



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

EUDILENA LAURINDO DE MEDEIROS

**ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
APODI/MOSSORÓ - RN (SEMIÁRIDO BRASILEIRO) POR MEIO DE  
INDICADORES AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS.**

MOSSORÓ

2019

EUDILENA LAURINDO DE MEDEIROS

**ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
APODI/MOSSORÓ - RN (SEMIÁRIDO BRASILEIRO) POR MEIO DE  
INDICADORES AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS.**

Tese apresentada ao Doutorado em Ciência Animal do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva

MOSSORÓ

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

488a Medeiros, Eudilena Laurindo.

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO APODI/MOSSORÓ - RN (SEMIÁRIDO  
BRASILEIRO) POR MEIO DE INDICADORES AMBIENTAIS,  
SOCIAIS E ECONÔMICOS / Eudilena Laurindo Medeiros. - 2019.  
72 f. : il.

Orientador: Gustavo Henrique Silva. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, 2019.

1. DPSIR. 2. Protocolo de avaliação rápida. 3. Índice de qualidade de água. I. Silva, Gustavo Henrique, orient. II. Título.

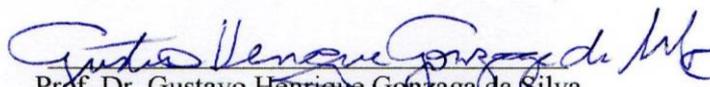
O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade

**ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
APODI/MOSSORÓ - RN (SEMIÁRIDO BRASILEIRO) POR MEIO DE  
INDICADORES AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS.**

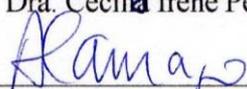
Tese apresentada ao Doutorado em Ciência Animal do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal

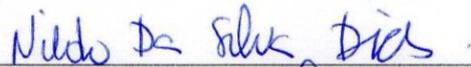
Defendida em: 20 / 02/ 2019.

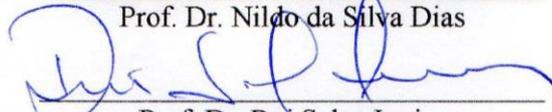
**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva

  
Prof. Dra. Cecilia Irene Perez Calabuig

  
Prof. Dr. Antônio Fernando Monteiro Camargo

  
Prof. Dr. Nildo da Silva Dias

  
Prof. Dr. Rui Sales Junior

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus.

Ao meu orientador Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva, por todos os ensinamentos ao longo desses 11 anos, obrigada por todas as contribuições e compreensão durante a minha vida acadêmica.

Agradeço a banca examinadora pela disponibilidade e por todas as contribuições direcionadas ao aperfeiçoamento do trabalho.

Ao Luiz Carlos o técnico do Laboratório de Limnologia e Qualidade de Água-LIMNOAQUA, pois além das análises sempre foi disponível para ajudar em que eu precisasse, obrigada pelas conversas e principalmente por ter se tornado um amigo.

Por todos os membros do laboratório que me acompanharam nessa jornada me dando apoio nas coletas e análises. Camila, Dayane, Renata, Herbster.

Aos antigos colegas do LIMNOAQUA, que ainda se prontificam a ajudar e foram importantíssimos para a construção desse trabalho Cyntia e Sávio.

Aos meus pais que sempre me apoiaram e qualquer decisão tomada, agradeço todo o apoio e cuidado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES)

Senhor, tu me sondas e me conheces. Sabes quando me sento e quando me levanto; de longe percebes os meus pensamentos. Sabes muito bem quando trabalho e quando descanso; todos os meus caminhos te são bem conhecidos. Antes mesmo que a palavra me chegue à língua, tu já a conheces inteiramente, Senhor. Tu me cercas, por trás e pela frente, e põe a tua mão sobre mim, me protegendo e livrando de todo mal.

Salmos 139:1-5

## **ESTRUTURAÇÃO DA TESE**

A tese de doutorado está estruturada em três capítulos. Capítulo 1 (Introdução Geral): “Conservação e gestão de bacias hidrográficas”. Capítulo 2: “Avaliação quantitativa e qualitativa dos ambientes aquáticos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, semiárido brasileiro”. Capítulo 3: “Avaliação da sustentabilidade ambiental, social e econômica da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró-RN, semiárido brasileiro”.

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 2

- Figura 1: Mapa das quatro unidades delimitadas em função das condições topográficas da bacia e dos limites político-administrativos dos municípios baseado em Carvalho et al. (2011). .....28
- Figura 2: Mapa ilustrativo do nível de perturbação da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, na qual evidencia os ambientes impactados (valores 0-22), ambientes alterados (valores 23-32) e ambientes naturais (valores acima de 32). .....32
- Figura 3: Valores médios e desvio padrão do nível de perturbação nas regiões de alto curso, médio curso inferior, médio curso superior e baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró. Aplicou-se a ANOVA para identificação de diferenças significativas ( $p=0,735$ ) .....33
- Figura 4: Análise de Componentes Principais com as variáveis utilizadas para elaboração do protocolo de avaliação rápida .....34
- Figura 5: Mapa ilustrativo do Índice de Qualidade de Água (IQA) da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró. ....35
- Figura 6: Valores médios e desvio padrão do nível do índice de qualidade de água nas regiões de alto curso, médio curso inferior, médio curso superior e baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró. Aplicou-se a ANOVA para identificação de diferenças significativas  $p=0.1165$ . ....36
- Figura 7: Análise de Componentes Principais com as variáveis utilizadas para elaboração do Índice de Qualidade de Água.....37

### Capítulo 3

- Figura 1: Mapa das quatro unidades delimitadas em função das condições topográficas da bacia e dos limites político-administrativos dos municípios baseado em Carvalho et al., (2011).....49
- Figura 2: Triângulo da sustentabilidade para os quatro cenários avaliados (baixo curso, médio curso superior, médio curso inferior, alto curso).....54
- Figura 3: Análise de Componentes Principais para os indicadores utilizados para verificação da sustentabilidade dos trechos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró. ....56

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Classificação do Índice de Qualidade de Água de acordo com os valores adotados pela Agência Nacional de Águas (ANA). ..... | 16 |
|--|----|

### Capítulo 2

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Classificação do Índice de Qualidade de Água do acordo com os valores adotados pela Agência Nacional de Águas. .... | 30 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| Tabela 2: Escala de pontuação para identificar o nível de perturbação dos ambientes avaliados ..... | 31 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| Tabela 3: Coordenadas fatoriais das variáveis, baseadas em correlações oriundas da análise de componentes principais. .... | 34 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| Tabela 4: Coordenadas fatoriais das variáveis, baseadas em correlações oriundas do índice de qualidade de água. .... | 37 |
|--|----|

### Capítulo 3

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Indicadores de sustentabilidade econômica, ambiental e social utilizados para avaliar a sustentabilidade dos diferentes trechos da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró. .... | 50 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2: Indicadores utilizados como entrada no MULINO para modelagem DPSIR. .... | 52 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| Tabela 3: Escala de desempenho aplicada na avaliação da sustentabilidade dos cenários modelados (MOURA et al., 2016). .... | 53 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| Tabela 4: Escores da sustentabilidade para cada dimensão considerada em cada cenário e índice geral de sustentabilidade. Escores em negrito indicam o cenário mais sustentável para cada dimensão e para o índice geral. .... | 55 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| Tabela 5: Coordenadas fatoriais dos indicadores, baseadas em correlações oriundas da análise de componentes principais. .... | 57 |
|--|----|

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>CAPÍTULO 1 - CONSERVAÇÃO E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS</b> .....   | 11 |
| INTRODUÇÃO .....   | 12 |
| PROTOCOLOS DE AVALIAÇÃO RÁPIDA .....   | 13 |
| ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA.....  | 15 |
| USO DE INDICADORES PARA AVALIAR A SUSTENTABILIDADE SOCIAL, ECONÔMICA<br>E AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....  | 17 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 20 |
| <b>CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DOS AMBIENTES<br/>AQUÁTICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-MOSSORÓ, SEMIÁRIDO<br/>BRASILEIRO</b> .....  | 25 |
| INTRODUÇÃO .....   | 26 |
| MATERIAL E MÉTODOS.....  | 27 |
| RESULTADOS.....  | 31 |
| DISCUSSÃO .....  | 38 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 41 |
| REFERÊNCIAS.....   | 41 |
| <b>CAPÍTULO 3 - VALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL, SOCIAL E<br/>ECONÔMICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-MOSSORÓ-RN, SEMIÁRIDO<br/>BRASILEIRO</b> ..... | 46 |
| INTRODUÇÃO .....   | 47 |
| MATERIAL E MÉTODOS.....  | 48 |
| RESULTADOS.....  | 54 |
| DISCUSSÃO .....  | 58 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 60 |
| REFERÊNCIAS.....   | 61 |
| ANEXOS .....   | 66 |
| APÊNDICES.....   | 68 |

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL**

### **CONSERVAÇÃO E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

#### **RESUMO**

A bacia hidrográfica é de extrema importância para a gestão ambiental dos recursos hídricos. Uma má gestão desses recursos pode trazer sérias consequências ao ambiente e a população. Diante deste fato, as metodologias utilizadas para estudar e gerenciar a bacia hidrográfica devem estar direcionadas para explicar, prever e posteriormente auxiliar na tomada de decisões para auxiliar a gestão ambiental. Dentre as formas de caracterização de tais ambientes, pode-se destacar o protocolo de avaliação rápida e o índice de qualidade de água, bem com a aplicação do modelo conceitual DPSIR (Driving force - Força motriz, state - estado, impact – impacto, respose - resposta) para poder avaliar sustentabilidade de uma bacia hidrográfica. De uma forma geral, pode-se constatar que estudos que empregaram o DPSIR para avaliar a sustentabilidade ambiental, social e econômica de uma bacia hidrográfica ou de determinados ambientes aquáticos forneceram informações eficazes, ferramenta útil para apoiar a tomada de decisão. A aplicação do DPSIR com outros indicadores como o IQA e o PAR pode proporcionar condições mais adequadas para um diagnóstico das condições dos ambientes aquáticos de uma bacia hidrográfica, levando em consideração aspectos ambientais econômicos e sociais.

**Palavras-chave:** DPSIR, Protocolo de avaliação rápida, Índice de qualidade de água.

## INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser conceituada como o conjunto de terras drenadas por um corpo de água principal e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes. (PIRES et al., 2002). A bacia hidrográfica apesar de ser uma unidade física, também possui um conceito social, pois a sua conservação adequada tem um efeito importante no bem estar da população, sendo um campo de ação política, de partilha de responsabilidade e de tomada de decisões. Problemas como desmatamento, mudanças microclimáticas, contaminação de rios, erosão, enchentes e tensões físico-sociais de natureza diversa impuseram a necessidade de cooperação entre diferentes esferas administrativas, levando à constituição de um novo arranjo institucional cristalizado na forma de comitês de bacia de modo a auxiliar a gestão (CUNHA; COELHO, 2009).

Pode-se destacar que a utilização do conceito de bacias hidrográficas na conservação e gestão de recursos naturais ocorre pela possibilidade de avaliar, uma determinada área geográfica, o seu potencial de desenvolvimento e a sua produtividade biológica, assim encontra-se a melhor forma de aproveitamento dos recursos naturais com pouco impacto ambiental (PIRES et al., 2002). Nos últimos anos, o manejo e a conservação das bacias hidrográficas tornaram-se temas relevantes, visto que, as consequências da má conservação e proteção das fontes de água podem ocasionar problemas como contaminação da água subterrânea por organismos patogênicos; maior concentração de metais pesados, carga orgânica (demanda bioquímica de oxigênio) e nitratos nos corpos d'água, conduzindo a um quadro de degradação ambiental (CUNHA; COELHO, 2009).

O uso incorreto dos ambientes aquáticos de uma bacia hidrográfica pode comprometer qualitativamente e quantitativamente os recursos hídricos disponíveis, tal fato, está associado em geral ao desmatamento para a agricultura (inclusive da mata ciliar), à drenagem de terras alagadas, ao desenvolvimento e ocupação humana, a fontes poluentes de origem industrial, agrícola, e doméstica, ao represamento e canalização, às atividades recreativas, à operação de mineração, a projetos de irrigação e à introdução de espécies exóticas, super exploração de recursos pesqueiros, dentre outras atividades, podendo comprometer os a integridade ecológica dos ambientes aquáticos das bacias hidrográficas (SILVEIRA, 2004; SIQUEIRA; HENRY-SILVA, 2011), principalmente em regiões semiáridas, onde a precipitação é menor que a evaporação, com temperaturas elevadas e com períodos intensos e prolongados de estiagem que favorecem a eutrofização dos ambientes aquáticos (BARBOSA et al., 2012).

Diante destes fatos, as metodologias utilizadas para estudar e gerenciar a bacia hidrográfica devem estar direcionadas para explicar, predizer e posteriormente auxiliar na tomada de decisões para auxiliar a gestão ambiental (PIRES et al., 2002). Dentre as formas de caracterização de tais ambientes, pode-se destacar o protocolo de avaliação rápida e o índice de qualidade de água (KESHTKA et al., 2013), bem com a aplicação do modelo conceitual DPSIR (Driving force - Força motriz, state - estado, impact – impacto, resposte - resposta) para poder avaliar sustentabilidade de uma bacia hidrográfica.

## **PROTOCOLOS DE AVALIAÇÃO RÁPIDA**

O Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), surgiu devido à um interesse pela adoção de algumas pesquisas qualitativas como forma de diminuir os custos e o tempo quando relacionados com as pesquisas quantitativas (SILVEIRA, 2004). A ideia desse protocolo teve início em 1986, quando a agência ambiental dos Estados Unidos (EPA - Environmental Protection Agency), uniu agências de monitoramento de águas superficiais para elaborar um relatório que tinha como finalidade a reestruturação dos programas de monitoramento existentes, dando atenção especial para impactos de fontes não pontuais. O relatório ressaltava recomendações para as mudanças necessárias, tais como: (i) Elaboração de um guia de avaliações custo-efetivas para a identificação de problemas e de tendências de avaliação; (ii) Desenvolvimento e aplicação de técnicas de monitoramento biológico promissoras. (BAPTISTA et al., 2000).

Em resumo o PAR, tem como função principal redução de custos na avaliação ambiental, com o mesmo rigor técnico-científico. Além disso, são utilizados nas pesquisas onde existe a necessidade de resultados rápidos, tais como em decisões de gerenciamento. Por esse motivo os protocolos vêm sendo muito utilizados para avaliação ambiental tanto internacionalmente como nacionalmente. Lange et al. (2018), em trabalho desenvolvido na África do Sul, objetivaram avaliar e restaurar lagos utilizados na mineração, que após sua exploração não foram submetidos a medidas ambientais de recuperação. O protocolo de avaliação rápida foi utilizado para classificar os corpos de água de acordo com a integridade ecológica, esses corpos hídricos também foram classificados de acordo com seu valor monetário, já que os corpos podem se tornar úteis produzindo serviços potencialmente valiosos, assim justificando a necessidade de restauração das áreas. Os autores verificaram que o protocolo foi importante para identificar os lagos que devem ter prioridade para

restauração, porém ressaltou-se a necessidade análises complementares para verificar os indicadores de forma individual, já que o protocolo realiza uma análise de forma integrada.

Já no Brasil, Firmino et al. (2011), utilizou o PAR para avaliar trechos dos rios Corumbá e São Marcos na cidade de Ipameri-GO, submetidos a interferências antrópicas. Os autores identificaram trechos com maior impacto causado principalmente pelo acúmulo de lixo, construção de residências nas planícies de inundação e o desmatamento para a obtenção de áreas de pastagens. As conclusões obtidas no trabalho com a utilização do PAR foram importantes para que a secretaria do Meio Ambiente do município intensificasse a fiscalização, minimizando a realização atividades impactantes e estimulando a adoção de medidas para interromper os processos de degradação.

Callisto et al. (2002) aplicaram o PAR como ferramenta de atividade de ensino e pesquisa, avaliando as características da água e sedimento, tipo de ocupação das margens, erosão e assoreamento, extensão de mata ciliar, cobertura vegetal, largura de remansos e seu estado de conservação. Os autores identificaram pontos nos quais existiam maior grau de impacto, bem como, pontos preservados como os localizados na cabeceira do rio. O trabalho também visou a capacitação de profissionais, de modo a torná-los capazes de atuar em projetos de avaliação de impactos ambientais. Já Rigotti e Pompêo (2011) caracterizaram a degradação dos córregos e da zona de proteção legal através da aplicação do PAR, bem como propuseram ações de revitalização. Os resultados mostraram que o diagnóstico foi eficaz na caracterização das áreas, tendo como vantagens, além de resultados quantitativos, o conhecimento qualitativo das bacias estudadas. O autores constataram ainda, que o problema da subjetividade incorporada no diagnóstico que pode ser solucionada com a utilização complementar de uma avaliação quantitativa (Índice de Estado Trófico, Índice de Qualidade de Água).

Rigotti et al. (2016), em estudo desenvolvido na bacia hidrográfica do Itacorubi (Florianópolis-SC), região sul do Brasil, aplicaram três protocolos de avaliação rápida e compararam os resultados com os obtidos por métodos analíticos como o Índice de Estado Trófico, o de avaliação da qualidade da água e o de avaliação da comunidade de macroinvertebrados aquáticos. Os resultados confirmaram viabilidade de utilização dos protocolos para caracterização do habitat aquático, pois houve compatibilidade entre os resultados nos três procedimentos. Os autores ressaltam que os PAR's que utilizam métodos analíticos (Índices de Estado Trófico, Índice de Qualidade de Água) tornam-se mais completos. Por esse fato, dá-se a importância dessa complementação.

## ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA

A CETESB utiliza desde 1975 o Índice de Qualidade das Águas (IQA), que serve como informação básica de qualidade de água para o público em geral, bem como para o gerenciamento ambiental das 22 Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo e tem como principal vantagem a facilidade de comunicação com o público leigo. (CETESB, 2008). O IQA é calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice. A seguinte equação é utilizada: (Equação 1):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Onde:

$q_i$ : qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva curva média de variação de qualidade, em função de sua concentração ou medida;

$w_i$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade (Equação 2):

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

Onde:

$n$ : número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

O IQA pode ser uma ferramenta importante a no processo decisório das políticas públicas e no acompanhamento de seus efeitos, levando maior quantidade de informações, de forma sistemática e acessível, para os tomadores de decisão (CETESB, 2008). Os valores do IQA variam numa escala entre 0 e 100 (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação do Índice de Qualidade de Água de acordo com os valores adotados pela Agência Nacional de Águas (ANA).

| <b>Valor</b>        | <b>Categoria</b> |
|---------------------|------------------|
| $80 < IQA \leq 100$ | Ótima            |
| $51 < IQA \leq 79$  | Boa              |
| $37 < IQA \leq 50$  | Aceitável        |
| $20 < IQA \leq 36$  | Ruim             |
| $IQA \leq 19$       | Péssima          |

Devido a deterioração dos ecossistemas aquáticos em várias regiões do Brasil, ultimamente houve um aumento do número de programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) voltados à conservação quanti-qualitativa destes ambientes (FIORE et al., 2017). Entre as principais demandas de aprimoramento desses programas, está a necessidade de comprovação dos serviços ecossistêmicos prestados. Neste contexto, Fiore et al. (2017) avaliaram as diretrizes norteadoras do monitoramento das características limnológicas em bacias contempladas por PSA, assim estabeleceram um conjunto mínimo de indicadores para a avaliação destas características em bacias contempladas por PSA (pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica, temperatura (água e ar) e turbidez). Já Oliveira et al. (2018) utilizaram o IQA, para correlacionar os efeitos espaciais e temporais do uso da terra e da cobertura do solo com qualidade ambiental da bacia hidrográfica Cachoeirinha Invernada, Guarulhos-SP, sendo que o que mais contribuiu para a degradação das características limnológicas dos ambientes aquáticos dessa bacia foram os elevados valores de coliformes, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Fósforo Total. Britto et al. (2018), aplicaram conjuntamente o IQA e o Índice de Estado Trófico para avaliar onze afluentes do rio São Francisco em seu baixo curso, identificando que a qualidade da água dos afluentes do rio São Francisco apresentam indícios de contaminação.

Apesar do IQA ser bastante utilizado, a sua principal desvantagem consiste na perda de informação das variáveis pois não são avaliadas individualmente, ou seja, avalia-se apenas a interação entre elas. Nesse contexto, se faz necessário uma avaliação individual das variáveis, bem como o uso do protocolo de avaliação rápida, de modo a complementar as informações do IQA gerando trabalhos mais completos que caracterizem de forma mais fiel o ambiente estudado. Outra forma de caracterizar um ambiente de modo a gerar informações para o gestores, e auxiliar na tomada de decisão é a elaboração de modelos conceituais por meio de indicadores.

## **USO DE INDICADORES PARA AVALIAR A SUSTENTABILIDADE SOCIAL, ECONÔMICA E AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Os indicadores são de extrema importância para avaliar a questão ambiental como é o caso do PAR e IQA, porém também existem os indicadores que avaliam a questão econômica, social. Tais são ferramentas que unem uma grande quantidade de dados em um grupo de informações, de modo a direcionar a tomada de decisões (BOSEL, 1999). O uso de indicadores atingiu largo emprego e divulgação na sociedade em decisões, para sinalizar o estado de uma feição particular de interesse ou, ainda, aferir a condição de uma variável, comparando as diferenças observadas no tempo e no espaço (MARANHÃO, 2007).

Os indicadores procuram caracterizar o estado do meio avaliado e as tensões nele instaladas como, por exemplo, as ações antrópicas. No caso da gestão dos recursos hídricos, procura-se quantificar, com os indicadores, as condições ambientais dos recursos hídricos de uma determinada bacia ou unidade geopolítica e o estado da gestão dos mesmos, bem como as transformações ocorridas pelas ações antrópicas, retratando assim as condições ambientais que ocorrem na área estudada (MARANHÃO, 2007). A relevância dos indicadores para o processo de tomada de decisão são as características mais importantes dos indicadores em relação a outras formas de informação e podem ser ferramentas eficazes de decisão política (NICHOLSON et al., 2012; WWAP, 2012). Portanto, os indicadores devem apresentar atributos que são considerados relevantes pelos tomadores de decisão e não necessariamente por um público especializado (KLUG; KMOCH, 2014). Indicadores de sustentabilidade bem desenvolvidos devem condensar e decifrar dados relevantes medindo, quantificando, qualificando e transmitindo informações de uma forma que seja fácil de entender (KURKA; BLACKWOOD, 2013).

Uma das formas de avaliar a sustentabilidade é a utilização dos indicadores para elaboração de modelos conceituais, de modo a caracterizar determinado ambiente. Inicialmente um modelo muito usado pelos gestores era o PSR (Pressure-Pressão, State-Estado, Resposte- Resposta), foi desenvolvido pela OECD (Organisation for Economic Cooperation and development), baseado no modelo proposto por Friends e Raport (1979), por ser um modelo de pressão e resposta simples e fácil de ser utilizado, tornou-se o mais usado em todo o mundo e é considerado um marco de referência para estruturação de indicadores (CUNHA, 2002).

O PSR visa desenvolver indicadores referentes as atividades humanas com suas conseqüentes mudanças no estado do ambiente, oriundas destas pressões. A partir daí três

tipos de indicadores são sugeridos: pressão, estado e resposta (OLIVEIRA et al., 2005). A pressão é constituída pelas variáveis que causam (ou podem causar) diretamente mudanças de estado. Os indicadores de pressão apontam diretamente para as causas dos problemas. Eles devem ser sensíveis, acusando mudanças em seus valores sempre que forem empreendidas ações corretivas para aplacar ou eliminar o problema. Os indicadores de estado prestam-se para uma primeira avaliação da situação existente. Tornam-se assim ferramentas apropriadas para iniciar o planejamento, ações e intervenções que integrarão programas e projetos, embora se deva ter sempre presente que esses indicadores possuem uma velocidade de reação lenta, comumente só se manifestando no valor do indicador algum tempo após as mudanças correspondentes terem se instalado (MARANHÃO, 2007).

Após o uso do PSR, a OECD com o intuito de elaborar indicadores para agricultura surgiu o modelo DSR (Driving force-Força motriz, State-Estado, Resposte- resposta). Nesse caso a “pressão” é substituída por “força motriz” como forma de acomodar melhor os indicadores sociais e econômicos. Adicionalmente, as forças motriz permitem a consideração de impactos positivos e negativos no desenvolvimento sustentável. (SOARES, 2007). Nesse caso, entende-se por força motriz o conjunto de processos, atividades e padrões humanos que, quando combinados com as condições ambientais, reforçam as mudanças ambientais e provocam impactos positivos ou negativos no desenvolvimento sustentável. O estado refere-se ao estado de desenvolvimento sustentável e respostas são todas as opções de políticas e outras adaptações e reações a mudanças no desenvolvimento sustentável (MARANHÃO, 2007). Após o DSR desenvolveu-se o DPSIR (Driving force - Força motriz, state - estado, impact – impacto, resposte - resposta), que foi uma evolução do modelo PSR (GIUPPONI, 2007).

No DPSIR, os desenvolvimentos sociais e econômicos são as forças motrizes que exercem pressão no ambiente, o que gera mudanças no estado, que por sua vez, levam aos impactos na saúde humana, nos ambientes naturais, resultando em respostas da sociedade voltada para força motriz (NIEMEIJER; GROOT, 2008). De modo geral o diferencial do DPSIR para os demais modelos conceituais é o incremento da variável impacto, na qual, descreve os efeitos das pressões sobre o estado atual do meio ambiente na área interessada e a velocidade de reação dos indicadores de impacto é ainda mais lenta que a dos indicadores de estado (MARANHÃO, 2007).

Fassio et al. (2005) utilizaram o DPSIR, para nortear tomada de decisão na gestão de recursos hídricos. Os resultados foram obtidos a partir de testes do Sistema de Apoio à Decisão feitas pelo MULINO, "mDSS" (Sistema Multi-sensorial, integrado e operacional de

suporte a decisão para o uso sustentável dos recursos hídricos na escala da bacia), na qual, foi possível avaliar medidas alternativas para a redução da pressão agrícola nos recursos hídricos. Os resultados, após aplicação do modelo DPSIR, mostraram-se eficazes para avaliação dos efeitos de impactos ambientais, direcionando na adoção das medidas políticas para manter a sustentabilidade dos ambientes aquáticos estudados. O trabalho desenvolvido por Fassio et al. (2005), foi extremamente importante, para iniciar estudos sobre o software MULINO em conjunto com o modelo conceitual do DPSIR para avaliação da sustentabilidade das bacias hidrográficas, no entanto, o estudo utilizou um número reduzido de indicadores. Além disso, esse pequeno número de indicadores, possuía enfoque na dimensão ambiental como era inicialmente proposto pela Agência Europeia, porém quando tratamos da sustentabilidade, além da dimensão ambiental devem ser utilizados indicadores referentes a outras dimensões, proporcionando maior confiabilidade na tomada de decisões.

Tscherning et al. (2012), desenvolveram um artigo de revisão com 21 estudos que usavam a estrutura do DPSIR que teve como objetivo principal avaliar as críticas e desvantagens do DPSIR. Para isso avaliou-se as definições dos cinco elementos do DPSIR e seu potencial para explicar os resultados, além disso, foram avaliados os usuários finais, na qual, verificou-se a utilização dos estudos para apoio a tomada de decisão para gestão. Os resultados principais mostraram que nove (43%) dos 21 estudos que apresentaram resultados importantes para tomada de decisão e foram utilizados para adicionar mais apoio ao processo de tomada de decisão. Concluindo que o DPSIR foi de extrema importância pois, é uma ferramenta útil para apoiar a tomada de decisões por apresentar evidências sólidas sobre a situação do ambiente, assim proporcionando aos gestores soluções alternativas para gerenciamento dos recursos, além das soluções que já existem.

Gari et al. (2018), desenvolveram um trabalho na Colômbia com o objetivo de definir respostas políticas adequadas que permitam o planejamento e a implementação de alternativas de manejo para o uso sustentável dos recursos hídricos. O DPSIR foi usado para analisar os problemas de qualidade da água na região, revelando que agricultura, mineração, e pesca geraram pressões como entradas de matéria orgânica, sedimentos, nutrientes e contaminantes químicos para os ambientes aquáticos da bacia hidrográfica estudada, gerando impactos negativos no bem-estar humano, redução da segurança alimentar e hídrica, além de perdas econômicas para a população local. As conclusões obtidas ocasionaram respostas sociais que incluíram protestos, ações legais e mudanças de políticas para governança.

Apesar de seus aspectos positivos, alguns autores relataram problemas no uso do DPSIR como ferramenta de avaliação da sustentabilidade. Carr et al. (2007) afirmaram que o

DPSIR cria um conjunto de indicadores estáveis que servem como uma base para a análise, no entanto não levam em conta a dinâmica de mudança do sistema em questão. Porém o uso do DPSIR pode ter sido mal interpretado pelos autores, já que o modelo não deve ser o único meio a direcionar a tomada de decisão por parte das organizações. Ele deve ser apenas um meio de observar e divulgar as informações a respeito do ambiente, de modo a auxiliar o entendimento do comportamento ambiental. Já Svarstad et al., (2008) evidenciaram que o modelo não é uma ferramenta de geração de conhecimento neutro, quando aplicado de forma tradicional para estudos no campo da biodiversidade. Svarstad et al. (2008), ressaltaram que o problema com o uso do DPSIR é a falta de esforços para encontrar uma maneira satisfatória de lidar com as múltiplos enfoques da sustentabilidade. Por fim, Niemeijer; Groot (2008) ressaltam como ponto negativo do DPSIR a sua casualidade simples e unidirecional entre indicadores.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Apesar das questões negativas evidenciadas, o modelo conceitual DPSIR ainda é uma ferramenta importante para nortear a tomada de decisão na gestão de recursos naturais quando utilizados corretamente. De uma forma geral, pode-se constatar que estudos que empregaram o DPSIR para avaliar a sustentabilidade ambiental, social e econômica de uma bacia hidrográfica ou de determinados ambientes aquáticos forneceram informações eficazes, sendo uma ferramenta útil para apoiar a tomada de decisão. A aplicação do DPSIR com outros indicadores como o IQA e o PAR pode proporcionar condições mais adequadas para um diagnóstico das condições dos ambientes aquáticos de uma bacia hidrográfica, levando em consideração não somente os aspectos ambientais, mas também os aspectos econômicos e sociais. Este uso conjunto dos indicadores pode proporcionar informações mais confiáveis para tomadas de decisões no que se refere à preservação e/ou recuperação destes ambientes aquáticos, bem como o no que se refere ao uso adequado dos recursos hídricos.

## **REFERÊNCIAS**

BAPTISTA, D. F.; SILVEIRA, M. P.; NESSIMIAN, J. L.; BUSS, D. F.; EGLER, M. **Perspectivas do uso do biomonitoramento para avaliação da saúde ambiental de ecossistemas aquáticos.** In: WORKSHOP “ÁGUA, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS”, 2000, Rio de Janeiro. Anais Rio de Janeiro: UNIRIO, 2000.

BARBOSA, J. E. L.; MEDEIROS, E. S. F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R. S.; CRISPIM, M. C. B.; SILVA, G. H. G. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, n. 1, p. 103-118. 2012.

BOSSSEL, H. **A Report to the Balaton Group. Winnipeg**, IISD, 1999.138p.

BRITTO, F.B.; VASCO A. N.; NETTO, A.O.A.; GARCIA, C.A.B.; MORAES G.F.O.; SILVA, M.G. , Sergipe, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH**, Porto Alegre, v. 23, n. 28, p. 1-11, 2018.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W.R.; MORENO, P.; GOULART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitat em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ), **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 14, n. 1, p. 91-98. 2002.

CARR, E.R.; WINGARD, P.M.; YORTY, S.C.; THOMPSON, M.C.; JENSEN, N.K.; ROBERSON, J. Applying DPSIR to sustainable development. **Int. J. Sust. Dev. World**, v. 14, p. 543–555, 2007.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2008. Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em: 10 maio 2018.

CUNHA, F.L.S.J. **O uso de indicadores de sustentabilidade na avaliação dos impactos das atividades econômicas e na tomada de decisão**. In, Encontro de Economia paranaense, 1, 2002.

CUNHA, S. B.; COELHO, M. C. N. **Política e gestão ambiental**. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **A questão ambiental: diferentes abordagens**. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

FASSIO, A.; GIUPPONI, C.; HIEDERER, R.; SIMOTA C. A decision support tool for simulating the effects of alternative policies affecting water resources: an application at the european scale. **Journal of Hydrology**, v. 304, p. 462–476, 2005.

FIGLIORE, F.A.; BARDINI, V.S.S.; NOVAES, R.C. Monitoramento da qualidade de águas em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos: estudo de caso no município de São José dos Campos/SP, **Eng Sanit Ambient**, v.22, n.6, p. 1141-1150, 2017.

FIRMINO, P. F.; MALAFAIA, G.; RODRIGUES, A. S. L., Avaliação ambiental de rios no município de Ipameri – GO, **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, v.15, n. 2, p.1-12, 2011.

FRIENDS, A e RAPPORT, D. **Towards a comprehensive framework for environmental statistics: a stress-response approach**. Statistics Canada, 1979. 90p.

GARI, S.R.; ORTIZ GUERRERO, C. E.; URIBE, E.; ICELY, J.D.; NEWTON A. A DPSIR-analysis of water uses and related water quality issues in the Colombian Alto and Medio Dagua Community Council, **Water Science**, v. 32, p. 318–337, 2018.

GIUPPONI, C. Decision Support Systems for Implementing the European Water Framework Directive: the MULINO approach. **Environmental Modeling and Software**, v.22, n.2, p.248-258, 2007.

KESHTKAR, A.; SALAJEGHEH, A.; SADODDIN, M.G. Application of Bayesian networks for sustainability assessment in catchment modeling and management (Case study: The Hablehrood river catchment). **Ecological Modelling**, v. 268, p. 48– 54, 2013.

KLUG, H.; KMOCH A. A SMART groundwater portal: An OGC web services orchestration framework for hydrology to improve data access and visualisation in New Zealand. **Computers & Geosciences**, v. 69, p. 78–86, 2014.

KURKA, T.; BLACKWOOD, D. Participatory selection of sustainability criteria and indicators for bioenergy developments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.24, p.92–102, 2013.

LANGE, A.W.J.; GENTHE B.; HILL, L.P.J. Towards a rapid assessment protocol for identifying pit lakes worthy of restoration. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 949-961, 2018.

MARANHÃO, N. **Sistema de Indicadores para Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas**. 2007, 397f Tese (Engenharia Cível)- Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007.

NICHOLSON, E.; COLLEN, B.; BARAUSSE, A.; BLANCHARD, J.L.; COSTELLOE, B. T.; SULLIVAN, K. M. E.; UNDERWOOD, F. M.; BURN, R. W.; FRITZ, S.; JONES, J. P. G.; McRAE, L.; POSSINGHAM, H. P.; MILNERGULLAND, E. J. Making robust policy decisions using global biodiversity indicators. **PLoS ONE**, v.7, n.7, 2012.

NIEMEIJER, D.; GROOT, R.S. Framing environmental indicators: moving from causal chains to causal networks. **Environ. Dev. Sustain**, v. 10, p. 89–106. 2008.

OLIVEIRA, D. G; VARGAS, R.R.; SAAD, A.R.; ARRUDA, R.O.M.; DALMAS, F.B.; AZEVEDO, F. D. Land use and its impacts on the water quality of the Cachoeirinha Invernada Watershed, Guarulhos (SP). **Rev. Ambient. Água**, v. 13, n. 1, p. 1-17, 2018.

OLIVEIRA, R.E.S.; LIMA, M.M.C. L.; VIEIRA, J.M.P. **An indicator system for surface water quality in river basins**. In: Inter-celtic cooquim on Hydrology and Management of Water Resources, 4, 2005.

PIRES, J.S.R; SANTOS, J.E.; DEL PRETTE; M.E. **A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais**, In: Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus, Ba: Editus, 2002. 293p.

RIGOTTI, J. A.; POMPÊO, C. A. **Assessment of urban stream condition: case study**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 12., 2011, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABRH/IWA, 2011. p. 1-8.

RIGOTTI, J.A.; POMPÊO, C.A; FONSECA A.L.O. Aplicação e análise comparativa de três protocolos de avaliação rápida para caracterização da paisagem fluvial. **Rev. Ambient. Água**, v. 11, n. 1, p. 85-97, 2016.

SILVEIRA, M. P., **Aplicação do Biomonitoramento para Avaliação da Qualidade da Água em Rios**, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 68p.

SIQUEIRA, R. M. B.; HENRY-SILVA, G. G. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e o funcionamento dos ecossistemas fluviais. **Boletim da Associação Brasileira de Limnologia**, v.39, n.2, p. 1-15. 2011.

SOARES, A.B., **Análise da sustentabilidade de bacias hidrográficas do estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado), Universidade do Ceará. 2007. 121f.

SVARSTAD, H.; KJERULF PETERSEN, L.; ROTHMAN, D.; SIEPLE, H.; WÄTZOLD, F. Discursive biases of the environmental research framework DPSIR. **Land Use Policy**, v. 25, p. 116–125, 2008.

TSCHERNING, K.; HELMING, K.; SIEBER, S.; GOMEZ, S. Paloma Does research applying the DPSIR framework support decision making? **Land Use Policy**, v.29, p.102–110, 2012.

WWAP (World Water Assessment Programme). The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO, 2012.

## CAPÍTULO 2

### **AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DOS AMBIENTES AQUÁTICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-MOSSORÓ, SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

#### **RESUMO**

O objetivo do trabalho foi avaliar de forma qualitativa e quantitativa os ambientes aquáticos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, localizado no semiárido do Rio Grande do Norte, por meio de protocolo de avaliação rápida (PAR) e do índice de qualidade de água (IQA). Foram escolhidos 36 pontos de amostragem na bacia hidrográfica em quatro trechos (alto curso, médio curso superior, médio curso inferior e baixo curso), submetidos a diferentes níveis de interferência antrópica. Para a determinação do IQA foram analisadas as seguintes variáveis limnológicas: oxigênio dissolvido (OD), pH, turbidez, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais. Para a aplicação do PAR foram coletadas informações para identificar o nível de impactos ambientais oriundos de atividades antrópicas e o nível de conservação das condições naturais. Os resultados obtidos com o PAR revelaram que apenas 8,2% dos pontos possuem características de ambiente natural, tais pontos estão situados na zona rural. No entanto, a maioria das regiões possuem características de ambiente alterado (55,6% pontos), nas quais, estão presentes ao longo de toda a bacia hidrográfica, incluindo zonas urbanas e rurais. Regiões com características de ambiente impactado (36,2% pontos), também ocorreram ao longo de toda bacia hidrográfica, mas predominantemente em trechos urbanos. Os níveis de perturbação nas regiões de alto curso ( $30,5 \pm 3,5$ ), médio curso superior ( $26 \pm 7,3$ ), médio curso inferior ( $27,12 \pm 6,9$ ) e baixo curso ( $25,2 \pm 9,1$ ) foram semelhantes ( $p=0,753$ ). A maioria dos pontos avaliados está dentro da faixa com IQA ruim (77,8% dos pontos), apenas um ponto no médio curso superior apresentou IQA péssimo (2,8% dos pontos), com reduzida quantidade de oxigênio dissolvido (1,8% de saturação e 0,4 mg/l). Apenas uma parte reduzida das regiões estudadas apresentou IQA aceitável (19,4% dos pontos). Os valores médios do IQA nas regiões de alto curso ( $38 \pm 1,3$ ), médio curso superior ( $32 \pm 5,6$ ), médio curso inferior ( $35 \pm 7,5$ ) e baixo curso ( $29 \pm 2,6$ ) foram semelhantes, não apresentando diferenças significativas ( $p=0,1165$ ). Podemos concluir que, tanto a avaliação qualitativa (PAR) quanto à quantitativa (IQA) das condições ambientais do rio Apodi-Mossoró, identificaram processos de degradação ambiental em todos os trechos da bacia.

**Palavras chave:** Índice de qualidade de água, Protocolo de avaliação rápida, qualidade de água e qualidade ambiental.

## INTRODUÇÃO

Em diversas regiões do mundo os impactos antrópicos sobre os ambientes aquáticos continentais comprometem o aproveitamento dos seus recursos hídricos (SÁNCHEZ et al. 2007; VASCONCELOS e SOUZA, 2011), prejudicando os seus usos múltiplos para consumo humano, indústria, agricultura, recreação, manutenção da biodiversidade e outros fins (CARPENTER et al., 1998; SIMEONOV et al., 2003; VASCONCELOS e SOUZA, 2011; VIALLE et al., 2011). Estes impactos tornam-se mais agravantes em regiões como o semiárido brasileiro, onde existe uma limitação da disponibilidade hídrica, devido a uma distribuição irregular da precipitação pluviométrica no tempo e no espaço (FERREIRA et al., 2015).

Diante deste cenário é necessário avaliar e monitorar os recursos hídricos, utilizando instrumentos de avaliação da situação dos ambientes aquáticos, tanto de forma qualitativa quanto de forma quantitativa. Entre esses instrumentos, ressalta-se o protocolo de avaliação rápida (PAR) (avaliação qualitativa), que fornece subsídios para uma análise da qualidade desses ambientes (RODRIGUES et al., 2008). Além do uso do PAR, o monitoramento dos ambientes aquáticos é realizado por uma gama de variáveis físicas e químicas, que podem ser utilizadas para produzir índices, tais como o Índice de Qualidade de Água (IQA) (avaliação quantitativa). Contudo, mesmo o IQA sendo um método de avaliação relevante para o estabelecimento de indicadores de qualidade da água para os diversos usos humanos, sua aplicação isolada pode subestimar a real magnitude dos danos que estão sendo causados aos ambientes aquáticos (RODRIGUES e CASTRO, 2008).

O protocolo de avaliação rápida foi delineado inicialmente para ser uma ferramenta de baixo custo capaz de determinar a capacidade do rio para dar suporte à vida aquática, essas ferramentas podem incluir a avaliação de aspectos físicos do habitat, regime de fluxo, qualidade da água e bioindicadores (FIRMINO et al., 2011). Em um sentido geral, os protocolos de avaliação rápida são formados por conjuntos de procedimentos, baseados em critérios estabelecidos previamente conforme a finalidade do estudo. Tal abordagem é constituída pela observação em campo, registrada na forma de descrição, sistema de pontuação ou de classificação (BARBOUR et al., 1999; CALLISTO et al., 2001; RODRIGUES e CASTRO, 2008). Por ser, um método predominantemente de avaliação visual os protocolos têm a vantagem de serem mais rápidos em comparação com outros métodos de avaliação (CALLISTO et al., 2001), porém além da avaliação visual o

procedimento em campo pode ser acompanhado de medições diretas, por exemplo quando se utiliza ferramentas, como mapas e imagens (OLLERO et al., 2011).

Além dos protocolos que evidenciam a qualidade ambiental nota-se que nos últimos anos, várias ferramentas têm sido propostas para avaliação da qualidade da água, na qual uma das mais usadas são os Índices de Qualidade da Água (IQA). Os IQAs são ferramentas práticas também com baixo custo, e por isso, têm sido utilizadas na avaliação da qualidade da água, em países desenvolvidos ou em desenvolvimento (ABBASI e ABBASI, 2012). Santos et al. (2018), relatam que o índice desempenha um importante papel no processo de tradução dos resultados do estado de impacto que o ambiente se encontra, por serem facilmente compreendidos. Ainda segundo os autores, tais resultados podem sofrer alterações na qualidade da água e variam de acordo com o clima, com as características físicas e biológicas dos ecossistemas avaliados.

O IQA ainda possui como vantagem a redução do número de variáveis, na qual se unem em um só índice facilitando a interpretação da qualidade da água, o que se permite realizar comparação de diferentes corpos de água em intervalo espaço temporal (GITAU et al., 2016; GUPTA et al., 2003, POONAM et al., 2013). Porém, o IQA, tem a desvantagem não considerar variáveis que avaliam as condições das regiões no entorno dos corpos de água, porém tais variáveis têm influência direta sobre os recursos hídricos (FIRMINO et al., 2011). Portanto, dá-se a importância de usar o índice de qualidade de água em conjunto com o protocolo de avaliação rápida, de modo a complementar as informações por eles avaliadas, gerando um resultado sobre o estado do ambiente mais aproximado da realidade. Assim, neste trabalho foi avaliado de forma qualitativa e quantitativa o nível de perturbação e a qualidade de água da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, através do protocolo de avaliação rápida (PAR) e índice de qualidade de água (IQA) respectivamente.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica Apodi/Mossoró que se encontra localizada na microrregião do Oeste do estado Rio Grande do Norte (semiárido brasileiro), ocupando uma área de 14.276 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 26,8% do território do estado. Representa a maior bacia hidrográfica genuinamente potiguar, na qual são cadastrados 618 açudes, totalizando um volume de 469.714.600 km<sup>3</sup> de água, equivalentes a 27,4% do total de açudes e 10,7% dos volumes de água acumulados no Estado, segundo dados da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN, 2018). Essa bacia é a segunda maior do

estado e drena uma área de aproximadamente 15.500 Km<sup>2</sup>. Apresentando assim, uma grande importância econômica liderada pelas atividades de extração de petróleo, produção de sal marinho, utilização dos solos para agricultura e fruticultura irrigada, pecuária extensiva, mineração de calcário, entre outras atividades socioeconômicas (CARVALHO et al., 2011).

A definição dos pontos teve suporte nas visitas de campo, pesquisas realizadas na região e imagens de satélite. Foram escolhidos 36 pontos de amostragem em ambientes aquáticos da bacia hidrográfica, submetidos a diferentes níveis de interferência antrópica. A bacia hidrográfica foi dividida em quatro regiões, de acordo com Carvalho et al. (2011): alto curso (1.208,92 km<sup>2</sup>), médio curso superior (4.176,76 km<sup>2</sup>), médio curso inferior (6.132,47 km<sup>2</sup>), baixo curso (3.176,03 km<sup>2</sup>) como (Figura 1).

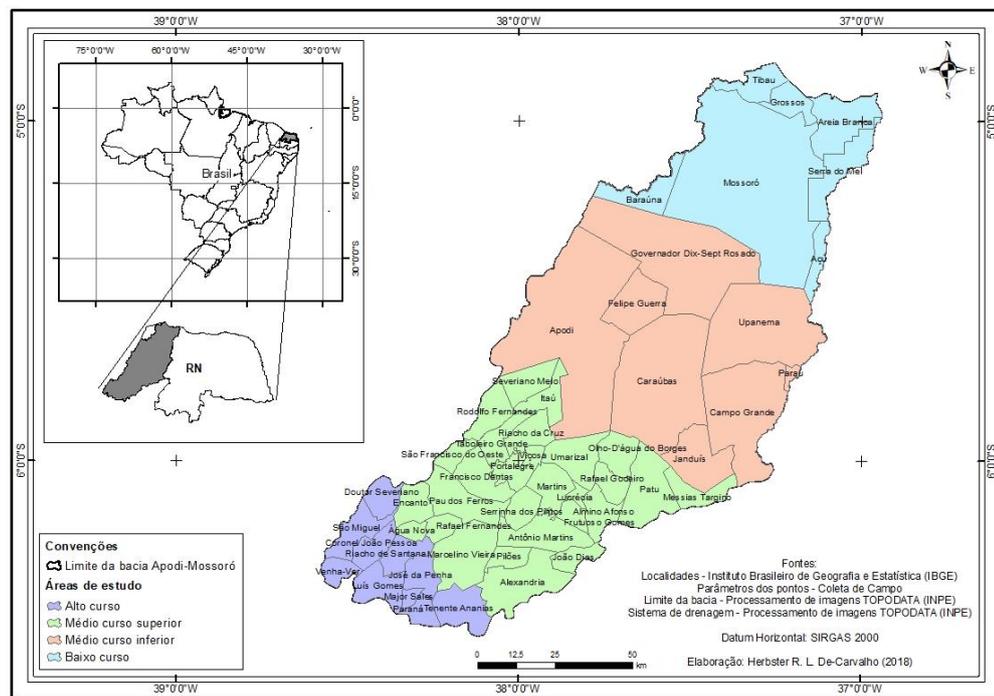


Figura 1: Mapa das quatro unidades delimitadas em função das condições topográficas da bacia e dos limites político-administrativos dos municípios baseado em Carvalho et al. (2011).

Para a avaliação quantitativa utilizou-se o IQA adotado pela CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. O IQA abrange as seguintes variáveis: oxigênio dissolvido (OD), pH, turbidez, temperatura (variáveis aferidas em campo através do aparelho multisensor de variáveis limnológicas), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais (amostras de água foram coletadas em campo e devidamente armazenadas em recipientes específicos, acondicionadas

em caixas térmicas com gelo, para determinação de tais variáveis no Laboratório de Limnologia e Qualidade de Água-LIMNOAQUA-UFERSA).

Para determinação de nitrogênio total somou-se nitrito, nitrato (método descrito por Mackereth et al. (1978), com o nitrogênio total de kieldhal (método de digestão ácida de Kjeldhal (Carmouze, 1994). O fósforo total foi obtido através do método descrito por Golterman et al. (1978). Os coliformes termotolerantes das amostras foram obtidos através do método dos tubos múltiplos segundo a Fundação Nacional da Saúde – FUNASA (BRASIL, 2013). A DBO foi obtida através respirométrico descrito por Jenkins (1960). Os sólidos totais foram determinados através do método gravimétrico descrito no Standard Methods (EATON, 2005).

A cada variável é atribuído um peso, de acordo com sua importância relativa no cálculo do IQA, refletindo a interferência por esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos (Tabela 1).

Tabela 1: Peso relativo dos parâmetros utilizados no Índice de Qualidade de Água.

| Variáveis                      | Peso (w) |
|--------------------------------|----------|
| Coliformes termotolerantes     | 0,15     |
| Ph                             | 0,12     |
| Demanda bioquímica de oxigênio | 0,10     |
| Nitrogênio total               | 0,10     |
| Fósforo total                  | 0,10     |
| Diferença de temperatura       | 0,10     |
| Turbidez                       | 0,08     |
| Sólidos totais                 | 0,08     |
| Oxigênio dissolvido            | 0,17     |

O IQA foi determinado pelo produto ponderado dos valores obtidos para os parâmetros mencionados (Equação 1):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Onde:

$q_i$  : qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva curva média de variação de qualidade, em função de sua concentração ou medida;

$w_i$  : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que (Equação 2):

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

Onde:  $n$ : número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

A partir do cálculo efetuado, determina-se a qualidade das águas, que é indicada pelo IQA, em valores que variam numa escala entre 0 e 100, conforme faixas indicadas na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação do Índice de Qualidade de Água do acordo com os valores adotados pela Agência Nacional de Águas.

| Valor                      | Categoria |
|----------------------------|-----------|
| $80 < \text{IQA} \leq 100$ | Ótima     |
| $51 < \text{IQA} \leq 79$  | Boa       |
| $37 < \text{IQA} \leq 50$  | Aceitável |
| $20 < \text{IQA} \leq 36$  | Ruim      |
| $\text{IQA} \leq 19$       | Péssima   |

Para a avaliação qualitativa utilizou-se o PAR, adaptado de Callisto et al. (2002) e proposto por Lobo et al. (2011). São 12 variáveis que tem como finalidade avaliar o nível de perturbação do ambiente, verificar o nível de impactos ambientais oriundos de atividades antrópicas. 1. Tipo de ocupação das margens do curso de água (principal atividade), 2. Impactos antrópicos nas margens, 3. Impactos antrópicos do leito, 4. Odor da água e/ou sedimento, 5. Oleosidade da água e/ou sedimentos, 6. Presença de Plantas aquáticas, 7. Tipo de fundo (Anexo1) e o nível de conservação das condições naturais (8. Diversidade de habitats, 9. Deposição da lama, 10. Alteração do canal do rio, 11, Presença de mata ciliar, estabilidade das margens (Anexo 2). Para identificar o tipo de fundo e depósito de lama dos locais avaliados coletou-se amostras de sedimento que foram secas em estufa a 50°C, para posteriormente se efetuar a análise granulométrica utilizando técnicas de peneiramento (SUGUIO, 1973). Os pesos dos sedimentos foram obtidos em cada uma das peneiras (2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,125 e 0,053 mm) e classificados em (i) cascalho, (ii) areia grossa e muito grossa, (iii) areia média, (iv) areia fina, (v) areia muito fina e silte + argila (SHEPARD, 1954).

Após a atribuir a pontuação de acordo com a avaliação em campo, efetuou-se o somatório dessa pontuação para cada local de avaliação, chegando-se na definição do nível de

perturbação do curso de água, em que, valores acima de 32 pontos significa que o curso de água possui características físicas de ambiente natural, pontuação entre 23 e 32 pontos significa que o curso de água encontra-se alterado e por fim pontuação entre 0 e 22 pontos significa que o curso de água encontra-se impactado (Tabela 3).

Tabela 3: Escala de pontuação para identificar o nível de perturbação dos ambientes avaliados

| Pontuação | Nível de Perturbação |
|-----------|----------------------|
| 0-22      | Impactado            |
| 23-32     | Alterado             |
| >32       | Natural              |

Para ilustrar o nível de perturbação e o índice de qualidade de água da bacia hidrográfica utilizou-se o programa QGIS 2.18.20 com o datum horizontal: SIRGAS 2000, que gerou mapas ilustrativos para melhor identificação dos resultados. Para verificar a existência de diferenças significativas do nível de perturbação (PAR) e índice de qualidade de água (IQA) entre os cursos da bacia (alto curso, médio curso superior, médio curso inferior, baixo curso) utilizou-se uma ANOVA One-way, após atender os pressupostos de normalidade (teste Shapiro-Wilk), homocedasticidade (teste Bartlett). A Análise dos Componentes Principais (ACP) foi aplicada no intuito de ordenar os pontos de amostragem, a partir das matrizes de correlação das variáveis que compõe o PAR e IQA.

## RESULTADOS

Os resultados obtidos com o PAR revelaram que apenas 8,2% dos pontos apresentaram características de ambiente natural, sendo estes situados na zona rural. A maioria das regiões possuem características de ambiente alterado (55,6% pontos), nas quais, estão presentes ao longo de toda a bacia hidrográfica, incluindo zonas urbanas e rurais. Regiões com características de ambiente impactado (36,2% pontos), também ocorreram ao longo de toda bacia hidrográfica, predominantemente em trechos urbanos (Figura 2). Na região de alto curso 100% dos locais de coleta estavam localizados na zona rural, já na região de médio curso superior, 64% dos pontos de coleta estavam localizados na zona urbana e 36% dos pontos na zona rural. Na região de médio curso inferior, 60% dos pontos de coleta estavam localizados na zona urbana e 40% na zona rural, porém apenas um ponto com característica de ambiente impactado estava localizado na zona rural (jusante do reservatório

de Santa Cruz-Apodi-RN, na região de médio curso inferior). Já no baixo curso 90% dos pontos de coletas estavam na zona urbana e 10% na zona rural.

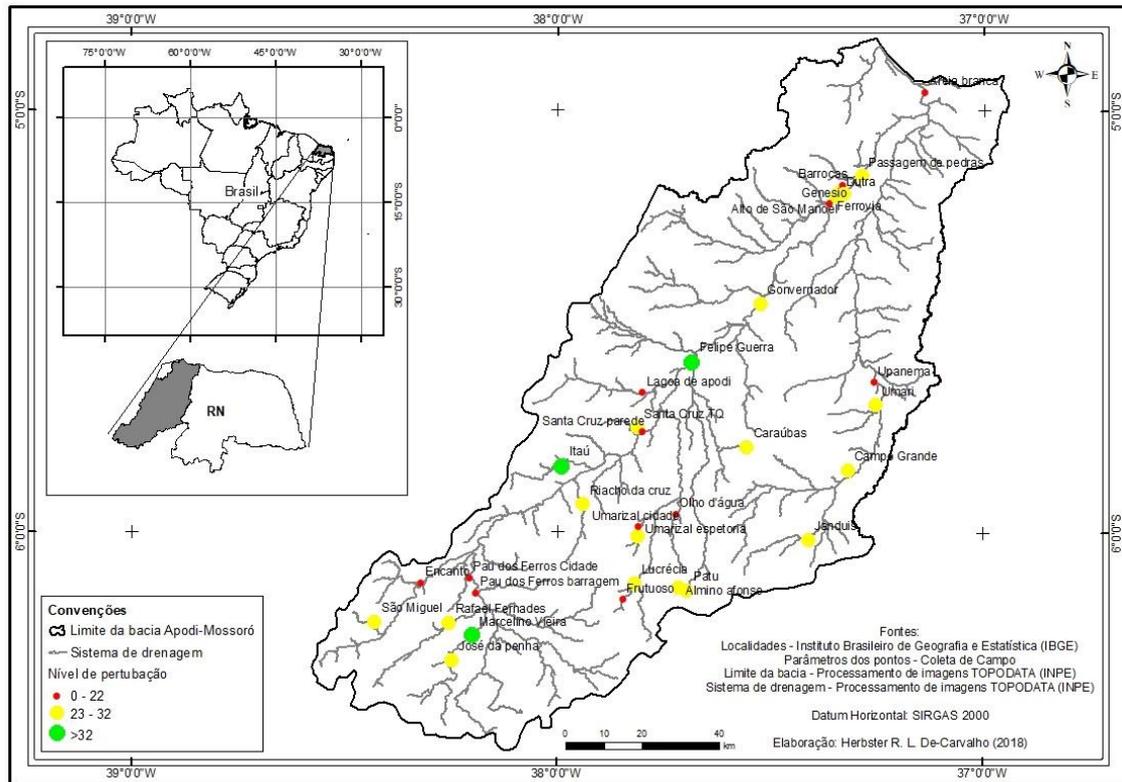


Figura 2: Mapa ilustrativo do nível de perturbação da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, na qual evidencia os ambientes impactados (valores 0-22), ambientes alterados (valores 23-32) e ambientes naturais (valores acima de 32).

Os níveis de perturbação nas regiões de alto curso ( $30,5 \pm 3,5$ ), médio curso superior ( $26 \pm 7,3$ ), médio curso inferior ( $27,12 \pm 6,9$ ) e baixo curso ( $25,2 \pm 9,1$ ) foram semelhantes, não apresentando diferenças significativas ( $p=0,753$ ). Todas as regiões se enquadraram na faixa que caracteriza o ambiente perturbado (Figura 3).

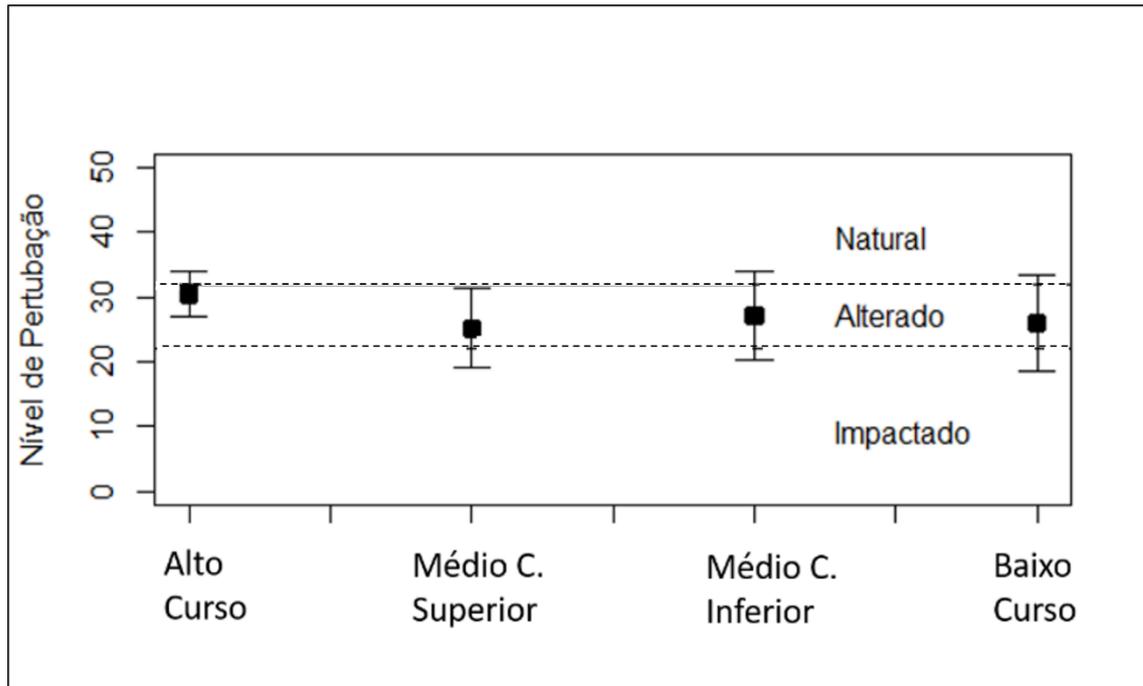


Figura 3: Valores médios e desvio padrão do nível de perturbação nas regiões de alto curso, médio curso inferior, médio curso superior e baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró. Aplicou-se a ANOVA para identificação de diferenças significativas ( $p=0,735$ )

A análise de componentes principais (ACP) resumiu 93,21% da variabilidade total dos dados avaliados no protocolo de avaliação rápida em seus dois primeiros eixos, sendo que o primeiro eixo explicou 73,67% da variância total encontrada e o segundo eixo 19,54%. As variáveis que apresentaram maior importância para a ordenação dos trechos da bacia no eixo 1 foram: tipo de vegetação curso de água, impactos antrópicos na margem, oleosidade da água, presença de macrófitas, tipo de fundo, diversidade de habitat e depósito de lama, na qual estavam positivamente relacionadas ao eixo 1. Já as variáveis: odor da água, presença de mata ciliar e alteração do canal do rio estiveram negativamente relacionadas ao eixo 1. Com relação ao eixo 2 a variável estabilidade da margem foi a mais importante, relacionando positivamente com o eixo 2 (Figura 4).

O alto curso da bacia apresentou pouca vegetação nativa, alto impacto antrópico da margem, maior oleosidade da água, pouca presença de macrófitas aquáticas, fundo com pouca quantidade de sedimento fino (areia fina, silte ou argila) e maior quantidade de cascalho, pedra e areia, habitats menos diversos e pouca quantidade de lama no fundo do curso de água. O baixo curso apresentou maior odor da água, menor presença de mata ciliar e o canal de rio mais alterado que os demais cursos. O médio curso inferior apresentou uma maior estabilidade das margens.

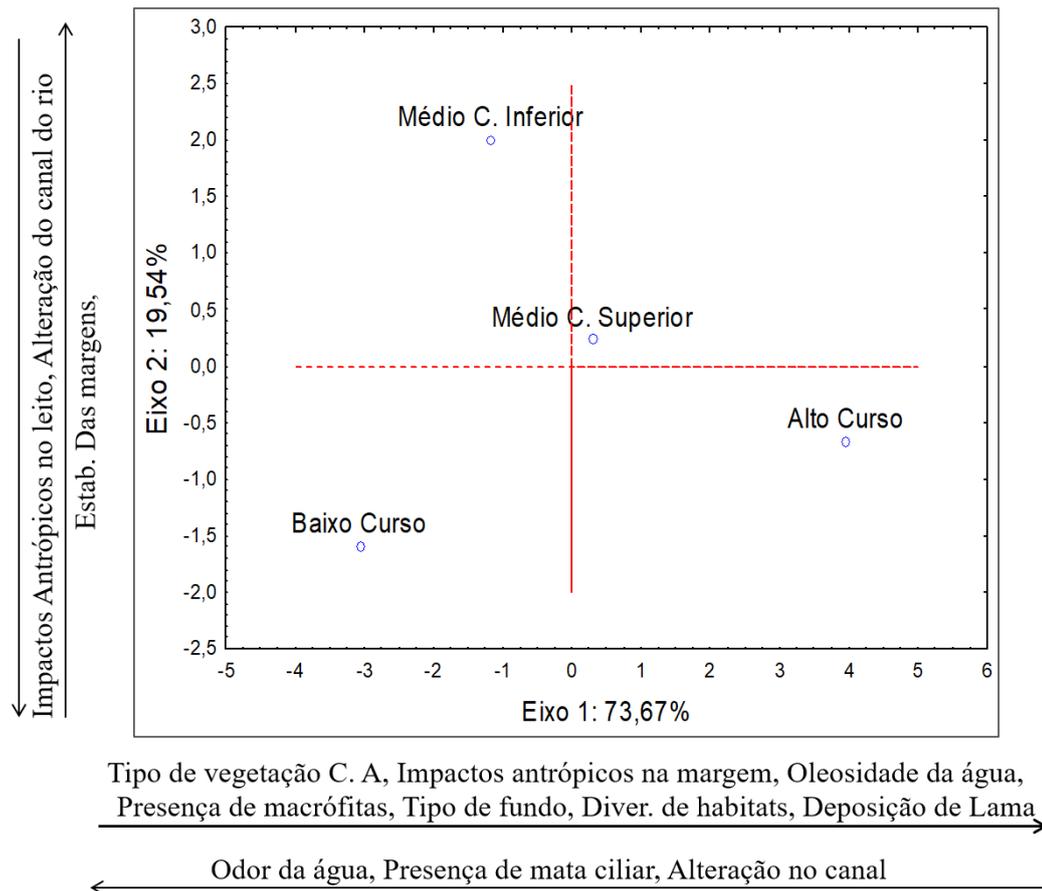


Figura 4: Análise de Componentes Principais com as variáveis utilizadas para elaboração do protocolo de avaliação rápida

Tabela 4: Coordenadas fatoriais das variáveis, baseadas em correlações oriundas da análise de componentes principais.

|                                 | Eixo 1    | Eixo 2    |
|---------------------------------|-----------|-----------|
| Tipo de vegetação Curso de água | 0.977741  | -0.093504 |
| Impactos antrópicos na margem   | 0.989658  | -0.136495 |
| Impactos antrópicos no leito    | 0.460632  | -0.739007 |
| Odor da água                    | -0.820920 | -0.263465 |
| Oleosidade da água              | 0.958654  | -0.271179 |
| Presença de macrófitas          | 0.871454  | -0.286449 |
| Tipo de fundo                   | 0.969294  | 0.156213  |
| Diversidade de habitats         | 0.957356  | -0.239948 |
| Deposição de Lama               | 0.977359  | 0.173469  |
| Alteração no canal              | -0.747438 | -0.660113 |
| Presença de mata ciliar         | -0.980876 | -0.191601 |
| Estabilidade das margens        | 0.089404  | 0.980431  |

A maioria dos pontos avaliados estiveram dentro da faixa que caracteriza um IQA como ruim (77,8% dos pontos), apenas um ponto no médio curso superior verificou-se um IQA caracterizado como péssimo (2,8% dos pontos). Tal ponto possui uma porcentagem de oxigênio dissolvido muito baixa (1,8% e 0,4 mg/l), como essa variável possui o maior peso no cálculo do IQA, influenciou fortemente esse resultado. Apenas uma parte das regiões estudadas possui o IQA aceitável (19,4% dos pontos). Os dois maiores reservatórios da bacia hidrográfica, Umari (Upanema) e Santa Cruz (Apodi), estão entre esses pontos com o IQA considerado aceitável. A área de estudo não possui nenhum ponto no qual o IQA foi considerado bom ou ótimo. As regiões que estão dentro da faixa caracterizada como aceitável possuíam porcentagens de saturação de oxigênio dissolvido de  $(96\% \pm 22)$  e pH com valor médio  $8,0 \pm 0,6$ .

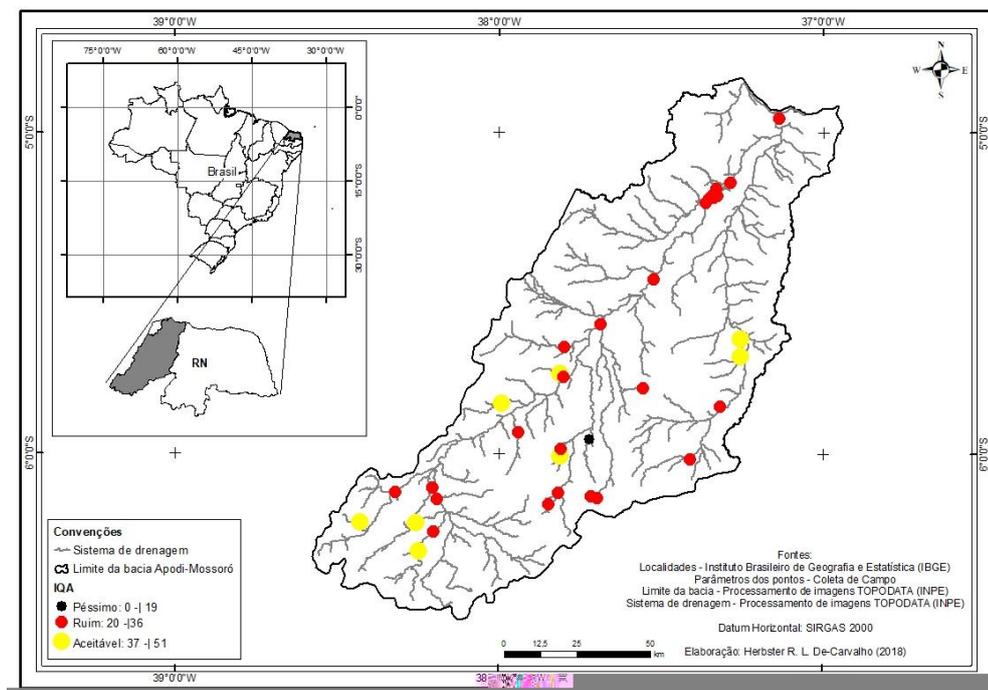


Figura 5: Mapa ilustrativo do Índice de Qualidade de Água (IQA) da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Os valores médios do IQA nas regiões de alto curso ( $38 \pm 1,3$ ), médio curso superior ( $32 \pm 5,6$ ), médio curso inferior ( $35 \pm 7,5$ ) e baixo curso ( $29 \pm 2,6$ ) foram semelhantes ( $p=0,1165$ ). Apenas o alto curso está dentro da faixa considerada aceitável, enquanto as demais regiões da bacia hidrográfica estão dentro da faixa de IQA considerada ruim (Figura 6). As regiões de alto curso, que estão dentro da faixa considerada aceitável, são regiões pertencentes à zona rural.



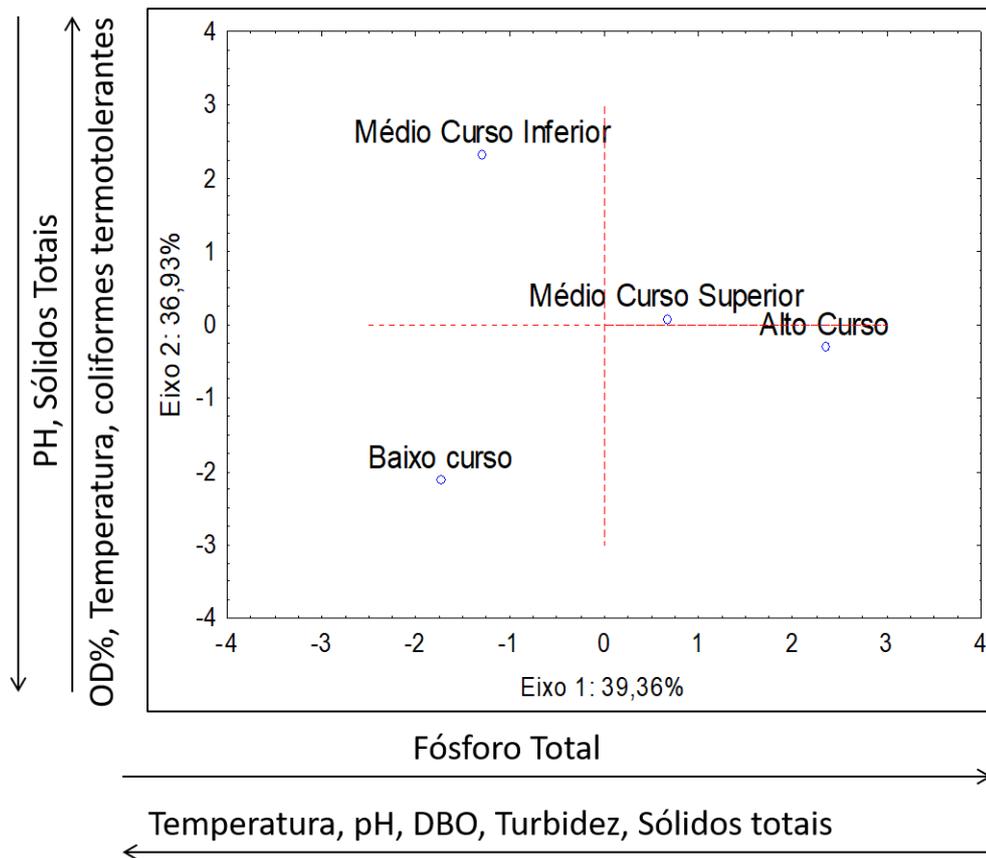


Figura 7: Análise de Componentes Principais com as variáveis utilizadas para elaboração do Índice de Qualidade de Água.

Tabela 5: Coordenadas fatoriais das variáveis, baseadas em correlações oriundas do índice de qualidade de água

|                                      | Eixo 1    | Eixo 2    |
|--------------------------------------|-----------|-----------|
| Oxigênio dissolvido OD%              | -0.216908 | 0.748833  |
| Temperatura                          | -0.688105 | 0.545999  |
| pH                                   | -0.530878 | -0.843566 |
| Demanda Bioquímica de oxigênio – DBO | -0.552051 | 0.324603  |
| Nitrogênio Total-NT                  | 0.289378  | -0.200979 |
| Fósforo Total-PT                     | 0.990359  | -0.075440 |
| Turbidez                             | -0.934600 | -0.336227 |
| Sólidos Totais                       | -0.571015 | -0.813825 |
| Coliformes Termotolerantes           | -0.414207 | 0.909141  |

## DISCUSSÃO

Ao analisar as variáveis do PAR de forma individual, através da ACP, verificou-se que a região de alto curso possui maiores valores de vegetação natural com poucas áreas residenciais, comerciais e industriais, apesar da presença de pouca mata ciliar. A manutenção da vegetação natural é de extrema importância para manutenção de boas condições ambientais tanto no corpo hídrico com de seu entorno, impossibilitando o desequilíbrio ambiental que pode afetar diretamente a biota da região (BERNHARDT et al., 2005). Já a região de baixo curso por ser uma região mais desenvolvida economicamente há uma predominância de áreas comerciais, residências e indústrias, com alguns pontos de mata ciliar preservados.

O desmatamento da vegetação nativa nas quais, as áreas naturais são substituídas por áreas de pastagens e áreas comerciais acabam por proporcionar condições favoráveis de erosão nas margens do rio e, conseqüentemente, o assoreamento do mesmo, fato que altera fortemente integridade ambiental do ecossistema fluvial, ocasionando perdas ao equilíbrio dinâmico do ambiente e à biota local, por reduzir a disponibilidade de habitats (FIRMINO et al., 2011). A retirada da mata ciliar tem como consequência o aumento de temperatura, devido a maior entrada de luz solar, podendo acarretar alterações nas comunidades aquáticas (BERNHARDT et al., 2005).

A região de alto curso possui um tipo de fundo com predominância de cascalho, pedra e areia com pouco depósito de lama no fundo. Fato que acontece de forma inversa na região de baixo curso, em que, existe uma predominância de areia fina silte e argila e grande quantidade de lama depositada no fundo rio. A grande quantidade de areia fina silte e argila no corpo hídrico na região de baixo curso ocorre devido a substituição das áreas naturais por áreas de agricultura, pecuária, comerciais, residências e industriais. A inexistência de barreiras físicas e a falta de cobertura do solo acabam potencializando as perdas de solo, principalmente pela erosão (SOUZA et al., 2010).

O aumento do processo de erosão marginal e assoreamento,, proveniente dos taludes sem proteção de mata ciliar na região de baixo curso. Esta situação acarreta o incremento das cargas de sólidos trazidos pelo escoamento superficial, causando elevação da turbidez da água (BEZERRA et al. 2013). O aumento da turbidez reduz as taxas de fotossíntese e prejudica a busca por alimento para algumas espécies, levando a um desequilíbrio na cadeia alimentar (BRITO, 2008). Além disso, o sedimento oriundo da erosão podem transportar pesticidas, metais pesados e outros componente tóxicos e sua deposição no fundo de rios e lagos

prejudica as espécies bentônicas e a reprodução de peixes, além de poder causar assoreamento (CUNHA, 2013; SANTOS et al. 2014).

Vários pontos ao longo de toda a bacia apresentam forte influência de esgotos domésticos, porém observou-se que na região de alto curso essa influência ocorreu de forma mais acentuada, em que, existe grande alteração antrópica nas margens com lançamento de esgotos e grande quantidade de fósforo detectada na água. Essa região é menos desenvolvida como menos acesso ao saneamento básico e tratamento dos esgotos que são lançados diretamente nos corpos hídricos. O lançamento de efluentes domésticos e industriais, em conjunto com a variação no nível de água em épocas de chuva levam a sérios problemas de erosão, levando o sedimento das margens para o leito do rio, causando o assoreamento do ambiente aquático (CALLISTO e MORENO, 2006). O lançamento dos efluentes domésticos acarreta enriquecimento dos corpos de água pela descarga de nutrientes principalmente o fósforo, causando assim um aumento da produtividade primária, como consequência ocorre o desenvolvimento excessivo de algas ou macrófitas aquáticas, podendo comprometer os usos múltiplos dos recursos hídricos (MAIA et al., 2015).

Na região de baixo curso, que pode ser considerada a mais desenvolvida economicamente da bacia hidrográfica e onde a população possui mais acesso ao saneamento básico, há uma tendência de redução do lançamento direto de esgotos sem tratamento nos ambientes aquáticos. No entanto, apesar da diminuição do lançamento desses efluentes a região ainda possui um IQA ruim com ambiente alterado. Este fato pode estar relacionado com o tamanho da população nesta região, que ao mesmo tempo em que possui mais acesso ao saneamento básico, também possui maior densidade populacional. Comparativamente com as outras regiões o número de habitantes na região de alto curso é de 29.337 habitantes (5,3%), enquanto que a região de médio curso superior possui 99.003 habitantes (17,9%), a de médio curso inferior 104.669 habitantes (18,9%) e o baixo curso 321.238 habitantes (58%). Os efluentes domésticos e industriais lançados diretamente nos ambientes aquáticos, associados com o esgoto clandestino que chegam aos canais de drenagem de águas pluviais e a lixiviação de defensivos agrícolas que usam fertilizantes químicos em áreas adjacentes às cidades são fatores decisivos para a qualidade ruim dos recursos hídricos (BEZERRA et al., 2013).

Ao avaliar a integridade ambiental através do PAR nos quatro trechos da bacia, observa-se que os valores médios estão dentro da faixa que caracteriza um ambiente como alterado. Firmino et al., (2011) também encontraram resultados preocupantes no que diz respeito à integridade ambiental dos rios avaliados na cidade de Ipameri-GO, encontrando um percentual elevado de ambientes fortemente degradados por ação antrópica (90%), porém

diferentemente da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, as regiões avaliadas pertenciam apenas a trechos urbanizados. Lange et al. (2018), ao também utilizarem o PAR para classificar corpos de água de acordo com a integridade ecológica, constataram que os ambientes aquáticos produziam serviços potencialmente valiosos, assim justificando a necessidade de restauração das áreas que estavam mais comprometidas ou que eram mais rentáveis economicamente. Porém, no que se refere à Bacia do rio Apodi/Mossoró, constata-se que em quase sua totalidade há ambientes impactados ou alterados, evidenciando uma forte ação antrópica em todos os trechos da bacia.

Os resultados obtidos com o PAR revelaram baixo percentual de ambientes com características naturais, situados na zona rural. Apenas um ponto com característica de ambiente impactado está localizado na zona rural (jusante do reservatório de Santa Cruz-Apodi-RN, na região de médio curso inferior), essa região possui um trecho urbanizado com infraestrutura (restaurantes, banheiros, praças e chuveiros) para atender o turismo. O desenvolvimento econômico e aumento do turismo exerce forte influência de degradação ambiental (WANG et al. 2016). No entanto, a maioria das regiões possuem características de ambiente alterado e estão presentes tanto em regiões urbanas quanto em regiões rurais. Já os ambientes impactados, porém, ocorrem predominantemente em trechos urbanos. O aumento da produção industrial e crescimento econômico das regiões urbanas acarretam efeitos ambientais sérios nas regiões ao entorno desses centros urbanos à medida que os esgotos domésticos e o lixo produzido são levados das cidades para o campo. (REBOUÇAS, 2001). O impacto ambiental também ocorre por efeito do uso e ocupação desordenada das regiões, tanto urbano quanto rural, pois assoreamento dos corpos de água em níveis muito elevados da bacia hidrográfica (regiões de cabeceira), transloca através do escoamento superficial o lixo depositado de forma inadequada no ambiente para os corpos de água, esse lixo por sua vez é transportado para as partes mais baixas da bacia hidrográfica através do curso do rio. Desta forma, o meio rural é afetado pelo modelo sanitário dominante nas cidades (REBOUÇAS, 2001).

Ao avaliar o IQA observa-se que a bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, apresenta o índice de qualidade de água predominantemente ruim, fato que se repete quando se avalia os quatro trechos da bacia, na qual apenas o alto curso possui um IQA, considerado aceitável. Corroborando os resultados encontrados pelo PAR no presente estudo, em que, verificou-se que a bacia hidrográfica possui ambientes fortemente impactados pela ação antrópica ao longo de toda bacia. Embora a estrutura física (fator avaliado pelo PAR) seja elemento-chave para a avaliação dos recursos hídricos, existem análises para verificação da

qualidade de água que proporcionam um suporte mais completo para o diagnóstico do estado da bacia hidrográfica (RIGOTTI et al, 2016). Assim dá-se a importância da utilização dos protocolos de avaliação rápida em conjunto com o índice de qualidade de água, pois as análises avaliam variáveis distintas que se complementam, gerando relatórios mais coerentes e fiéis a realidade encontrada no ambiente. Fato extremamente importante para auxiliar os órgãos ambientais a gerenciar os recursos hídricos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos concluir que, tanto a avaliação qualitativa quanto a quantitativa das condições ambientais da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, através do protocolo de avaliação rápida (PAR) e índice de qualidade de água (IQA), identificaram processos intensos de degradação ambiental em toda a bacia hidrográfica (alto curso, médio curso superior, médio curso inferior e baixo curso). Porém ressalta-se a importância da utilização conjunta do PAR e IQA, que apesar de avaliar variáveis distintas, as informações desses métodos estão estritamente relacionadas e se complementam. Tal fato possibilita elaborações de relatórios de apoio a gestão ambiental mais coerentes, reproduzindo de forma confiável a situação que o ambiente avaliado se encontra.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S. A. **Water quality indices**. Amsterdam: Elsevier; 2012. 384p.
- BARBOUR, M.T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B.D. & STRIBLING, J.B. **Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish**, Second Edition. Washington, 1999. 339p
- BERNHARDT, E. S.; PALMER, M. A.; ALLAN, J. D.; ALEXANDER, G.; BARNAS, K.; BROOKS, S.; CARR, J.; CLAYTON, S.; DAHM, C.; FOLLSTAD-SHAH, J.; GALAT, D.; GLOSS, S.; GOODWIN, P.; HART, D.; HASSETT, B.; JENKINSON, R.; KATZ, S.; KONDOLF, G.M.; LAKE, P.S.; LAVE, R.; MEYER, J.L.; O'DONNELL, T.K.; PAGANO, L.; POWELL, B. & SUDDUTH, E. SYNTHESIZING U.S. River restoration efforts. **Science**. v. 308, p.636-637, 2005.

BEZERRA, J. M.; SILVA, P. C. M.; BATISTA, R.O.; PINTO, C. H. C.; FEITOSA, A.P. Water quality indexes in the urban stretch of the River Apodi Mossoró in Mossoró RN Brazil, **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 34, n. 6, p. 3443-3454, 2013.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água / Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília : Funasa, 2013. 150 p.

BRITO, D. C. B. **Aplicação do sistema de modelagem da qualidade da água QUAL 2KW em grandes rios: o caso do alto e médio rio Araguari-AP**. 2008. 152f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Amapá/UNIFAP, Macapá, 2008.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W.; MORENO, P.; GOULART, M. D. C.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limn. Bras.** v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002.

CALLISTO, M.; MORENO P. Bioindicadores como ferramenta para o manejo, gestão e conservação ambiental. In: II Simpósio Sul de Gestão e Conservação Ambiental, 2006.

CALLISTO, M.; MORENO, P.; BARBOSA, F.A.R. Habitat diversity and benthic functional trophic groups Serra do Cipó, Southeast Brazil. **Rev. Bras. Biol.** v. 61, p. 259-266, 2001.

CARMOUZE, J. P., **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. Editora Edgar Blücher Ltda/Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, São Paulo, 1994. 253p.

CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORRELL, D.L.; HOWARTH, R.W. Sharpley, A.N., Smith, V.H., Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecol. Appl.** v. 8, 559–568, 1998.

CARVALHO, R. G.; KELTING, F. M. S.; SILVA, E. V. Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos municípios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN. **Revista Sociedade e Natureza (Online)**, v. 23, n.1, 143-159, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. (2005) Variáveis de qualidade de água. São Paulo. Disponível em: . Acesso em: 19 out. 2015.

\_\_\_\_\_. (2009) Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. São Paulo. Disponível em: . Acesso em: 19 out. 2015.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN). Disponível em <http://www.caern.rn.gov.br>. Acesso em: 5 de junho 2018.

CUNHA, E. D. S.; CUNHA, A. C.; SILVEIRA Jr, A. M.; FAUSTINO, S. M. M. Phytoplankton of two rivers in the eastern Amazon: characterization of biodiversity and new occurrences. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, p. 364-377, 2013.

EATON, Andrew D., «et all», Standard Methods for the examination of Water & Wastewater – 21st edition, APHA, AWWA, WEF, 2005 – 2540B; pp 2-58.

FERREIRA, M. D. D.; BEAUMORD, A.C. 2004. Avaliação rápida de integridade ambiental das subbacias do rio Itajaí-Mirim no Município de Brusque, SC. **Rev. Saúde Amb.** v. 5, n. 2, 21-27.

FIRMINO, P. F.; MALAFAIA, G.; RODRIGUES, A. S. L. Diagnóstico da integridade ambiental de trechos de rios localizados no município de Ipameri, sudeste do estado de goiás, através de um protocolo de avaliação rápida. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, v. 15, n. 2, 1-12, 2011.

GITAU, M. W.; CHEN, J.; M. A. Z. Water quality indices as tools for decision making and management. **Water Resources Management**. v. 30, n.8, p. 2591-2610, 2016.

GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHMSTAD, M.A.M. Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters. Blackwell, Oxford. p. 213. 1978.

GUPTA, A. K.; GUPTA, S. K.; PATIL, R.S. A comparison of water quality indices for coastal water. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**. v.38, n.11, p.2711-2725, 2003.

JENKINS, D. The use of manometric methods in the study of sewage and trade wastes. In: ISSAC, P.C.G. (ed) Wastewater Treatment. Pergamon Press, pp. 99-125. 1960.

LANGE, A. W. J.; GENTHE, B.; HILL L.; OBERHOLSTER P.J. Towards a rapid assessment protocol for identifying pit lakes worthy of restoration. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 949-961, 2018.

LIMA, R. S.; ALVES, J. P. H., Avaliação da qualidade da água dos reservatórios localizados nas bacias hidrográficas dos rios Piauí – Real, utilizando o índice de qualidade da água IQA. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, p. 1-9, 2017.

MACKERETH, F.J.H.; Heron, J.; Talling, J.F. Water Analysis: Some revised methods for limnologists. Freshwater Biological Association, Scientific Publication. p. 36-121. 1978.

MAIA, A. A. D.; CARVALHO, S. L.; CARVALHO, F. T. Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do Baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 613-622, 2015.

POONAM, T.; TANUSHREE B.; SUKALYAN C. Water quality indices—important tools for water quality assessment: a review. **International Journal of Advances in Chemistry**. v.1, n.1, p. 15-28, 2013.

REBOUÇAS, A. Água e desenvolvimento rural. **Estudos avançados**. v. 15, n. 43, p. 327-344, 2001

RIGOTTI, J. A.; POMPEO, C. A.; FONSECA A. L. O. F, Aplicação e análise comparativa de três protocolos de avaliação rápida para caracterização da paisagem fluvial, **Rev. Ambient. Água**, v.11, n. 1, p. 85 – 97, 2016.

RODRIGUES, A.S.L.; CASTRO, P.T.A. Adaptation of a rapid assessment protocol for rivers on rocky meadows. **Acta Limnol. Bras.** v. 20, n. 4, p. 291-303, 2008.

RODRIGUES, A.S.L.; MALAFAIA, G.; CASTRO, P.T.A. Avaliação ambiental de trechos de rios na região de Ouro Preto-MG através de um protocolo de avaliação rápida. **Rev. Est. Amb.** v. 10, n. 1, p. 74-83, 2008.

SÁNCHEZ, A.; COLMENAREJO, M. N.; VICENTE J.; RUBIO, G. M.G.; TRAVIESO L., BORJA R. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution, **Ecological Indicators**, v.7, p. 315–328, 2007.

SANTOS, E.; CUNHA, E. D. S.; CUNHA, A. C. Análise espaço-sazonal da qualidade da água na zona flúvio-marinha do Rio Araguari Amazônia Oriental-Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p.81-95, 2014.

SANTOS, R. C. L.; LIMA, A. S.; CAVALCANTI, E. B.; MELO, C. M.; MARQUES, M. N., Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe, **Eng Sanit Ambient**, v.23, n.1, p. 33-46, 2018.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based and sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Research*, Boulder, v. 24, n. 3, p. 151- 158, 1954.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; Z ACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T. H. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. **Water Res.** v. 37, p. 4119–4124. 2003.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; OLIVEIRA, E.V.F.; MARTINS, A.P.; CAO, E.; ANDRIGHETTI, M. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, p. 1365-1374, 2010.

SUGUIO, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 317 p.

VASCONCELOS, V. M. M.; SOUZA, C. F. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. **Ambiágua**, v. 6, n. 2, p. 305-324, 2011.

VIALLE, C.; SABLAYROLLES, C.; LOVERA, M.; JACOB, S.; HUAU, M. C.; MONTREJAUD-VIGNOLES; M. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. **Water Research**, v. 45, n. 12, p. 3765-3775, 2011.

WANG, Z.; DENG, X.; WANG, P.; CHEN, J. Ecological intercorrelation in urbanerural development: an eco-city of China. **Journal of Cleaner Production**. p.1-14, 2016.

### CAPÍTULO 3

## **AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL, SOCIAL E ECONÔMICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI-MOSSORÓ-RN, SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

### **RESUMO**

Objetivo do presente trabalho foi avaliar a sustentabilidade ambiental, social e econômica da bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, semiárido brasileiro. A bacia foi dividida em quatro trechos: (i) alto curso, (ii) médio curso superior, (iii) médio curso inferior e (iv) baixo curso. Foram selecionados 36 pontos de coleta distribuídos ao longo da bacia hidrográfica e obtidos os valores das seguintes variáveis limnológicas: oxigênio dissolvido, nitrogênio total, fósforo total e coliformes termotolerante. As informações relacionadas aos indicadores econômicos e sociais foram adquiridas no *website* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. A sustentabilidade foi avaliada através do modelo conceitual foi implementado com o auxílio do *software Multisectorial, Integrated and Operational Decision Support System for Sustainable Use of Water Resources at the Catchment Scale* (MULINO mDSS). Conclui-se que na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró o trecho mais sustentável foi o de baixo curso, pois apresentou menor amplitude de variação entre os escores das dimensões econômica, ambiental e social, tal região foi considerada pela modelagem no MULINO como potencialmente sustentável. Tal trecho apresentou melhor desempenho nas dimensões sociais e econômica, no entanto apresentou o menor score para a dimensão ambiental. Isto evidencia que a região de baixo curso possui maior desenvolvimento econômico e social, mas ao mesmo tempo é mais suscetível a problemas ambientais. Assim evidencia-se a importância a adoção de medidas ambientalmente sustentáveis no trecho de baixo curso de modo mitigar os problemas ambientais consequentemente melhorando o escore da dimensão ambiental tornando o trecho mais sustentável. A região de médio curso superior destacou-se na dimensão ambiental quando analisados os escores de forma isolada nas dimensões da sustentabilidade, porém como não apresentou escores proporcionais nas dimensões social e econômica, o índice geral foi o mais baixo quando relacionados aos demais trechos, assim classificou-se este trecho como baixa sustentabilidade no contexto geral da bacia hidrográfica e quando comparados com os demais cenários avaliados, não foi um cenário tão sustentável em termos absolutos. Tal fato, evidencia a necessidade da adoção de medidas sustentáveis no trecho de médio curso superior de modo a melhorar as condições sociais e econômicas consequentemente melhorando a sustentabilidade em termos gerais. O trecho de alto curso não apresentou escore tão baixo como trecho de médio curso superior, porém também foi classificado como baixa sustentabilidade. Já trecho de médio curso inferior foi classificado como um trecho com média sustentabilidade. Ambos trechos necessitam de medidas sustentáveis em todas as dimensões da sustentabilidade (ambiental, social e econômica) para que se possa melhorar índice geral da sustentabilidade.

Palavras-chave: Ecossistemas aquáticos, MULINO, DPSIR, recursos hídricos.

## INTRODUÇÃO

Para determinar a sustentabilidade de uma bacia hidrográfica, deve-se ter conhecimento da situação em que as mesmas se encontram, com o objetivo de nortear decisões de gestão e manejo, considerando o complexo de condições sociais, econômicas e as alterações ambientais a que estão submetidas (BEZERRA et al., 2013; DEBASTIANI JÚNIOR, J.R. et al., 2016). Nos últimos anos, a preservação das bacias hidrográficas tornou-se tema relevante, visto que as consequências da proteção inadequada dos mananciais podem ocasionar a contaminação da água subterrânea e causar a poluição por metais pesados, matéria orgânica e compostos nitrogenados e fosfatados, conduzindo a um quadro de degradação ambiental e prejudicando não somente a biodiversidade, mas o próprio desenvolvimento social e econômico da região atingida (CUNHA; COELHO, 2009; JABŁOŃSKA-CZAPLA, et al, 2016).

A bacia hidrográfica apesar de ser uma unidade física também possui um conceito social, pois a sua conservação adequada tem um efeito importante no bem-estar da população, sendo um campo de ação política, de partilha de responsabilidade e de tomada de decisões. Problemas como desmatamento, mudanças microclimáticas, contaminação e barramentos de rios, erosão, enchentes e tensões físico-sociais de natureza diversa impõe a necessidade de cooperação entre diferentes esferas administrativas e à constituição de um novo arranjo institucional, cristalizado na forma de comitês de bacias hidrográficas (RAMÍREZ et al, 2014; LAWNICZAK et al, 2016; WANG et al. 2019).

Atualmente estudos vêm sendo desenvolvidos para se avaliar a sustentabilidade de bacias hidrográficas por meio de indicadores ambientais, econômicos e sociais. Estes indicadores podem ser entendidos como uma medida de um determinado sistema do qual as conclusões sobre certos fenômenos podem ser deduzidas, tendo como vantagem a transformação de dados técnicos e complexos em informações simples e resumidas (CALIJURI et al., 2009; HEINK; KOWARIK, 2010; IBGE, 2010, TSCHERNING, et al., 2012, HENRIQUES, et al., 2015).

Alguns destes indicadores podem ser utilizados no arcabouço teórico DPSIR Driving forces (forças motrizes ou forças motoras), Pressures (pressões), States (estados), Impacts (impactos), Responses (respostas). Este modelo conceitual foi proposto pela Organização de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD, 2003) de modo a auxiliar principalmente nas decisões referentes à preservação ambiental em bacias hidrográficas. O modelo conceitual DPSIR tem sido aplicado à gestão de recursos naturais principalmente na Europa por meio de

modelos computacionais como o MULINO mDSS (GIUPPONI, 2007) que permite uma interface entre os gestores no intuito de auxiliar na tomada de decisão.

No DPSIR, os desenvolvimentos social e econômico são as forças motrizes que exercem pressão no ambiente, o que gera mudanças no estado, que por sua vez, levam aos impactos na saúde humana, nos ambientes naturais, resultando em respostas da sociedade voltada para força motriz (NIEMEIJER E GROOT, 2008). De modo geral o diferencial do DPSIR para os demais modelos conceituais é o incremento da variável impacto, na qual, descreve os efeitos das pressões sobre o estado atual do meio ambiente na área interessada e a velocidade de reação dos indicadores de impacto é ainda mais lenta que a dos indicadores de estado (MARANHÃO, 2007; MOURA et al, 2016). O gerenciamento adequado dos recursos hídricos que incorpore questões sobre a proteção ambiental e a satisfação de seus usuários constitui um fator essencial para a sustentabilidade. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a sustentabilidade ambiental, social e econômica da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró-RN, semiárido brasileiro.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica Apodi/Mossoró, que localiza-se na microrregião Oeste do estado Rio Grande do Norte, ocupando uma área de 14.276 km<sup>2</sup> (26,8% do território do estado), sendo a maior bacia hidrográfica genuinamente potiguar, na qual são cadastrados 618 açudes, totalizando um volume de 469.714.600 km<sup>3</sup> de água, equivalentes a 27,4% do total de açudes e 10,7% dos volumes de água acumulados no estado (CAERN, 2018). Na bacia são desenvolvidas atividades de extração de petróleo, produção de sal marinho, agricultura e fruticultura irrigada, pecuária extensiva, mineração de calcário, entre outras atividades como comércio e indústria (CARVALHO et al., 2011).

A definição dos pontos teve suporte nas visitas de campo, pesquisas realizadas na região e imagens de satélite. Foram escolhidos 36 pontos (amostragem por conveniência) e quatro unidades delimitadas em função das condições topográficas da bacia e dos limites político-administrativos dos municípios, sendo elas alto curso (1.208,92 km<sup>2</sup>), médio curso superior (4.176,76 km<sup>2</sup>), médio curso inferior (6.132,47 km<sup>2</sup>), baixo curso (3.176,03 km<sup>2</sup>) como descrito por Carvalho et al., (2011) (Figura 1).



Tabela 1: Indicadores de sustentabilidade econômica, ambiental e social utilizados para avaliar a sustentabilidade dos diferentes trechos da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró.

| INDICADORES DA SUSTENTABILIDADE   |  |  |
|---|--|--|
| DIMENSÃO AMBIENTAL  | DIMENSÃO SOCIAL  | DIMENSÃO ECONÔMICA                               |
| Coliformes Termotolerantes  | Densidade demografia                                     | Produto Interno Bruto per capita – PIB           |
| Oxigênio Dissolvido   | Matrículas no ensino fundamental e médio                 | Renda trabalhadores formais                      |
| Nitrogênio Total  | Número de estabelecimentos de ensino fundamental e médio | Receita  |
| Fósforo Total   | Mortalidade Infantil                                     | Despesas   |
| Volume dos açudes   | Internações por diarreia                                 | Pessoal ocupado                                  |
| Estabelecimentos agropecuários  | Estabelecimentos de Saúde Sistema Único de Saúde-SUS     | Número de empresas atuantes                      |
| Assistência técnica   |  | Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDH |
| Uso agrotóxico  |  |  |
| Lavouras permanentes e temporárias  |  |  |
| Pastagem naturais   |  |  |
| Matas e florestas naturais destinadas a preservação permanente ou reserva legal |  |  |
| Acesso ao saneamento básico   |  |  |
| Urbanização de vias públicas  |  |  |

Os dados de oxigênio dissolvido foram obtidos em campo através do aparelho multisensor de variáveis limnológicas. Para as determinações do nitrogênio total, fósforo total, coliformes termotolerante foram coletadas amostras de água em campo e posteriormente

analisadas em laboratório. Para determinação de nitrogênio total somou-se nitrito, nitrato (método descrito por Mackereth et al. (1978), com o nitrogênio total de kieldhal (método de digestão ácida de Kjeldhal (Carmouze, 1994). O fósforo total foi obtido através do método descrito por Golterman et al. (1978). Os coliformes termotolerantes das amostras foram obtidos através do método dos tubos múltiplos segundo a Fundação Nacional da Saúde – FUNASA (BRASIL, 2013).

Os dados do volume dos reservatórios dos foram obtidos através do sistema de acompanhamento de reservatórios da Agência Nacional das Águas (ANA). As demais informações dos indicadores foram adquiridas no *website* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. O modelo conceitual foi implementado com o auxílio do *software Multisectorial, Integrated and Operational Decision Support System for Sustainable Use of Water Resources at the Catchment Scale* (MULINO mDSS) v5.12 (GIUPPONI, 2007). Como dados de entrada neste modelo foram utilizados 26 indicadores de sustentabilidade distribuídos nas três dimensões da sustentabilidade e ao longo dos critérios DPSIR (Tabela 2).

Os indicadores foram selecionados de forma a melhor refletir a sustentabilidade da bacia hidrográfica nas quatro regiões avaliadas. Então os indicadores selecionados serviram de entrada no *software*, e foram agrupados de acordo com os critérios DPSIR, que consideram: I - indicadores de Forças Motrizes; II - indicadores de Pressão sobre o ecossistema; III - indicadores de Estado das condições atuais do sistema estudado; IV- indicadores dos Impactos causados ao ambiente; e V- possíveis Respostas em termos de manejo para mitigação dos impactos gerados. Executou-se uma análise de sensibilidade através do próprio programa. Esta análise avalia o comportamento dos cenários modelados em resposta às mudanças em cada um dos indicadores, individualmente, e apontam quais são os indicadores mais importantes para o sistema. Os indicadores mais relevantes são aqueles que pequenas mudanças em seus valores influenciam fortemente na sustentabilidade do sistema.

Tabela 2: Indicadores utilizados como entrada no MULINO para modelagem DPSIR.

| <b>Indicadores</b>   | <b>Pesos</b> | <b>Critério</b> | <b>Dimensão Primária</b> |
|--|--------------|-----------------|--------------------------|
| Coliformes Termotolerantes   | 0.055        | Estado/ Impacto | Ambiental                |
| Oxigênio Dissolvido  | 0.046        | Estado/ Impacto | Ambiental                |
| Nitrogênio Total   | 0.046        | Estado/ Impacto | Ambiental                |
| Fósforo Total  | 0.046        | Estado/ Impacto | Ambiental                |
| Volume dos açudes  | 0.149        | Estado          | Ambiental                |
| Estabelecimentos agropecuários   | 0.032        | Pressão         | Ambiental                |
| Assistência técnica  | 0.023        | Força Motriz    | Ambiental                |
| Usa agrotóxico   | 0.046        | Impacto         | Ambiental                |
| Lavouras florestas naturais destinadas a preservação permanente ou reserva legal permanentes e temporárias | 0.023        | Pressão         | Ambiental                |
| Pastagem naturais  | 0.023        | Pressão         | Ambiental                |
| Matas  | 0.023        | Pressão         | Ambiental                |
| Acesso ao saneamento básico  | 0.046        | Força Motriz    | Ambiental                |
| Urbanização de vias públicas   | 0.023        | Força Motriz    | Ambiental                |
| Densidade demográfica  | 0.023        | Força Motriz    | Social                   |
| Matrículas no ensino fundamental e médio   | 0.023        | Força Motriz    | Social                   |
| Número de estabelecimentos de ensino fundamental   | 0.037        | Força Motriz    | Social                   |
| Mortalidade Infantil   | 0.046        | Resposta        | Social                   |
| Internações por diarreia   | 0.046        | Resposta        | Social                   |
| Estabelecimentos de Saúde Sistema Único de Saúde-SUS   | 0.046        | Força Motriz    | Social                   |
| Produto Interno Bruto per capita   | 0.037        | Estado          | Econômico                |
| Índice de Desenvolvimento Humano Municipal   | 0.046        | Estado          | Econômico                |
| Renda trabalhadores formais  | 0.023        | Estado          | Econômico                |
| Receita  | 0.023        | Estado          | Econômico                |
| Despesas   | 0.023        | Estado          | Econômico                |
| Pessoal ocupado  | 0.023        | Força Motriz    | Econômico                |
| Número de empresas atuantes  | 0.023        | Pressão         | Econômico                |

O *software* MULINO executa uma análise comparativa, de modo que o desempenho dos indicadores é calculado para cada cenário e atribuída uma escala que vai de 0 a 100, sendo 0 o cenário menos sustentável e 100 o mais sustentável dentre as opções consideradas. Assim, ao final da modelagem os quatro cenários foram classificados quanto a sua sustentabilidade nas três dimensões avaliadas, sendo atribuído a cada cenário um sub-índice por dimensão avaliada e um índice global de sustentabilidade.

Foram comparados quatro cenários, em que, os cenários são as subdivisões da bacia hidrográfica (alto curso, médio curso superior, médio curso inferior, baixo curso). A Análise dos Componentes Principais (ACP) foi aplicada no intuito de ordenar os pontos de amostragem, a partir da matriz de correlação dos indicadores usados para avaliar a sustentabilidade da bacia hidrográfica. Já o *software* MULINO executa uma análise comparativa, de modo que o desempenho dos indicadores é calculado para cada cenário e atribuída uma escala que vai de 0 a 100, sendo 0 o cenário menos sustentável e 100 o mais sustentável dentre as opções consideradas. Assim, ao final da modelagem os quatro cenários foram classificados quanto a sua sustentabilidade nas três dimensões avaliadas, sendo atribuído a cada cenário um sub-índice por dimensão avaliada e um índice global de sustentabilidade. Os cenários (trechos da bacia) foram enquadrados conforme escala de desempenho (Tabela 3).

Tabela 3: Escala de desempenho aplicada na avaliação da sustentabilidade dos cenários modelados (MOURA et al., 2016).

| Escala | Classificação              |
|--------|----------------------------|
| 0-20   | Não sustentável            |
| 21-40  | Baixa sustentabilidade     |
| 41-60  | Média sustentabilidade     |
| 61-80  | Potencialmente sustentável |
| 80-100 | Sustentável                |

## RESULTADOS

A modelagem dos cenários revelou que o cenário mais sustentável foi da região de baixo curso (quanto mais ao centro do triângulo, mais igualmente distribuída é a sustentabilidade). O cenário de médio curso superior apresentou a sustentabilidade deslocada para a parte ambiental (Figura 2). Os sub-índices gerados pelo programa apontam que o cenário mais sustentável nas dimensões social e econômica foi a região de baixo curso, porém o cenário mais sustentável ambientalmente foi da região de médio curso superior. Porém em termos gerais o cenário mais sustentável é o baixo curso (Tabela 4).

De acordo com a tabela de desempenho, que classifica a sustentabilidade nos cenários modelados, as regiões de alto curso e médio curso superior foram classificadas como de baixa sustentabilidade. Já a região de médio curso inferior possui média sustentabilidade e a região de baixo curso foi considerada potencialmente sustentável.

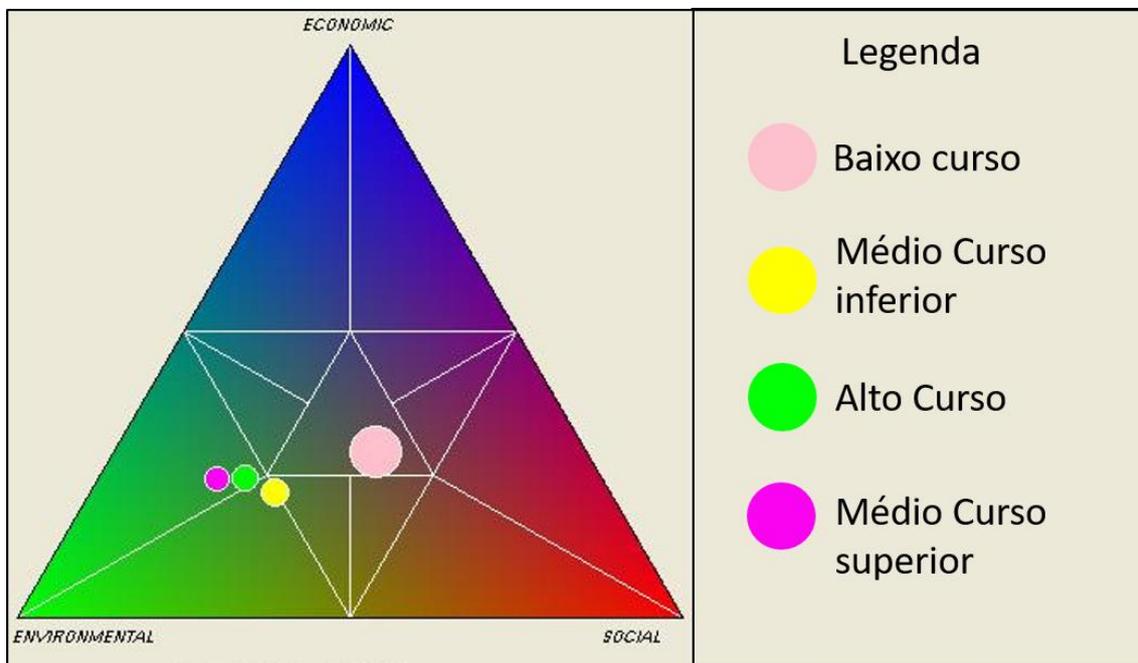


Figura 2: Triângulo da sustentabilidade para os quatro cenários avaliados (baixo curso, médio curso superior, médio curso inferior, alto curso).

Tabela 4: Escores da sustentabilidade para cada dimensão considerada em cada cenário e índice geral de sustentabilidade. Escores em negrito indicam o cenário mais sustentável para cada dimensão e para o índice geral.

| Cenários             | Escores   |           |           | Índice    |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                      | Ambiental | Social    | Econômico |           |
| Alto curso           | 53        | 22        | 25        | 31        |
| Médio curso superior | <b>58</b> | 18        | 24        | 24        |
| Médio curso inferior | 50        | 28        | 22        | 60        |
| Baixo Curso          | 32        | <b>39</b> | <b>29</b> | <b>67</b> |

A análise de componentes principais (ACP) resumiu 80,12% da variabilidade total dos indicadores utilizados na verificação da sustentabilidade da bacia em seus dois primeiros eixos, sendo que o primeiro eixo explicou 55,15% da variância total encontrada e o segundo eixo 24,97%. Os indicadores que apresentaram maior importância para a ordenação dos trechos da bacia hidrográfica e estiveram relacionados positivamente no eixo 1 foram: uso de agrotóxicos, mortalidade infantil, internação por diarreia. Os indicadores assistência técnica, matas e reservas legais, escolaridade, matrícula nas escolas, estabelecimentos de ensino, PIB, IDH, renda, receita, despesas, pessoal ocupado, empresas atuantes estiveram relacionados negativamente com o eixo 1. Os indicadores coliformes termotolerantes, volume dos açúdes, estabelecimentos agropecuários e urbanização das vias estiveram relacionados positivamente com o eixo 2, enquanto que os indicadores densidade demográfica e mortalidade infantil estiveram relacionada negativamente com o mesmo eixo (Figura 3).

As regiões de alto curso e médio curso superior possuem elevado número de estabelecimentos agropecuários que utilizam agrotóxicos, elevado percentual de mortalidade infantil e internações por diarreia, quando comparados aos demais trechos da bacia hidrográfica. Já o baixo curso possui maior assistência técnica prestada aos produtores rurais, além de possuir maior área de matas florestas naturais destinadas a preservação permanente ou reserva legal. Quanto a educação a região de baixo curso possui um alto nível de escolaridade, maior número de matrículas nas escolas de ensino fundamental e médio, além de possuir uma maior quantidade de estabelecimentos de ensino. Com relação a saúde essa região possui maior número de estabelecimentos de saúde quando comparada as demais

regiões. Quando se trata da parte econômica essa região de baixo curso possui maiores valores de PIB, IDH, renda da população. E apesar de possuir uma maior despesa também possui uma maior receita. Além disso, também pode-se constatar maiores porcentagens de empresas que atuam na região e conseqüentemente maior quantidade de pessoal ocupado. Constatando-se por tanto, que a região de baixo curso é mais desenvolvida economicamente e socialmente que as demais regiões avaliadas.

A ACP evidenciou também que a região de médio curso inferior possui maiores quantidades de coliformes termotolerantes, maior quantidade de estabelecimentos agropecuários e maior volume água acumulada em açudes. Os maiores valores de fósforo total foram encontrados na região de alto curso.

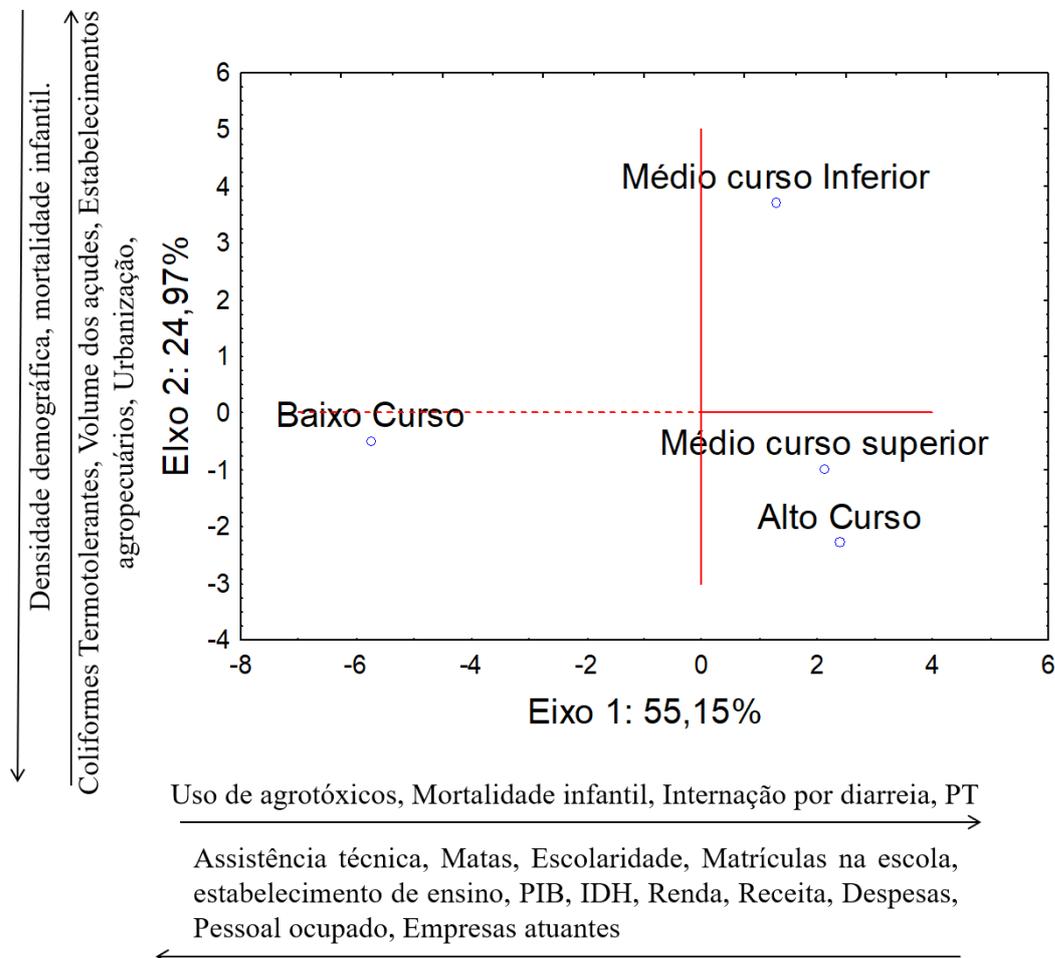


Figura 3: Análise de Componentes Principais para os indicadores utilizados para verificação da sustentabilidade dos trechos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Tabela 5: Coordenadas fatoriais dos indicadores, baseadas em correlações oriundas da análise de componentes principais.

| <b>Indicadores</b>             | <b>Eixo 1</b> | <b>Eixo 2</b> |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| Coliformes termotolerantes     | 0.330017      | 0.943951      |
| Oxigênio dissolvido            | 0.381536      | 0.294263      |
| Nitrogênio total               | 0.232540      | -0.451143     |
| Fósforo total                  | 0.662403      | -0.743518     |
| Volume dos açudes              | 0.338780      | 0.903277      |
| Estabelecimentos Agropecuários | -0.470118     | 0.869901      |
| Assistência Técnica            | -0.797674     | 0.190924      |
| Uso de Agrotóxicos             | 0.971462      | 0.186821      |
| Lavouras                       | 0.323433      | 0.366911      |
| Pastagens                      | 0.266798      | 0.190196      |
| Matas                          | -0.711419     | 0.665334      |
| Saneamento                     | -0.235502     | 0.263863      |
| Urbanização                    | 0.203423      | 0.973504      |
| Densidade Demográfica          | -0.498781     | -0.828983     |
| Escolaridade                   | -0.807807     | 0.489997      |
| Matrículas na escola           | -0.992472     | -0.113114     |
| Estabelecimentos de ensino     | -0.995949     | -0.075019     |
| Mortalidade Infantil           | 0.704497      | -0.703709     |
| Internação por diarreia        | 0.862233      | -0.146118     |
| Estabelecimento de Saúde.      | -0.955099     | -0.267001     |
| PIB                            | -0.994701     | 0.101709      |
| IDH                            | -0.999939     | 0.008803      |
| Renda                          | -0.691573     | -0.380267     |
| Receita                        | -0.993548     | -0.107623     |
| Despesas                       | -0.994349     | -0.100805     |
| Pessoal ocupado                | -0.993965     | -0.109419     |
| Empresas atuantes              | -0.994015     | -0.109222     |

## DISCUSSÃO

Na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró constatou-se que o trecho mais sustentável foi o de baixo curso, pois apresentou menor amplitude de variação entre os escores das dimensões econômica, ambiental e social, tal região foi considerada pela modelagem no MULINO como potencialmente sustentável. Tal trecho apresentou melhor desempenho nas dimensões sociais e econômica, no entanto apresentou o menor score para a dimensão ambiental. Isto evidencia que a região de baixo curso possui maior desenvolvimento econômico e social, mas ao mesmo tempo é mais suscetível a problemas ambientais. Bezerra et al. (2013), destacam que ações antrópicas em especial as atividades que ocorrem no trecho urbano contribuem para a poluição do rio Apodi-Mossoró, sendo que as principais atividades impactantes do corpo hídrico são, o lançamento de efluentes domésticos e industriais, as atividades agrícola e de criação de animais, ambas situadas nas margens do rio, elevando assim as quantidades de fósforo no corpo hídrico, os quais chamam atenção por serem indicadores do processo de eutrofização. Apesar da região de baixo curso ter apresentado o maior índice de sustentabilidade geral, quando comparada com as demais regiões da bacia, a dimensão ambiental é uma parte importante da sustentabilidade que não pode ser desprezada e que precisa ser conciliada com a equidade social e o desenvolvimento econômico

A região de médio curso superior destacou-se na dimensão ambiental quando analisados os escores de forma isolada nas dimensões da sustentabilidade, porém como não apresentou escores proporcionais nas dimensões social e econômica, o índice geral classificou este trecho como baixa sustentabilidade no contexto geral da bacia hidrográfica e quando comparados com os demais cenários avaliados, não foi um cenário tão sustentável em termos absolutos. Comberti et al. (2015) destacaram a importância da conservação ambiental, ressaltando a necessidade de uma relação mais sustentável entre o homem e o ambiente. Tal relação positiva faz-se necessário para a manter a saúde de um ambiente que serão utilizados de forma benéfica para a economia e sociedade a longo prazo, pois o ambiente bem conservado proporciona uma boa qualidade da terra e água para posterior exploração.

Quando se trata da dimensão social a ACP evidencia que as regiões de alto curso, médio curso superior e médio curso inferior possuem mais problemas, na qual, existe maior índice de mortalidade infantil, internação por diarreia, menores índices de escolaridade e menos estabelecimentos de saúde, quando comparados a região de baixo curso. A taxa de mortalidade infantil é indicadora das condições de vida e de saúde de uma população, pois além de expressar causas biológicas, expressa principalmente, determinações de ordem

socioeconômica e ambiental (VERMELHO et al., 2009). Cruz et al., (2011) e Zanini et al., (2009), evidenciam que melhores condições de vida e menores índices de desigualdades sociais são determinantes para o maiores índices de morte infantil. Outro fator que evidencia as condições de vida e saúde a população é a quantidade de indivíduos com diarreia que pode ser causada por diversos agentes infecciosos, sendo influenciada por determinantes de ordens biológicas, ambientais, econômicas e socioculturais (BRANDT et al., 2015). A redução da taxa de diarreia na população ocorre não apenas na abordagem médica do problema ou acesso dos indivíduos a estabelecimentos de saúde, mas também nas melhoras das condições ambientais, oferta de água de boa qualidade a população, tratamento adequado dos dejetos humanos, maior acesso da população ao saneamento básico, bem como educação e segurança alimentar (ASSIS, et al., 2013; WHO, 2009). Assim vale ressaltar, que o investimento em saúde com maior com a construção de estabelecimento de saúde, bem como melhoria o saneamento básico e acesso à educação com ênfase na educação alimentar e ambiental é de suma importância para o bem-estar da população.

Evidenciou nos resultados com relação a questão ambiental, que a região de alto curso, médio curso superior e médio curso inferior possuem elevada utilização de agrotóxico, provavelmente por ser uma região com economia voltada para parte agrícola. Tal fato pode gerar sérios problemas à população que mora nas proximidades de áreas cultivadas com agrotóxicos e podem consumir água ou alimentos contaminados, além disso, pode-se inalar a substância tóxica que esteja eventualmente presente no ar (NETO e SARCINELLI, 2009). Tal exposição a substâncias tóxicas podem causar problemas no fígado e no sistema nervoso central, como dores de cabeça, tonturas, irritabilidade, movimentos musculares involuntários; problemas com os sistemas cardiovascular e reprodutivo, com algumas evidências de desregulação endócrina e problemas nos olhos, rins, baço, anemia e aumento do risco de desenvolver câncer (IARC, 2007; ATSDR, 2007). Assim dá-se a necessidade de maior atenção a essas regiões para um controle mais eficiente do uso desses agrotóxicos.

O maior volume de água presente nos açudes ocorreu na região de médio curso inferior. Essa região detém os dois maiores reservatórios da bacia do rio Apodi-Mossoró (Umarí e Santa Cruz). A disponibilidade de água é um fator de extrema importância para o bem-estar da população, bem como, importante para o desenvolvimento econômico, pois a água é indispensável para as atividades de agricultura, pecuária e pesca (ASSIS, et al., 2013). A região de alto curso apesar de apresentar maior quantidade de estabelecimentos agropecuários, quando comparados aos demais trechos da bacia, não apresentou elevada quantidade de fósforo total, fato extremamente importante por se tratar de uma região que

utiliza a água dos reservatórios para consumo humano. O enriquecimento dos corpos de água por fósforo pode ser causado de forma natural ou artificial, causando assim um aumento da produtividade primária, como consequência ocorre o desenvolvimento excessivo de algas ou macrófitas aquáticas, podendo comprometer os usos múltiplos dos recursos hídricos (MAIA et al., 2015).

A região de baixo curso apesar de não ser a região ambientalmente mais sustentável, foi a que apresentou maiores áreas de matas e florestas naturais destinadas a preservação permanente ou reserva legal, como por exemplo, o Parque Nacional de Fuma Feia, tal fato é muito importante já que, a preservação da cobertura vegetal, principalmente da mata ciliar, ameniza problemas como assoreamento dos rios. Que poderia alterar fortemente a integridade ambiental do ecossistema fluvial, ocasionando desequilíbrio do ambiente e da biota local, por reduzir a disponibilidade de habitats e alimentos, a preservação da cobertura vegetal também é importante para atenuar a temperatura proporcionando condições favoráveis para a fauna e flora (FIRMINO et al., 2011). Por esse fato, dá-se a importância da destinação de áreas para a preservação ou reserva legal.

Com relação a parte econômica, constatou-se que a região de baixo curso é a mais desenvolvida economicamente na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, a região possui maiores valores de PIB, IDH, renda dos trabalhadores, maior quantidade de empresas atuantes na região e conseqüentemente maior número de pessoas ocupadas. Segundo Kayano e Caldas (2001), o PIB elevado é um indicador de crescimento econômico, porém a constatação de que existe o crescimento econômico não comprova por si só, uma evolução no nível de qualidade de vida da população, tal fato é mensurado pelo IDH. O valor elevado do PIB, IDH na região de baixo curso juntamente, com maiores valores de renda dos trabalhadores, empresas que atuam na região e quantidade pessoas ocupadas evidenciam o desenvolvimento socioeconômico da região de baixo curso quando se compara aos demais trechos estudados.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Conclui-se que na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró o trecho mais sustentável foi o de baixo curso, pois apresentou menor amplitude de variação entre os escores das dimensões econômica, ambiental e social, tal região foi considerada pela modelagem no MULINO como potencialmente sustentável. Tal trecho apresentou melhor desempenho nas dimensões sociais e econômica, no entanto apresentou o menor score para a dimensão ambiental. Isto evidencia que a região de baixo curso possui maior desenvolvimento

econômico e social, mas ao mesmo tempo é mais suscetível a problemas ambientais. Assim evidencia-se a importância a adoção de medidas ambientalmente sustentáveis no trecho de baixo curso de modo mitigar os problemas ambientais, consequentemente melhorando o escore da dimensão ambiental tornando o trecho mais sustentável.

A região de médio curso superior destacou-se na dimensão ambiental quando analisados os escores de forma isolada nas dimensões da sustentabilidade, porém como não apresentou escores proporcionais nas dimensões social e econômica, o índice geral foi o mais baixo quando relacionados aos demais trechos, assim classificou-se este trecho como baixa sustentabilidade no contexto geral da bacia hidrográfica. E quando comparados com os demais cenários avaliados, não foi um cenário tão sustentável em termos absolutos. Tal fato, evidencia a necessidade da adoção de medidas sustentáveis no trecho de médio curso superior de modo a melhorar as condições sociais e econômicas consequentemente melhorando a sustentabilidade em termos gerais. O trecho de alto curso não apresentou escore tão baixo como trecho de médio curso superior, porém também foi classificado como baixa sustentabilidade. Já trecho de médio curso inferior foi classificado como um trecho com média sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

AGUIRRE, M.A.; IBARRA, L.I.L.; TROCHEZ, F.V.B.; GUEVARA, D.F.G.; BERMÚDEZ, O.B. Percepción del paisaje, agua y ecosistemas en la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia. **Revista Perspectiva Geográfica**, v. 22, n. 1, p. 109-116, 2017.

ASSIS, A.S.; VALLE, D.A.; ANTUNES, G.R.; TIBIRIC, A.S.H. ASSIS, R.M. LEITE J.P. Rotavirus epidemiology before and after vaccine introduction. **J Pediatr (Rio J)**, v. 89, p. 470-476, 2013.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Toxicological profile information sheet. Department of health and human services. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles>. Acesso em:

BATES, B.C.; KUNDZEWICZ, Z.W.; PALUTIKOF, J.P. **Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** IPCC Secretariat, Geneva. 2008, 210 p

BENNETT, E.; CRAMER, W.; BEGOSSI, A.; CUNDILL, G.; DÍAZ, S.; EGOH, B.N.; LEBEL, L. Linking biodiversity, ecosystem services, and human well-being: three challenges for designing research for sustainability. *Curr. Opin. Environ. Sustainability*, v. 14, p. 76–85, 2015.

BEZERRA, J. M.; SILVA, P. C. M.; BATISTA, R.O.; PINTO, C. H. C.; FEITOSA, A.P. Water quality indexes in the urban stretch of the River Apodi Mossoró in Mossoró RN Brazil, **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 34, n. 6, p. 3443-3454, 2013.

BRANDT, K.G., ANTUNES, M.M.C, SILVA, G.A.P. Acute diarrhea: evidence-based management. **J Pediatr.**, v. 91, n.6, p. 36-43, 2015.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água** / Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília : Funasa, 2013. 150 p.

CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; CAMARGO, R. A. et al. Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do Norte do Brasil. **Engenharia Sanitária & Ambiental**, v.14, n.1, p.19-28, 2009.

CARMOUZE, J. P., **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas.** Editora Edgar Blücher Ltda/Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, São Paulo, 1994, 253p.

CHERMACK, T.J. **Scenario Planning in Organizations— Howto Create, Use, and Assess Scenarios.** Berret-Koehler Publishers, 2011. 288 p.

CRUZ, S. A.; SILVA, L.M.V.; COSTA, M.C.N; PAIM, J.S. Evolution of inequalities in mortality in Salvador, Bahia State, Brazil, **Cadernos de Saúde Pública**, v. 27, p. 176-S184, 2011.

DURANCE, P.; GODET, M. Scenarios building: uses and abuses. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* v. 77, p. 1488–1492, 2010.

FIRMINO, P. F.; MALAFAIA, G.; RODRIGUES, A. S. L. Diagnóstico da integridade ambiental de trechos de rios localizados no município de Ipameri, sudeste do estado de Goiás, através de um protocolo de avaliação rápida. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, v.15, n.2, p. 1-12, 2011.

GIUPPONI, C. Decision Support Systems for Implementing the European Water Framework Directive: the MULINO approach. **Environmental Modeling and Software**, v.22, n.2, p.248-258, 2007.

HEINK, U.; KOWARIK, I. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. **Ecological Indicators**, v.10, p.584–593, 2010.

HENRIQUES, C.; GARNETT K.; WEATHERHEAD, L.F.A.; FORROW, D.; DELGADO, J.; The future water environment — Using scenarios to explore the significant water management challenges in England and Wales to 2050. **Science of the Total Environment**. v. 512, p. 381–396, 2015.

IBGE, Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil, 2010, Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), Acesso em: 25 de agosto de 2018.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Complete list of agents evaluated and their classification. Disponível em: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>. Acesso em:

KAYANO, J.; CALDAS, E. L. Indicadores para o diálogo. São Paulo: Pólis; Programa Gestão Pública e Cidadania. EAESP/FGV, 2002. 11p.

MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. Water Analysis: Some revised methods for limnologists. **Freshwater Biological Association, Scientific Publication**. v.1, p. 36-121. 1978.

MAIA, A. A. D.; CARVALHO, S. L.; CARVALHO, F. T. Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do Baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 613-622, 2015.

MARANHÃO, N. **Sistema de Indicadores para Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas**. Rio de Janeiro. 2007. 397 p. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

NETO, F.M.L.; SARCINELLI P.N. Pesticides in drinking water: a risk assessment approach and contribution to the Brazilian legislation updating process P.N. **Eng Sanit Ambient**, v.14 n.1, p. 69-78, 2009.

OECD core set of indicators for environmental performance reviews. OECD Environmental Directorate Monographs No. 83. Organisation of Economic Co-operation and Development, 39 p. 1993.

ONU, **United Nations. Indicators of sustainable development**. Framework and Methodologies. Report. 1996, 428 p.

SOARES, A.B. **Análise da sustentabilidade de bacias hidrográficas do estado do Ceará**. 2007. 121f . Dissertação (Mestrado), Universidade do Ceará, 2007,

TSCHERNING, K.; HELMING K.; KRIPPNER, S., GOMEZ, S. Paloma Does research applying the DPSIR framework support decision making? **Land Use Policy**. v.29, p.102–110, 2012.

VERMELHO, L. L.; COSTA, A. J. L.; KALE, P. L. Indicadores de saúde. In: MEDRONHO, R. A. et al. (Org.). *Epidemiologia*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2009. p. 31-82.

WANG, X.; KANGNING, H. Zhe Dong. Effects of climate change and human activities on runoff in the Beichuan River Basin in the northeastern Tibetan Plateau, China. **Catena**, v.176, p. 81–93, 2019.

World Health Organization (WHO) Diarrhea: why children are still dying and what can be done. Geneva, 2009.

ZANINI, R. R., MORAES, A.B.; GIUGLIANI, E.R.J.; RIBOLDI, J. Infant mortality trends in the State of Rio Grande do Sul, Brazil, 1994-2004: a multilevel analysis of individual and community risk factors. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 5, p. 1035-1045, 2009.

## ANEXOS

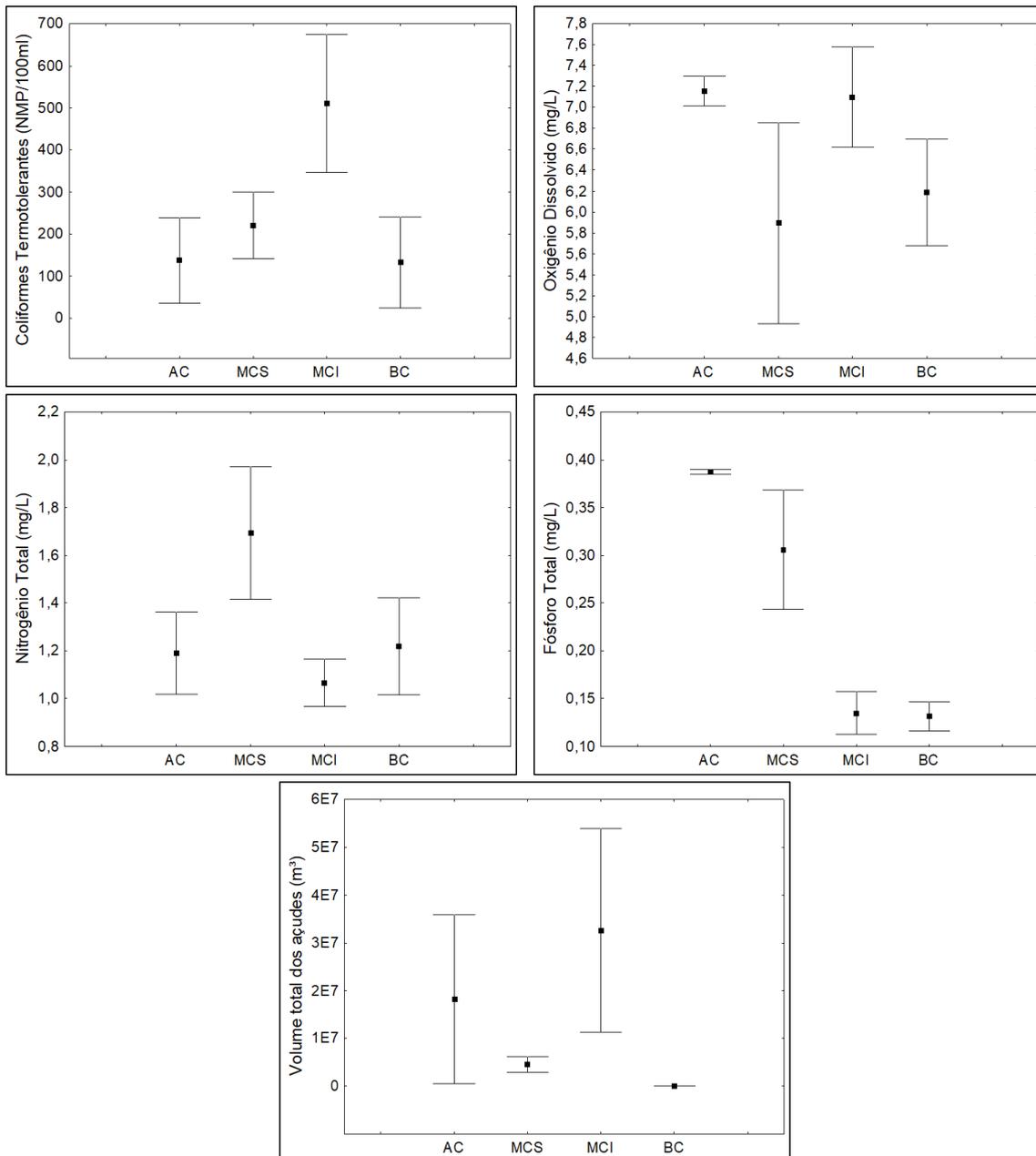
| <b>Código do ponto de coleta:</b>   |  |  |  |        |
|---|--|--|--|--------|
| <b>Local:</b>   |  |  |  |        |
| <b>Data:</b>  |  |  |  |        |
| <b>Corpo Hídrico:</b>   |  |  |  |        |
| <b>Bacia Hidrográfica:</b>  |  |  |  |        |
| <b>Coordenadas UTM:</b>   |  |  |  |        |
| <b>Altitude (m):</b>  |  |  |  |        |
| <b>Condições do tempo:</b> ( ) seco ( ) chuvoso ( ) chuvas esparsas/úmido |  |  |  |        |
| PARÂMETROS  | PONTUAÇÃO  |  |  | Pontos |
|   | 4 PONTOS   | 2 PONTOS   | 0 PONTOS   |        |
| 1. Tipo de ocupação das margens do curso d'água (principal atividade)     | Vegetação natural  | Campo de pastagem<br>Agricultura/Monocultura/<br>Reflorestamento | Residencial<br>Comercial<br>Industrial   |        |
| 2. Impactos antrópicos na margem  | Ausente  | Moderada   | Acentuada<br>(fábricas, siderúrgicas,<br>canalização, retilização<br>de curso do rio, esgoto,<br>lixo) |        |
| 3. Impactos antrópicos no leito   | Ausente<br>(livre de qualquer<br>material em suspensão/l<br>ixo) | Moderada   | Acentuada  |        |
| 4. Odor da água e/ou do sedimento   | Ausente  | Moderada   | Acentuada<br>(ovo podre, óleo/<br>industrial)  |        |
| 5. Oleosidade da água e/ou do sedimento                                   | Ausente  | Moderada   | Acentuada  |        |
| 6. Presença de plantas aquáticas  | Parcial  | Total  | Ausente  |        |
| 7. Tipo de fundo  | Pedras/<br>Cascalho/<br>Areia                                    | Lama/areia   | Cimento/canalização  |        |

Anexo 1: Protocolo de avaliação rápida das características físicas da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (verificar o nível de impactos ambientais oriundos de atividades antrópicas)

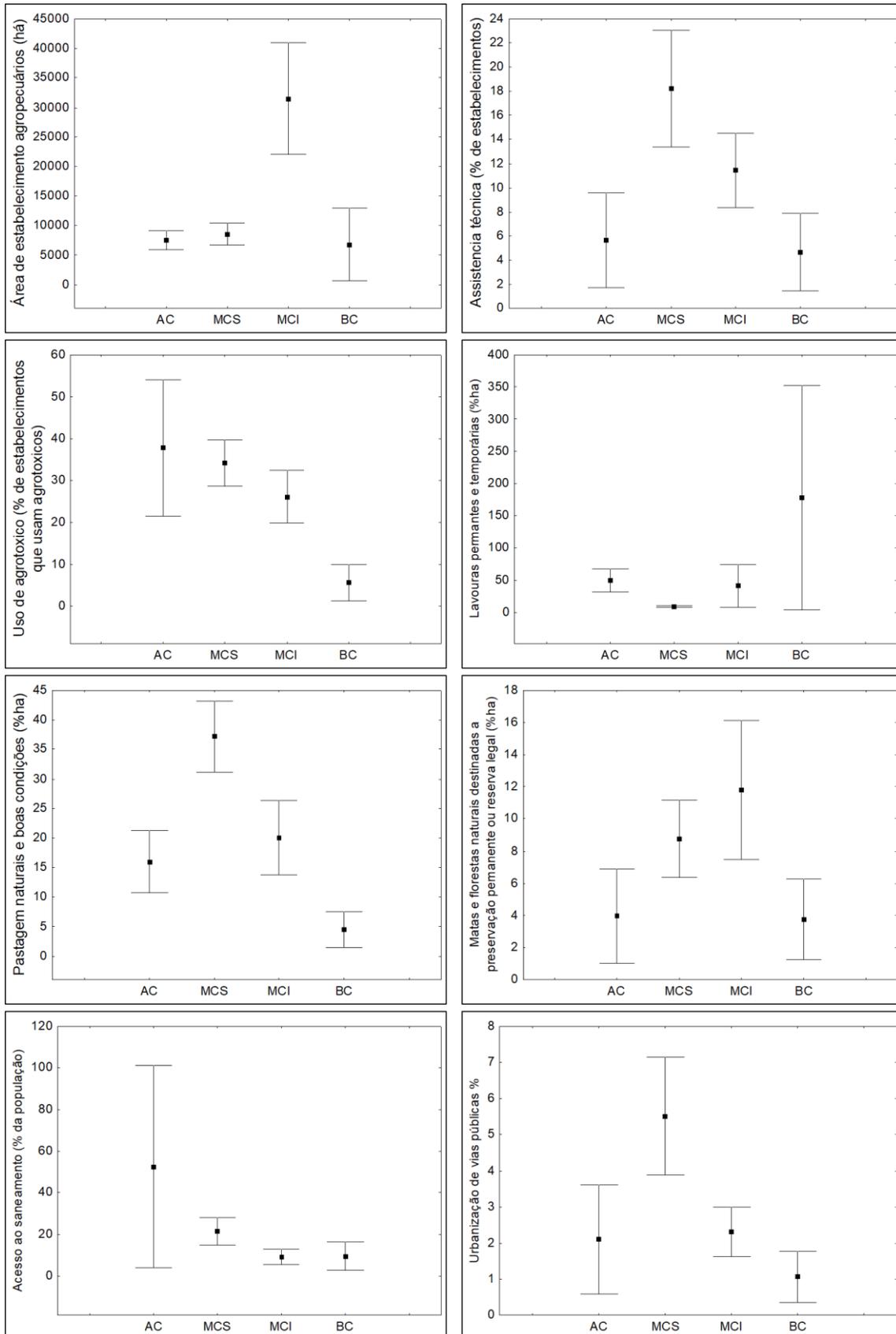
| PARÂMETROS                     | PONTUAÇÃO   |   |  |   | Pontos |
|--------------------------------|---|---|--|---|--------|
|                                | 4 PONTOS  | 3 PONTOS  | 2 PONTOS   | 0 PONTOS  |        |
| 8. Diversidade de habitats     | Mais de 50% com habitats diversificados (pedaços de troncos submersos, cascalho, remansos, folhice ou outros habitats estáveis).  | 30 a 50% de habitats diversificados.  | 10 a 30% de habitats diversificados.   | Menos que 10% de habitats diversificados.   |        |
| 9. Deposição da lama           | Entre 0 e 25% do fundo coberto por lama.  | Entre 25 e 50% do fundo coberto por lama.   | Entre 50 e 75% do fundo coberto por lama.  | Mais de 75% do fundo coberto por lama.  |        |
| 10. Alterações no canal do rio | Canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal.   | Alguma canalização presente, normalmente próximo a construção de pontes.  | Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80% do rio modificado.  | Margens Modificadas; acima de 80% do rio modificado.                                    |        |
| 11. Presença de mata ciliar    | Acima de 90% com vegetação ripária nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas; mínima evidência de deflorestamento         | Entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa; deflorestamento evidente, mas não afetando o desenvolvimento da vegetação. | Entre 50 e 70% com vegetação ripária nativa; deflorestamento óbvio; trechos com solo exposto ou vegetação eliminada. | Menos de 50% da mata ciliar nativa; deflorestamento muito acentuado                     |        |
| 12. Estabilidade das margens   | Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente; pequeno potencial para problemas futuros. Menos de 5% da margem afetada. | Moderadamente e estáveis; pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão.                      | Moderadamente e instável; entre 30 e 60% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes.            | Instável; Muitas áreas com erosão; erosão óbvia entre 60 e 100% da margem. Canalização. |        |
| <b>Pontuação</b>               |   | <b>Nível de Perturbação</b>   |  |   |        |
| 0 - 22                         |   | Impactado   |  |   |        |
| 23 - 32                        |   | Alterado  |  |   |        |
| > 32                           |   | Natural   |  |   |        |

Anexo 2: Protocolo de avaliação rápida das características físicas da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (nível de conservação das condições naturais)

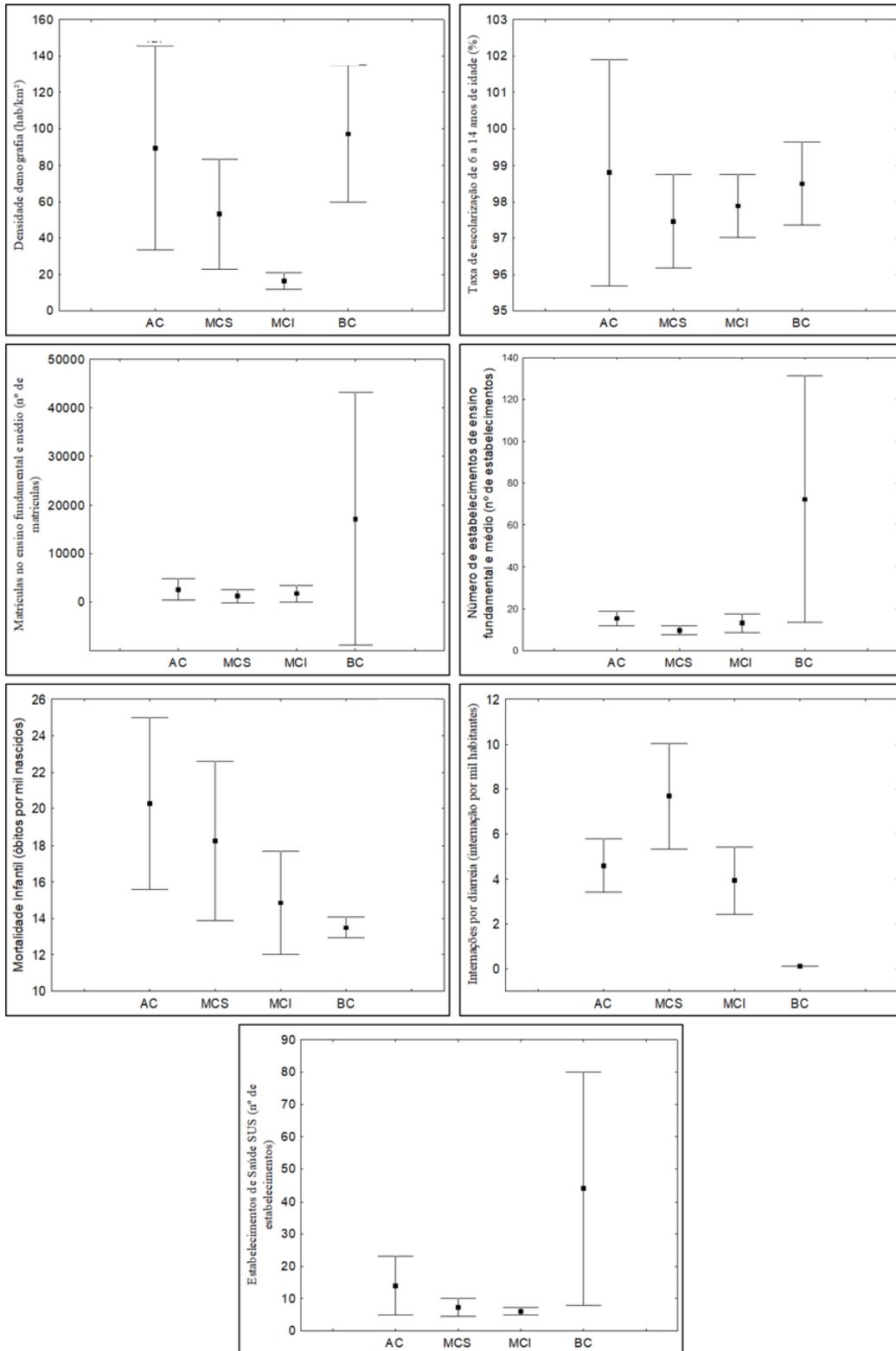
## APÊNDICES



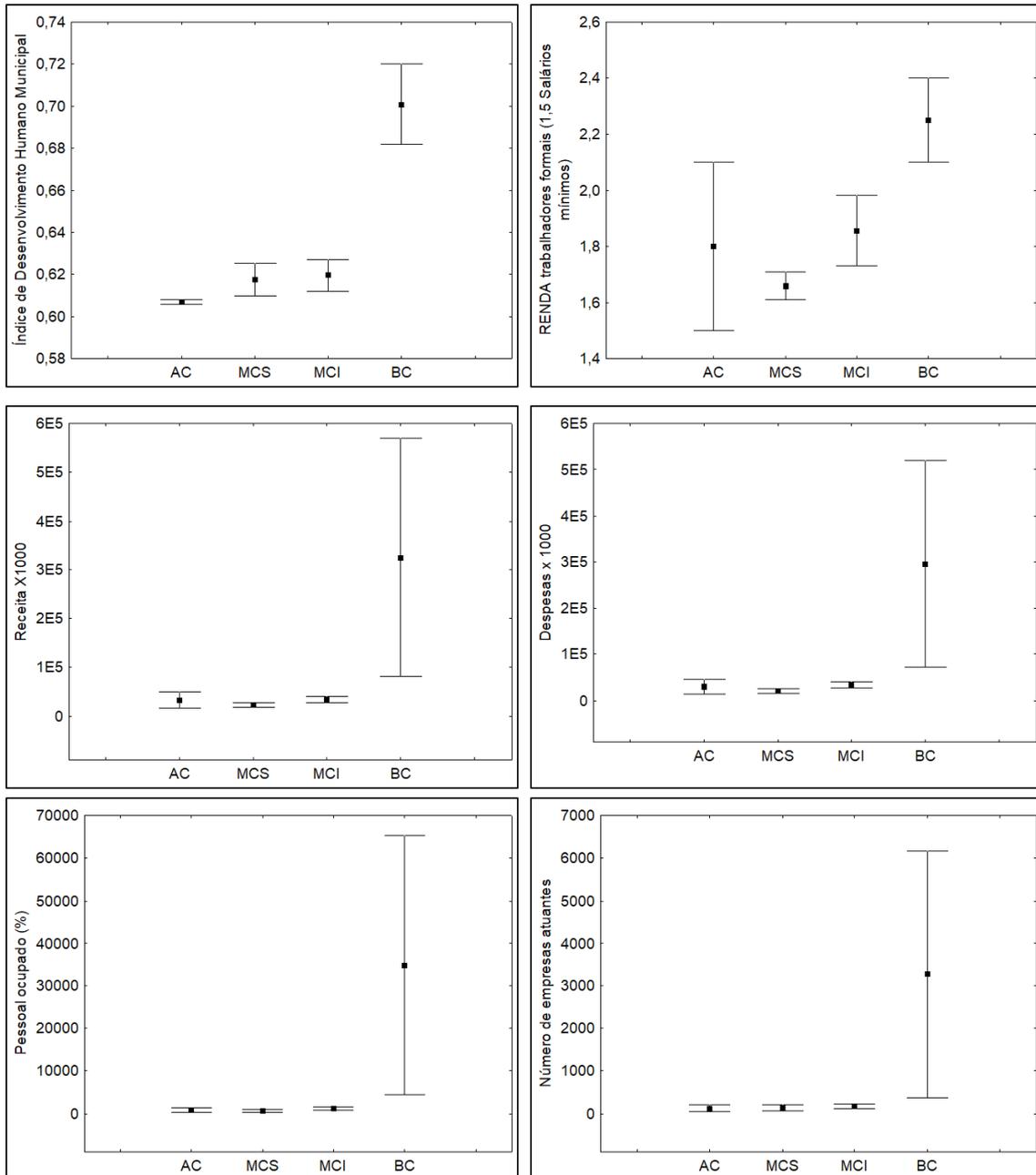
Apêndice 1: Gráfico de média e erro padrão das variáveis ambientais nos cursos da bacia hidrográfica (AC-Alto curso, MCS-Médio Curso Superior, MCI-Médio Curso Inferior, BC-Baixo Curso) referentes ao capítulo 3.



Apêndice 2: Gráfico de média e erro padrão das variáveis ambientais nos cursos da bacia hidrográfica (AC-Alto curso, MCS-Médio Curso Superior, MCI-Médio Curso Inferior, BC-Baixo Curso) referentes ao capítulo 3.



Apêndice 3: Gráfico de média e erro padrão do indicadores sociais nos cursos da bacia hidrográfica (AC-Alto curso, MCS-Médio Curso Superior, MCI-Médio Curso Inferior, BC-Baixo Curso) referentes ao capítulo 3.



Apêndice 4: Gráfico de média e erro padrão dos indicadores econômicos nos cursos da bacia hidrográfica (AC-Alto curso, MCS-Médio Curso Superior, MCI-Médio Curso Inferior, BC-Baixo Curso) referentes ao capítulo 3.

**FOTOS**

Alto curso