os anos de 2006 e 2011 e do instrumento de outorga ser o mais difundido de toda a BHRPB.

Logo, a Região Hidrográfica do Médio curso do Rio Paraíba possui maior necessidade de ações relacionadas ao aumento da disponibilidade de água na região, além de melhorias na eficiência dos usos múltiplos, no desenvolvimento da irrigação, na distribuição de renda e na integridade do meio ambiente, prejudicada pela alta urbanização da área.

Analisando os resultados dos componentes para Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba, foi verificado que o componente Recurso apresentou um valor moderado, devido à disponibilidade per capita de água ser abaixo de  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{hab}^{-1}$ , que mesmo sendo uma região com uma disponibilidade absoluta de água alta, possui uma população muito grande, diminuindo a quantidade disponível per capita. O IQA da região é igual as demais áreas da bacia, mesmo esta sendo uma área que possui melhor qualidade das águas, contudo, essa qualidade é referente às águas subterrâneas e não superficiais, porém, devido à limitação no monitoramento da qualidade da água na BHRPB, só foi possível analisar a qualidade da água dos principais açudes da bacia.

Relacionado ao componente Acesso, foi apresentado um valor moderado, explicado pela variável acesso ao abastecimento de água apresentar um valor maior de 90 e um valor na variável acesso ao esgotamento sanitário pouco maior que 53, os melhores resultados para acesso estão concentrados nas áreas urbanas da Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba. O acesso a irrigação é um pouco melhor que nas demais áreas da BHRPB, pois é nessa região hidrográfica onde há uma agricultura mais desenvolvida, contudo, o valor ainda é muito insipiente.

O componente Capacidade possui um valor moderado para o Baixo Paraíba, tendo o maior valor para as variáveis PIB per capita e índice de GINI, ou seja, é o local mais rico da BHRPB e que tem a pior distribuição dessa riqueza, também possui o maior valor para a variável índice de educação, sendo bem próximo do valor da região do Médio Paraíba. A taxa de mortalidade infantil em menores de 5 anos é baixa, como em toda a BHRPB.

Por sua vez, o componente Uso apresenta-se como característica positiva da Região Hidrográfica do Baixo curso do Rio Paraíba. No qual, a variável consumo per capita de água é similar as demais áreas da bacia, enquanto que apresenta bons resultados para as variáveis eficiência monetária do uso agropecuário e do uso industrial, sendo representativo, pois é a área da BHRPB, em que a agricultura e a industrialização são mais desenvolvidas.

Por outro lado, o componente Meio Ambiente apresenta os piores resultados do Baixo Paraíba e de toda a BHRPB, caracterizado pela baixa cobertura vegetal, devido à alta urbanização da área, sucedendo no cenário que praticamente acabou com a mata atlântica da BHRPB e conseqüentemente com a fauna, refletido no resultado da variável quantidade de espécies em ameaça de extinção, no qual o Baixo Paraíba apresenta a maior quantidade de espécies em ameaça de extinção de toda a bacia. Além disso, a safra diminuiu em mais de 11% no período estudado. Contudo, o instrumento de outorga é difundido nessa área, sendo similar ao valor encontrado no Médio Paraíba.

Resumindo, o Baixo Paraíba necessita de ações mais incisivas quanto ao aumento da disponibilidade de água, melhorias no desenvolvimento da irrigação, na distribuição de renda e na integridade do meio ambiente, esta muito afetada pela alta urbanização da área.

Por fim, ao analisar a Sub-bacia do Taperoá, foi verificado que o pior resultado do componente Recurso de toda a bacia se encontra nessa área. Situação explicada pela alta variabilidade quali-quantitativa dos recursos hídricos, característica do clima semiárido da sub-bacia. Apesar de apresentar uma disponibilidade per capita um pouco maior que a do Médio e Baixo Paraíba, devido a baixa quantidade de habitantes na região. O valor para o IQA médio é similar ao de toda a BHRPB.

O componente Acesso também apresenta resultado de alta pobreza hídrica, sendo juntamente com o componente Recurso o responsável pela Sub-bacia do Taperoá ter a maior pobreza hídrica da BHRPB, na ponderação pela componente desenvolvimento sustentável, necessitando de ações prioritárias nesses dois aspectos. O resultado do componente Acesso é devido ao baixo acesso ao esgotamento sanitário, menor acesso ao abastecimento de água da bacia e praticamente nenhum acesso à irrigação.

Com relação ao componente Capacidade, a sub-bacia do Taperoá apresenta resultados semelhantes ao do Alto Paraíba para as variáveis PIB per capita, índice de GINI e índice de educação e resultado similar ao de toda a bacia para a variável taxa de mortalidade infantil em menores de 5 anos.

No componente Uso, o Taperoá se destaca positivamente, pois em todas as variáveis obteve altos resultados, maiores até que o do Baixo Paraíba. Contudo, para a variável eficiência monetária do uso agropecuário os resultados foram inconsistentes, pois a Sub-bacia do Taperoá não possui uma agropecuária eficiente, muito menos mais eficiente que a do Baixo Paraíba, podendo ser explicada por uma diminuição do valor do dado de volume de água usado na agropecuária para a Sub-bacia do Taperoá, devido à falta de registros do uso da água na área, o problema pode ser explicado também, devido à agricultura da região ser de sequeiro, que aproveita o período chuvoso para plantar, sem a necessidade de irrigação. De maneira similar, a variável eficiência monetária do uso industrial obteve resultados inconsistentes, pois o Taperoá apresenta resultados maiores que o Médio e Baixo Paraíba, que têm um setor industrial bem mais desenvolvido, podendo ser explicada pela falta de registros do uso industrial da água e/ou pelo fato de grande parte do PIB industrial do Taperoá ser proveniente da extração de minérios como bentonita, caulim e rochas graníticas, que não necessitam de água para ser realizada.

Quanto ao componente Meio Ambiente a Sub-bacia do Taperoá apresentou bons resultados, com uma boa cobertura vegetal, poucas espécies ameaçadas de extinção, uma perda de safra pequena, apesar de ter o instrumento de outorga muito pouco difundido na área.

Assim, foi verificada a necessidade de investimentos no aumento da disponibilidade de água, principalmente através de fontes de água mais seguras, que sofram menos com as características do clima local, além disso, torna-se importante realizar atividades que melhorem o desenvolvimento da irrigação, bem como o acesso aos usos múltiplos, a eficiência destes usos e a atuação dos órgãos responsáveis pelos recursos hídricos e o meio ambiente na sub-bacia.

A análise dos componentes do IPH, de cada região hidrográfica e sub-bacia da BHRPB, subsidia informações muito valiosas a GIRH, como a clara necessidade de aumento de disponibilidade de água em toda BHRPB, exceto no Alto Paraíba, aumento da cobertura de abastecimento de água e esgotamento sanitário na região do Alto Paraíba e Sub-bacia do Taperoá e do acesso a irrigação, em toda a BHRPB, principalmente nas regiões que buscam desenvolver o sistema agrícola; do melhoramento da distribuição de renda no Médio e no Baixo Paraíba; do aumento da eficiência do uso da água nos setores agropecuário e industrial

em toda a bacia, mas em especial no Médio Paraíba; e da melhoria da preservação e produtividade do meio ambiente, principalmente no Médio e Baixo Paraíba.

Também, torna-se importante ressaltar que as ações prioritárias apontadas pela análise dos componentes do IPH são muito semelhantes às ações dos programas propostos pelo PERH. No qual, foi verificado que os Programas nº 12, 13, 16, 17, 19 e 20, estão diretamente relacionados ao aumento de disponibilidade de água, seja através de obras como a inserção do Estado da Paraíba no modelo de gestão do projeto de integração do Rio São Francisco com bacias do nordeste setentrional e recuperação e manutenção de açudes ao longo do Estado da Paraíba, ou através de ações operacionais, realizando uma operação integrada dos reservatórios, otimização do uso dos pequenos açudes, que são vitais para o Estado da Paraíba e o melhor aproveitamento dos aquíferos cristalinos, que cobrem 87% do território paraibano, e dos aquíferos de formações sedimentares ou aluviais, que possuem água de melhor qualidade.

Aumentar a disponibilidade não ocorre apenas com a gestão da oferta, mas também com a gestão da demanda, portanto, o PERH também propõe programas para melhorar o uso dos recursos hídricos, sendo proposto nos Programas nº 5, 22 e 23, ações que visam a cobrança pelo uso da água, a racionalização do uso urbano e o reuso da água, respectivamente. Essas ações além de aumentar a disponibilidade de água também são capazes de melhorar a eficiência dos usos múltiplos.

O acesso aos usos múltiplos busca ser expandido através dos Programas nº 14, 15 e 18, que são propostas de ações que normatizam o uso dos recursos hídricos na agricultura, realizam a macromedição da água bruta e implantam obras de infraestrutura hídrica, respectivamente, que de forma integrada com outros programas não apenas difunde o acesso a água, como também melhora a eficiência do uso desta.

Com a finalidade de melhorar a capacidade da população em gerir os recursos hídricos, o PERH propôs o Programa nº 1 de apoio à criação e funcionamento de comitês de bacias e associações de usuários de água, trazendo o aspecto da participação pública para a gestão dos recursos hídricos.

Relacionado diretamente à preservação do meio ambiente, o PERH propõe o Programa nº 24 que busca realizar a preservação ambiental dos mananciais, recuperando, protegendo e conservando áreas de nascentes, matas ciliares, e outras áreas de florestas remanescentes, além da realização do zoneamento ecológico-econômico.

O PERH também propõe programas que objetivam gerar informações para subsidiar a tomada de decisão, esses programas seriam indispensáveis para a realização desse trabalho,

pois o maior entrave foi a falta de informação sobre a BHRPB, que poderia ter sido facilmente solucionado se os Programas nº 7, 8 e 9 tivessem sido colocados em prática. Esses programas propõem a criação de um sistema de informação sobre os recursos hídricos, o monitoramento hidrometeorológico e o monitoramento da qualidade da água, respectivamente.

Apesar dos programas do PERH estarem em harmonia com os problemas apontados pela análise dos componentes do IPH, foi verificado, ao analisar o cronograma de execução dos programas do PERH, que muitos desses programas estão com suas atividades atrasadas. Logo, mesmo havendo um planejamento hábil para solucionar os problemas de pobreza hídrica da BHRPB, falta um gerenciamento adequado.

Os resultados mostraram também uma série de correlações entre o IPH e seus componentes. De maneira que alguns componentes apresentaram correlação entre si, insinuando uma redundância na representatividade, contudo, está claro que a BHRPB é homogênea em suas características socioeconômicas, o que pode ter levado os componentes a apresentar maior correlação entre si. Além disso, foi verificada uma alta correlação entre o IPH ponderado pela componente principal do desenvolvimento sustentável com os componentes Recurso, Capacidade e Uso, enquanto que para o IPH ponderado pela componente principal dos recursos hídricos houve alta correlação somente com o componente Meio Ambiente, podendo ser sugerido a substituição do IPH pelos componentes com alta correlação, como ocorreu nos trabalhos de Cho, Ogwang e Opio (2009). Todavia, essa prática elimina o caráter holístico do IPH e impede a análise que pode ser feita dos componentes que formam o índice.

Esses resultados mostram que o IPH realizou seu papel de indicador, dando uma visão abrangente do sistema através de uma abordagem simplificada, utilizando a base conceitual da pobreza hídrica.

## 6.0 CONCLUSÃO

Durante o processo de desenvolvimento do IPH, foram verificadas algumas limitações do índice, na qual algumas foram sendo solucionadas, como as limitações da escala em nível de bacia, da ponderação subjetiva e do componente Recurso. No entanto, sem eliminar, ainda, todas as limitações do índice. Todavia, as melhorias que foram realizadas nesse trabalho, tornam o IPH mais robusto, contribuindo significativamente para a utilização efetiva do índice na GIRH, em especial para a BHRPB, a qual o desenvolvimento do índice buscou se adequar.

Independente da ponderação realizada, todas as regiões hidrográficas e sub-bacia da BHRPB tiveram a mesma classificação do IPH, sendo caracterizadas por uma pobreza hídrica moderada, apresentando resultado condizente com a realidade da bacia, pois esta apesar de apresentar problemas relacionados à disponibilidade de água e ao uso ineficiente dos recursos hídricos possui um acesso aos usos múltiplos bem difundido, particularmente nos grandes centros urbanos, as características socioeconômicas são razoáveis e o meio ambiente, em grande parte da bacia, ainda é preservado.

Contudo, é importante ressaltar que ao longo de toda a BHRPB, todos os componentes analisados no IPH apresentaram pontos fortes e pontos fracos, sendo necessárias intervenções em todos os aspectos da GIRH.

A análise dos componentes do IPH promoveu uma visão abrangente da BHRPB, apresentando os diversos problemas existentes nessa, direcionando ações prioritárias, tanto no âmbito natural quanto no âmbito socioeconômico, com capacidade de melhorar efetivamente a GIRH nessa localidade.

Em suma, verificou-se que o IPH foi representativo da situação da pobreza hídrica da BHRPB, realizando seu papel de indicador, de fornecer uma visão abrangente do sistema através de uma análise simplificada, associada a sua base conceitual. Além disso, a análise dos componentes do IPH auxilia diretamente os tomadores de decisão na GIRH, dando subsídios a ações mais racionais, podendo eleger prioridades nas atividades a serem desenvolvidas, no contínuo melhoramento do uso, controle e proteção dos recursos hídricos. Com a ferramenta do IPH, a comunicação também foi melhorada, pois através da metodologia simples, sistemática e transparente, foi possível representar a complexidade da interação entre os recursos hídricos e a sociedade, num único valor numérico; ao mesmo tempo em que a classificação do IPH, traduz o significado desses números em relação à pobreza hídrica.

## 7.0 RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados e da discussão, foi verificado a necessidade de ações prioritárias de aumento da disponibilidade de água em toda a BHRPB, exceto na Região Hidrográfica do Alto curso do Rio Paraíba; de melhoria no acesso, principalmente de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Alto Paraíba e no Taperoá e da irrigação em toda a bacia; de aumento da eficiências dos usos em toda a BHRPB e de melhoria da integridade do meio ambiente, nas áreas do Médio e do Baixo Paraíba, em especial nas zonas urbanas.

Melhorias no sistema de informação sobre os recursos hídricos e do meio ambiente também necessitam ser realizadas, pois este foi o grande entrave para a execução desse trabalho, no qual podem ser consideradas as ações propostas nos Programas nº 7, 8 e 9 do PERH, de implementação do sistema de informação, com disponibilização dos dados na forma digital e da expansão e regularidade do monitoramento das características quali-quantitativas dos recursos hídricos, podendo as propostas ser adotadas também, pelo sistema de gestão do meio ambiente do Estado da Paraíba.

Recomenda-se testar a hipótese levantada na Seção 5.1, em que foi pressuposto que o desenvolvimento de um IPH padronizado no nível de bacia para um país, solucionaria uma série de limitações do índice, sendo capaz também de mostrar a eficácia do IPH em subsidiar as tomadas de decisão na GIRH e possivelmente incluí-lo no processo de gestão. Essa prática seria especialmente importante num país como o Brasil, que possui uma diversidade muito grande de bacias hidrográficas com diferentes situações de pobreza hídrica, fornecendo uma análise de robustez mais abrangente, que em qualquer outro país em que as realidades de suas bacias sejam semelhantes.

Outro estudo importante, a ser realizado, é o monitoramento da BHRPB pelo IPH, que pode ser realizado sempre em que o conjunto de variáveis selecionadas fosse atualizado, em especial após a transposição do Rio São Francisco, em que poderia ser avaliado o progresso das ações de gestão dos recursos hídricos realizadas e qual os seus efeitos na pobreza hídrica da bacia hidrográfica.

## REFERÊNCIAS

ABRAHAM, E. M.; FUSARI, M. E.; SALOMÓN, M. **EL ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA Y SU ADAPTACIÓN A LAS CONDICIONES DE AMÉRICA LATINA.**

Disponível em: <[http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/publicaciones/libro\\_bid/archi\\_dpf/085.pdf](http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/publicaciones/libro_bid/archi_dpf/085.pdf)>. Acesso em: 31 de Março de 2013.

AESA. **PROPOSTA DE INSTITUIÇÃO DO COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA, CONFORME RESOLUÇÃO Nº 1, DE 31 DE AGOSTO DE 2003, DO CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA PARAÍBA.** Paraíba: AESA, 2004. 82 p.

AESA. **PLANO ESTADUAL DOS RECURSOS HÍDRICOS.** Paraíba: AESA, 2006. 256 p.

AESA. **RELATÓRIO ANUAL SOBRE A SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DA PARAÍBA.** Ano Hidrológico: 2008 – 2009. Paraíba: AESA, 2009. 95 p.

AESA; SECTMA. **PLANO DE ADMINISTRAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO – PAOM SISTEMAS ADUTORES DO CARIRI E DO CONGO SEGUNDA FASE.** Tomo 1 e Tomo 2. Recife: Governo do Estado da Paraíba, 2006. 147 p. e 112 p.

ALLAN, J. A. Integrated Water Resources Management is more a Political than a Technical Challenge. **Developments in Water Science**, Amsterdam, v. 50, p. 9-23, 2003.

ALMEIDA, M. A. de; LIRA, W. S.; CURI, W. F. **ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA APLICADO EM UM SUBBACIA HIDROGRÁFICA RIO PARAÍBA.** In: LIRA, W. S.; FRANÇA, B. F.; FRANÇA, M. I. C.; LIRA, H. de L. RECURSOS NATURAIS: Uma abordagem Multidisciplinar. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2012. p. 412-433.

AL RADIF, A. Integrated water resources management (IWRM): an approach to face the challenges of the next century and to avert future crises. **Desalination**, Gran Canaria, v. 124, p. 145-153, Nov. 1999.

ANEEL; ANA. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos.** 2. ed. Brasília: 2001. 328 p.

ARAÚJO, D. C. de. **ANÁLISE DE CONFLITOS INSTITUCIONAIS NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA PARAÍBA.** Campina Grande: UFCG, 2011. 152 p. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2011.

BANCO MUNDIAL. **Indicators**. 2012. Disponível em:  
<<http://data.worldbank.org/indicator>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2013.

BARRETO, J. F.; NETO, J. D.; FARIAS, S. A. R. AVALIAÇÃO SOCIOECONÔMICA E HÍDRICA DOS MUNICÍPIOS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPEROÁ, PB. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v. 9, n. 1, 13 p., 2010.

BRASIL. **LEI Nº 9.433, DE 08 DE JANEIRO DE 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: Casa Civil, 1997. 17 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21**. Disponível em:  
<<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>>. Acesso em: de 16 de Julho de 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. **DATASUS**. 2011. Disponível em:  
<<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0205>>. Acesso em: 08 de Novembro de 2013.

BROWN, A.; MATLOCK, M. D. **A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies**. Arkansas: Sustainability Consortium, 2011.

CAMPOS, N. **O Modelo Institucional**. In: CAMPOS, N; STUDART, T. *Gestão de Águas: princípios e práticas*. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2003. 242 p.

CAP-NET. **Conflict Resolution and Negotiation Skills for Integrated Water Resource Management**. South Africa: UNDP International Network for Capacity Building in Integrated Water Resource Management, 2008. p. 5-9.

CECCONI, P.; FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M. The conceptual link between measurements, evaluations, preferences and indicators, according the representational theory. **European Journal of Operational Research**, v. 179, p. 174-185, 2007.

CETESB. **IQA**. 2014. Disponível em:  
<[http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das%C3%81guas-\(iqa\)](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das%C3%81guas-(iqa))>. Acesso em: 04 de Janeiro de 2014.

CHAVES, H. M. L.; ALIPAZ, S. An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. **Water Resour Manage**, v. 21, p. 883-895, Nov. 2006.

CHO, D. I.; OGWANG, T.; OPIO, C. Simplifying the Water Poverty Index. **Soc Indic Res**, v. 97, p. 257-267, Jun. 2009.

DALE, V. H.; BEYELER, S. C. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators**, v. 1, p. 3-10, Mar. 2001.

DATASUS. **Indicadores de mortalidade**. 2013. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/tabdata/livroidb/1ed/CapituloC.pdf>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2013.

DELTARES. **Integrated water resources management**. 2012. 9 p. Disponível em: <[http://www.deltares.nl/xmlpages/TXP/files?p\\_file\\_id=21830](http://www.deltares.nl/xmlpages/TXP/files?p_file_id=21830)>. Acesso em: 04 de Maio de 2013.

DEPONTI, C. M.; ECKERT, C.; AZAMBUJA, J. L. B. de. Estratégia para construção de indicadores para avaliação de sustentabilidade e monitoramento de sistemas. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, 9 p., Out./Dez. 2002.

FENG, Y. **New Conception and Decision Support Model for Integrated Urban Water System**. Xinjiang: Technischen Universität Hamburg-Harburg, 2009. 164 p. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Technischen Universität Hamburg-Harburg, 2009.

FOGUET, A. P.; GARRIGA, R. G. Analyzing Water Poverty in Basins. **Water Resour Manage**, v. 25, p. 3595-3612, Jul. 2011.

GARRIGA, R. G.; FOGUET, A. P. **THE ENHANCED WATER POVERTY INDEX: TARGETING THE WATER POOR AT DIFFERENT SCALES**. Barcelona, 2010. 11 p. Disponível em: <[http://grecdh.upc.edu/publicacions/congressos/aigua/gine\\_2010\\_wisa](http://grecdh.upc.edu/publicacions/congressos/aigua/gine_2010_wisa)>. Acesso em: 22 de Março de 2013.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP. Integrated Water Resources Management. **TAC background papers n° 4**, Estocolmo, Suécia, 71 p., Mar. 2000.

HEIDECKE, C. DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A REGIONAL WATER POVERTY INDEX FOR BENIN. **International Food Policy Research Institute**, Washington, Paper 145, 55 p., Jan. 2006.

IBGE. **Cidades@**. Censo Demográfico 2010. 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>>. Acesso em: 04 de Novembro de 2013.

IUCN. **Red List Spacial Data**. 2013. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org/technical-documents/spatial-data>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2013.

JOLLIFFE, I. T. **Principal Component Analysis**. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 2002. 518 p.

JUNIOR, G. L. de S.; COSTA, J. C. **Elaboração e Análise de Indicadores**. Amazonas: Governo do Amazonas, 2011. 40 p.

JUWANA; I. **Development of a Water Sustainability Index for West Java, Indonesia**. Australia: School of Engineering and Science Faculty of Health, Engineering and Science Victoria University, 2012. 228 p. Originalmente apresentada como tese de doutorado, School of Engineering and Science Faculty of Health, Engineering and Science Victoria University, 2012.

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

KAYANO, J.; CALDAS, E. de L. **INDICADORES PARA O DIÁLOGO**. Serie indicadores, n° 8. São Paulo: Plataforma Contrapartes NOVIB, 2002. 9 p.

KOMNENIC, V.; AHLERS, R.; VAN DER ZAAG, P. Assessing the usefulness of the water poverty index by applying it to a special case: Can one be water poor with high level of access?. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 34, p. 219-224, Mar. 2008.

LAWRENCE, P.; MEIGH, J.; SULLIVAN, C. The Water Poverty Index: an International Comparison. **Keele Economics Research Papers**, Staffordshire, v. 19, 17 p., Out. 2002.

LOUCKS, D. P.; VAN BEEK, E. **Water Resources Systems Planning and Management An Introduction to Methods, Models and Applications**. Holanda: UNESCO, 2005. p. 3-36.

LUNA, R. M. **DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA (IPH) PARA O SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO**. Fortaleza: UFC, 2007. 138 p. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Universidade Federal do Ceará, 2007.

MANADHAR, S.; PANDEY, V. P.; KAZAMA, F. Application of Water Poverty Index (WPI) in Nepalese Context: A Case Study of Kali Gandaki River Basin (KGRB). **Water Resour Manage**, v. 26, p. 89-107, Set. 2011.

MARANHÃO, N. **SISTEMA DE INDICADORES PARA PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2007. 397 p. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

MARANHÃO, R. M. R. **ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA (IPH) APLICADO A MUNICÍPIOS DOS SERTÕES DO INHAMUS DO SEMIÁRIDO DO CEARÁ – BRASIL**. Fortaleza: UFC, 2010. 107 p. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, 2010.

MLOTE, S. D. M.; SULLIVAN, C.; MEIGH, J. Water Poverty Index: a Tool for Integrated Water Management. In: **3<sup>rd</sup> WaterNet/Warfsa Symposium**, 2002, Dar es Salaam, 20 p.

MOLLE, F.; MOLLINGA, P. Water poverty indicators: conceptual problems and policy issues. **Water Policy**, v. 5, p. 529-544, Jul. 2003.

NIEMEIJER, D.; DE GROOT, R. S. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. **Ecological Indicators**, v. 8, p. 14-25, 2008.

ONU. **Agenda 21**. Cap. 18. Rio de Janeiro: CNUMAD, 1992. 34 p.

ONU. **O Direito Humano à Água e Saneamento**. 2013. Disponível em: <[http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief\\_por.pdf](http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf)>. Acesso em: 13 de Novembro de 2013.

PARAÍBA. **LEI N.º 6.308, DE 02 DE JULHO DE 1996**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências. Paraíba: Governo do Estado, 1996. 14 p.

PARAÍBA. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. **PLANO DIRETOR DE RECURSO HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**. Paraíba: Governo da Paraíba, 2001. 656 p.

PARGA, F.; LEÓN, A.; VARGAS, X.; FUSTER, R. **EL ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA APLICADO A LA CUENCA DEL RÍO LÍMARI EN CHILE SEMIÁRIDO**. Disponível em: <[http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/publicaciones/cyted\\_libro\\_XII/articulos/093.pdf](http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/publicaciones/cyted_libro_XII/articulos/093.pdf)>. Acesso em: 31 de Março de 2013.

PNUD. **Education**. 2009. Disponível em: <<https://data.undp.org/dataset/Table-8-Education/mvtz-nsye>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2013.

POLICE RESEARCH INITIATIVE. **Canadian Water Sustainability Index (CWSI)**. Canada: PRI Project Sustainable Development, 2007. 33 p.

RAMETSTEINER, E.; PÜLZL, H.; ALKAN-OLSSON, J.; FREDERIKSEN, P. Ecological Indicators. **Ecological Indicators**, v. 11, p. 61-70, 2011.

RIBEIRO, M. A. de F. M. **PARTICIPAÇÃO PÚBLICA EM GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA ANÁLISE DO CASO PARAIBANO**. Campina Grande: UFCG, 2012. 187 p. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

SEMARH. **PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**. v. I. Paraíba: Governo do Estado da Paraíba: 2001. 227 p.

SILVA, A. L. C. da. **Introdução à análise de dados**. Rio de Janeiro: E-papers, 2009. 158 p.

SULLIVAN, C. Calculating a Water Poverty Index. **World Development**, v. 30, n. 7, p. 1195-1210, Fev. 2002.

SULLIVAN, C.; MEIGH, J. Considering the Water Poverty Index in the context of poverty alleviation. **Water Policy**, v. 5, p. 513-528, Jun. 2003.

SULLIVAN, C.; MEIGH, J. Integration of the biophysical and social sciences using an indicator approach: Addressing water problems at different scales. **Water Resour Manage**, v. 21, p. 111-128, Jan. 2006.

SULLIVAN, C.; MEIGH, J.; LAWRENCE, P. Application of the Water Poverty Index at Different Scales: A Cautionary Tales. **Water International**, v. 31, n. 3, p. 412-426, Set. 2006.

THOMAS, J. S.; DURHAM, B. Integrated Water Resource Management: looking at the whole picture. **Desalination**, Malta, v. 156, p. 21-28, Mai. 2003.

THOMPSON, S. A. **WATER DEMAND AND SUPPLY Management and Planning**. In: Water Use, Management, and Planning in the United States. Cap. 6. California: Academic Press, 1999.

UFSC-UFPA. **SIMULAÇÃO PARA APLICAÇÃO DA COBRANÇA EM ESCALA REAL**. v. 2, tomo 2. Campina Grande: UFPA, 2008.

UNEP. **IEA Training Manual – Module 4**. 2007. Disponível em: <<http://www.unep.org/ieacp/iea/training/manual/module4/1090.aspx>>. Acesso em: 04 de Junho de 2013.

UNESCO. **Education Indicators and Data Analysis**. 2013. Disponível em: <<http://www4.unescobkk.org/education/efatraining/module-a3/2-the-concept-of-indicators/>>. Acesso em: 04 de Junho de 2013.