

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL  
ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**INTEGRANDO A MODELAGEM DA ALOCAÇÃO DE ÁGUA AO  
SISTEMA DE INDICADORES FPEIR: APLICAÇÃO AO SEMIÁRIDO  
DO BRASIL**

**MATHEUS DUARTE DE ARAÚJO**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2017**

**MATHEUS DUARTE DE ARAÚJO**

**INTEGRANDO A MODELAGEM DA ALOCAÇÃO DE ÁGUA AO SISTEMA DE  
INDICADORES FPEIR: APLICAÇÃO AO SEMIÁRIDO DO BRASIL**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Márcia Maria Rios Ribeiro  
Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Cybelle Frazão Costa Braga**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2017**

## FICHA CATALOGRÁFICA

A663i

Araújo, Matheus Duarte de.

Integrando a modelagem da alocação de água ao sistema de indicadores FPEIR: aplicação ao semiárido do Brasil / Matheus Duarte de Araújo. – Campina Grande, 2021.

88 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.

"Orientação: Profa. Dra. Márcia Maria Rios Ribeiro, Profa. Dra. Cybelle Frazão Costa Braga".

Referências.

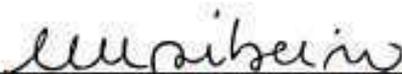
1. Recursos Hídricos. 2. Saneamento Ambiental. 3. Análise de Sistemas. 4. Gerenciamento da Demanda Hídrica. 5. Alocação de Água.  
I. Ribeiro, Márcia Maria Rios. II. Braga, Cybelle Frazão Costa.  
III. Título.

CDU 556.18(81)(043)

**MATHEUS DUARTE DE ARAÚJO**

**INTEGRANDO A MODELAGEM DA ALOCAÇÃO DE ÁGUA AO SISTEMA DE  
INDICADORES FPEIR: APLICAÇÃO AO SEMIÁRIDO DO BRASIL**

Dissertação apresentada em 31 agosto de 2017.



---

**Prof.ª Márcia Maria Rios Ribeiro**  
*Unidade Acadêmica de Engenharia Civil*  
*Universidade Federal de Campina Grande*  
**Orientadora**



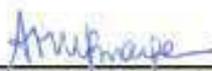
---

**Prof.ª Cybelle Frazão Costa Braga**  
*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba*  
**Co-orientadora**



---

**Prof.ª Iana Alexandra Alves Rufino**  
*Unidade Acadêmica de Engenharia Civil*  
*Universidade Federal de Campina Grande*  
**Examinadora Interna**



---

**Prof.ª Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga**  
*Unidade Acadêmica de Engenharia Civil e Ambiental*  
*Universidade Federal da Paraíba*  
**Examinador Externo**

**CAMPINA GRANDE – PB**  
**2017**

*Dedico este trabalho a minha irmã Déborah e aos meus pais Rosemary e Olisvaldo por toda motivação e apoio em mais uma etapa da minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela presença constante em minha vida e pela oportunidade de concretização deste sonho.

À minha família, em especial aos meus pais Rosemary e Olisvaldo e a minha irmã Déborah, por todo apoio e incentivo para que eu pudesse continuar nessa caminhada.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Márcia Maria Rios Ribeiro, pela sua competência, estímulo, orientação e confiança para realização deste trabalho.

À minha co-orientadora, Prof.<sup>a</sup> Cybelle Frazão, pelos valiosos conselhos e sugestões.

Aos membros da banca examinadora pela dedicação de seu tempo na contribuição deste trabalho.

A todos os professores, funcionários e colegas do Laboratório de Hidráulica I. Especialmente aos que partilharam dia-a-dia os mais diversos momentos na sala dos pesquisadores, aos quais chamo simplesmente de amigos: Yáscara, Miquéias, João e Guilherme.

Ao Projeto CNPq/CT- BRAMAR pela oportunidade de contribuir com os estudos desenvolvidos com este trabalho.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste estudo.

Muito obrigado!

## RESUMO

Este estudo propõe uma abordagem combinada do modelo FPEIR (Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta) com a modelagem de alocação de água para avaliar as estratégias de gerenciamento da demanda hídrica na Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (Rio Grande do Norte). O crescimento populacional aliado ao desenvolvimento econômico, a inadequada gestão e as mudanças climáticas são as forças motrizes para a escassez hídrica e os conflitos do sistema hídrico em análise. O Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado é responsável pela gestão da bacia em foco. Os instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos (definidos pela Lei 9.433/97) encontram-se parcialmente implementados na bacia. A Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte projeta a ampliação do sistema hídrico. Nesta pesquisa, o sistema Apodi-Mossoró foi analisado frente a quatro estratégias de alocação e variações nas condições requeridas para os seus reservatórios. A análise realizada mostra falhas no atendimento às demandas do sistema, as quais poderão ser amenizadas nas estratégias que incorporam a gestão da demanda de água e o aporte das águas da transposição do Rio São Francisco. Os resultados permitem sugerir medidas adaptativas de economia de água, incluindo o reúso de água, como opções para um melhor planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos da bacia.

**Palavras-chave:** análise de sistemas, gerenciamento da demanda hídrica, alocação de água.

## ABSTRACT

This study proposes a combined approach of the DPSIR (Driving forces-Pressures-State-Impact-Response) model with water allocation modelling to evaluate water demand management strategies in the Apodi-Mossoró River Basin (Rio Grande do Norte, Brazil). Population growth coupled with economic development, inadequate management and climate change are the driving forces for water scarcity and the conflicts of the water system under analysis. The State Integrated Water Resources Management System is responsible for managing the basin in focus. The instruments of the National Water Resources Policy (defined by Law 9.433/97) are partially implemented in the basin. The Water and Sewage Company of Rio Grande do Norte projects the expansion of the water system. In this research, the Apodi-Mossoró system was analyzed against four allocation strategies and variations in the conditions required for its reservoirs. The analysis shows failures in meeting the demands of the system, which can be mitigated in the strategies that incorporate the management of water demand and the contribution of water transfers from the São Francisco River Basin. The results suggest adaptive water saving measures, including water reuse, as options for better water planning and management in the basin.

**Keywords:** system analysis; water demand management; water allocation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR).....	24
<b>Figura 2</b> - Localização da área de estudo, reservatórios Santa Cruz do Apodi e Pau dos Ferros no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.....	33
<b>Figura 3</b> - Recorte do sistema Hídrico da BHAM com destaque para as adutoras envolvidas do hidrossistema Apodi-Mossoró. ....	35
<b>Figura 4</b> - Esquema do Modelo FPEIR para Bacia Apodi-Mossoró .....	36
<b>Figura 5</b> - Rede de Fluxo Bacia Apodi-Mossoró: hidrossistema Integrado Alto Oeste .....	40
<b>Figura 6</b> - Evolução da população de Mossoró/RN .....	44
<b>Figura 7</b> - Evolução do PIB per capita de Mossoró .....	45
<b>Figura 8</b> - Fração das vazões médias dos Municípios da Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró.....	48
<b>Figura 9</b> - Monitoramento da qualidade da água superficial do Rio Grande do Norte. ....	52
<b>Figura 10</b> - A. Pau dos Ferros. B. Santa Cruz: Histórico da qualidade da água no Açude e relação com a média dos outros reservatórios do Estado. C. Pau dos Ferros. D. Santa Cruz: Histórico da Densidade de Cianobactérias da água na barragem de Santa Cruz e relação com a média dos outros reservatórios do estado. ....	53
<b>Figura 11</b> - Municípios em Estado de colapso hídrico no Estado do Rio Grande do Norte. ....	55
<b>Figura 12</b> - Estado atual do reservatório Santa Cruz.....	56
<b>Figura 13</b> - Histórico do volume do reservatório Santa Cruz .....	56
<b>Figura 14</b> - Estado atual do reservatório Pau dos Ferros. ....	49
<b>Figura 15</b> - Histórico do volume do reservatório Pau dos Ferros.....	57
<b>Figura 16</b> - A. abastecimento urbano. B. Irrigação: vazões médias alocadas por uso e estratégia e o percentual de atendimento da demanda necessária .....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Valores per capita para abastecimento humano.....	37
<b>Tabela 2</b> - Hidrossistemas e reservatórios: capacidade, volume inicial e meta .....	39
<b>Tabela 3</b> - Custos e economia de água das alternativas por residência.....	42
<b>Tabela 4</b> - Custos e economia de água das alternativas por edifício.....	42
<b>Tabela 5</b> - Estratégias de atendimento as demandas e condições de operação dos reservatórios.....	4340
<b>Tabela 6</b> - Demanda estimada dos municípios contemplados nos projetos de ampliação do abastecimento.....	49
<b>Tabela 7</b> - Demanda de água estimada dos municípios na malha do sistema Alto Oeste.....	50
<b>Tabela 8</b> - Demanda de água estimada na malha dos municípios da Adutora Santa Cruz – Mossoró e Irrigação Vale do Apodi.....	51
<b>Tabela 9</b> - Recursos hídricos subterrâneos da Bacia Apodi – Mossoró.....	51
<b>Tabela 10</b> - Respostas da matriz FPEIR para a Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró.....	58
<b>Tabela 11</b> - Falhas e Frequência abaixo do Volume Meta por estratégia de alocação..	74
<b>Tabela 12</b> - Evolução do População na Bacia Apodi-Mossoró. ....	89
<b>Tabela 13</b> - Evolução do PIB na Bacia Apodi-Mossoró .....	90

## LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

BHRAM – Bacia do Rio Apodi-Mossoró

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

CBH – Comitês de Bacia Hidrográfica

CBHPAM – Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CSD – Comissão de Desenvolvimento Sustentável

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

DPSIR – Drivers-Pressures-State-Impact-Response

EEA – European Environment Agency

ESAM – Escola Superior de Agricultura de Mossoró

ETA – Estação de Tratamento de Água

FPEIR – Força-Pressão-Estado-Impacto-Resposta

GIRH - Gestão Integrada dos Recursos Hídricos

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do RN

IGARN – Instituto de Gestão das Águas do Estado do RN

INEMET – Instituto Nacional de Meteorologia e pela

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OFK – Out-of-Kilter

PEDMO – Plano Estadual de Desenvolvimento do Médio Oeste

PEIR – Pressão-Estado-Impacto-Resposta

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos

PIB – Produto Interno Bruto

PLIRHINE – Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste

PNRH Política Nacional de Recursos Hídricos

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PSR – Pressão-State-Response

SEMARH – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos

SERHID – Secretaria de Recursos Hídricos

SIGERH – Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS .....	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1.2 SISTEMA DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE FPEIR.....	19
3.1.3 FPEIR E SUSTENTABILIDADE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	21
3.2 GESTÃO DAS ÁGUAS.....	22
3.2.1 GESTÃO E ESTIMATIVA DE DEMANDA.....	24
3.2.2 ALOCAÇÃO DE ÁGUA .....	25
3.3 SIMULAÇÃO E MODELAGEM DE REDE DE FLUXO.....	28
4. MATERIAL E METODOS.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
6. CONCLUSÕES .....	74
7. REFERÊNCIAS.....	76
ANEXOS .....	88

## 1. INTRODUÇÃO

A escassez de água é uma realidade vivida pelos habitantes da região semiárida brasileira desde sempre. De modo que a crescente demanda hídrica (abastecimentos humano, industrial e agrícola), agravada pela poluição dos mananciais, se constitui em pressão sobre os recursos hídricos se tornando um problema para o desenvolvimento social e econômico no país (AMORIM, RIBEIRO e BRAGA, 2015).

O problema da escassez ocorre em função do mal gerenciamento da água, acrescido das condições climáticas locais, o que se reflete em déficit hídrico e se configura como um problema de governança da água (SILVA *et al.* 2017). Assim, a crise hídrica é, de forma primária, uma crise de governança de água (OECD, 2015).

Diante da necessidade de acesso a água, verifica-se que alguns usuários do recurso não são capazes de satisfazer todas as suas necessidades. Isso incentiva a adaptação da metodologia de Gestão de Recursos Hídricos, que oferece melhores meios de conciliar demandas com suprimentos, no desafio de harmonizar as necessidades de consumo à disponibilidade hídrica, ajudando os envolvidos alcançarem soluções para favorecer os usos múltiplos (GALVÃO e BERMANN, 2015).

Como princípio de resolução para promover os usos múltiplos, destaca-se a gestão integrada dos recursos hídricos (GIRH) que pode ser definida como um modelo de acesso equitativo e de uso sustentável da água por todos os interessados, mantendo as características e integridade do recurso dentro dos limites aceitáveis (BAKKER, 2012).

Nesse contexto de uso equitativo e sustentável da água, conscientizando-se que é necessária em todos os aspectos da vida, o objetivo da gestão integrada é a garantia de que um fornecimento adequado de água de boa qualidade seja mantido para toda a população, preservando as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas, adaptando as atividades humanas dentro dos limites de capacidade (Un-WGWP, 2007).

A GIRH que, dentre outros aspectos, considera o uso de tecnologias inovadoras, incluindo a melhoria das tecnologias, é necessária para utilizar plenamente os recursos hídricos limitados e para salvaguardar esses recursos para gerações futuras

(CAP-NET, 2008).

A gestão da água, sob esse aspecto, deve ser efetuada através de uma abordagem integrada que possa alcançar a equidade social, o meio ambiente sustentável e a eficiência econômica, tornando a identificação e implementação de soluções eficazes muito mais fácil, evitando investimentos equivocados e garantindo o máximo de retorno, tanto sociais quanto econômicos, dos investimentos através de, por exemplo, melhor alocação de água e uma nova concepção de eficiência no seu uso (MARTINS, *et al.*, 2013).

No Brasil, a Lei das Águas (Lei 9.433/97) que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e define as diretrizes para o uso das águas é a responsável pela gestão das águas. Como fundamento, é estabelecida a prioridade do abastecimento para consumo humano em condições de escassez, porém, prevê-se aspectos da alocação da água, haja vista o objetivo de proporcionar o uso múltiplo das águas para os diferentes usos.

Para o atendimento destes diferentes usos, os reservatórios possuem destaque primordial, pois são insumos de garantia hídrica para o abastecimento humano. Os gestores de recursos hídricos são obrigados a preservar as águas armazenadas nos reservatórios, mantendo os espelhos de água, dentro do possível, nas melhores elevações e ainda assim viabilizar o atendimento às necessidades hídricas (NEZAMI, 2013).

Diante desta necessidade de atendimento às demandas, Damasceno (2013) afirma que é preciso buscar por ferramentas metodológicas que possibilitem entender os processos políticos, institucionais, sociais, econômicos e ambientais (incluindo os hídricos) de uma região e associar a mecanismos de gerenciamento da água sob a perspectiva da gestão integrada dos recursos hídricos.

Na busca metodológica para o atendimento das demandas e análise da gestão integrada dos recursos hídricos, destaca-se quadro “stress-response” (SR) desenvolvido em 1979 pelo Statistics Canadian, com a categoria de resposta que compreende tanto respostas ambientais como sociais (FRIEND e RAPPORT, 1979) que se desenvolveu até a configuração atual Driving forces-Pressures-State-Impact-Response (DPSIR), traduzidos por Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta

(FPEIR).

A matriz atua como um conjunto de indicadores, que quando analisados, têm a capacidade de demonstrar as principais tendências, tensões e causas subjacentes dos problemas de sustentabilidade (OCDE, 1993). Para o caso de recursos hídricos, a matriz relacionada a sustentabilidade hídrica pode ser capaz de agregar informações sobre o gerenciamento da água e investigar a capacidade de atendimento das demandas atuais e futuras (NEZAMI, 2013).

Dentre os mecanismos e metodologias de gerenciamento de recursos hídricos, destaca-se, além da matriz FPEIR, o processo de alocação de água a partir de estratégias de atendimento aos usos múltiplos (POFF *et al.*, 2016). A alocação visa distribuir a água entre os seus diversos usos baseando-se no conhecimento dos principais usuários e adoção de princípios de uso sustentável, eficiência econômica e equidade social.

Segundo Pessoa, Assis e Vieira (2016), para atender as demandas atuais ou futuras, é preciso alocar bem a água, e para isso se faz necessária a modelagem do sistema envolvido (muitas vezes, um sistema de reservatórios) e planejar a sua operação.

Na ferramenta da alocação de água, a modelagem de sistemas hídricos objetiva alocar a água disponível aos diversos usos, para isso, o desenvolvimento de regras de operação de reservatórios e a modelagem matemática simulam o comportamento físico do sistema quantificando os valores de água a serem distribuídos (UUSITALO, 2015).

A integração entre o modelo FPEIR, a partir da agregação de informações e análise dos indicadores hídricos, e a alocação de água, como ferramenta de modelagem de rede de fluxo para o gerenciamento da água, podem subsidiar a tomada de decisão na escala de bacia hidrográfica.

Como área de estudo a aplicação desta integração, destaca-se a região semiárida do Rio Grande do Norte, a qual apresenta um quadro bastante discrepante em relação a capacidade atendimento as demandas. Apesar de ser uma região com um dos maiores índices de açudagem do mundo, os problemas de escassez de água

não são resolvidos apenas com uma política de construção de açudes, haja vista que estes não têm demonstrado capacidade de assegurar o abastecimento humano prioritário nos períodos de grande estiagem, além de que não conseguem atender a demanda difusa existente no semiárido.

De modo mais específico no estado, destaca-se a problemática da gestão dos recursos hídricos na Bacia do Rio Apodi-Mossoró (BHAM), a segunda mais importante bacia do Estado do Rio Grande do Norte, inserida na região do semiárido brasileiro. A região possui os maiores índices de escassez do Estado, principalmente no alto curso da bacia, de modo que os principais reservatórios possuem projetos de ampliação do sistema de abastecimento, a partir de sistemas de adutoras complexos como medida de resolução.

Os projetos de ampliação do sistema de abastecimento na bacia, para atendimento da demanda cidade de Mossoró pelo reservatório Santa Cruz, o projeto de construção da adutora para o atendimento da demanda do perímetro irrigado do Vale do Apodi-RN e a adutora Alto Oeste geram discussões acerca da capacidade de atendimento as demandas.

Desse modo, se faz necessário agregar e analisar informações acerca da condição do sistema de gestão da água na região e verificar se a água envolvida nos projetos de resolução da escassez hídrica da bacia será efetivamente suficiente para atender a todas as demandas existentes.

Neste estudo, utilizando-se do Sistema de Indicadores FPEIR (Força-Pressão-Estado-Impacto-Resposta) associado a modelo de alocação de água (ou seja, modelagem da rede de fluxo do sistema) objetiva-se identificar as principais forças motrizes, pressões e impactos sobre o gerenciamento dos recursos hídricos e analisar cenários de alocação da demanda hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró no Estado do Rio Grande do Norte.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Identificar as principais forças motrizes, pressões, estado, impactos e respostas sobre a gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, e simular a alocação da água avaliando-se as melhores estratégias para gestão dos recursos hídricos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Identificar as principais forças motrizes, pressões, estado e impactos sobre a os recursos hídricos decorrentes dos seus usos, a partir do modelo FPEIR;
- ✓ Sistematizar e analisar as respostas da matriz a partir do sistema de gerenciamento de recursos hídricos da bacia;
- ✓ Simular e quantificar a demanda hídrica da região a partir do indicador pressão;
- ✓ Simular e analisar a operação dos reservatórios Santa Cruz e Pau dos Ferros a partir de cenários de alocação da demanda como indicador resposta.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Sistema de indicadores FPEIR

O Statistics Canadian desenvolveu o quadro stress-response (SR) em 1979, com a categoria de resposta que compreende tanto respostas ambientais e sociais (Friend e Rapport, 1979). Este evoluiu para o Pressão-State-Response (PSR) e, posteriormente, os quadros DPSIR (OCDE, 1993). A OCDE usou a estrutura PSR para a avaliação do ambiente desempenho, utilizando um conjunto de indicadores selecionados (OCDE, 1993; OCDE, 2003).

A OCDE (1993) indica que é possível fornecer mensagens claras através dos indicadores representativos das categorias da cadeia que simplificam a informação transmitida aos grandes grupos de partes interessadas e do público em geral, aumentando assim a transparência da tomada de decisão.

A estrutura tem por filosofia geral agregar as principais informações, em vista de analisar problemas ambientais. Em suma, a matriz considera que as atividades humanas são as Forças Motrizes que produzem Pressões no meio ambiente que podem afetar seu Estado, o qual, por sua vez, poderá acarretar Impactos ao homem e aos ecossistemas, levando à sociedade emitir Respostas por meio de medidas, as quais podem ser direcionadas a qualquer compartimento do sistema. Isto é, a resposta pode ser direcionada para a força Motriz, para a Pressão, para o Estado ou para os Impactos (LEWISON *et al.*, 2016). A partir das interações entre os indicadores do sistema FPEIR podem ser feitas proposições extremamente úteis ao planejamento e a tomada de decisões, e este é o diferencial que representa o modelo.

Os indicadores podem ser utilizados para avaliar a eficácia das ações e políticas implementadas, medindo o progresso em direção a metas ambientais (OCDE, 1993). A EEA (2005) define cada categoria do quadro FPEIR da seguinte forma:

- ✓ **Indicadores de força motriz:** descrevem a situação social, demográfica e econômica nas sociedades e as mudanças correspondentes no estilo de vida, os níveis globais de consumo e padrões de produção;
- ✓ **indicadores de pressão:** descrevem desenvolvimentos na liberação de

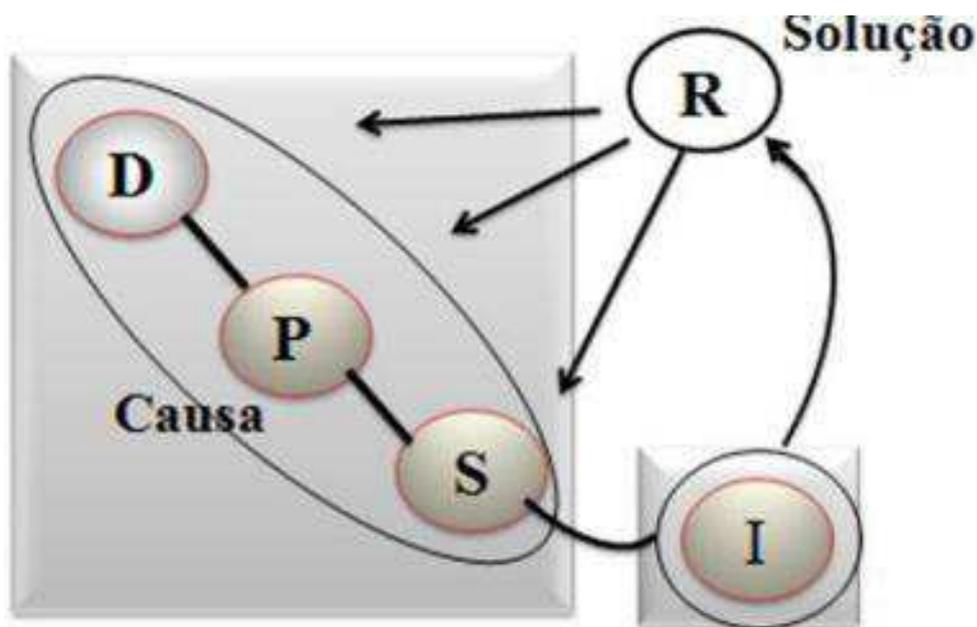
substâncias (emissões), agentes físicos e biológicos, a utilização de recursos e o uso de terras por atividades humanas;

- ✓ **indicadores de estado:** promovem uma descrição da quantidade e qualidade dos fenômenos físicos (como a temperatura), fenômenos biológicos (como unidades populacionais de peixes) e fenômenos químicos (tais como as concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> em uma determinada área);
- ✓ **os indicadores de impacto:** sobre as funções do meio ambiente, como humana, dos ecossistemas, saúde, disponibilidade de recursos, as perdas de capital manufaturado, e biodiversidade;
- ✓ **indicadores de resposta:** são as ações tomadas por grupos (e indivíduos) na sociedade, bem como "as tentativas" do governo para prevenir, compensar, melhorar ou adaptar-se a mudanças no estado de o ambiente.

Para a OCDE (2003):

No quadro FPEIR, as relações causais começam com a condução forças, passam por pressões para o estado do ambiente e impactos sobre as funções dos ecossistema, até o bem-estar humano, eventualmente, levando a respostas sociais (OCDE, 2003).

Na figura 1 estão representadas as interconexões do sistema FPEIR. Na matriz de cadeia de acontecimentos, é levada em consideração a percepção da força motriz, da pressão e do estado como meios de análise entre os agentes antrópicos suas ações sobre o meio e em segunda estância o estado que este meio se apresentará a partir desta ação. Esta visão de inter-relações é a representação qualitativa que o modelo PEIR apresenta como solução de investigação à complexa tarefa de diagnosticar a qualidade ambiental de uma região (OCDE, 1993).



**Figura 1** - Modelo Driving forces-Pression-Stat- Impact-Respost (DPSIR)

Fonte: Spangenberg (2015)

A matriz FPEIR é utilizada em diversos órgãos de estudos de sustentabilidade de sistemas ambientais, os quais pode-se destacar Agência Européia do Ambiente, a partir da da Avaliação Dobris do ambiente na Europa (ar, água e solo) que foi adotado posteriormente para outras questões ambientais na Europa, e se mostrou uma ferramenta adaptativa a gestão utilizada para analisar os problemas ambientais através do estabelecimento de relações de causa-efeito entre as atividades antrópicas e suas conseqüências ambientais e socioeconômicas (EEA, 2005).

A nível mundial pode-se citar outros órgãos que fazem uso destes indicadores, como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o governo francês. Cada um baseado nas informações mais relevantes ao direcionamento de seu estudo, porém com uma realidade de discernimento entre o que são indicadores em zonas urbanas e rurais (GARI, NEWTON e ICELY, 2015).

### 3.2 FPEIR e sustentabilidade de Bacias Hidrográficas

No que se refere aos recursos hídricos, a Lei das águas define a bacia hidrográfica como a “unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos”, a

bacia adota os conceitos de sustentabilidade a partir do século 80, recebendo o fundamento de integralização da gestão das águas. Esse contexto é um ambiente de múltiplos usuários e de conflitos de uso, requerendo complexos sistemas tecnológicos e gerenciais de regulação e uma base legal adequada a lhe dar suporte (GONTIJO JR., 2013).

Segundo Amorim, Ribeiro e Braga (2016), “a água é motivo para relações de poder e de conflitos”. O princípio de dominialidade pública da água corrobora com o princípio da água como um patrimônio global comum vital, dos quais está pautado no acesso básico da água para todos os seres humanos.

Os setores sociais, econômicos, políticos e ambientais são os principais atores de conflitos pelo uso da água, e, assim, são de fundamental importância à elaboração de políticas públicas que mitiguem o impacto sócio ambiental provocado pelo desenvolvimento econômico (SANTOS, 2016).

Conciliar os usos múltiplos nas bacias hidrográficas, ainda que previsto por objetivo da Lei 9.433 é um desafio dos métodos e políticas públicas. Desse modo, objetiva-se mundialmente, respaldados nos conceitos de desenvolvimento sustentável e usos múltiplos da água, cumprir um gerenciamento integrado e sustentável da água nas bacias hidrográficas, a partir de princípios de solidariedade associado a metas para usos de ordens prioritárias para a ocorrência dessa gestão.

De acordo com diversos estudos como Pizella e Souza (2013), Castro *et al.* (2014), Santos (2016) e Cerezini, Barbosa e Hanai (2017) sobre modelos para a análise da sustentabilidade de recursos naturais, sobretudo no que concerne a bacias hidrográficas, o modelo FPEIR apresenta um padrão conceitual aceito internacionalmente. O FPEIR provou ser bastante eficiente na formalização de todo o processo de tomada de decisão no contexto do gerenciamento sustentável dos recursos hídricos, principalmente quando se tratando da análise de sustentabilidade para estas unidades de planejamento, que permite o acompanhamento das relações sociedade-meio ambiente.

### **3.3 Gestão das águas**

No Brasil, a lei específica para o gerenciamento das águas é a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política e o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. No que concerne as atuações no gerenciamento da água, os mecanismos de ação são os instrumentos legais que detalham e disciplinam as atividades do setor. Os mecanismos atuam como modelos de gerenciamento das águas orientado por tipos de uso, o que estabelece frequentemente conflitos, superposições bem como a desarticulação da legislação vigente, e são base de discussões recorrentes.

De acordo com Setti (2001), a necessidade da gestão da água e a melhoria nos métodos de gerenciamento advêm da complexidade dos mesmos, resumidamente causados por:

- ✓ Desenvolvimento econômico: que ocasiona o aumento das demandas de recursos hídricos, seja como bem intermediário, seja como bem de consumo final;
- ✓ Aumento populacional: que traz a necessidade direta de maior disponibilidade de recursos hídricos para consumo final e, de forma indireta, força um aumento de investimentos na economia para criação de empregos e, com isso, uma maior demanda de recursos hídricos como bem intermediário;
- ✓ Expansão da agricultura: que aumenta o consumo regional de recursos hídricos para irrigação, com possíveis conflitos de uso, no caso de escassez;
- ✓ Pressões regionais: a cobrança dos grupos e dos setores que utilizam dos recursos;
- ✓ Mudanças no padrão de consumo: Mudanças de métodos de consumo a partir do setor socioeconômico das regiões;
- ✓ Urbanização: crescimento de grandes centros e concentrações de demandas.

O gerenciamento de recursos hídricos sustentável pode proporcionar um melhor aproveitamento, controle e conservação de suas águas e englobar ações para assegurar o presente funcionamento da água sem por em risco os interesses das gerações futuras (OECD, 2015).

Alguns princípios fundamentais regimentados na legislação e de bases conceituais devem fundamentar o processo de gerenciamento de recursos: a dominialidade pública, a água deve ser considerada um bem econômico; como já citado, a bacia hidrográfica é a unidade de planejamento; a disponibilidade da água

deve ser distribuída segundo critérios sociais, no que concerne a sobrevivência das populações e animais, econômicos e ambientais; os usuários devem participar da administração da água a partir de uma gestão participativa; a avaliação sistemática dos recursos hídricos é uma responsabilidade pública e os usos múltiplos devem ser promovidos (CHARNAY, 2011).

É imprescindível para se atingir o cumprimento desses princípios, o conhecimento das necessidades dos diversos usuários, da capacidade de oferta e da velocidade de renovação das fontes naturais. O grande desafio deste planejamento está em ser capaz de atender as demandas dos usos múltiplos de forma integrada, sustentável e otimizada para todo o sistema (REBOUÇAS, 2015).

### **3.3.1 Gestão e estimativa de demanda de água**

No planejamento de recursos hídricos existem medidas de incentivos ao uso sustentável dos recursos hídricos que podem ser dos mais variados tipos, desde cobrança pelo uso da água, taxaço da poluição e realocaço para usos de maior valor a campanhas educativas. A este conjunto de medidas, que influenciam o comportamento do usuário, induzindo-o a reduço do volume consumido, mas conservando o mesmo nível de serviço, dá-se a denominaço de Gestão da Demanda (GUEDES, RIBEIRO e VIEIRA, 2014).

De acordo com Brooks (2010), a gestão da demanda atuava basicamente, no traço de curvas do consumo ao longo do tempo, como funço de algumas variáveis independentes, tais como o crescimento populacional. Hoje se têm consciêcia de que as variaçoes de demanda são mais complexas. As variaçoes se apresentam dos setores econômicos a padrões de consumo, embora que diante de sua complexidade, conhecer os dados de demanda de água presentes e futuros nos centros urbanos é de suma importância para a formulaço do planejamento e gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água.

Diante disso, estimar e prever futuros consumos permite que o planejamento das bacias possa ser realizado com base em tais previsões. Odan (2006) indica a estimativa como um dos fatores mais importantes no planejamento e gerenciamento de sistemas de distribuiço de água, haja vista a operaço dos sistemas e suas

respectivas ampliações ou melhorias estão diretamente relacionadas com a demanda de água.

A ampliação de sistemas de abastecimento para o fornecimento de novo suprimento hídrico, associado a previsão de demanda é uma ferramenta eficaz na gestão dos recursos hídricos (TSUTYA, 2006).

Ainda assim, a previsão da demanda de água é um instrumento de gestão e operação dos sistemas de abastecimento de água, podendo avaliar as projeções aplicadas à população ou a outro fenômeno de grande importância para a formulação e desenvolvimento de planos e programas, pois permitem auxiliar no conhecimento das necessidades futuras e assim fornecer subsídios para o melhor direcionamento dos investimentos públicos ou privados (HERRERA *et al.*, 2010).

Atualmente, na maioria dos países, continentes e regiões, a água consumida na agricultura é de cerca de 70% da disponibilidade total. Há uma enorme necessidade de redução desse uso com a introdução de tecnologias adequadas, eliminação dos desperdícios e introdução de reuso e reciclagem. A eutrofização de lagos, represas e rios é uma das consequências dos usos excessivos de fertilizantes na agricultura, os quais, combinados com alterações de drenagem, podem aumentar consideravelmente e com rapidez os índices maléficos (GOTARDO *et al.*, 2016).

Diante desta problemática, Poff *et al.* (2016) sugere que uma alternativa é a utilização da modelagem matemática na gestão hídrica a partir da alocação de água, uma ferramenta útil para auxiliar nos usos múltiplos do fornecimento de água, assumindo o contexto local como base para previsão e otimização na demanda de água. Adotar princípios associados ao uso e desenvolvimento de tecnologias para eliminar desperdícios e melhorar o desempenho na irrigação e a introdução de reuso de água na agricultura são algumas das soluções urgentes para regiões propensas a escassez hídrica.

### **3.3.2 Alocação de água**

Para auxílio nas tomadas de decisões os atores envolvidos na gestão de recursos hídricos podem contar com o emprego de ferramentas denominadas

sistemas de suporte à decisões – SSD. Os SSD são utilizados como ferramenta para auxiliar a resolução de problemas. Existem, atualmente, alguns SSD que simulam com eficiência sistemas complexos de recursos hídricos, assim como modelos que calculam a demanda. De modo geral, sua composição consiste na disposição de um banco de dados alimentados periodicamente, modelos matemáticos a partir de softwares computacionais que simula cenários para prever situações futuras de qualidade de água e/ou de quantidade de água em reservatórios (SANTOS, 2011).

Segundo Lopes e Freitas (2007), no procedimento de gerenciamento de reservatórios, é necessário tornar alocação da água disponível promotora dos diversos usos, de modo que as condições sociais, econômicas e legislativas sejam verificadas.

Para isto, o desenvolvimento de regras de operação de reservatórios e a modelagem a partir de funções matemáticas, simulam o comportamento físico do sistema e quantificam, dentro de prioridades de atendimento, um julgamento qualitativo do seu uso, a fim de otimizar os possíveis benefícios. As regras variam a partir do operador, dos aspectos dos reservatórios e seu volume mínimo ao fornecimento para as demandas (DINAR, ROSENGRANT e DICK, 1997).

No Brasil, ainda que a Política Nacional de Recursos Hídricos esteja fundamentada e objetive a gestão participativa, a tendência tem sido um modelo mais centralizado de tomada de decisões com uma participação pública que precisa ser fortalecida.

Definem Lopes e Freitas (2007) acerca da alocação por repartições públicas:

É difícil de tratar água como um bem de mercado, uma vez que o acesso à água é, historicamente, percebido como um direito público. A alocação feita por agentes públicos permite perseguir objetivos equitativos e tem a possibilidade de tratar com os vários aspectos dos recursos hídricos que requerem investimentos de longo prazo. Tem a desvantagem de tender a substituir o mecanismo de mercado, o que pode levar ao desperdício e à má alocação. Em todo o mundo, a alocação de água realizada somente por instituições públicas raramente cria iniciativas ao uso racional da água.

Como instrumento no gerenciamento, a alocação deve ser parte de um planejamento de operação previamente estudado, com base em uma modelagem que

defina o comportamento físico do sistema, com o objetivo de maximizar os benefícios advindos da disponibilidade hídrica (LOUCKS, 1997)

Diante do aumento da diversificação dos usos e intensidade da água, a alocação deve atuar como método de resolução de conflitos que podem apresentar caráter de destinação uso, de disponibilidade qualitativa e disponibilidade quantitativa. Os problemas no compartilhamento deste recurso entre os vários usuários requerem um gerenciamento respaldado no que é disposto institucionalmente e normativamente.

### **3.3.3 Simulação e Modelagem de Rede de Fluxo**

A necessidade de representar e gerenciar sistemas físicos e seu comportamento dentro de certo conjunto de condições desenvolve a criação de modelos de simulação. Em relação aos recursos hídricos, Andrade (2006) refere que as primeiras aplicações de simulação em recursos hídricos foram presentes na década de 1950.

Os modelos de simulação na aplicação à operação de reservatórios têm como base de cálculo o balanço hídrico entre as afluências, efluências e variações no armazenamento, podendo, ainda, incluir avaliações econômicas de prejuízos decorrentes de enchentes, benefícios de geração de energia hidrelétrica, benefícios de irrigação, pesca, parâmetros de qualidade da água e outras características similares (SOUZA e CASTRO, 2013).

Acerca dos modelos de simulação, Simonovic (1992) comenta:

Um modelo de simulação, ao contrário de um modelo de otimização, não gera, diretamente, uma solução ótima para um problema de operação de reservatório, embora que, se exercitado várias vezes com políticas de decisão alternativas, possa detectar a solução ótima ou próxima da ótima.

Nesse contexto, os modelos de simulação são ferramentas utilizadas no planejamento de recursos hídricos em sistemas de múltiplos reservatórios, visto a facilidade de trabalhar com cenarização, sem a necessidade de muitas simplificações na sua construção, o que não acontece com os modelos de otimização (NGUYEN *et al.*, 2016)

No contexto das bacias hidrográficas e gestão da demanda, uma das técnicas utilizadas é a simulação matemática através de modelos de rede de fluxo. A modelagem matemática de rede de fluxo tem como principal vantagem a flexibilidade em representar de modo sistêmico e mais didático os sistemas complexos a partir de softwares computacionais. Essa metodologia atua como um sistema de suporte a decisão a partir de técnicas específicas entre operador e sistema (ARAGÃO, 2008).

#### **3.3.4 Modelo ACQUANET**

O AcquaNet é um modelo de rede de fluxo desenvolvido com o objetivo de auxiliar tomadores de decisão no gerenciamento de bacias hidrográficas. O AcquaNet foi originado do modelo ModSim desenvolvido na Colorado State University sob a liderança do Prof. John Labadie (PORTO *et al.*, 2003). No modelo original foi inserida uma interface gráfica para facilitar sua aplicação, chamada de ModSimP32, desenvolvida pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da USP. A versão atual do programa (AcquaNet) ainda passou pela versão (ModsimLS).

De acordo com Albano e Porto, 2004:

Esse modelo incorpora esquema de otimização em modelagem de simulação, que essencialmente simula o comportamento complexo de bacias hidrográficas e otimiza a cada mês (acumulando resultados de um mês para o outro). O AcquaNet integra módulos de alocação de água, geração de energia, qualidade da água, irrigação, análise econômica para alocação e curvas de aversão a risco. O presente trabalho, as simulações foram realizadas no módulo de alocação de água (ARAGÃO, 2008).

A função matemática de rede de fluxo empregada pelo Acquanet é apresentada a seguir:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^m \cdot \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij}$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{j=1}^m x_{ij} - \sum_{j=1}^m x_{ij} = 0, \quad i = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} \geq L_{ij}, \quad i, j = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} \geq U_{ij}, \quad i, j = 1, \dots, m$$

Sendo:

$c_{ij}$  = custo do transporte de uma unidade de fluxo através do arco  $ij$

$x_{ij}$  = quantidade de fluxo que passa pelo arco  $ij$

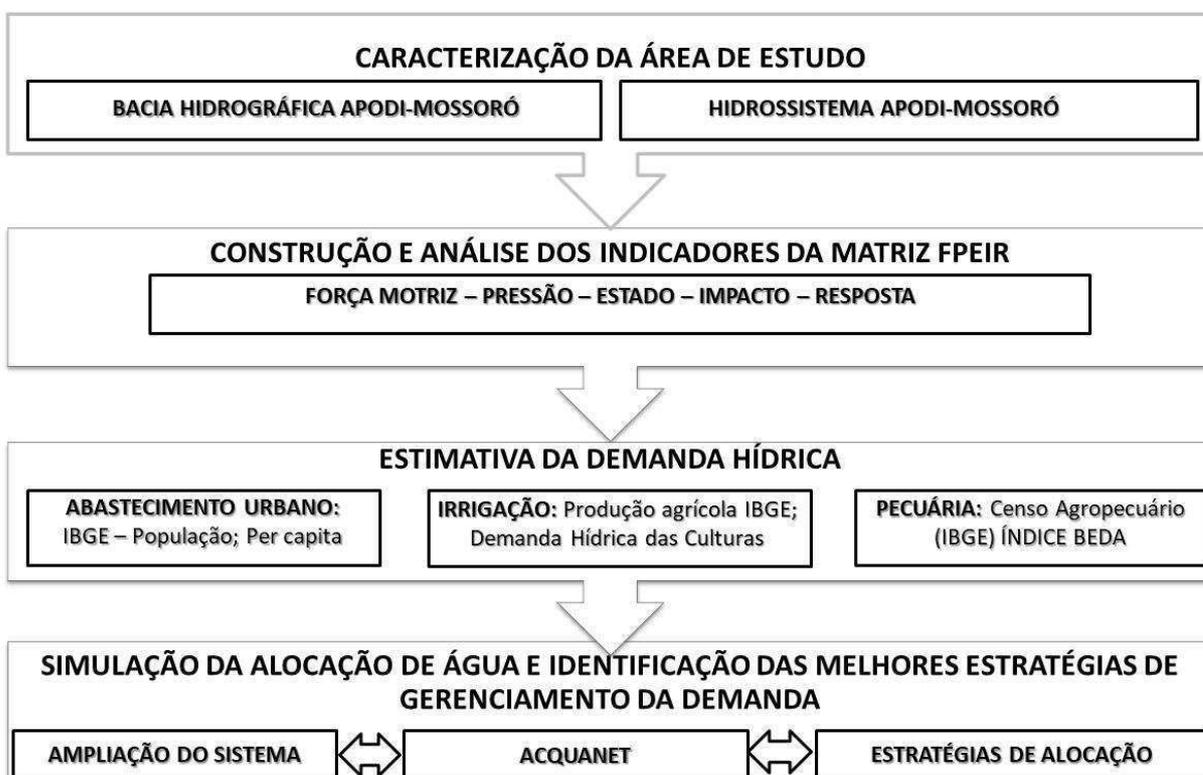
$L_{ij}$  = capacidade mínima do arco  $ij$

$U_{ij}$  = capacidade máxima do arco  $ij$

O algoritmo (Out-of-Kilter - OFK) do modelo possibilita a modelagem de sistemas complexos em versões de computadores comuns. Embora haja extrema agilidade nos modelos de rede de fluxo, os mesmos apresentam limitações. No AcquaNet, a otimização é realizada em intervalo de tempo mensal, de forma sequencial, os resultados se limitam a esferas de tempo menores (PORTO *et al.*, 2003).

#### 4. METODOLOGIA

As etapas metodológicas da pesquisa envolvem: i) a caracterização da área de estudo; ii) a identificação e análise das variáveis a comporem os indicadores da matriz Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta; iii) estimativa das demandas do hidrossistema Apodi-Mossoró (componente dos indicadores – pressão); iv) a simulação da alocação de água no hidrossistema Apodi-Mossoró e a identificação das melhores estratégias para o gerenciamento da demanda de água na BHAM (componente dos indicadores – resposta).



**Figura 2** - Estrutura do Percurso Metodológico.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Na 1ª etapa metodológica, faz-se a caracterização da área de estudo, a partir da Bacia Apodi-Mossoró e da análise dos reservatórios e projetos de abastecimento que compõem o hidrossistema Apodi-Mossoró.

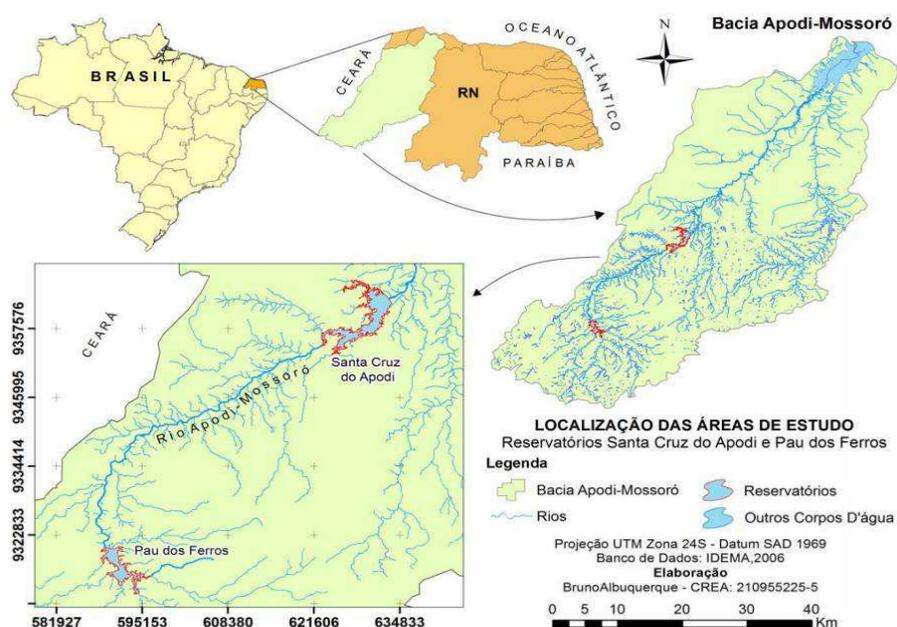
Na 2ª etapa, foram selecionados os indicadores de sustentabilidade da Matriz FPEIR, de acordo com os critérios da OECD (1993), destes, destaca-se a escolha de indicadores que fornecem de uma imagem representativa das condições ambientais;

a simplicidade e facilidades de interpretação; e a disponibilidade de dados de boa qualidade para a construção da matriz.

Diante dos indicadores selecionados, a 3ª e 4ª etapas consistem na estimativa e simulação de indicadores pontuais da matriz. A 3ª etapa é a estimativa da demanda hídrica do hidrossistema Apodi-Mossoró (indicador Pressão) e a 4ª etapa é a simulação da alocação de água no hidrossistema Apodi-Mossoró e a identificação das melhores estratégias para o gerenciamento da demanda de água na BHAM (indicador Resposta).

#### 4.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (Figura 3) ocupa uma superfície de 14.276 km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 27% do território estadual. A bacia apresenta dominialidade estadual, de modo que é totalmente inserida nos limítrofes do Rio Grande do Norte. A bacia é a segunda maior do estado no abastecimento de 52 municípios. A nascente se encontra na cidade de Luis Gomes, com o rio se estendendo por 120 km até a deságuas entre os municípios de Areia Branca e Grossos (PERH-RN, 1998).



**Figura 3** - Localização da área de estudo, reservatórios Santa Cruz do Apodi e Pau dos Ferros no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.

Fonte: Silva (2013).

A análise é feita em dois açudes do rio Apodi-Mossoró situados na porção cristalina no médio curso da bacia, devido o envolvimento nos projetos de abastecimento de Mossoró-RN, maior cidade da bacia. São eles a barragem de Pau dos Ferros e a barragem de Santa Cruz do Apodi que compõem o hidrossistema Apodi-Mossoró (SEMARH, 2017).

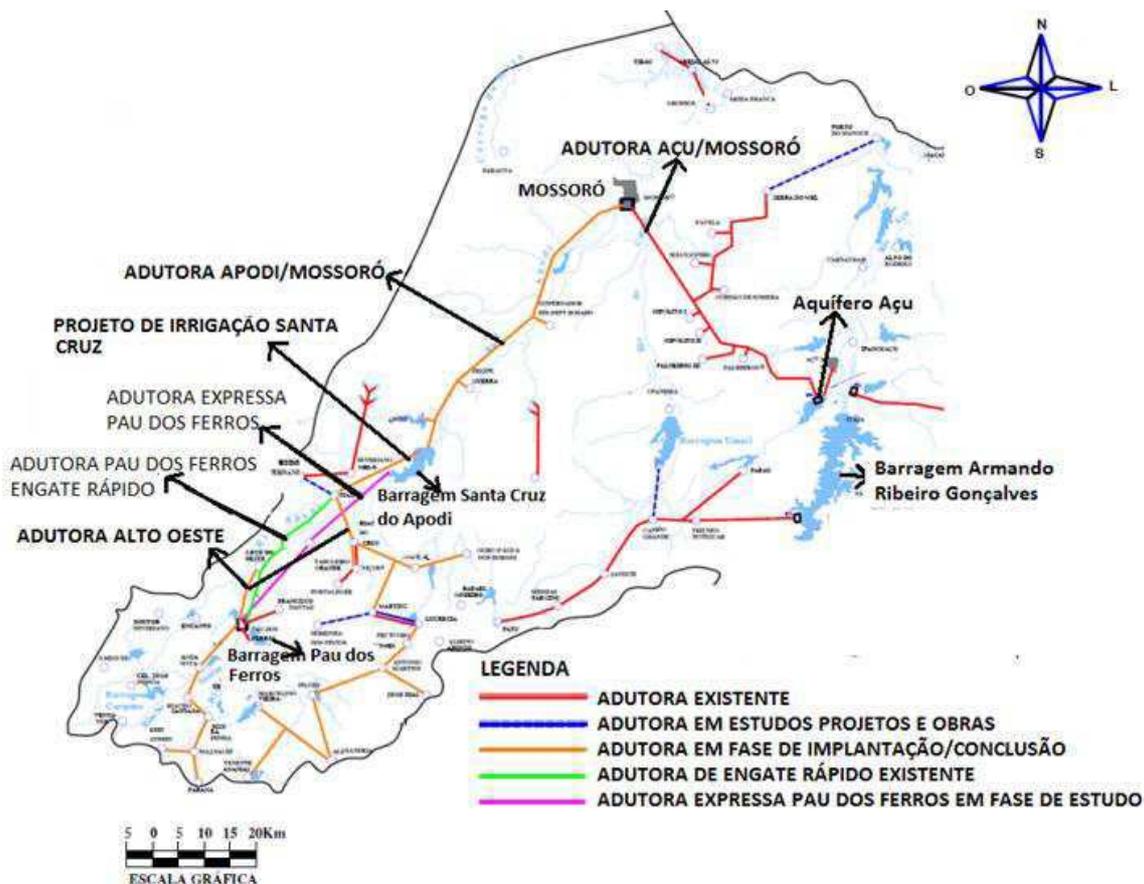
O reservatório de Pau dos Ferros, localizado no município de Pau dos Ferros ocupa uma área de 259.960 km<sup>2</sup> e capacidade total de 54 846 000 m<sup>3</sup>. O reservatório foi inaugurado em dezembro de 1968 e tem como principal finalidade o abastecimento fornecendo água para os municípios de Pau dos Ferros, Francisco Dantas, Rafael Fernandes, Água Nova, Major Sales e Luís Gomes (ANA, 2015).

O reservatório de Santa Cruz (5°46'02,26''S e 037°47'53,36''W) está localizado no município de Apodi, no trecho médio do rio Apodi/Mossoró. Teve sua construção concluída em 2002 e possui área de 3.413,36 ha e capacidade máxima de aproximadamente 600 milhões de m<sup>3</sup> de água (ANA, 2015).

Os reservatórios Santa Cruz e Pau dos Ferros que compõem o hidrossistema Apodi-Mossoró, possuem projetos de sistemas de adutoras complexos (podendo induzir a diversos usos conflitantes pela água). Os projetos analisados neste estudo são:

1. Projeto de Irrigação Santa Cruz na construção da adutora para o Perímetro Irrigado da Chapada do Apodi (CAERN, 2017).
2. Sistema Alto Oeste para abastecimento de municípios do alto curso da BHAM;
3. Adutora Santa Cruz-Mossoró para abastecimento do município de Mossoró-RN e região (baixo curso);

A Figura 4 apresenta o sistema hídrico da BHAM com os projetos da Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte com destaque para os projetos de adutoras estudados.



**Figura 4** - Recorte do sistema Hídrico da BHAM com destaque para as adutoras envolvidas do hidrossistema Apodi-Mossoró.

Fonte: Adaptado de CAERN (2017).

#### 4.1.1 Projeto de irrigação Santa Cruz

A área a ser ocupada com o Projeto de Irrigação Santa Cruz está localizada nos municípios de Felipe Guerra e Apodi, no curso médio do rio Apodi. Esta área está totalmente assentada sobre o embasamento sedimentar, representado pelo planalto denominado Chapada do Apodi, apresentando relevo plano a suave ondulado, com um total de 26.372 ha de terras aptas para irrigação.

O projeto será abastecido com água proveniente da barragem de Santa Cruz do Apodi, sendo que a segunda etapa somente poderá ser implantada após a efetivação da transposição das águas do rio São Francisco. As obras foram dimensionadas de forma modular segundo as etapas, possibilitando a divisão dos investimentos previstos. A captação será feita através de uma estação de bombeamento principal localizada no rio Apodi com vazão de  $6\text{m}^3/\text{s}$ .

### 4.1.2 Sistema adutor do Alto Oeste

O sistema Alto Oeste tem como objetivo principal abastecer a região do Alto Curso por um sistema integrado entre os reservatórios Pau dos Ferros e Santa Cruz. Atualmente, o reservatório Pau dos Ferros está com volume nulo e desenvolve-se um estudo de viabilidade de uma adutora expressa a partir do reservatório Santa Cruz para reativá-lo. O nível zero gerou a necessidade de uma adutora emergencial de engate rápido que opera temporariamente do reservatório Santa Cruz para o abastecimento dos municípios que eram abastecidos pelo reservatório Pau dos Ferros (CAERN, 2017).

O Sistema Adutor Alto Oeste foi projetado com capacidade para atender o abastecimento de água de 24 cidades (Figura 5) como Pau dos Ferros, Marcelino Vieira, Jose da Penha bem como dois distritos e 64 comunidades rurais, com uma vazão de 0,45 m<sup>3</sup>/s para o atendimento de todas as demandas.

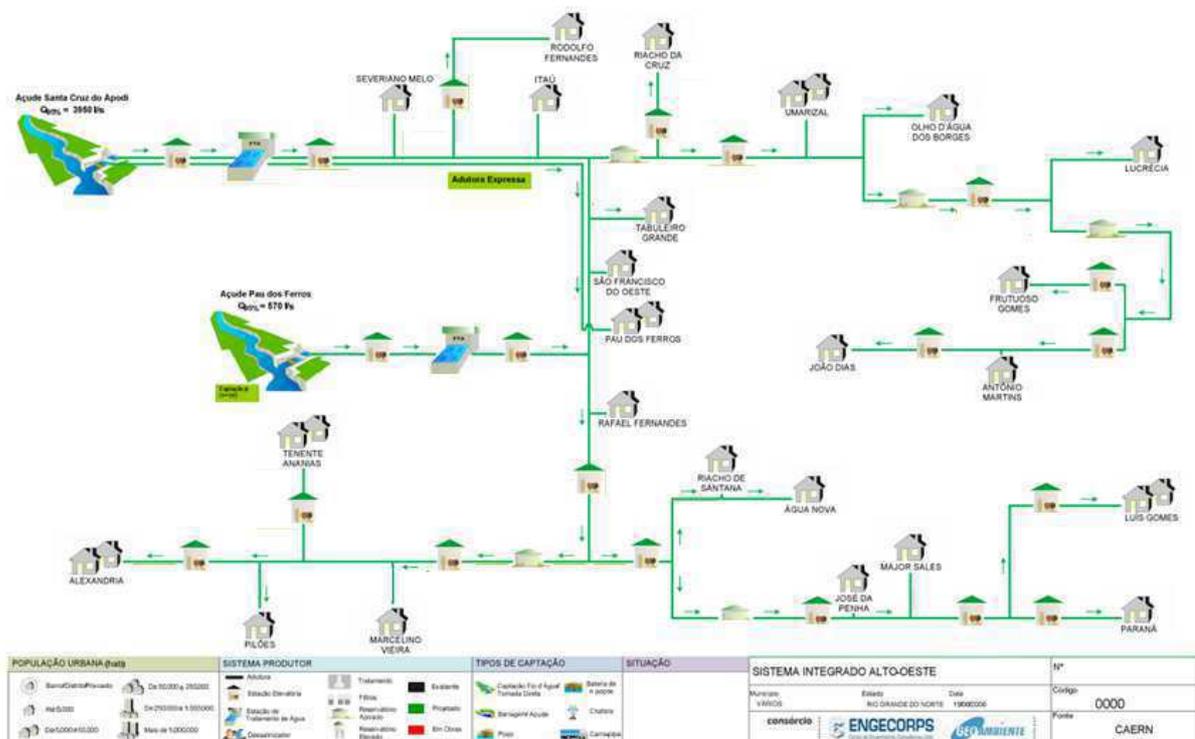


Figura 5 - Projeto do Sistema adutor Alto Oeste

Fonte: ATLAS, 2017.

### 4.1.3 Adutora Santa Cruz -Mossoró

A Adutora Santa Cruz – Mossoró poderá aumentar, em 60%, a atual oferta de água no Município de Mossoró. O projeto se justifica pela possível substituição dos poços profundos do aquífero Açú, localizados a jusante da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, que atualmente abastecem 60% do município e estão em regime de exaustão (PMM, 2010). O Projeto de Irrigação Santa Cruz, a partir da construção da adutora para o Perímetro Irrigado da Chapada do Apodi, objetiva a ampliação do sistema a fim de possibilitar o desenvolvimento das áreas irrigadas no Médio e Baixo cursos da bacia (CAERN, 2017).

A adutora principal terá a 93 km de extensão da barragem até Mossoró passando por Apodi e Governador Dix-Sept-Rosado, terá também uma sub- adutora de 7 km de extensão para abastecer a cidade de Felipe Guerra. O Sistema Adutor Santa Cruz – Mossoró (Figura 6) irá também abastecer Governador Dix-Sept - Rosado e Felipe Guerra, além de outras comunidades localizadas ao longo de seu trajeto, possui uma vazão de 0,39m<sup>3</sup>/s na conclusão.

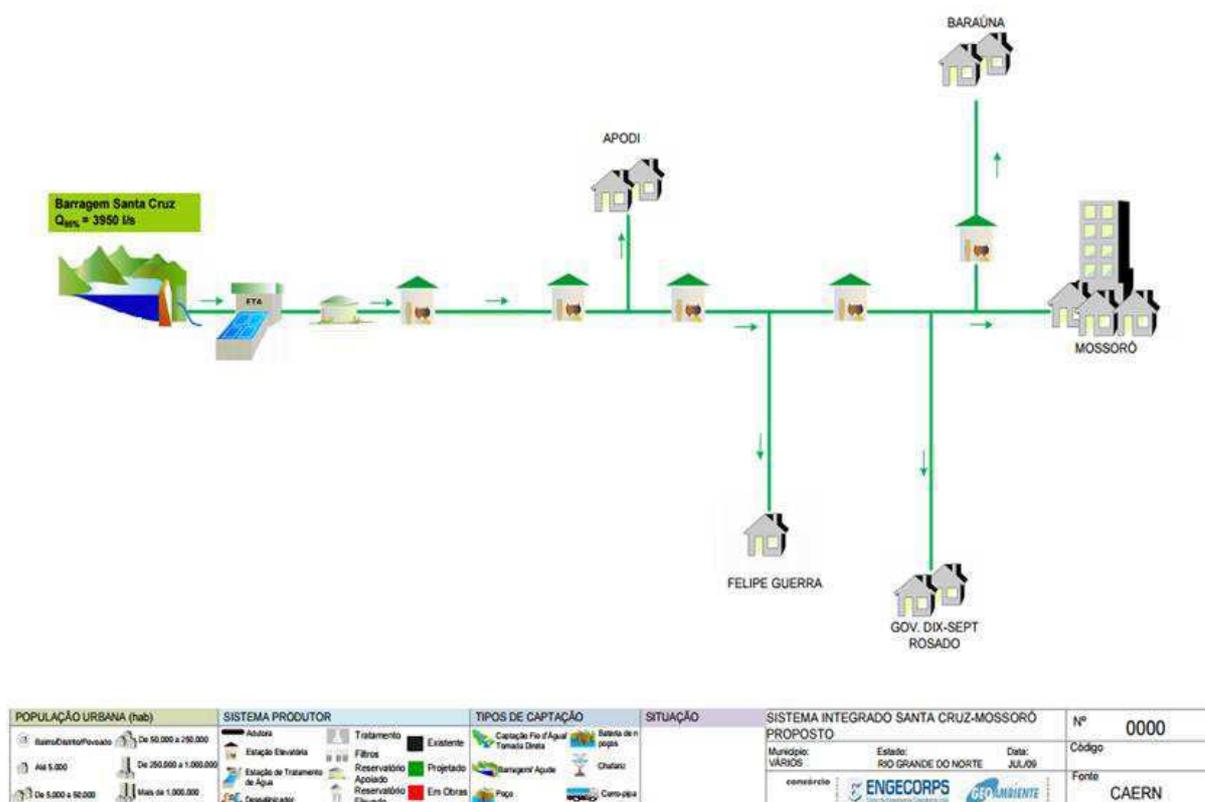


Figura 6 - Projeto do Sistema adutor Santa Cruz-Mossoró

Fonte: ATLAS, 2017.

## 4.2 Matriz FPEIR – Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró

Na 2ª etapa foram selecionados os indicadores de sustentabilidade, para isso a OCDE (1993) aponta alguns critérios. Os critérios definidos pela OECD: Com relação à relevância política e utilidade para os usuários, um indicador ambiental deve:

- ✓ fornecer uma imagem representativa das condições ambientais, as pressões sobre o ambiente ou respostas da sociedade;
- ✓ ser simples, fácil de interpretar e capaz de mostrar as tendências ao longo do tempo; • ser sensível às mudanças no ambiente e atividades humanas relacionadas; • fornecer uma base para comparações internacionais;
- ✓ ser de âmbito nacional ou aplicável às questões ambientais regionais de importância nacional;
- ✓ ter um valor limiar ou de referência para compará-lo, que os usuários sejam capazes de avaliar o significado dos valores associados. Em relação à solidez analítica, um indicador ambiental deve:
- ✓ ser teoricamente bem fundamentado em termos técnicos e científicos;
- ✓ basear-se em normas internacionais e consenso internacional sobre a sua validade;
- ✓ prestar-se a estar ligado a modelos econômicos, previsão e sistemas de informação.

Os componentes da matriz FPEIR de acordo com a Agência Europeia de Meio Ambiente – EEA (1999) podem ser entendidos como:

**Forças-motrizes** tem o intuito de descrever os desenvolvimentos sociais, demográficas e econômicas nas sociedades e as alterações correspondentes nos estilos de vida, os níveis globais de padrões de consumo e produção; **Pressão** busca descrever a evolução da liberação de substâncias (emissões), agentes físicos e biológicos, a utilização de recursos; **Estado** pretende dar uma descrição da quantidade e qualidade dos fenômenos físicos; **Impacto** tem como objetivo descrever os impactos sobre as funções sociais e econômicas, sobre o meio ambiente, tais como o fornecimento de condições adequadas, a disponibilidade de recursos e a biodiversidade; **Resposta** refere-se às respostas por grupos (indivíduos) na sociedade, bem como as tentativas do governo para prevenir, compensar, melhorar ou adaptar-se as mudanças no estado do ambiente.

No que se refere à seleção dos indicadores do Modelo FPEIR, a estrutura

concebida para a respectiva matriz FPEIR é apresentada na Figura 7.



**Figura 7** - Esquema do Modelo FPEIR para Bacia Apodi-Mossoró.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 Estimativa da demanda hídrica do hidrossistema Apodi-Mossoró (Indicador pressão)

#### 4.3.1 Indicador pressão – Demanda hídrica urbana

Para estimativa da demanda hídrica urbana, o Atlas Nordeste de abastecimento urbano pondera a percapita de consumo diário como variável em cada município de acordo com o tamanho da população (ANA, 2006). Os índices de per capita podem ser conferidos na Tabela 1.

**Tabela 1** – Valores per capita para abastecimento humano urbano.

População (nº de habitantes)	Per capita (L/hab/dia)	Perdas	Total (Per capita+ perdas)
0 a 5.000	120,00	40%	200,00
5.000 a 25.000	130,00	40%	217,00
25.000 a 100.000	135,00	40%	225,00
100.000 a 500.000	180,00	40%	300,00

(1) A per capita para abastecimento urbano rural igual a 100 L/hab.dia.

Fonte: ANA (2006).

#### 4.3.2 Indicador pressão – Demanda hídrica para irrigação

Irrigação é o maior utilizador da água na bacia. A área total sob irrigação na bacia é de cerca de 4600 km<sup>2</sup> (regimes comerciais, de pequena escala e da comunidade) com a maioria das fazendas sendo localizadas na região baixa da bacia (PERH, 1998).

A maioria das culturas na área só são irrigados na estação seca (fevereiro a março e julho a setembro). Como não há dados disponíveis sobre a quantidade exata de água usada para irrigação e os agricultores não sabem quanta água que eles usam para a irrigação, demanda de água de irrigação foi estimada a partir do balanço hídrico baseado na abordagem de coeficiente de colheita dupla FAO-56 desenvolvido por Allen *et al.* (1998) que fornece cálculos separados de transpiração das culturas e evaporação do solo. A demanda total de água para irrigação foi, assim, calculado pela multiplicação da área total irrigada com a exigência de água média para as principais culturas na bacia.

Para o cálculo da demanda hídrica para irrigação, considerou-se a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) para cada tipo de cultura e ao final somou-se as ET<sub>c</sub> de todas as culturas cultivadas no município. A ET<sub>c</sub> é determinada pela seguinte equação:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Sendo:

K<sub>c</sub> = coeficiente de cultivo

ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência

#### **4.3.3 Indicador pressão – Demanda hídrica para pecuária**

Para a estimativa da demanda pra pecuária, aplicou-se o coeficiente de demanda adotado pela metodologia do metodologia do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas Açu – PBHPA (ANA, 2016), o qual considera um consumo médio constante de 50l/cab/dia para cada unidade BEDA. A demanda hídrica para abastecimento pecuário por município foi obtida multiplicando-se o consumo médio pelo BEDA, sendo este definido pela seguinte equação:

$$\text{BEDA} = \text{BOV} + \text{EQUI} + \frac{1}{5}(\text{OV/CAP}) + \frac{1}{4}(\text{SUI})$$

Sendo:

BOV = bovinos e bufalino

OV/CAP = ovinos e/ou caprinos

EQUI = equídeos (equinos + asininos + muares)

SUI = suínos

#### **4.4 Simulação da alocação de água no hidrossistema Apodi-Mossoró e a identificação das melhores estratégias para o gerenciamento da demanda (Indicador Resposta)**

O AcquaNet difere de modelos como CALSIM, Aquarius, RiverWare, Water Ware, que requerem maiores habilidades na manipulação (JARADAT, 2010). O modelo AcquaNet tem sido utilizado em estudos como o de Teixeira e Porto (2008), na alocação de água como método de suporte à decisão na Bacia do rio Piracicaba; nos estudos de Miranda e Mauad (2014), para avaliação do reservatório Três Irmãos (no Estado de São Paulo); nos estudos de Fernandes *et al.* (2017), para alocação de água na Bacia do rio Jaguaribe (Ceará) considerando cenários de mudanças climáticas. No AcquaNet, a otimização é executada em intervalo de tempo mensal, de forma sequencial, não garantindo o ótimo global para um período de tempo à frente.

##### **4.4.1 Dados de entrada do Modelo de Rede de Fluxo**

Nas simulações realizadas nesta pesquisa, foram utilizados os relatórios da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015) para informações dos dados físicos dos reservatórios.

Os dados de vazões afluentes dos reservatórios foram utilizadas a partir dos dados referentes à climatologia coletados do website HidroWeb da ANA (2017) no período de 1986-2006 pela presença de dados em ambos postos fluviométricos. Foram utilizados dados do monitoramento das vazões afluentes dos dois reservatórios a partir dos postos fluviométricos de Governador Dix-Sept Rosado (reservatório Pau

dos Ferros) e Mossoró (reservatório Santa Cruz).

A evapotranspiração média mensal utilizada é a disposta por Bristot (1999) para cada um dos postos fluviométricos utilizados. As referências dos postos utilizados são dispostos na Tabela 2.

**Tabela 2:** Postos fluviométricos em operação na bacia do rio Apodi-Mossoró.

Código	Nome	Lat.	Long.	Alt.	Area Dren	Início
37084000	Gov Dix-Sept Rosado	-5.450	-37.515	6.4	7129	set-86
37090000	Mossoró	-5.219	-37.362	0	9450	set-86

Fonte: ANA (2017).

A partir das demandas de abastecimento urbano, irrigação e pecuária estimadas neste estudo, o modelo simula a alocação de água dos reservatórios para ser possível analisar os impactos nas condições volumétricas, fornecimento e falhas as vazões alocadas por diferentes estratégias de prioridades. Os dados físicos iniciais dos Reservatórios são dispostos na Tabela 3.

**Tabela 3 -** Hidrossistemas e reservatórios: capacidade, volume inicial e meta.

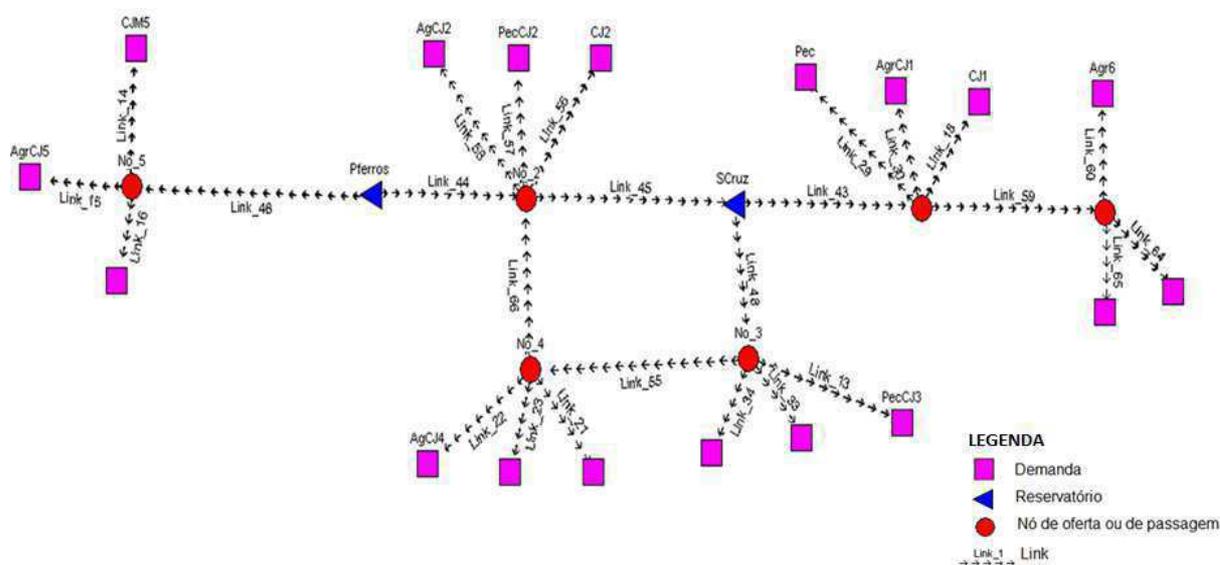
Hidrossistema	Reservatório	Legenda	Capacidade (Mm <sup>3</sup> )	Volume inicial (Mm <sup>3</sup> )	Volume Meta 30%	Volume Meta 10%
BHAM	Santa Cruz	SCruz	599,71	1.358,00	178,47	59,97
	Pau dos Ferros	Pferros	54,85	54,85	15,35	5,48

Fonte: ANA (2015).

#### 4.4.2 Modelagem de rede de fluxo para o Hidrossistema Apodi-Mossoró

A Figura 8 apresenta a rede de fluxo elaborada no modelo AcquaNet e utilizada para simular a alocação de água dos dois reservatórios em foco. O modelo representa o sistema de recursos hídricos através de nós. Esses nós são de volume (reservatórios), nós de passagem (confluências, pontos de entrada e pontos de demanda) e arcos ou links (canais, tubos de abastecimento e rio natural). As demandas do sistema são definidas em abastecimento urbano (AU), irrigação (Irrig) e

pecuária (Pec) para 6 conjuntos de municípios atendidos no hidrossistema Apodi-Mossoró. Os links representam o fluxo de água do rio Apodi-Mossoró a partir de um sistema hídrico em série; a afluência se dá de montante, em Pau dos Ferros, para Jusante, em Santa Cruz. A rede de fluxo contém o retorno de jusante para montante pelas adutoras Alto Oeste e Pau dos Ferros de engate rápido, a partir do reservatório Santa Cruz para abastecimento às demandas da Região do Alto Curso da bacia.



**Figura 8** - Rede de Fluxo Bacia Apodi-Mossoró: Hidrossistema Integrado Alto Oeste.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Como método de sistema de suporte à decisão, a alocação de água é feita através de estratégias focadas na oferta e demanda com o objetivo de simular computacionalmente as respostas da CAERN para a escassez hídrica. No modelo de rede de fluxo, as demandas foram estrategicamente ordenadas em prioridades de atendimento pelos códigos P1, P2, P3 e P4. A ordem de prioridades no atendimento à demanda é:  $P1 > P2 > P3 > P4$ . As estratégias de alocação e operação dos reservatórios estão expostas a seguir e apresentadas na Tabela 4. Para defini-las apoiou-se em Martins *et al.* (2013) e Ahmadi, Moridi e Sarang (2017).

**Tabela 4** - Estratégias de atendimento as demandas e condições de operação dos reservatórios.

Estratégias de Alocação	Estratégia e Reservatório	Prioridade
<b>Estratégia 1 - Urbana</b>	E1 V30: Volume meta dos reservatórios definido em 30%	Demanda Urbana: P1 Vol. Reservatório: P2

	E1 V10: Volume meta dos reservatórios definido em 10%	Demanda Irrigação: P3 Demanda Pecuária P2
<b>Estratégia 2 – Agrícola</b>	E2 V30: Volume meta dos reservatórios definido em 30% E2 V10: Volume meta dos reservatórios definido em 10%	Demanda Urbana: P1 Vol. Reservatório: P3 Demanda Irrigação: P2 Demanda Pecuária P2
<b>Estratégia 3 – GDA</b>	E4 V30: Volume meta dos reservatórios definido em 30% E4 V10: Volume meta dos reservatórios definido em 10%	Demanda Urbana: P1 Vol. Reservatório: P2 Demanda Irrigação: P3 Demanda Pecuária P2
<b>Estratégia 4 – Flexibilização</b>	E3 V30: Volume meta dos reservatórios definido em 30% E3 V10: Volume meta dos reservatórios definido em 10%	Demanda Urbana: 60% - P1 Demanda Urbana: 40% - P3 Vol. Reservatório: P2 Demanda Irrigação: 60% - P2 Demanda Irrigação: 40% - P4 Demanda Pecuária: 60% - P2 Demanda Pecuária: 40% - P4

<sup>(1)</sup> O volume meta corresponde ao percentual máximo que deve ser mantido no reservatório de um mês para outro.

#### **4.4.1 Estratégia 1 – Abastecimento Urbano**

Diante da prerrogativa estabelecida pela Lei nº 9.433/1997 (da Política Nacional de Recursos Hídricos) de o abastecimento humano possuir prioridade em casos de escassez hídrica, esta configuração confere maior prioridade para o atendimento urbano (P1) e para manutenção de um percentual que deve ser mantido no reservatório de um mês para outro (P2), chamado volume meta, frente ao atendimento da demanda para irrigação (P3). Desse modo, após o abastecimento urbano, a água é reservada e poderá atender a demanda urbana no futuro.

#### **4.4.2 Estratégia 2 – Irrigação**

Considerando uma maior flexibilidade para os usos, além do abastecimento urbano, nesta configuração o atendimento à demanda urbana recebe a maior prioridade (P1) por todo tempo; o atendimento à demanda de irrigação recebe prioridade 2 (P2) e o percentual de manutenção do reservatório, a 3 (P3). A estratégia justifica-se pela busca do desenvolvimento do setor agrícola.

#### **4.4.3 Estratégia 3 – Gestão da Demanda de Água (Indicador Resposta)**

A configuração prevê uma redução de 30% da demanda por parte dos usuários do abastecimento urbano. Esta configuração é justificada na proposição de mudanças

de hábitos no uso da água mediante a adoção de aparelhos poupadores e por técnicas de reúso de água.

Estudos no semiárido (Guedes, Ribeiro e Vieira, 2014; Barros, Rufino e Miranda, 2016) mostram a possibilidade de se atingir reduções no consumo de água a partir da adoção de várias alternativas de gerenciamento de demanda. A Tabela 5 e Tabela 6 indicam as alternativas propostas por Albuquerque *et al.* (2008).

**Tabela 5** - Custos e economia de água das alternativas por residência.

Alternativa	Redução do consumo de água mensal (%)
Captação de água de chuva	36
Torneiras e chuveiros econômicos	21,83
Aparelhos poupadores	38,33

Fonte: ALBUQUERQUE *et al.* (2008).

**Tabela 6** - Custos e economia de água das alternativas por edifício.

Alternativa	Redução do consumo de água mensal (%)
Torneiras e chuveiros econômicos	21,83
Aparelhos poupadores	38,33
Medição Individualizada	25
Reúso de água em edifícios	36

Fonte: ALBUQUERQUE *et al.* (2008).

A demanda para irrigação nesta estratégia também recebe a influência de um sistema de reúso da água. Um sistema de utilização de água servida para irrigação proposto por Silva *et al.* (2012) composto por: uma motobomba de 0,5 cv, um filtro de tela com aberturas de 130  $\mu$ m, uma linha principal em PVC de 32 mm e quatro linhas laterais de polietileno de 16 mm, dotadas de gotejadores autocompensantes de 4,0 L h<sup>-1</sup>, que como corrobora Dantas *et al.* (2014), possibilita redução no consumo de 34%.

#### **4.4.4 Estratégia 4 – Flexibilização**

A média de água perdida no Estado do Rio Grande do Norte no processo de abastecimento é entre 49% e 51% (CAERN, 2017). Diante do desperdício de água da distribuição, Martins *et al.* (2013) propôs na análise de estratégias de alocação para a Bacia do rio Piranhas-Açu, uma configuração para analisar a remoção da prioridade absoluta da demanda urbana prevista em lei. O objetivo é evitar a penalização para usos mais eficientes. A configuração propõe que depois de atendidos os 60% iniciais da demanda urbana (P1), a água restante começa a atender uma parte das demandas

de irrigação e pecuária (P2). Completados 60% das demandas Agrícola e Pecuária, os próximos 40% são fornecidos da demanda urbana (P3) e então é distribuído para os últimos 40% das demandas de irrigação e pecuária (P4).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que se refere aos indicadores do Modelo FPEIR, a estrutura concebida para a respectiva matriz FPEIR é apresentada na Figura 9 e discutida nas subseções posteriores.



**Figura 9** - Esquema do Modelo FPEIR para Bacia Apodi-Mossoró: identificação dos indicadores simulados.

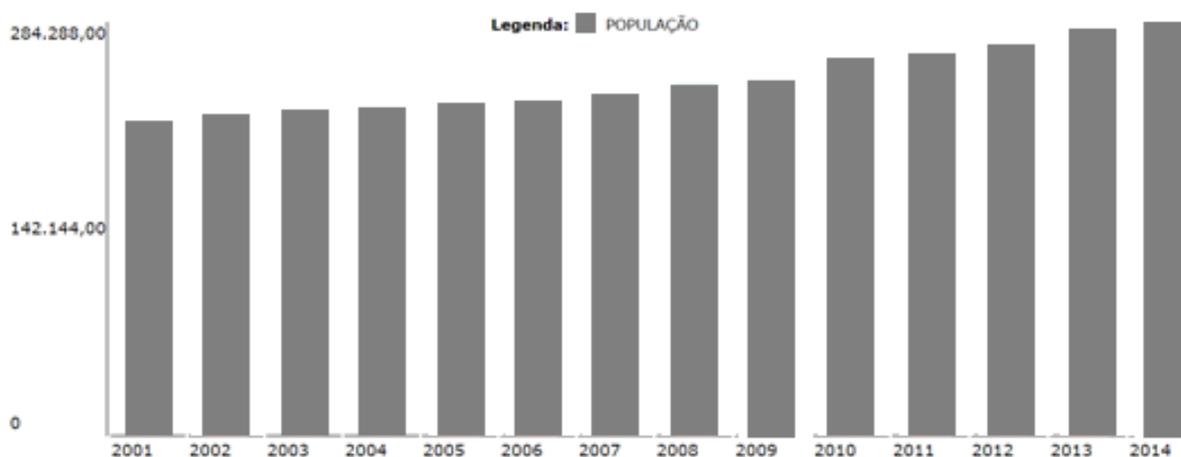
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 5.1. Indicadores de Força Motriz

#### 5.1.1 Crescimento populacional

O crescimento populacional é uma importante referência contextual sobre desenvolvimento sustentável para a decisão política acerca do inter-relacionamento entre as pessoas, os recursos, o ambiente e o desenvolvimento. A variação do crescimento populacional gera uma medida da pressão humana sobre os recursos hídricos. Os municípios da bacia Apodi-Mossoró apresentam taxas de crescimento populacional médio de 1,10% ao ano (Anexo 1), destacando-se os municípios de Apodi com 1,05% ao ano e Pau dos Ferros 1,06% ao ano.

O crescimento da população de Mossoró se apresenta como a maior força motriz do crescimento demográfico. Entre 2000 e 2014, a população de Mossoró cresceu a uma taxa média anual de 1,97% ao ano, enquanto no Brasil foi de 1,17%, no mesmo período. No mesmo período o Estado teve uma taxa média de 1,01% (IBGE, 2015). A figura 10 apresenta a evolução da população do município de Mossoró.



**Figura 10** - Evolução da população de Mossoró/RN

Fonte: IBGE, 2010 ; PMM, 2017 .

O crescimento populacional sintetiza um momento de dinamismo nos processos de ocupação do espaço urbano, a extensa zona rural do município e crescimento nesta malha promove o um problema ambiental no município que é o assentamento rural mal planejado.

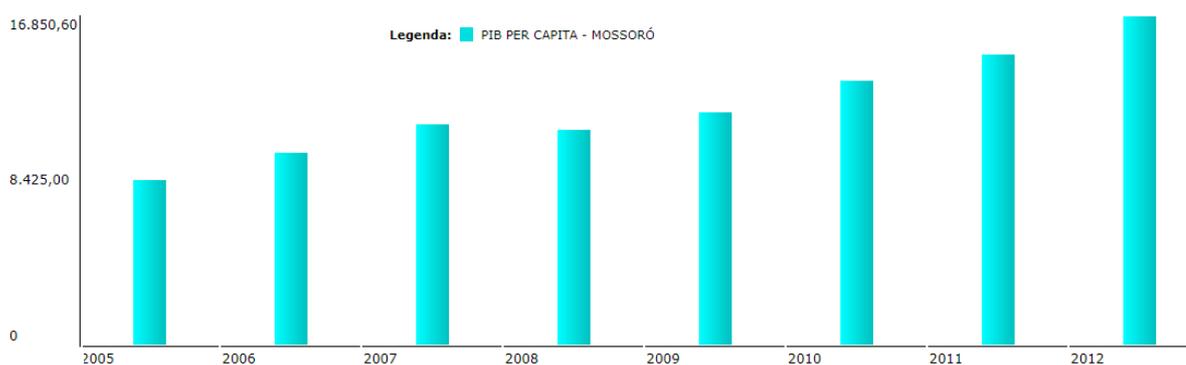
### **5.1.2 Desenvolvimento econômico**

O avanço do desenvolvimento econômico, caracterizado pelo aumento na capacidade produtiva de bens e serviços, apresenta-se como um indicador relevante de força motriz na bacia. Um parâmetro utilizado na representação do desenvolvimento econômico é o Produto Interno Bruto (PIB) por quantificar a atividade econômica através da soma de toda a renda gerada pelas atividades econômicas em um determinado tempo.

Inserido no contexto de crescimento da população, na BHAM, o município de relevância de crescimento econômico é Mossoró, segundo o IDEMA (2012), este

possui um grande potencial para o desenvolvimento econômico com a interação entre elementos de diversos setores econômicos, destacando-se: setor petrolífero, salineiro, fruticultura irrigada, industrial, alimentício, habitacional, artefatos cerâmicos, mineração, o que deve acarretar aumento da demanda hídrica para abastecimento dos setores.

A partir dos anos 80, a bacia Apodi-Mossoró, mais especificamente no município de Mossoró se tornou palco de grandes investimentos estatais, principalmente com a instalação da PETROBRAS, que aliado com o desenvolvimento da sua atividade salineira e do seu distrito industrial, proporcionou à cidade um crescimento industrial diversificado. A figura 11 mostra a evolução do PIB per capita de Mossoró e em anexo os demais municípios da BHAM.



**Figura 11** – Evolução do PIB per capita de Mossoró

Fonte: ADHB, 2013.

Diante deste contexto evolutivo, ocorreu também a consolidação da agricultura irrigada, constituída pelo pólo Açú/Mossoró, que além de favorecer a formação do setor agroindustrial na região, possibilitou a instalação de novas atividades e atraiu novos atores migrantes para a cidade. No decorrer de todas as fases de sua formação econômica, portanto, atesta-se o seu domínio na região como centro prestador de serviços, seja como pólo agroindustrial, produtor de sal, produtor de petróleo ou produtor de frutas tropicais para exportação, sendo sempre considerável a atração que essa cidade exerce sobre seus vizinhos.

## 5.2 Indicadores de Pressão

### 5.2.1 Estimativa das demandas

As outorgas estão associadas às demandas hídricas da região, os usuários requerem a concessão do uso ao IGARN que é órgão responsável pela emissão de outorgas no Estado.

De acordo com dados disponibilizados pelo IGARN, em setembro de 2014, o Estado de Rio Grande do Norte apresentava 2.077 outorgas registradas oficialmente, das quais 517 na bacia do Apodí-Mossoró (HINCAPIE, 2016). A tabela 7 apresenta as vazões outorgadas para os diferentes tipos de atividades na BHAM.

**Tabela 7** - Relação entre as vazões das outorgas de água na BHAM e tipo de atividades.

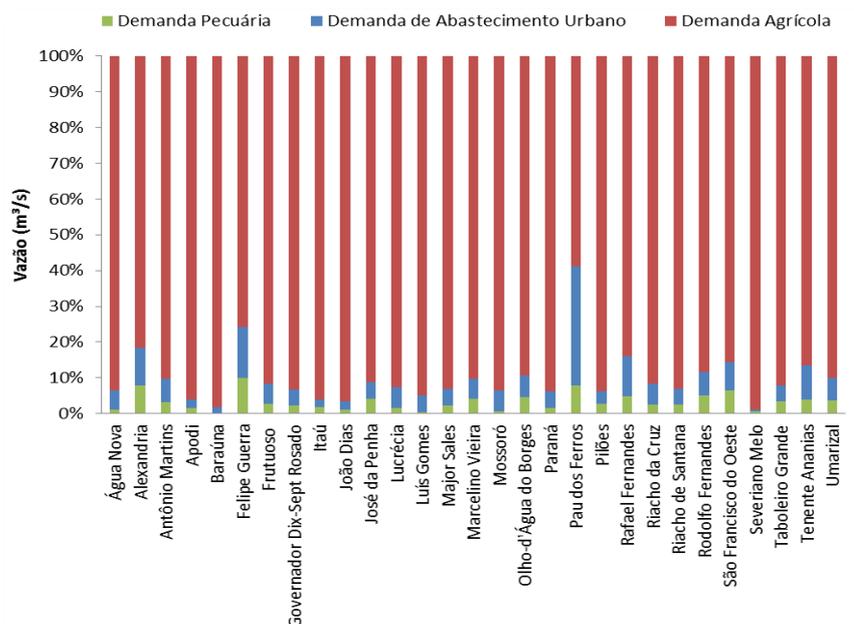
Bacia Hidrográfica	Número de outorgas	Irrigação (m³/dia)	Carcinicultura (m³/dia)	Abastecimento humano (m³/dia)	Piscicultura (m³/dia)	Efluentes (m³/dia)	Industrial (m³/dia)	Total vazão outorgada (m³/dia)
Apodi Mossoró	517	343.620,80	140.806,51	93.427,10	1.284,82	2.678,40	20.393,62	603.437,32

Fonte: IGARN, 2014.

Segundo Câmara (2016), o IGARN sofre com deficiências no corpo técnico para fiscalizar o aproveitamento hídrico que vem sendo desempenhado ao longo das 14 bacias hidrográficas no Estado do Rio Grande do Norte, incluindo a BHAM. A agência lida com situações como o elevado número de poços clandestinos espalhados ao longo do território estadual, sem estarem registrados, afetando assim a disponibilidade hídrica do local e o real conhecimento da demanda no Estado.

Diante disso, este estudo realiza uma estimativa das demandas hídricas na bacia para as atividades de abastecimento urbano, irrigação e pecuária. Em estimativa de demandas, é comum projetar-se o consumo da água a partir de variações mensais, sendo o consumo passível de mudanças no decorrer do tempo devido ao aumento populacional.

Para a estimativa realizada, estabeleceu-se vazão anual como constante para as demandas estimadas de modo que a perca pita variou de acordo com a população das cidades e com perca pita fixa para a zona rural. As frações das demandas estimadas para os municípios inseridos no sistema integrado da BHAM são apresentadas na Figura 12.



**Figura 12** - Fração das vazões médias dos Municípios da Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró.  
Fonte: Figura elaborada com base no IBGE (2016).

A predominância da irrigação nas demandas atesta que a bacia segue a tendência das regiões semiáridas nordestinas de alicerçar o desenvolvimento regional na agricultura, devido às políticas públicas serem mais efetivas para os investimentos no setor.

Diante dos métodos convencionais utilizados neste e em outros estudos de planejamento de recursos hídricos, foi considerado os municípios que serão abastecidos pelos reservatórios em análise Santa Cruz e Pau dos Ferros, através dos projetos de ampliação do sistema de abastecimento integrado na bacia. A estimativa total da demanda para os principais usos está dispostas na Tabela 8.

**Tabela 8** - Demanda estimada dos municípios contemplados nos projetos de ampliação do abastecimento.

Municípios abastecidos	Abastecimento Urbano (m³/s)	Irrigação (m³/s)	Pecuária (m³/s)
<b>Adutora Alto Oeste</b>	0,15	3,12	0,08
<b>Adutora Santa Cruz – Mossoró + Irrigação Santa Cruz</b>	0,35	7,39	0,06
<b>Somatório das demandas</b>	0,50	10,51	0,14

A demanda dos municípios abastecidos pela adutora Santa Cruz – Mossoró apresentou déficit hídrico de 0,07m³/s para operação do sistema em primeiro plano e excedente de 0,04m³/s na conclusão do sistema. O fornecimento e garantia total do sistema que contempla Mossoró, maior cidade em extensão e importância

socioeconômica da bacia, é feita pelo abastecimento em conjunto com adutora Açú-Mossoró que capta água da Barragem de Armando Ribeiro. Na conclusão do projeto, pode-se haver a substituição do uso dos poços profundos, preservando o lençol subterrâneo, reduzindo custos de manutenção e energia elétrica e favorecendo um melhor controle da distribuição de água para o município de Mossoró e região.

A predominância da agricultura indica que ainda de importância socioeconômica, esta bacia hidrográfica vem sofrendo constantes impactos, provenientes da lixiviação de fertilizantes e pesticidas de diversas atividades agrícolas desenvolvidas no entorno do rio Mossoró.

### 5.2.1.1 Sistema Alto Oeste

A demanda estimada dos municípios da adutora Alto Oeste, parcialmente atendida pela adutora emergencial de engate rápido para o município de Pau dos Ferros e circunvizinhos, totaliza 3,35m<sup>3</sup>/s. Essa demanda é inferior a soma da vazão de 3,95m<sup>3</sup>/s referente a vazão de regularização de garantia de 95% do reservatório Santa Cruz e 0,57m<sup>3</sup>/s da vazão de regularização de garantia de 95% do reservatório Pau dos Ferros do projeto da adutora Alto Oeste.

As demandas do município que integram o Sistema Alto Oeste estão apresentadas na Tabela 9.

**Tabela 9** - Demanda de água estimada dos municípios na malha do sistema Alto Oeste.

Municípios	Abastecimento Humano (m <sup>3</sup> /s)	Irrigação (m <sup>3</sup> /s)	Abastecimento pecuário (m <sup>3</sup> /s)	TOTAL (m <sup>3</sup> /s)
Água Nova	0.003	0.062	0.001	0.066
Alexandria	0.013	0.121	0.009	0.143
Antônio Martins	0.007	0.111	0.003	0.121
Frutuoso	0.004	0.078	0.002	0.084
Itaú	0.005	0.275	0.004	0.285
João Dias	0.002	0.119	0.001	0.123
José da Penha	0.006	0.132	0.005	0.142
Lucrecia	0.004	0.068	0.001	0.073
Luís Gomes	0.009	0.227	0.001	0.237
Major Sales	0.004	0.085	0.002	0.090
Marcelino Vieira	0.008	0.153	0.006	0.167
Olho-d'Água	0.004	0.000	0.003	0.007
Paraná	0.004	0.095	0.001	0.100
Pau dos Ferros	0.028	0.062	0.007	0.097
Pilões	0.004	0.109	0.003	0.115
Rafael Fernandes	0.005	0.043	0.003	0.051
Riacho da Cruz	0.003	0.059	0.001	0.064

<b>Riacho de Santana</b>	0.004	0.103	0.002	0.110
<b>Rodolfo Fernandes</b>	0.005	0.076	0.003	0.084
<b>São Francisco do Oeste</b>	0.004	0.050	0.003	0.058
<b>Severiano Melo</b>	0.003	0.716	0.004	0.723
<b>Taboleiro Grande</b>	0.002	0.059	0.002	0.063
<b>Tenente Ananias</b>	0.010	0.107	0.004	0.121
<b>Umarizal</b>	0.010	0.166	0.006	0.182
<b>TOTAL</b>	0.150	3.119	0.079	<b>3.305</b>

A demanda hídrica concentra-se em predominância pela irrigação. As características do processo, sendo esta difusa, em perímetros públicos ou privados, como ocorre de modo geral nos municípios do Rio Grande do Norte. A demanda para o setor pecuário é presente, ainda que de baixo valor, para toda a região abastecida.

### **5.2.1.2 Integração adutora Santa cruz – Mossoró e adutora irrigação Vale do Apodi**

O projeto de Integração adutora Santa Cruz – Mossoró implica na adição de cinco municípios com maior desenvolvimento econômico e projeção de crescimento que do hidrossistema Alto Oeste. Municípios do alto da bacia Apodi-Mossoró, responsáveis por maior parte de desenvolvimento da mesma. As demandas (Tabela 10) indicam uma proporção ao desenvolvimento e sua diferença com áreas mais baixas da bacia. A expansão dos perímetros irrigados e o conflito de relação com o abastecimento humano se acentuam nesta área.

**Tabela 10** - Demanda de água estimada na malha dos municípios da Adutora Santa Cruz – Mossoró e Irrigação Vale do Apodi.

<b>Municípios</b>	<b>Abastecimento Humano (m³/s)</b>	<b>Irrigação (m³/s)</b>	<b>Abastecimento pecuário (m³/s)</b>	<b>TOTAL (m³/s)</b>
<b>Apodi</b>	0.034	1.633	0.021	1.688
<b>Baraúna</b>	0.026	1.746	0.004	1.776
<b>Dix-Sept Rosado</b>	0.012	0.305	0.006	0.323
<b>Felipe Guerra</b>	0.006	0,001	0.004	0.01
<b>Mossoró</b>	0.27	4.69	0.026	4.986
<b>Somatório demandas</b>	0.347	8.373	0.062	8.782

Diante das estimativas apresentadas, surge a preocupação em torno do atendimento a estas demandas de água, pois, a cada ano os problemas de atendimento na Bacia, vêm aumentando, haja vista o crescimento rápido das regiões e, principalmente, porque o sistema de abastecimento não vem acompanhando o

crescimento. Uma alocação otimizada para atendimento as demandas pode ser essencial no fornecimento das vazões.

### 5.3 Indicadores de Estado

#### 5.3.1 Disponibilidade hídrica superficial

A disponibilidade hídrica superficial da bacia se dá a partir de 618 açudes (27,4% dos açudes estaduais), que, juntos, acumulam um volume total de 469.714.600 m<sup>3</sup> de água, aproximadamente 11% do volume total acumulado do Rio Grande do Norte (PERH, 1998).

#### 5.3.2 Disponibilidade hídrica subterrânea

As disponibilidades e potencialidades dos aquíferos da bacia, com a indicação da profundidade média de poços e sua produtividade reproduzem-se na Tabela 11.

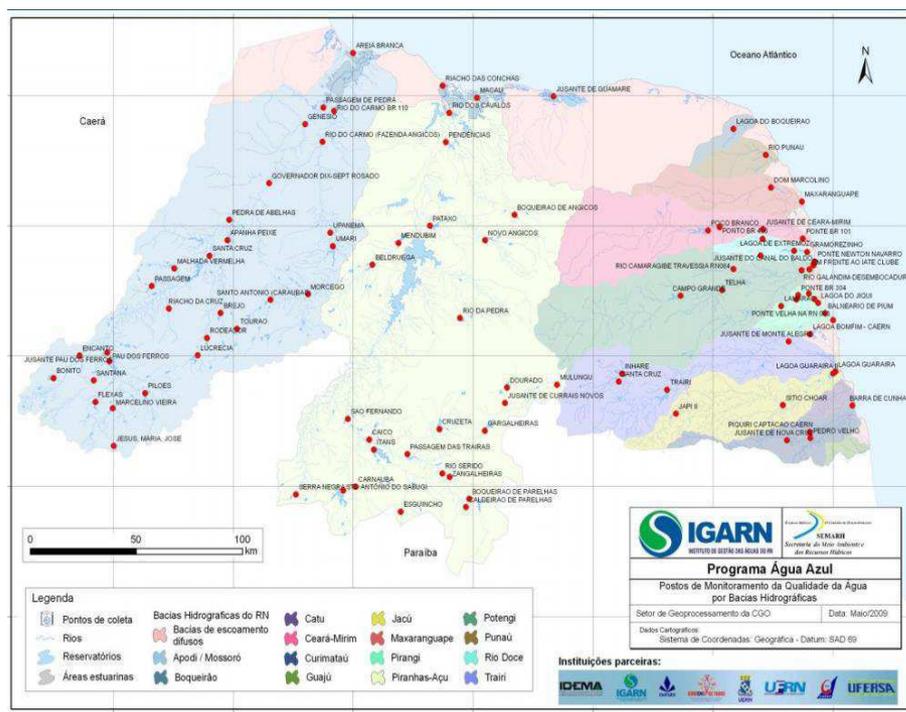
**Tabela 11** - Recursos hídricos subterrâneos da Bacia Apodi – Mossoró.

Aquíferos	Área de Ocorrência (km <sup>2</sup> )	Disponibilidade (hm <sup>3</sup> /ano)	Potencialidade (hm <sup>3</sup> /ano)	Prof. Média dos Poços (m)
Dunas	49,8	0,00	0,34	5
Aluviões	581,7	9,05	14,61	6 - 30
Barreiras	710,1	1,20	13,00	40 - 80
Jandaíra	5.446,2	9,55	19,84	50 a 150
Açu	7.062,4	44,27	3,02	50 a 1.200
Cristalino	7.393,0	4,26	4,26	50
<b>Total</b>	-	68,33	55,07	-

Fonte: PERH-RN, 1998.

#### 5.3.3 Qualidade hídrica

O programa de monitoramento das águas do Estado Rio Grande Norte, Programa Água Azul do IGARN, utiliza o Índice de Qualidade das Águas – IQA que serve de informação básica de qualidade de água para o público em geral, bem como para o gerenciamento ambiental das águas superficiais. O índice integra 9 (nove) parâmetros de qualidade de água: Oxigênio Dissolvido, Coliformes Fecais, pH, DBO<sub>5</sub>, Nitrogênio total, Fósforo total, Turbidez, Sólidos Totais e Temperatura de Desvio. A figura 13 apresenta os reservatórios monitorados no Estado.

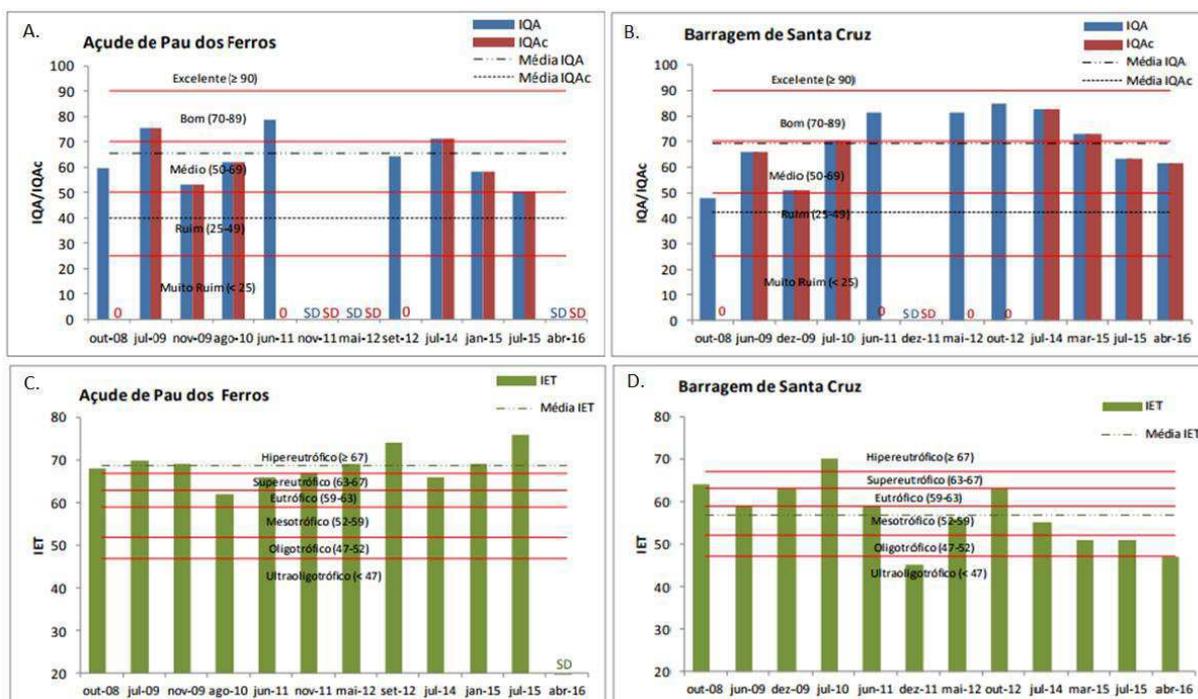


**Figura 13** - Monitoramento da qualidade da água superficial do Rio Grande do Norte. Fonte: Programa Água Azul (2017).

Na avaliação, o Índice de Toxidez – IT é utilizado combinado com o IQA. O IT é um índice binário (valores 0 e 1), ou seja, quando alguma substância tóxica apresenta valores acima do limite permitido pela Resolução CONAMA N.º 357/2005, o IT assume valor 0 (zero), e quando nenhuma substância tóxica ultrapassa o limite permitido o IT assume o valor 1 (um). A nota final da qualidade de um ponto de amostragem será o produto do IQA pelo IT. Quando o IT = 0 o produto é zero, fazendo com que o IQA assumira valor 0 (zero), classificando a água como da pior qualidade. Quando o IT = 1 o produto confirmará o resultado do IQA. O Índice de Qualidade de Água combinado - IQAc adotado será aquele resultante do produto do IT pelo IQA (PROGRAMA ÁGUA AZUL, 2017).

Para avaliação da qualidade biológica, os relatórios utilizam o índice do estado trófico (IET) que tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas, ou o potencial para o crescimento de macrófitas aquáticas. O histórico da qualidade de água dos reservatórios Santa Cruz e Pau dos Ferros frente aos índices monitorados pelo IGARN

podem ser visto na Figura 14.



**Figura 14** - A. Pau dos Ferros. B. Santa Cruz: Histórico da qualidade da água no Açude e relação com a média dos outros reservatórios do Estado. C. Pau dos Ferros. D. Santa Cruz: Histórico da Densidade de Cianobactérias da água na barragem de Santa Cruz e relação com a média dos outros reservatórios do estado.

Fonte: Programa Água Azul (2017).

O IQA para Pau dos Ferros oscilou entre “Médio” e “Bom”, enquanto o IQAc, por sua vez, foi “Muito Ruim” em várias campanhas, devido ao excesso de cobre, níquel e mercúrio na água. O IQA de Santa Cruz oscilou entre “Ruim” e “Bom”, sendo que o valor médio do IQA resultou na classificação “Médio”, mas próximo a “Bom”. O IQAc, por sua vez, foi “Muito Ruim” em algumas campanhas em que foi calculado, devido aos excessos de cobre, chumbo e níquel.

Quanto ao histórico do IET, a média para o reservatório Pau dos Ferros resultou em Hipereutrófico, o que indica elevado grau de eutrofização neste açude. O valor supera os Valores mínimos permitidos da resolução CONAMA 357/2005.

Quanto ao histórico do IET do reservatório Santa Cruz, o resultado foi Mesotrófico, o que indica médio grau de eutrofização neste açude.

Em geral, o que mais afeta os índices melhores de IQA no maior reservatório da

bacia, são as concentrações relativamente elevadas de DBO, fósforo e nitrogênio, devido a usos agropastoris (agricultura, pecuária, piscicultura, etc.) que ocorrem na bacia e no próprio reservatório, o que demanda um controle mais efetivo por parte do poder público (PROGRAMA ÁGUA AZUL, 2017).

## **5.4 Indicadores de Impacto**

### **5.4.1 Conflitos pelo uso da água**

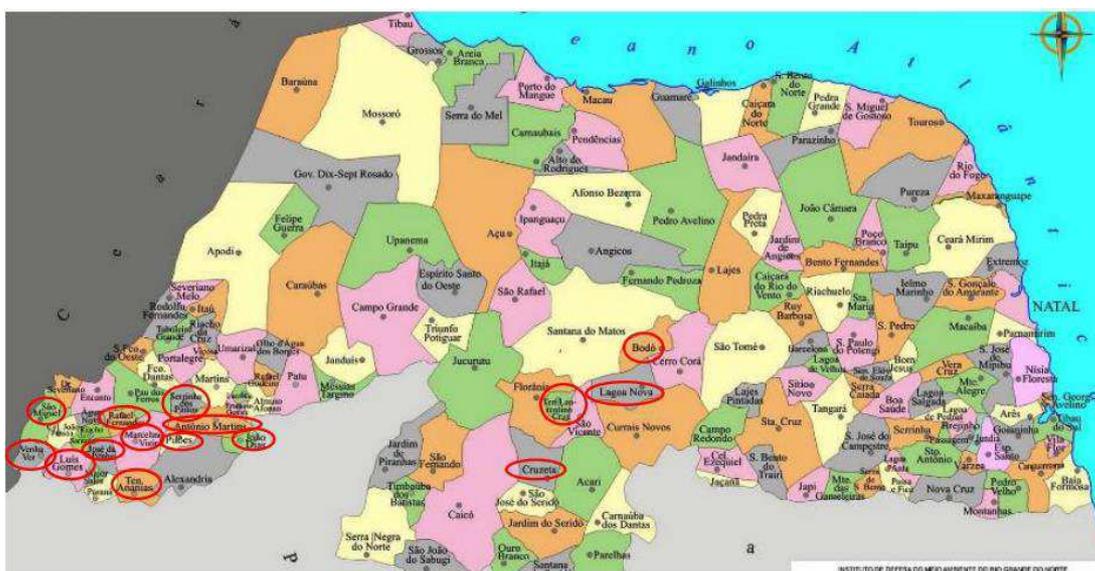
O atendimento às demandas na bacia vem sendo afetada por diversos fatores que influenciam na quantidade e qualidade da água, tais como o crescimento da população e os diversos usos intensivos da água. De modo que a irrigação, o lançamento de efluentes e o abastecimento urbano consomem cada vez mais águas, os conflitos pelo uso dos recursos hídricos são acentuados (SALLES et al., 2013).

Muitos dos conflitos se dão pelo uso desordenado dos corpos hídricos. Fatores como disponibilidade hídrica, poluição dos corpos hídricos, crescimento da agricultura, a pretendida revitalização da navegação, o aumento da demanda energética e a retirada de água da bacia por transposição são os temas de debates entre os setores usuários (OLIVEIRA JR. E GRIGIO, 2011).

A ideia da implantação de um perímetro irrigado nas terras da Chapada do Apodi/RN, remonta aos anos 70, época da ditadura militar, e período no qual a região da Chapada era caracterizada por grandes latifúndios. Entretanto, por entender que o projeto proposto pelo DNOCS encontra-se em oposição à história de desenvolvimento da região do Apodi, na bacia Apodi-Mossoró, entidades, sindicatos e movimentos sociais vêm promovendo uma grande mobilização contra a implantação do Projeto de Irrigação da Chapada do Apodi, o intitulando Projeto da Morte, defendendo a construção de um projeto alternativo que incorpore e potencialize as experiências bem sucedidas de agricultura agroecológicas familiar na Região e que integre as atividades econômicas do Vale e da Chapada do Apodi (PONTES, 2013).

### **5.4.2 Escassez hídrica**

O relatório da Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) sobre a situação do abastecimento de água revela a região Alto Oeste, alto e médio curso do rio Apodi-Mossoró, com o maior número de municípios em situação de colapso do Estado (CAERN, 2017). Os municípios e suas situações de abastecimento podem ser vistos na Figura 15. Dos 47 reservatórios monitorados pelo Instituto de Gestão das Águas do RN (IGARN), o Reservatório Pau dos Ferros é um dos 10 reservatórios do Estado que está vazio e outros 19 operam em volume morto.



**Figura 15** – Municípios em estado de colapso hídrico no Estado do Rio Grande do Norte.  
Fonte: Programa Água Azul (2017).

O reservatório de Santa Cruz do Apodi se encontra em situação de emergência com 20,08% de seu volume original (dados de agosto de 2017). Ainda assim, por ser o maior reservatório da bacia, é base de projetos de ampliação do abastecimento como resposta a escassez hídrica da região. O estado atual do reservatório pode ser conferido na Figura 16. A figura 17 apresenta o histórico volumétrico do reservatório.

### Açude Santa Cruz do Apodi

599,71 hm<sup>3</sup>

Capacidade total  
de armazenamento

116,70 hm<sup>3</sup>

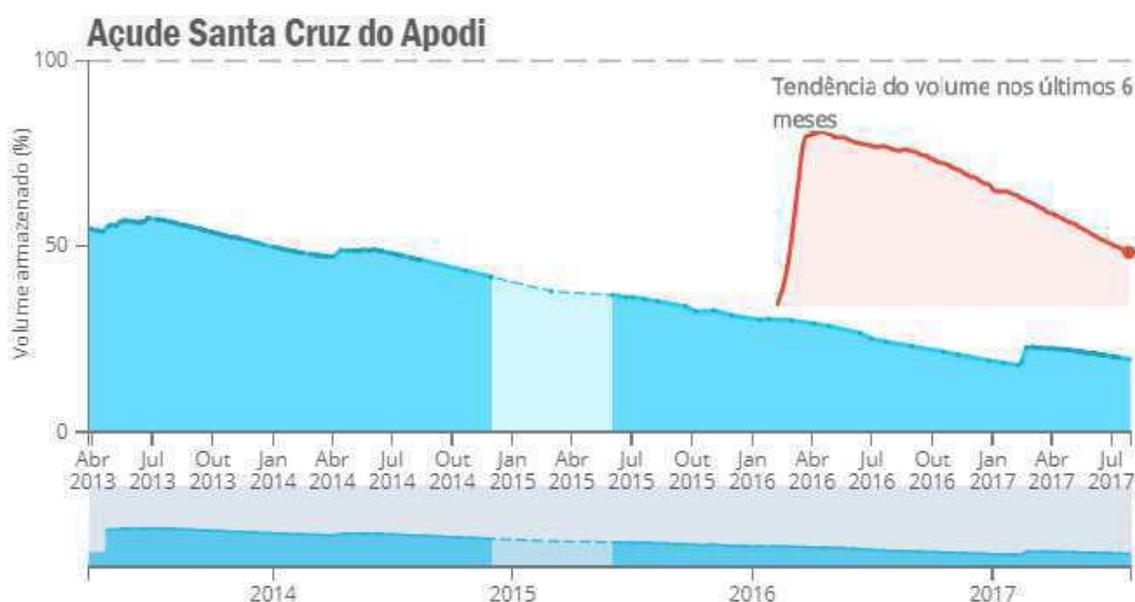
Volume atual



Última atualização: 12/07/2017

**Figura 16** - Estado atual do reservatório Santa Cruz

Fonte: INSA (2017).



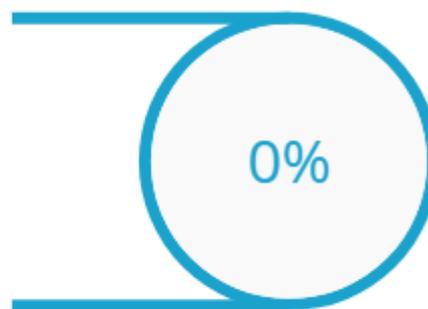
**Figura 17** - Histórico do volume do reservatório Santa Cruz

Fonte: INSA (2017).

O reservatório Pau dos Ferros encontra-se com 0,0% de volume de água (dados de agosto de 2017). O reservatório faz parte do projeto de integração Alto Oeste e é objeto de estudo para receber uma adutora expressa do reservatório Santa Cruz. Projeta-se que a partir disso o reservatório seja perenizado com as águas advindas da transposição do Rio São Francisco para dar prosseguimento ao abastecimento no sistema Alto Oeste. O estado atual do reservatório pode ser conferido na Figura 18. A figura 19 apresenta o histórico volumétrico do reservatório.

**Açude Pau dos Ferros**55,90 hm<sup>3</sup>Capacidade total  
de armazenamento0,00 hm<sup>3</sup>

Volume atual



Última atualização: 12/07/2017

**Figura 18** – Estado atual do reservatório Pau dos Ferros.

Fonte: INSA (2017).

**Figura 19** – Histórico do volume do reservatório Pau dos Ferros

Fonte: INSA (2017).

**5.5 Indicadores de Resposta**

As respostas são as medidas de resolução que podem ser direcionadas a qualquer compartimento do sistema de indicadores. Isto é, a resposta pode ser direcionada para a Força Motriz, para a Pressão, para o Estado ou para os Impactos. As respostas e sua condição são apresentadas na Tabela 12 e estão descritas a seguir. No que se refere à reposta “Alocação de água”, esta pesquisa realizou simulações que são apresentadas na subseção 5.5.5.

Tabela 12- Respostas da matriz FPEIR para a Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Descrição do Indicador Resposta	Condição
Sistema Integrado de Gerenciament o dos Recursos Hídricos (SIGERH)	<b>SEMARH:</b> Através da Lei Complementar nº 340/07 foi criada a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, o órgão gestor central do SIGERH e encarregado do gerenciamento da política hídrica estadual.
	<b>IGARN:</b> órgão executivo da política hídrica, autarquia criada pela Lei Lei nº 8.086/02 que está vinculada à SEMARH. As competências são de natureza técnico-operacionais
	<b>CERH:</b> Conselho Estadual de Recursos Hídricos é o órgão colegiado de deliberação coletiva e caráter normativo. Dentre suas competências, enfatizam-se as seguintes: arbitramento, em grau de recurso, dos conflitos existentes entre bacias ou entre usuários; estabelecimento de critérios para a cobrança pelo uso das águas.
	<b>CBHAM:</b> o Decreto Estadual nº 21.881/10 criou o Comitê da bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró regulamentando (em seu art. 2º) que o referido comitê é um órgão colegiado no âmbito da respectiva bacia hidrográfica.
Instrumentos da Lei 9.433/97	<b>Plano de Recursos Hídricos:</b> não há plano de bacia. O Plano existente é estadual. O primeiro PERH do Rio Grande do Norte foi concluído em dezembro de 1999, tendo sido elaborado pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) por meio de consultoria especializada. O plano está em processo de atualização, a partir de um convênio entre a SEMARH e o Ministério do Meio Ambiente (MMA), e conta com o apoio da ANA (IGARN, 2016).
	<b>Enquadramento:</b> o instrumento no Rio Grande do Norte não é considerado como parte da política estadual dos recursos hídricos. Isso ocorre pelo fato de que o Decreto Estadual nº 9.100/1984, que enquadrava cursos e reservatórios de água no estado dos corpos estaduais, ter sido promulgado antes da lei das águas.
	<b>Outorga:</b> O órgão competente em matéria de outorga e licenciamento de obras hídricas é o IGARN.
	<b>Cobrança:</b> Não obstante previsão normativa do art. 4º, inciso IV, da lei hídrica estadual, o Rio Grande do Norte ainda não implementou a cobrança pelo uso da água no seu Estado.
Alocação de água	<b>Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos:</b> o instrumento não é considerado um instrumento da política estadual de recursos hídricos, não havendo banco de dados acerca dos Recursos Hídricos.
	A simulação da alocação de água é feita com base em uma modelagem de rede de fluxo de simulação do sistema. A alocação de água é proposta neste estudo como resposta para que seja otimizado o atendimento às demandas.
	<b>Transposição do Rio São Francisco:</b> como acréscimo à oferta de água, a transposição do Rio São Francisco projeta um crescimento de área irrigável e atendimento às demandas urbanas a partir de uma vazão média de 1,4 m³/s. Como apresentado por Rêgo <i>et al.</i> (2017), as condições atuais de escassez na Bacia do rio São Francisco deveriam ser consideradas no contexto geral da transposição de vazões para o semiárido nordestino.
	<b>Sistema Alto Oeste:</b> o sistema tem como objetivo principal abastecer a região do Oeste Potiguar por um sistema integrado entre os reservatórios Pau dos Ferros e Santa Cruz. O Sistema, através de uma vazão de 4,52 m³, visa abastecer 24 cidades do Médio e Alto cursos do rio, bem como dois distritos e 64 comunidades rurais (SEMARH, 2017).
Ampliação do sistema de abastecimento	<b>Adutora Santa Cruz – Mossoró:</b> o sistema tem como objetivo a tomada de água da barragem Santa Cruz através da vazão de 0,39 m³/s para o abastecimento de Mossoró e outros três municípios (SEMARH, 2017).
	<b>Projeto de Irrigação Santa Cruz:</b> o projeto de construção da adutora para o Perímetro Irrigado da Chapada do Apodi é a resposta de ampliação para o desenvolvimento das áreas irrigadas no Baixo Curso da bacia. A área apta para irrigação é estimada em 263,72 km². A vazão de 6 m³/s será captada através de uma estação de bombeamento principal localizada no rio Apodi (SEMARH, 2017).

### **5.5.1 O sistema integrado de gerenciamento dos recursos hídricos do Rio Grande do Norte**

O Decreto nº 13.284/97 instituiu o Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SIGERH), que nos artigos 1º, 2º e 3º definiu os objetivos, a estrutura organizacional e a forma de atuação do SIGERH, respectivamente.

A estrutura organizacional do SIGERH é composta pelos seguintes órgãos: Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH); Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) e o Instituto de Gestão das Águas do Estado do RN (IGARN).

#### **5.5.1.1 A Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos**

Através da Lei Complementar nº 340/07 foi criada A Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, o órgão gestor central do SIGERH e encarregado do gerenciamento da política hídrica estadual. A SEMARH sucedeu, por força desta lei, a antiga Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos (SERHID).

As principais competências da SEMARH são a formulação de políticas e diretrizes para o gerenciamento dos recursos hídricos e a elaboração e atualização do plano estadual de recursos hídricos (PERH), como dispõe o art. 23, incisos I a XVIII, da Lei Estadual nº 6.908/1996. Por meio desta, pode-se também elencar as funções de natureza executiva, tais como: estudos de engenharia; análise e parecer sobre outorgas; análise de projetos; concessão de licenças; operação de estações; cobrança pelo uso da água; aplicação de multas; implantação e manutenção de banco de dados sobre os recursos hídricos; e exercício do poder de polícia administrativa, dentre outras.

Além das supracitadas competências, o art. 35 da Lei Complementar nº 340 agrega novas competências à SEMARH, com enfoque para os dispostos nos incisos I, II e IV, respectivamente: elaboração dos planos de desenvolvimento sustentável; formulação de políticas de recursos hídricos e meio ambiente; e desenvolvimento de

estudos, pesquisas e projetos socioeconômicos relacionados ao aproveitamento e preservação dos recursos hídricos.

#### **5.5.1.2 Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN)**

O Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte é o órgão executivo da política hídrica, autarquia criada pela Lei Lei nº 8.086/02 que está vinculada à SEMARH. Desta forma, suas competências são de natureza técnico-operacionais, antes atribuídas à SEMARH, com destaque para a análise das solicitações, expedições e fiscalização de outorgas, por delegação da SEMARH.

#### **5.5.1.3 Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH)**

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos é o órgão colegiado de deliberação coletiva e caráter normativo do SIGERH, que tem por responsabilidade o gerenciamento da política hídrica, juntamente com a SEMARH e os comitês de bacias. Dentre suas competências, fixadas pela lei estadual no seu art. 21, incisos I a XII, enfatizam-se as seguintes: aprovação, acompanhamento da execução e análise das alterações do PERH; articulação entre os órgãos públicos (estaduais, federais e municipais) e a sociedade civil no encaminhamento da política hídrica estadual; deliberação sobre a criação de CBHs, bem como arbitramento, em grau de recurso, dos conflitos existentes entre bacias ou entre usuários; estabelecimento de critérios para a cobrança pelo uso das águas; e deliberação sobre a criação de agências de bacias hidrográficas. Somam-se a estas competências as previstas no art. 5º, incisos I a XXVIII do Decreto Estadual nº 13.284/1997.

Amparado pelo previsto no art. 34, inciso III, da Lei das Águas, o decreto estadual acima mencionado inovou ao incluir a categoria dos usuários de recursos hídricos (art. 6º, VI), não prevista na lei estadual. No âmbito do Estado, o decreto detalha no art. 6º, VI, § 3º, as subcategorias de usuários de recursos hídricos:

Os representantes de que trata o inciso VI serão indicados, respectivamente, pelos irrigantes, pelo órgão ou entidade pública ou outra instituição prestadora de serviço público de abastecimento de água ou de esgotamento sanitário, pelas indústrias, pelas empresas geradoras e autoprodutoras de energia elétrica, pelos pescadores e usuários de recursos hídricos com finalidade de recreação, lazer e turismo.

A composição do CONERH se sujeita ao que está previsto no art. 20, incisos I a IV, da Lei nº 6.908/1996, associado ao art. 6º, inc. I a VIII, do Decreto nº 13.284/2007, a qual distribui seus 32 representantes em 5 grupos. A paridade do CONERH pode ser analisada a partir da origem desses representantes. Destes, 16 representam o governo do Estado (grupo A) ou entidades federais ou estaduais (grupo B); os outros 16 representam os Comitês de Bacia (grupo C), sociedade civil (grupo D) e usuários. Todavia, essa paridade é prejudicada devido ao fato do representante da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), empresa de economia mista, vinculada à SEMARH, ser indicação do governo do Estado.

#### **5.5.1.4 Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (CBHPAM)**

A Resolução CONERH nº 02, de 15 de dezembro de 2002 deu início a instalação de Comitês de Bacias Hidrográficas no Rio Grande do Norte, sendo esta uma das causas da morosidade do processo de instalação dos comitês de bacia potiguares.

No Estado, além da regulamentação do SIGERH, as competências do CBHs foram expandidas pelo Decreto nº 13.284/1997, as quais se destacam: aprovação do plano de recursos hídricos, do plano diretor, dos programas anuais e plurianuais de aplicação de recursos financeiros em serviços e obras de interesse da gestão dos recursos hídricos, do plano de aplicação dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso da água; acompanhar a execução do PERH, bem como sugerir providências para o cumprimento de suas metas.

Muito embora a existência de previsão normativa, as ações empreendidas pelos CBHs no Estado ainda são preambulares (Hincapié *et al.*, 2016). O comitê mais antigo é o do rio Pitimbu, uma sub-bacia da bacia do rio Pirangi, criado em setembro de 2004 e instalado em janeiro de 2006. Em novembro deste mesmo ano, foi instituído o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu, mas que só houve sua instalação em outubro de 2009. Ademais, dois novos comitês estão em fase de instalação: o do rio Ceará-Mirim, instituído em julho de 2010; e o do rio Apodi-Mossoró, em setembro de 2010.

Neste viés, levando-se em consideração as ações estatais e civis desenvolvidas em benefício da conservação ambiental da bacia do rio Apodi/Mossoró, constata-se que até o momento o Decreto Estadual n. 21.881/10 criou o Comitê da bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró e deu outras providências. Nesse sentido, regulamentou em seu art. 2º que o referido comitê trata-se de um órgão colegiado, com atribuições normativas, consultivas e deliberativas, no âmbito da respectiva bacia hidrográfica e vinculado ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH).

A composição deste Comitê se dá por representantes: da União; do Estado; dos municípios de Assu, Água Nova, Alexandria, Almino Afonso, Antônio Martins, Apodi, Areia Branca, Baraúna, Augusto Severo, Caraúbas, Coronel João Pessoa, Doutor Severiano, Encanto, Felipe Guerra, Francisco Dantas, Frutuoso Gomes, Governador Dix-Sept Rosado, Grossos, Itaú, Janduí, João Dias, José da Penha, Lucrecia, Luiz Gomes, Major Sales, Marcelino Vieira, Martins, Messias Targino, Mossoró, Olho D'Água dos Borges, Paraná, Paraú, Patu, Pau dos Ferros, Pilões, Portalegre, Rafael Fernandes, Rafael Godeiro, Riacho da Cruz, Riacho de Santana, Rodolfo Fernandes, São Francisco do Oeste, São Miguel, Serra do Mel, Serrinhas dos Pintos, Severiano Melo, Tabuleiro Grande, Tenente Ananias, Umarizal, Upanema, Venha Ver e Viçosa; das entidades civis de recursos hídricos com atuação comprovada na bacia; e dos usuários de recursos hídricos da bacia.

### **5.5.2 Instrumentos da Lei 9433/97**

De acordo com o previsto em seu art. 2º, a Lei nº 9433/97 dispõe que são objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; além da prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Diante desses interesses, o artigo 5º deste ordenamento apresenta os instrumentos a serem adotados para gerenciar os recursos hídricos, sendo esses:

I - os Planos de recursos hídricos; II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; IV - a cobrança pelo

uso de recursos hídricos; V - o Sistema de informações sobre recursos hídricos.

### **5.5.2.1 Plano de Recursos Hídricos**

O primeiro PERH do Rio Grande do Norte foi concluído em dezembro de 1999, tendo sido elaborado pela SEMARH por meio de consultoria especializada (Hidroservice Engenharia Ltda.). O plano considerou a análise dos déficits hídricos, a seleção de novos reservatórios para perenização das bacias hidrográficas Piancó-Piranhas-Açu, Apodi-Mossoró e Litoral Leste. Ademais, realizou levantamento acerca da pequena e média açudagens e adutoras urbanas e rurais, com ênfase nos seus benefícios e prospecção dos custos para novas construções e manutenção das já existentes.

O estudo indica a necessidade de um programa de monitoramento em: hidrometeorologia e sedimentometria; hidrogeologia; aspectos fisiográficos; aspectos socioeconômicos e cadastro de áreas irrigadas. Aponta os custos com os projetos de irrigação utilizando a exploração de águas subterrâneas. Propõe, ainda, a partir de quatro níveis de criticidade, a realização de programas emergenciais de abastecimento da população.

O plano estadual propõe a realização de estudos específicos acerca do disciplinamento e uso do solo e da política de irrigação do Estado. Por fim, propõe a realização de vários programas, classificando-os em ações imediatas (até o ano 2000), ações de curto prazo (2001 a 2005) e ações de médio e longo prazos (2006 a 2017).

Insta ressaltar que este primeiro PERH foi concluído após mais de dois anos da lei hídrica estadual, em dezembro de 1999. O prazo revisional de quatro anos previsto no art. 6º deste ordenamento jurídico, o qual se encerrou em dezembro de 2003 também não foi observado, tendo em vista que somente em abril de 2011 o processo revisional foi deflagrado pela SEMARH.

A problemática da efetividade dos planos e ações governamentais, em certa perspectiva está relacionada, dentre outros fatores, à falta ou insuficiência de recursos financeiros, falta de prioridade e gestão inadequada ou ineficiente dos recursos públicos. Pontualmente nesse aspecto, a lei trouxe a previsão de estabelecer a inserção do PERH no Plano Plurianual de Desenvolvimento do Estado, a fim de a

assegurar a integração setorial em seus aspectos sociais, econômicos e ambientais (art. 7º).

### **5.5.2.2 Enquadramento dos Corpos de Água em Classes**

Muito embora o enquadramento dos corpos d'água ser instrumento indispensável para subsidiar a outorga e a cobrança dos recursos hídricos, no Rio Grande do Norte este instrumento não é considerado como parte da política estadual dos recursos. Essa incoerência se dá pelo fato de que a lei estadual foi promulgada antes da lei das águas, norma que instituiu o supracitado instrumento. O Decreto nº 9.100/1984 foi o instrumento pelo qual o governo estadual enquadrava cursos e reservatórios d'água do estado com base na classificação estabelecida na Portaria nº 13/1976, do antigo Ministério do Interior. Tal portaria originou a Resolução CONAMA nº 20/1986 que, conseqüentemente, a revoga tacitamente. Entretanto, com o advento posterior da Resolução CONAMA nº 357/2005, que "dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento [...]", ocorreu a revogação expressa da Resolução de 1986.

Diante desse cenário de decurso de tempo, conclui-se que o Decreto Estadual nº 9.100/1984 também se encontra revogado e, portanto, o estado não dispõe de regulamentação própria para o enquadramento dos recursos hídricos.

### **5.5.2.3 Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos**

Igualmente como ocorre no caso do enquadramento, o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos no Rio Grande do Norte não é considerado um instrumento da política estadual de recursos hídricos, muito embora sua importância para a efetividade da implementação da gestão integrada e participativa das águas, fato este reconhecido pelo legislador na lei hídrica estadual que incluiu no rol das competências da SEMARH a necessidade de "implantar e manter banco de dados sobre os recursos hídricos do Estado." (art. 25, inc. V).

A SEMARH ainda não dispõe de um sistema de informações sobre os recursos hídricos no Rio Grande do Norte. Contudo, informações de caráter geral relacionadas ao plano estadual de recursos hídricos (síntese), à situação volumétrica dos reservatórios das bacias, e às associações e comissões de usuários de água podem

ser obtida através de seu portal na Internet.

#### **5.5.2.4 Cobrança pelo Uso da Água**

Não obstante previsão normativa do art. 4º, inciso IV, da lei hídrica estadual, o Rio Grande do Norte ainda não implementou a cobrança pelo uso da água no seu estado. Algumas circunstâncias obstam a implementação desse instrumento, como o cadastramento dos usuários, a regularização dos usos múltiplos das águas, implementação das agências de bacias, bem como a criação e o efetivo funcionamento dos comitês de bacia.

#### **5.5.2.5 Outorga de direito de uso da água**

A Resolução Conjunta CONERH/CONEMA nº 01 determina as diretrizes para a concessão da outorga de direito de uso dos recursos hídricos e da licença ambiental, observadas as competências dos órgãos integrantes do SIGERH e do Sistema Estadual de Meio Ambiente (SISEMA). Esta Resolução regulamenta o art. 56 do Decreto nº 13.283/1997, no qual a SEMARH e o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA), órgão licenciador do Estado, "articular-se-ão visando a integrar suas respectivas licenças, de maneira a evitar-se repetição de exigências, aproveitando-se, sempre que possível, os elementos fornecidos para uma e outra licença". Essa pretensão normativa objetiva o compartilhamento de informações e a compatibilização dos procedimentos na análise e decisão em suas esferas de competência.

O órgão competente em matéria de outorga e licenciamento de obras hídricas é a SEMARH, que, na forma da Lei nº 8.086/2002, art. 3º, incisos VI e VIII, respectivamente, pode delegar essas competências ao IGARN.

Não obstante a delonga do processo, na perspectiva organizacional percebe-se o aumento do número de associações de usuários de água, que já totalizam 102, com expectativa de ampliação para 126, diante da existência de 24 comissões de usuários que se organizam para constituição de suas respectivas associações.

Tais organizações estão distribuídas no Estado em nove bacias hidrográficas,

com cobertura em 134 municípios. É provável que essa expansão esteja relacionada ao Programa de Incentivo à Criação de Associação de Usuários de Água, criado pela Secretaria de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos.

Essas associações de usuários de águas representam uma alternativa organizacional para a gestão dos recursos hídricos; são oportunidades para discussão dos problemas relacionados à gestão dos recursos hídricos da bacia, além de que podem contribuir com a gestão dos comitês de bacia, indicando representantes para composição do comitê da bacia hidrográfica de sua jurisdição e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

### **5.5.3 Ampliação do Sistema de Abastecimento**

A maior demanda da bacia é para o município de Mossoró nos setores de abastecimento urbano e fruticultura irrigada como pressões ao sistema hídrico pelo desenvolvimento econômico e crescimento populacional. (IGARN, 2009). Os projetos de ampliação do sistema de abastecimento na bacia como resposta a escassez hídrica, como a Adutora Santa Cruz – Mossoró podem possibilitar a elevação em 60% da atual oferta de água no Município de Mossoró e são justificadas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH pela disponibilidade hídrica da barragem de Santa Cruz do Apodi para abastecimento e a possível substituição aos poços profundos do aquífero Açú para preservação do lençol que estão em regime de exaustão.

#### **5.5.3.1 Adutora Santa Cruz – Mossoró:**

O Sistema Adutor Santa Cruz – Mossoró, o qual segundo a CAERN está em fase de implantação/conclusão prevê a captação na tomada d'água da barragem Santa Cruz. A adutora principal possui 93 km de extensão da barragem até Mossoró passando por Apodi e Governador Dix-Sept-Rosado. O sistema terá uma sub-adutora de 7 km de extensão para abastecer a cidade de Felipe Guerra. O projeto finaliza na implantação de uma Estação Elevatória de água Bruta do tipo Booster e uma ETA paralela a ETA do sistema de adução do Alto Oeste. O sistema projeta uma vazão de 0,39m<sup>3</sup>/s na conclusão (SEMARH, 2017).

### **5.5.3.2 Projeto de Irrigação Santa Cruz**

O projeto de construção da adutora para o Perímetro Irrigado da Chapada do Apodi está em fase de desapropriação das áreas para construção. A área a ser ocupada com o projeto é estimada em 26.372 ha de terras em relevo plano e suavemente onduladas (SEMARH, 2017).

### **5.5.3.3 Sistema Adutor Alto Oeste**

Dos projetos apontados pela SEMARH (2017) como solução para o Estado de crise hídrica na bacia, a Adutora do Alto Oeste é a que se apresenta em estágio mais avançado com as obras do sistema concluídas. O sistema tem como objetivo principal abastecer a região do Oeste Potiguar por um sistema integrado entre os reservatórios Pau dos Ferros e Santa Cruz com capacidade para atender às populações das sedes municipais, de distritos e dos povoados localizados ao longo do seu eixo. O Sistema visa atender o abastecimento de água de 24 cidades como Pau dos Ferros, Marcelino Vieira, Jose da Penha bem como dois distritos e 64 comunidades rurais.

A adutora é dividida em dois subsistemas, o primeiro subsistema capta água no Açude de Pau dos Ferros. Além de atender ao próprio município, beneficiará mais 12 cidades, terminando em Alexandria. O subsistema já foi concluído e chegou a ser operado parcialmente pela CAERN, porém suspendeu o fornecimento em 2014 em virtude da escassez total do Reservatório. Como resposta a esse problema, a CAERN interligou o subsistema de Santa Cruz com o de Pau dos Ferros através da adutora Pau dos Ferros de engate rápido. Uma adutora expressa do Reservatório Santa Cruz para Pau dos Ferros como medida de resposta ao estado de 0,0% de água do reservatório é avaliada pela Companhia do Estado.

O segundo subsistema sai da barragem de Santa Cruz e vai até João Dias levando água para 10 municípios da região. Dos dez municípios previstos para serem abastecidos diretamente pelo subsistema da adutora do Alto Oeste, que faz captação na Barragem de Santa Cruz, oito já recebem água do sistema. Além delas, indiretamente, Martins, Serrinha dos Pintos, Viçosa e Portalegre também estão sendo parcialmente abastecidas, devido a interligações de adutoras que possibilitaram este

abastecimento, além de duas comunidades rurais localizadas na Zona Rural de Severiano Melo. Ao término do projeto, a adutora do vai abastecer 26 municípios da região, beneficiando com água de qualidade mais de 208 mil pessoas. As adutoras e estágio de operação podem ser conferidas em Anexo.

#### 5.5.4 Transposição do Rio São Francisco

Como acréscimo à oferta de água, a transposição do Rio São Francisco projeta um crescimento de área irrigável do Rio Grande do Norte a partir de uma vazão média de 1,4 m<sup>3</sup>/s que entrará na bacia do Apodi/Mossoró, na altura da divisa entre os municípios de Luis Gomes e Major Sales que irá perenizar o açude de Pau dos Ferros (SEMARH, 2017).

#### 5.5.5 Simulação da alocação de água e identificação das melhores estratégias de gerenciamento da demanda

De acordo com as estratégias de alocação definidas, foi elaborado um sistema de rede de fluxo para o cenário de ampliação do sistema hídrico da BHAM com os projetos Alto Oeste, Integração Santa Cruz-Mossoró e a Irrigação do perímetro irrigado de Santa Cruz. As estratégias correspondem, respectivamente, a estratégia de prioridades para a alocação, a fração definida de volume meta e, por fim, a presença ou ausência da contribuição da transposição. Os resultados para as falhas e frequência abaixo do volume meta podem ser conferidos na Tabela 14.

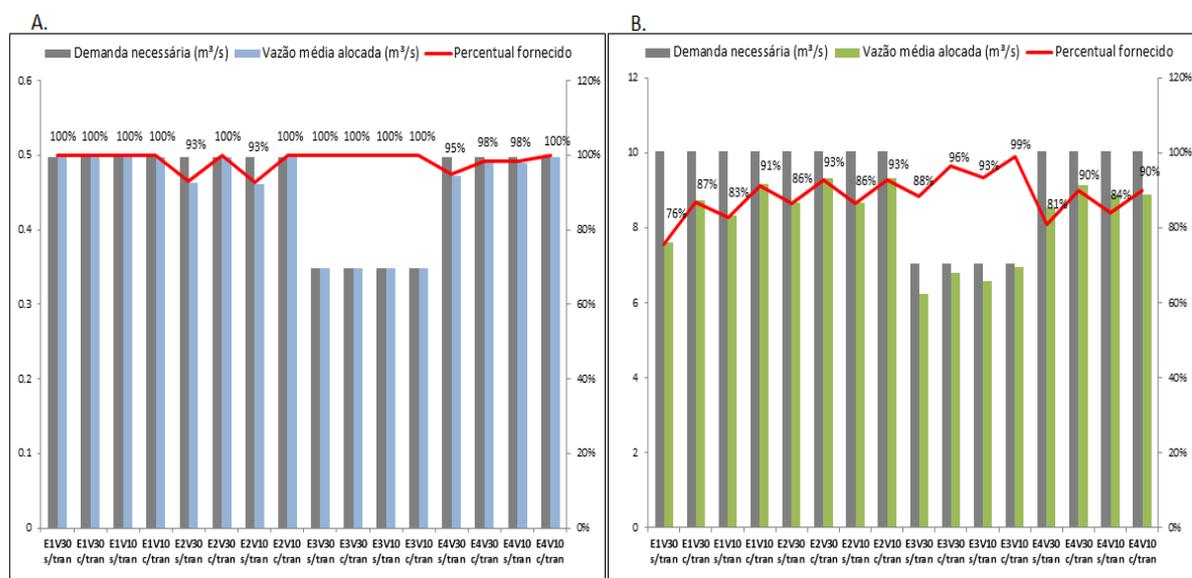
**Tabela 14** – Falhas e Frequência abaixo do Volume Meta por estratégia de alocação.

Bacia Apodi-Mossoró	Estratégia	Frequência abaixo do Volume Meta (%)		Falha irrigação (%)	Falha abastecimento urbano (%)	Falha pecuária (%)
		PFERROS	SCRUZ			
Ampliação do Sistema: Adutora Alto Oeste, Adutora Santa Cruz – Mossoró, Adutora Irrigação Santa Cruz.	E1V30 s/trans	22,78	17,50	21,99	0,00	17,59
	E1V30 c/trans	16,94	13,06	11,11	0,00	8,05
	E1V10 s/trans	7,50	8,33	15,37	0,05	13,06
	E1V10 c/trans	0,00	0,00	7,59	0,00	0,00
	E2V30 s/trans	51,11	48,89	6,95	6,95	11,85
	E2V30 c/trans	31,11	30,83	4,44	3,82	4,26
	E2V10 s/trans	31,11	28,33	12,41	4,18	12,17
	E2V10 c/trans	16,11	16,11	4,63	1,08	4,31
	E3V30 s/trans	12,50	9,72	10,42	0,00	0,00
	E3V30 c/trans	2,22	2,22	2,96	0,00	0,00
	E3V10 s/trans	7,50	5,83	6,53	0,00	0,00
	E3V10 c/trans	0,00	0,00	0,92	0,00	0,00

E4V30 s/trans	25,28	21,67	15,72	9,31	14,68
E4V30 c/trans	20,18	15,42	12,83	7,06	11,39
E4V10 s/trans	18,06	15,28	9,47	7,38	8,96
E4V10 c/trans	6,18	4,32	9,49	5,97	8,33

O reservatório Pau dos Ferros operou em maior frequência abaixo do volume meta devido a menor capacidade volumétrica que o reservatório Santa Cruz e menor demanda requerida. As estratégias 2 e 4 que favorecem o uso das águas para irrigação, não são recomendadas se for optado manter os reservatórios em maior nível (Volume meta 30%).

As vazões alocadas pelo modelo (Figura 20) variam de acordo com a estratégia de alocação inserida no mesmo. As estratégias 1 e 3 que priorizam o abastecimento urbano e a manutenção do volume meta do reservatório implicam em vazão inferior de irrigação frente ao cenário 2 que propõe prioridade P2 para Irrigação e P3 para manutenção do Volume meta. A figura 15 apresenta os resultados da confiabilidade do sistema em função das demandas existentes a partir dos diferentes usos considerados. Quanto mais próximo de 100% o percentual fornecido, maior é o atendimento das demandas necessárias e mais confiável o sistema.



**Figura 20** - A. abastecimento urbano. B. Irrigação: vazões médias alocadas por uso e estratégia e o percentual de atendimento da demanda necessária.

No atendimento às demandas necessárias, a Estratégia 1 (E1) – Urbana apresentou 100% de percentual fornecido (Figura 16) para o abastecimento urbano. Entretanto, maiores falhas foram observadas para a irrigação (Tabela 11), dada a

prioridade de manutenção do reservatório (Prioridade 2, P2) ser maior que a prioridade de atendimento à demanda de irrigação (Prioridade 3, P3). A falha do sistema para fornecimento hídrico à irrigação resulta em prejuízos para o desenvolvimento econômico das regiões.

O percentual fornecido para irrigação na Estratégia 2 (E2) – Agrícola assume os melhores resultados para o padrão de consumo de  $10,51 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . A vazão alocada para as estratégias que admitem volume meta em 10% é superior, dada a possibilidade da captação mesmo em níveis emergenciais dos reservatórios. A vantagem desta configuração é a maior capacidade de atendimento às demandas de irrigação, sendo a água um insumo necessário para o desenvolvimento econômico. Porém, na instabilidade das chuvas e presença de longos períodos de estiagem, operar os reservatórios em níveis abaixo de 10% é um risco para o atendimento das necessidades vitais da população no abastecimento urbano em possíveis regimes de seca extrema.

A flexibilidade da prioridade absoluta do abastecimento urbano da Estratégia 4 (E4) – Flexibilidade possibilita maior percentual fornecido para irrigação (Figura 16), de modo que o déficit de demanda como insumo ao desenvolvimento agrícola é reduzido e compartilhado entre os outros usuários. Ressalva-se, entretanto, que a lei federal 9.443/1997 prioriza o abastecimento urbano em situação de escassez. A estratégia prejudica o usuário final do abastecimento, quando se entende que essa penalização da ineficiência do abastecimento e respectivas perdas deve ser imposta às companhias responsáveis pela distribuição de água.

A Estratégia 3 (E3) – GDA apresenta os melhores percentuais de fornecimento para irrigação, chegando a alocação de 99% da demanda necessária se operada em volume meta de 10%, associada ao aporte da transposição das águas do Rio São Francisco. A redução da demanda resulta em maior confiabilidade do sistema e decréscimo na frequência de operação dos reservatórios em nível baixo de água (Tabela 11).

## 5.6 Síntese da Matriz FPEIR

Como resultado da aplicação do FPEIR foram analisados 13 indicadores: dois na dimensão Força Motriz, três na dimensão Pressão, dois na dimensão Estado, dois na dimensão Impacto e quatro na dimensão Resposta. Alguns desses foram analisados em integração

Como síntese do modelo (Tabela 15), nota-se que desenvolvimento dos municípios da Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró associados ao crescimento populacional, apresenta maior representatividade no alto curso da bacia, através dos Municípios de Mossoró e Apodi, em principal motivo ao investimento estatal na indústria petrolífera.

A bacia apresenta demandas hídricas urbanas, para irrigação e pecuárias que são abastecidas por poços artesianos e estão em regime de escassez. Diante desse contexto, a bacia apresenta conflitos hídricos relacionados ao uso da água e qualidade dos corpos hídricos com índices de IQA de “Bom” a “Ruim”.

A escassez hídrica na região é evidenciada pelos valores de 0,0% da capacidade do Reservatório Pau dos Ferros e 20,08% do Reservatório Santa Cruz.

Os órgãos responsáveis pela governança da água são a SEMARH, IGARN, CERH e o CBHAM. A aplicação da governança a partir do instrumentos apresenta cobrança não implementada, ausência de Sistema de informações, enquadramento não participante da PERH, instrumento de outorga estabelecido através da operação do IGARN e o Plano Estadual de Recursos hídricos datado de 1999 em fase de atualização, sem a presença de um plano da bacia.

O estudo identifica o projeto de Projeto de Irrigação Santa Cruz como resposta de ampliação para o desenvolvimento das áreas irrigadas no Baixo Curso da bacia, o Sistema Alto Oeste para possibilitar abastecimento de 24 cidades em percentuais próximos a 100%, a Adutora Santa Cruz – Mossoró como possível solução a substituição dos poços profundos do aquífero Açú que estão em regime de escassez e a Transposição do Rio São Francisco como potencial minimizador de falhas do hidrossistema.

De modo que identifica-se os projetos de ampliação do sistema, associados a medidas adaptativas a partir da gestão da demanda, como melhor solução.

Tabela 15 - Síntese dos Indicadores da Matriz FPEIR.

Indicador da Matriz FPEIR	Descrição do Indicador Resposta	Condição
Força Motriz	Crescimento populacional	O crescimento da população de Mossoró se apresenta como a maior força motriz do indicador na BHAM.
	Desenvolvimento econômico	O município de relevância de desenvolvimento econômico é Mossoró por ser palco de grandes investimentos estatais.
Pressão	Demanda hídrica urbana	A demanda hídrica urbana do hidrossistema Apodi-Mossoró é de 0,50 m³/s.
	Demanda hídrica para pecuária	A demanda hídrica para pecuária do hidrossistema Apodi-Mossoró é de 0,14 m³/s.
	Demanda hídrica para irrigação	A demanda hídrica irrigação do hidrossistema Apodi-Mossoró é de 10,51 m³/s.
Estado	Disponibilidade hídrica superficial	A disponibilidade hídrica superficial da BHAM se dá a partir de 618 açudes com volume total de 469.714.600 m³ de água.
	Disponibilidade hídrica subterrânea	As disponibilidades e potencialidades da bacia se dá pelos aquíferos: Dunas, Aluviões, Barreiras, Jandaíra, Açú e Cristalino com volume total de 68,33 hm³/ano.
Impacto	Conflito hídrico	Destaca-se os conflitos relacionados a agricultura, transposição entre outros.
	Escassez hídrica	O reservatório de Santa Cruz do Apodi se encontra em situação de emergência com 20,08% de seu volume original. O reservatório Pau dos Ferros encontra-se vazio.
Resposta	Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SIGERH)	<b>SEMARH:</b> órgão gestor central do SIGERH e encarregado do gerenciamento da política hídrica estadual.
		<b>CERH:</b> órgão colegiado de deliberação coletiva e caráter normativo.
		<b>IGARN:</b> órgão executivo da política hídrica, entre suas atribuições, é responsável pela análise das solicitações, expedições e fiscalização de outorgas.
		<b>CBHAM:</b> o Decreto Estadual nº 21.881/10 criou o Comitê da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró
	Instrumentos da Lei 9.433/97	<b>Plano de Recursos Hídricos:</b> não há plano de bacia. Plano existente estadual de 1999 em fase de atualização.
		<b>Enquadramento:</b> não faz parte da PERH.
		<b>Outorga:</b> instrumento implementado, o órgão responsável é o IGARN.
	Alocação de água	<b>Cobrança:</b> não implementada.
		<b>SIRH:</b> não faz parte da PERH.
		Apresentou possíveis falhas do hidrossistema e medidas adaptativas a partir da gestão da demanda como melhor solução.
Ampliação do sistema de abastecimento	<b>Projeto de Irrigação Santa Cruz:</b> é a resposta de ampliação para o desenvolvimento das áreas irrigadas no Baixo Curso da bacia.	
	<b>Sistema Alto Oeste:</b> o sistema através de uma vazão de 4,52 m³/s, possibilita o abastecimento de 24 cidades em percentuais próximos a 100%.	
	<b>Adutora Santa Cruz – Mossoró:</b> o sistema tem vazão de 0,39 m³/s e possibilita a substituição dos poços profundos do aquífero Açú.	
	<b>Transposição do Rio São Francisco:</b> A transposição do Rio São Francisco minimiza falhas do hidrossistema.	

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma metodologia baseada no método FPEIR de sistematização da gestão dos recursos hídricos da Bacia Apodi-Mossoró e uma simulação e análise da demanda hídrica da região para o cenário de ampliação e integração do sistema de abastecimento de água a fim de sistematizar os indicadores que compõem a gestão da bacia.

O estudo possibilitou agregar informações acerca da Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, de modo que se tornam mais aparentes na correlação a gestão integrada das águas e promoveu a estimativa da demanda hídrica no hidrossistema Apodi-Mossoró de modo que pode auxiliar a tomada de decisão na alocação de água dos projetos de ampliação do sistema.

A matriz FPEIR, iniciando-se dos indicadores de forças motrizes de crescimento econômico, aumento populacional e mudanças climáticas, até as respostas de solução para a escassez hídrica nos reservatórios Santa Cruz e Pau dos Ferros, permitiu formalizar todo o processo de tomada de decisão no contexto do gerenciamento sustentável dos recursos hídricos na unidade de planejamento no que concerne as relações sociedade-meio ambiente.

Os indicadores selecionados indicaram que o crescimento demográfico, desenvolvimento econômico e as mudanças climáticas, principalmente através das secas na região, associadas às demandas hídricas urbanas, pecuárias e de irrigação (em maior escala), representam as forças-motrizes e pressões para o atendimento às demandas da bacia.

O estado do hidrossistema indica disponibilidade hídrica e qualidade hídrica deficitária, o que representa impactos de escassez hídrica e conflitos pelo uso da água dada a necessidade de controle do fornecimento às demandas. O indicador de disponibilidade hídrica possui dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado com 20 anos de desatualização, o que pode descredenciar sua informação e necessita de uma atualização.

Observa-se que entre as respostas a gestão dos recursos hídricos, os instrumentos da Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

previstos na Lei 9433/1997 não foram implementados em sua totalidade na BHAM. Os instrumentos devidamente implementados melhorariam a gestão dos recursos hídricos e o atendimento as demandas.

O sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos através da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos promove alternativas de ampliação do sistema de abastecimento na bacia para o atendimento das demandas e solução da crise hídrica.

A proposição da resposta de alocação de água, a partir da modelagem de rede de fluxo como integração ao planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, permitiu observar falhas no atendimento as demandas do sistema.

A estratégia que promove flexibilização das prioridades de atendimento dos usos, como a prioridade absoluta do abastecimento humano em relação a outros usos, indica perdas de abastecimento nos outros setores, como especialmente a irrigação. A flexibilização para atenuar as perdas no abastecimento urbano acrescem vazão para o setor agrícola, porém penaliza o usuário da água e é contra o que é previsto na Lei das Águas não sendo recomendada como estratégia de alocação.

O estudo de estratégias de alocação permite propor a associação da implementação efetiva do SIGERH e dos instrumentos da PNRH, associados a um sistema de gestão da demanda de água dotado de alternativas de reuso como medidas que resultariam no melhor atendimento as demandas.

Evidencia-se a necessidade de serem realizadas avaliações periódicas das condições de sustentabilidade das bacias hidrográficas, para isso recomenda-se que para pesquisas futuras: a análise da qualidade da água superficial e subterrânea da bacia; testes de bombeamento para atualização da disponibilidade hídrica subterrânea e a adaptação da Matriz FPEIR após a atualização do PERH. Como complemento à pesquisa, sugere-se a modelagem de rede de fluxo com associação das águas subterrâneas e a partir disso a alocação das demandas e análise de falhas do sistema.

## 7. REFERÊNCIAS

ALBANO, G. D.; PORTO, R. L. L. **Integração de um Modelo Matemático de Quantidade de Água em Rede de Fluxo (ACQUANET) com um Modelo Matemático de Qualidade de Água em Represas (CE-QUAL-R1)**. Estudo de Caso: Represa Jaguari-Jacareí – Sistema Cantareira, Dissertação, 2004.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. p.300. (Irrigation and Dranaige, Paper 56).

AMORIM, A. L.; RIBEIRO, M. M. R.; BRAGA, F. C. Conflitos em bacias hidrográficas compartilhadas: O caso da bacia do rio Piranhas-Açu/PB-RN. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 36-45, 2016.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Programa Nacional de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Aguas - Relatório Progestão 2015 - Rio Grande do Norte** 2015. Disponível em: <[http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/progestao1/certificacao/2015/certificacao-das-metas-federativas/relatorios-progestao-2015/rn\\_relatorio-progestao-2015.pdf](http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/progestao1/certificacao/2015/certificacao-das-metas-federativas/relatorios-progestao-2015/rn_relatorio-progestao-2015.pdf)>. Acesso em: Junho de 2017. 2015.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu / Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2016.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: Março de 2017. 2017.

ANDRADE, P. R. G. S.; **Estudo para alocação ótima das águas de um sistema de reservatórios em série e em paralelo, para usos e objetivos múltiplos, na bacia do rio Capibaribe**, PE, Campina Grande: UFCG – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Tese de Doutorado. 227p. 2006.

ARAGÃO, T. G. **Transposição das águas do rio são francisco para a bacia do rio paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo acquanet. 2008.** 139 f. Diss. Dissertação (Mestre)-UFCG, Campina Grande, 2008.

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 – DF: D.O.U. de 09/01/1997, P. 470, 1997.

BRASIL. Código Florestal. "**Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.**" Brasília, Diário Oficial da União 2012.

BRASIL. **Lei Federal nº. 9.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília – DF: D.O.U. de 02/09/1981. 1981.

BERARDI, U. Sustainability assessment of urban communities through rating systems. **Environment, development and sustainability**, v. 15, n. 6, p. 1573-1591, 2013.

BERHE, F. T., FANTA, A., ALAMIREW, T., & MELESSE, A. M. MODSIM-based water allocation modeling of Awash River Basin, **Ethiopia. Catena**, v. 109, p. 118-128, 2013.

BORTOLETTO, K. C., FREITAS, M. I. C., ROSSETTI, L. A. F. G., OLIVEIRA, R. B. N., & LEITE, A. **Indicadores Socioeconômicos e Ambientais para a Análise da Vulnerabilidade Socioambiental do Município de Santos–SP.** In XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento XXV Expositiva. 2014.

BRISTOT, G. **Estimativas da necessidade de irrigação suplementar para algumas culturas no Estado do Rio Grande do Norte.** Dissertação, Universidade federal da Paraíba – UFPB, Campina Grande, 1999.

BROOKS, D.; T. J. **Confronting water in an Israeli-Palestinian peace agreement.** *J. Hydrol.*, v. 382, n. 1-4, p. 103-114, Mar. 2010.

CÂMARA, C. G. **Outorga do direito de uso dos recursos hídricos a luz do direito fundamental à propriedade e do princípio do desenvolvimento sustentável: enfoque na legislação do estado do Rio Grande do Norte.** 2016. Dissertação de Mestrado. Brasil.

CAP-NET. **Conflict resolution and negotiation skills for integrated water resources management.** Training Manual. Rietfontein, Pretoria: International Network for Capacity Building in Integrated Water Resources Mangement, 2008.

CASTRO, L. I. S., CAMPOS, S., ZIMBACK, C. R. L., KAISER, I. M. (2014). **Sistema de Informação Geográfica na formulação de indicadores ambientais para sustentabilidade dos recursos hídricos.** *Irriga*, 655-674. 2014.

CENSO, I. B. G. E. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <[http://www. ibge. gov. br/home/estatistica/populacao/censo2010/](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/)>. Acesso em: Fevereiro de 2017. 2010.

CEREZINI, M. T.; BARBOSA, F. D.; HANAI, F. Y. **Instrumentos da política de recursos hídricos no Estado de São Paulo: situação atual e perspectivas.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 2, p. 499-511, 2017.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTO DO ESTADO DO RIO GRANDO DO NORTE (CAERN). **Ações para o abastecimento do Sistema em Colapso.** Disponível em: <<http://www.adcon.rn.gov.br/ACERVO/IGARN/DOC/DOC000000000145758.PDF>>. Acesso em: Julho de 2017. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões

de lançamento de efluentes e dá outras providências. Disponível em: . Acesso em: fevereiro de 2017. 2005.

**CGEE. Secas no Brasil: política e gestão proativas – Brasília: - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; Banco Mundial, 2016.**

DAMASCENO, A. P. D. **O enquadramento dos corpos d'água segundo os usos preponderantes sob a perspectiva da participação social.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Universidade Federal da Bahia/UFBA, Salvador, 2013.

DINAR, A.; ROSENGRANT, M.W.; MEINZEN-DICK, R. 1997. **Water allocation mechanisms – principles and examples.** Washington: World Bank.1997.

EEA,. **EEA core set of indicators: Guide.** EEA Technical Report, Copenhagen. 2005

FEITOSA, E. C. **Plano estadual de recursos hídricos do Rio Grande do Norte-os recursos hídricos subterrâneos.** SRH-RN. HIDROSERVICE Engenharia Ltda., Natal. Relatório diagnóstico, v. 1, p. 96, 1997.

FERNANDES, R. D. O., SILVEIRA, C. D. S., STUDART, T. M. D. C., SOUZA FILHO, F. D. A. D. . Reservoir yield intercomparison of large dams in Jaguaribe Basin-CE in climate change scenarios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22. 2017.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. Estudos avançados, v. 29, n. 84, p. 43-68, 2015.

GARI, R., NEWTON, A., ICELY, J.D., 2015. **A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems.** Ocean Coast. Manage. 103, 63–77. 2015.

GONTIJO JR, W. C; TRIGO, A. J. **Domínio das águas no Brasil e a gestão integrada por bacia hidrográfica: reflexões sobre o modelo vigente no Brasil.** In:

4º Encontro Internacional da Governança da Água - Inovação e Novos Conceitos na Governança da Água. São Paulo, 2013.

GOTARDO, J. T.; RODRIGUES, L. N.; GOMES, B. M. Demanda hídrica climatológica em uma bacia hidrográfica experimental no cerrado brasileiro visando estratégias de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 4, 2016.

GUEDES, M. J. F.; RIBEIRO, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. C. L. Alternativas de gerenciamento da demanda de água na escala de uma cidade. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, 2014, p. 51-62.

HERRERA, M.; TORGO, L.; IZQUIERDO, J.; PÉREZ-GÁRCIA, R. **Predictive models for forecasting hourly urban water demand**. Journal of Hydrology. v. 387. p.141 – 150. 2010.

HINCAPIÉ, A. M., LEAL, A. C., FERNANDES, E., FERREIRA, J. C., TROLEIS, A. L., & FERREIRA, S. M. Panorama da gestão dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Formação**. v. 1, n. 23, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População estimada 2015**. IBGE, Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais – COPIS, 2015.

IGARN, **Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte**. Programa Água Azul, Demonstrativo das Análises de Águas Subterrâneas do RN. 2010. Disponível

em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/IGARN/doc/DOC000000000029756.PDF>>.

Acesso em: Fevereiro de 2017. 2010.

Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA). Disponível em:<<http://www.idema.rn.gov.br> > Acesso em: Fevereiro de 2017. 2017.

IPCC. **“Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability”**, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, p. 23. 2013.

LABADIE, J. W., **Optimal operation of multireservoir systems: state-of-the-art review. Journal of Water Resources Planning and Management**, vol 130(2), p. 93-111. 2004.

LANDIM NETO, F. O. **Aplicação do modelo DPSIR na bacia hidrográfica do Rio Guaribas, Ceará, Brasil: subsídios para gestão ambiental local**. Tese de Doutorado. 2013.

LEWISON, R. L., RUDD, M. A., AL-HAYEK, W., BALDWIN, C., BEGER, M., LIESKE, S. N., & HINES, E. How the DPSIR framework can be used for structuring problems and facilitating empirical research in coastal systems. **Environmental Science & Policy**. 2016.

LOPES, A. V., FREITAS, M. A. S. A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos: experiências brasileiras. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. Vol.4 - N.1 - Jan./Jun. 2007, pp. 5-28. 2007

LOUCKS, D. P. **Quantifying trends in system sustainability**. Hydrological Sciences Journal, v.42, n.4, p. 513-530.1997.

MAGEE, L; SCERRI, A.; JAMES, P., THOM, J. A.; PADGHAM, L.; HICKMOTT, S.; CAHILL, F. Reframing social sustainability reporting: Towards an engaged approach. **Environment, development and sustainability**, v. 15, n. 1, p. 225-243, 2013.

MARANHÃO, N. **Sistema de Indicadores para Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas**, 2007. 422 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

MARTINS, E. S. P. R.; BRAGA, C. F. C.; NYS, E.; SOUZA FILHO, F. A.; FREITAS, M. A. S. **Impacto das Mudanças Climáticas e Projeções de Demanda sobre o Processo de Alocação de água em duas Bacias do Nordeste Semiárido**. Série Água Brasil 8. v.1., p. 88, 2013.

MIRANDA, R. B. D.; MAUAD, F. F. I. Influence of sedimentation on hydroelectric power generation: Case study of a Brazilian reservoir. **Journal of Energy Engineering**, v. 141, n. 3, 2014.

MONTES, L. M. V.; RUIZ, A. M. **Environmental indicators to evaluate spatial and water planning in the coast of Granada (Spain)**. Land Use Policy, v. 25, n. 1, p. 95–105. 2008.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Revista Estudos Avançados**, v. 26, p. 51-64, 2012.

NGUYEN, N. T. T.; DE VRIES, M. B. **Predicting trends in water quality in the coastal zone of TT-HUE, Vietnam-An assessment of impacts of rice culture and aquaculture**. 2016.

NEZAMI, S. R. Environmentally sound water resources management in catchment level using DPSIR model and scenario analysis. **International Journal of Environmental Research**, v. 7, n. 3, p. 569-580, 2013.

ODAN, F. K. **Previsão de demanda para sistemas de abastecimento de água**. Dissertação de mestrado. São Carlos, 2010.

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development. **Organization for Economic Cooperation and Development**, Paris, France, 1993.

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development. **Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews**. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France, 2003.

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development. **OECD Principles on Water Governance Welcomed by Ministers at the OECD Ministerial Council Meeting on 4 June 2015**. Paris: OECD, 2015.

OLIVEIRA, L. D. **Questão ambiental e desenvolvimento sustentável: análise política das ações do Brasil nos últimos 25 anos** . The overarching issues of the european space: spatial planning and multiple paths to sustainable and inclusive development. Porto. FLUP. 2015.

OLIVEIRA JR, H. S; GRIGIO, A. M. Mapa social:território e desigualdades - fase II Subprojeto: descrição, mapeamento e análise de risco sócioambiental do município de Mossoró – RN. Relatório de Pesquisa FAPERN/CNPq, 2011.

OLIVEIRA, F. G. de; FREIRE, D. G.; MASCARENHAS, G.; OLIVEIRA, L. D. de. (Orgs.). **Geografia urbana: ciência e ação política**. Rio de Janeiro: Editora Consequência, 2014.

PANAYOTOU, Theodore. Economic growth and the environment. **The environment in anthropology**, p. 140-148, 2016.

PIZELLA, D. G.; SOUZA, M. P. **Avaliação ambiental estratégica de planos de bacias hidrográficas**. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Engenharia Sanitária e Ambiental v. 18, n. 3, p. 243-252, 2013.

PROGRAMA ÁGUA AZUL. **Rede compartilhada de monitoramento da qualidade da água: monitoramento da qualidade das águas superficiais 4º relatório semestral**. Natal, março de 2017. Disponível em: < <http://www.programaaguaazul.rn.gov.br> >. Acesso em: agosto de 2017. 2017.

POFF, N.L.; BROWN, C.M.; GRANTHAM, T.E.; MATTHEWS, J.H.; PALMER, M.A.; SPENCE, C.M.; WILBY, R.L.; HAASNOOT, M.; MENDOZA, G.F.; DOMINIQUE, K.C.; BAEZA, A. Sustainable water management under future uncertainty with eco-engineering decision scaling. **Nature Climate Change**. v. 6, n. 1, 2016, p. 25.

PONTES, A. G. V., GADELHA, D. FREITAS, B. M. C., R. M. R., & FERREIRA, M. J. M. . Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o desenvolvimento do semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, 2013.

PORTO, R. L. L.; ROBERTO, A. N.; SCHARDONG, A.; MÉLLO JÚNIOR, A.V. **Sistema de suporte a decisão para análise de sistemas de recursos hídricos**. In: Silva, R. C. V. Métodos numéricos em recursos hídricos. Porto Alegre: ABRH. cap.2, p.93-240. 2003.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MOSSORÓ (PMM). **Demografia Mossoró-RN**. Disponível:<[http://www.cactustecnologia.com/pmm/indicadores/relatorios/relatorio\\_valorindicador.php?i=103](http://www.cactustecnologia.com/pmm/indicadores/relatorios/relatorio_valorindicador.php?i=103) > acesso em: agosto de 2017. 2017.

RAPPORT, D., ; FRIEND, A. (1979). **Towards a Comprehensive Framework for Environmental Statistics: A Stress-response Approach**, 1979 (Vol. 11, No. 510). Statistics Canadian, 1979.

REBOUÇAS, A. **Uso inteligente da água**. Escrituras Editora e Distribuidora de Livros Ltda., 2015.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto nº 13.284, de 22 de março de 1997**. Regulamenta o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH, e dá outras providências. Disponível em: . Acesso em: fevereiro de 2017. 1997.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei Complementar nº 340, de 31 de janeiro de 2007**. Altera a Lei Complementar Estadual nº 163, de 5 de fevereiro de 1999, dispondo sobre

Órgãos e Entes do Poder Executivo do Estado, e dá outras providências. Disponível em: fevereiro de 2017.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 6.908, de 01 de julho de 1996**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: . Acesso em: fevereiro de 2017. 1996.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 8.086, de 15 de abril de 2002**. Cria o Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte – IGARN, e dá outras providências. Disponível em: Acesso em: fevereiro de 2017. 2002.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto nº 13.284, de 22 de março de 1997**. Regulamenta o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH, e dá outras providências. Disponível em: fevereiro de 2017. 1997.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto nº 9.100, de 22 de outubro de 1984**. Enquadra cursos e reservatórios d'água do Estado na classificação estabelecida na Portaria nº 13, de 15 de janeiro de 1976, do Ministro do Interior, e dá outras providências. Acesso em: fevereiro de 2017. 1984.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e dá outras providências. Disponível em: Acesso em: fevereiro de 2017. 2000.

SALLES, M. C. T.; GRIGIO, A. M.; SILVA, M. R. F. Expansão urbana e conflito ambiental: uma descrição da problemática do município de Mossoró, RN-Brasil. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 2, 2013.

SANTOS, V. S. CURI, W., CURI, R., VIEIRA, A. Um modelo de otimização multiobjetivo para análise de sistema de recursos hídricos I: metodologia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 49-60, 2011.

SANTOS, R. D. A. S. D. . **Indicadores de sustentabilidade ambiental urbana– ISAU-UFBA/SEI: potencialidades e limitações a partir de sua aplicação para a cidade do Salvador–BA.** 2016.

Setti, A. A., Lima, J. E. F. W., Chaves, A. D. M., & Pereira, I. D. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, p. 328, 2001.

SEMARH - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Bacia do rio Apodi/Mossoró.** 2017. Disponível em: <<http://sistemas.searh.rn.gov.br/MonitoramentoVolumetrico/Monitoramento/RelatorioGerencialReservatorio>>. Acesso em: Junho 2017. 2017.

SILVA, C. L. S.; LIMA, J. E. S. **Políticas públicas e indicadores para o Desenvolvimento Sustentável.** São Paulo: Saraiva, 2010.

SILVA, L. P; SILVA, M.M.; CORREA, M.M.; SOUZA, F.C.D.; SILVA, E.F.F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 5, p. 480 - 486. 2012

SILVA, T. A. A.; LIMA, L. S.. Desenvolvimento sustentável: um debate sobre suas impossibilidades. **Revista Científica do Instituto Federal de Alagoas**, v. 1, n. 1, 2014.

SILVA, A. C. S.; GALVÃO, C. O.; RIBEIRO, M. M. R. ; ANDRADE, T. F. . **Adaptation to climate change: institutional analysis.** In: Kolokytha, E.; Oishi, S.; Teegavarapu, R.. (Org.). Sustainable Water Resources Planning and Management under Climate Change. 1ed. Tokyo: Springer, 2017, v. 10, p. 261-280. 2017.

SIMONOVIC, S. P., **Reservoir system analysis: closing gap between theory and practice.** Journal of Water Resources Planning and Management, New York. vol. 118, nº 3, pp. 262 – 280. 1992.

SOUZA, C. D.; CASTRO, M. Simulação do fluxo hídrico subterrâneo por estimativa de parâmetros usando cargas hidráulicas observadas: caso do Cariri Cearense, Brasil. **Revista Recursos Hídricos**, v. 34, n. 1, p. 43-61, 2013.

SPANGENBERG, J. H., DOUGUET, J. M., SETTELE, J., & HEONG, K. L. Escaping the lock-in of continuous insecticide spraying in rice: Developing an integrated ecological and socio-political DPSIR analysis. **Ecological modelling**, v. 295, p. 188-195, 2015.

TEIXEIRA, Celimar Azambuja; PORTO, Rubem La Laina. Modelo matemático para gerenciamento de quantidade e qualidade da água em rios. Um estudo de caso: bacia do rio piracicaba. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 2, n. 2, p. 79-104, 2008.

TSUTYIA, M. T. “**Consumo de água**”. In: Abastecimento de água. São Paulo –SP,.p. 35 – 65. 2006.

TUCCI, C. E. M. .**Águas urbanas**. Estudos Avançados. USP. Impresso.v. 22, p. 97-112, 2008.

UGEDA JUNIOR, J.C. **Qualidade Ambiental e Planejamento da Paisagem na Cidade de Jales-SP. Presidente Prudente-SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 206p. 2007.

Un-GWP. Un-Water and Global Water Partnership, **Road mapping for Advancing Integrated Water Resources Management (IWRM) Processes**. Status Report on Integrated Water Resources Management and Water Efficiency Plans, Prepared for the 16th session of the Commission on Sustainable Development, 2007.

VIEIRA, Z. M. C. L. **Metodologia de análise de conflitos na implantação de medidas da gestão de demanda de água**. 2008. 237 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, 2008.

WALMSLEY, J. J. Framework for Measuring Sustainable Development in Catchment Systems. **Environmental Management**, v. 29, n. 2, p. 195-206, 2002.

WINPENY, J. 1994. **Managing water as an economic resource**. London: Routledge.

YEH, W. W-G., **Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review**. Water Resource. Washington, v. 2, n.12, p.1797-1818, 1985.

# **ANEXOS**

**Tabela 16 - Evolução do População na Bacia Apodi-Mossoró.**

<b>Municípios</b>	<b>População em hab. (2000)</b>	<b>População em hab. (2010)</b>	<b>População em hab. (2017)</b>	<b>Taxa de crescimento entre 2000-2017</b>
Água Nova	2.678	2.980	3.235	8,56
Alexandria	13.772	13.507	1.839	2,46
Antônio Martins	6.757	6.907	7.221	4,55
Apodi	34.174	34.763	36.257	4,30
Baraúna	18.922	24.182	27.667	14,41
Felipe Guerra	5.534	5.734	6.033	5,21
Frutuoso	4.580	4.204	4.233	0,69
Gov. Dix-Sep Rosado	11.772	12.374	13.103	5,89
Itaú	5.271	5.564	5.904	6,11
João Dias	2.596	2.601	2.693	3,54
José da Penha	5.908	5.868	6.050	3,10
Lucrecia	3.218	3.633	3.968	9,22
Luís Gomes	9.154	9.610	10.171	5,84
Major Sales	2.948	3.536	3.955	11,85
Marcelino Vieira	8.373	8.265	8.495	2,78
Mossoró	213.841	259.815	291.937	12,36
Olho-d'Água dos Borges	4.461	4.295	4.359	1,49
Paraná	3.633	3.952	4.249	7,52
Pau dos Ferros	24.758	27.745	30.206	8,87
Pilões	3.002	3.453	3.799	10,02
Rafael Fernandes	4.247	4.692	5.078	8,23
Riacho da Cruz	2.667	3.165	3.526	11,41
Riacho de Santana	4.200	4.156	4.278	2,94
Rodolfo Fernandes	4.467	4.692	5.078	8,23
São Francisco do Oeste	3.480	3.874	4.206	8,57
Severiano Melo	10579	5.752	3.517	-38,86
Taboleiro Grande	2.029	2.317	2.542	9,71
Tenente Ananias	8.875	9.883	10.731	8,58
Umarizal	11.092	10.659	10.808	1,40

Fonte: IBGE, 2017.

**Tabela 17 - Evolução do PIB na Bacia Apodi-Mossoró.**

<b>Municípios</b>	<b>PIB em mil reais. (2000)</b>	<b>PIB em mil reais. (2010)</b>	<b>PIB em mil reais. (2014)</b>	<b>Taxa de crescimento entre 2010-2014 em (%)</b>
Água Nova	4.585	15.134	21.623	42.88
Alexandria	22.036	61.503	100.12	62.79
Antônio Martins	9.577	30.376	44.302	45.85
Apodi	123.801	347.485	528.457	52.08
Baraúna	41.985	270.432	423.165	56.48
Felipe Guerra	30.247	73.139	111.461	52.40
Frutuoso	7.421	20.972	29.958	42.85
Gov. Dix-Sep Rosado	45.355	181.16	271.487	49.86
Itaú	10.102	27.31	43.702	60.02
João Dias	3.885	12.731	18.607	46.16
José da Penha	9.318	28.207	41.432	46.89
Lucrecia	4.777	18.867	34.559	83.17
Luis Gomes	13.678	45.343	61.307	35.21
Major Sales	4.514	15.954	31.086	94.85
Marcelino Vieira	12.148	37.734	53.387	41.48
Mossoró	818.311	4.438.424	6.221.099	43.74
Olho-d'Água dos Borges	6.762	21.594	32.622	51.07
Paraná	5.72	18.006	28.003	55.52
Pau dos Ferros	57.541	235.36	362.756	54.13
Pilões	4.429	18.322	29.871	63.03
Rafael Fernandes	7.056	22.842	33.147	45.11
Riacho da Cruz	4.107	14.423	24.037	66.66
Riacho de Santana	6.59	21.01	30.236	43.91
Rodolfo Fernandes	7.183	20.867	30.514	46.23
São Francisco do Oeste	5.257	18.421	30.216	64.03
Severiano Melo	15.681	31.085	40.992	31.87
Taboleiro Grande	4.014	12.96	20.572	58.73
Tenente Ananias	12.252	44.942	72.447	61.20
Umarizal	20.775	53.106	100.959	90.11

Fonte: IBGE, 2017.

