



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE - PRODEMA

IZAURA IZADORA FERREIRA AVELINO

ESTUDOS AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: A UTILIZAÇÃO DO
MODELO FORÇA MOTRIZ, PRESSÃO, ESTADO, IMPACTO E RESPOSTA

FORTALEZA

2018

IZAURA IZADORA FERREIRA AVELINO

ESTUDOS AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: A UTILIZAÇÃO DO
MODELO FORÇA MOTRIZ, PRESSÃO, ESTADO, IMPACTO E RESPOSTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof. Dr. Marta Celina Linhares Sales.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A967e Avelino, Izaura Izadora Ferreira.

Estudos Ambientais em Bacias Hidrográficas: A Utilização do Modelo Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta / Izaura Izadora Ferreira Avelino. – 2019.

81 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2019.

Orientação: Profa. Dra. Marta Celina Linhares Sales.

1. Estudos Ambientais. 2. Impactos Ambientais. 3. Bacias Hidrográficas. 4. Estimativas de Cargas. 5. Avaliação Ambiental Integrada. I. Título.

CDD 333.7

IZAURA IZADORA FERREIRA AVELINO

ESTUDOS AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: A UTILIZAÇÃO DO
MODELO FORÇA MOTRIZ, PRESSÃO, ESTADO, IMPACTO E RESPOSTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Marta Celina Linhares Sales (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Edson Vicente da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Janaína Andrade do Santos
Universidade Estadual do Ceará

A Deus.

Aos meus pais e a todos que de alguma forma contribuíram para a finalização desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo seu infinito amor, fidelidade e graça.

Aos meus pais, Valdenor Avelino e Marizaura Avelino por todo o amor incondicional concedido a mim.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

A minha querida orientadora Prof. Dra. Marta Celina Linhares Sales, por ter me acolhido com uma excelente orientação e com sua amizade, além de toda sua disponibilidade, suporte e ajuda para todos os momentos em que precisei.

As professoras participantes da banca examinadora, Prof. Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo e Prof. Dra. Janaína Andrade dos Santos. Deus sabe o quanto admiro vocês e sou grata por tê-las em minha vida, por poder contar com vocês para tudo, pelo tempo e pelas valiosas colaborações, não somente nesse trabalho, mas em caráter pessoal.

Ao Prof. Dr. Edson Vicente da Silva (Cacau) sempre me recebendo com sua alegria e energia contagiante, disponibilizando seu tempo e conhecimento sempre que eu precisava.

A uma irmã que ganhei durante minha graduação, daquelas que não nascem do mesmo sangue, mas aparecem na sua vida e mostram que para ter esse título não precisa de DNA, obrigada Karla Nayara de Sousa Cajuí.

Aos meus amigos da turma de mestrado, melhor turma que já tive em toda minha vida acadêmica, pelos redemoinhos da vida, pela parceria e pelas amizades que construí ao longo desses dois anos de curso.

A todos os meus familiares mais chegados e amigos mais queridos.

“Se apenas houvesse uma única verdade,
não poderia pintar-se cem telas sobre o
mesmo tema”

Pablo Picasso.

RESUMO

As atividades econômicas desenvolvidas na área das bacias hidrográficas, possuem um alto potencial degradador para os recursos hídricos. Neste sentido, estudos ambientais integrados são importantes ferramentas que auxiliam no processo de gestão desses recursos. O modelo DPSIR (força motriz, pressões, estado, impactos, respostas), é um exemplo de abordagem integrada ambiental, que permite o acompanhamento das relações sociedade-meio ambiente e é considerado um padrão conceitual aceito internacionalmente. A presente pesquisa tem como objetivo, aplicar o modelo DPSIR para identificar, caracterizar e analisar as relações causa-efeito das atividades socioeconômicas exercidas na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão. A área de estudo possui aproximadamente 6.080 Km² abrangendo um total de nove municípios. Dentre as forças motrizes naturais que afetam a bacia, encontram-se as entradas atmosféricas e denudação física e química dos solos. Dentre as antrópicas, destacam-se as fontes difusas de contaminação e alteração ambiental, relacionadas com a agropecuária e a urbanização. Ressalta-se que a categoria “força motriz” baseia-se no aporte dos elementos nitrogênio e fósforo para a bacia hidrográfica em estudo. Identificou-se as pressões e quantificou-se os impactos, utilizando como subsídio o cálculo das estimativas de cargas de N e P para as forças motrizes identificadas. Mediante as atividades que apresentaram risco a bacia devido a suas cargas poluidoras, apresentou-se a categoria “respostas”. Concluiu-se que a urbanização, com seus efluentes, a agropecuária, agricultura com fertilizantes, agrotóxicos e dejetos de animais, apresentam-se potenciais fontes de contaminantes por aporte de nutrientes, que podem resultar em um desequilíbrio ambiental e aumento da exposição humana aos contaminantes. O modelo DPSIR proporcionou uma análise integrada dos problemas ambientais gerados pelas atividades econômicas e mostrou-se capaz de fornecer subsídios ao planejamento e gestão ambiental de uma bacia hidrográfica, mediante a ações mitigatórias que podem ser fomentadas pelas administrações públicas, sociedade civil e setores econômicos.

Palavras-chave: Atividades econômicas. Impactos. Estimativas de Carga. Tomada de decisão.

ABSTRACT

The economic activities developed in the area of the hydrographic basins, have a high degrading potential for the water resources. In this sense, integrated environmental studies are important tools that help in the process of managing these resources. The DPSIR model (driving force, pressures, state, impacts, and responses) is an example of an integrated environmental approach that allows monitoring of society-environment relations and is considered an internationally accepted conceptual standard. The present research aims to apply the DPSIR model to identify, characterize and analyze the cause and effect relationships of socioeconomic activities in the basin of influence of the Castanhão reservoir. The study area has approximately 6,080-km² covering a total of nine municipalities. Among the natural driving forces affecting the basin are the atmospheric entrances and the physical and chemical denudation of the soils. Among the anthropic ones, there are the diffuse sources of contamination and environmental change, related to agriculture and urbanization. It should be emphasized that the category "driving force" is based on the contribution of nitrogen and phosphorus elements to the studied river basin. The pressures were identified and the impacts quantified, using as subsidy the calculation of the N and P load estimates for the identified driving forces. Through the activities that presented risk to the basin due to its pollutant loads, the category "answers" was presented. It was concluded that urbanization, with its effluents, agriculture and livestock, agriculture with fertilizers, pesticides and animal waste, presents potential sources of contaminants due to the contribution of nutrients, which can result in an environmental imbalance and increase human exposure to contaminants. The DPSIR model provided an integrated analysis of the environmental problems generated by economic activities and was able to provide subsidies to the planning and environmental management of a river basin through mitigation actions that can be fostered by public administrations, civil society and economic sectors.

Keywords: Economic activities. Impacts. Load Estimates. Decision making.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADECE	Agência do Desenvolvimento do Estado do Ceará
ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos
CE	Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DPSIR	Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto, Resposta
EEA	Agência Europeia do Ambiente
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
FGV	Fundação Getúlio Vargas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDM	Índice de Desenvolvimento Humano
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
N	Nitrogênio
NRC	National Research Council
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
P	Fósforo
PIB	Produto Interno Bruto
PSR	Pressão, Estado e Resposta
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
WFD	<i>Water Framework Directive</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma demonstrando o funcionamento do modelo PSR.....	27
Figura 2 – Estrutura do modelo DPSIR	29
Figura 3 – Fluxograma metodológico da pesquisa.....	35
Figura 4 – Agricultura familiar no município de Jaguaretama.....	59
Figura 5 – Criação semiextensiva de bovinos e caprinos em áreas de latifúndio e pequenas áreas familiares no município de Jaguaribe.....	61
Figura 6 – Lançamento indiscriminado de efluentes domésticos em Jaguaretama.	63
Figura 7 – Disposição indevida de resíduos sólidos no município de Jaguaretama.....	65
Gráfico 1 – Forças motrizes e suas respectivas porcentagens para emissões de nutrientes.....	66
Gráfico 2 – Representação das emissões de nutrientes para cada força motriz encontrada na microbacia do Riacho do Sangue.....	67
Gráfico 3 – Representação das emissões de nutrientes para cada força motriz encontrada na microbacia do Riacho do Sangue.....	67
Figura 8 – Divisão das categorias de risco com base nos valores da estimativa dos fatores de emissão.....	68

LISTA DE MAPAS

Mapa	1 – Localização e delimitação da bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.....	41
Mapa	2 – Unidades geoambientais presentes na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão.....	44
Mapa	3 – Litologia da bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão.....	46
Mapa	4 – Tipos de solo encontrados na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão.....	49
Mapa	5 – Tipos climáticos predominantes na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão.....	50
Mapa	6 – Tipos de vegetação da bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores do modelo PSR e suas definições.....	27
Quadro 2 – Indicadores do modelo DPSIR e suas definições.....	29
Quadro 3 – Formulas para o cálculo de estimativa de cargas por fator de emissão.....	38
Quadro 4 – Unidades geoambientais da bacia hidrográfica do reservatório castanhão, definições e características.....	43
Quadro 5 – Tipos de litologia encontradas na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão em seus respectivos domínios.....	45
Quadro 6 – Tipos de solos encontrados na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão e suas características.....	48
Quadro 7 – Unidades fitoecológicas predominantes na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão.....	52
Quadro 8 – Matriz DPSIR apresentando as principais forças motrizes, pressões, impactos e referencial a ser utilizado na categoria “estado”	57
Quadro 9 – Modelo DPSIR aplicado a bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.....	70
Quadro 10 – Respostas sugeridas para as respectivas forças motrizes.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações referente aos municípios e suas à área (Km ²) da bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.....	40
Tabela 2 – Aspectos demográficos e sociais dos municípios que inseridos a bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.....	54
Tabela 3 – Dados socioeconômicos referente aos municípios inseridos na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão.....	55
Tabela 4 – Cultura, produção e área colhida para as microbacias Jaguaribe e Riacho do sangue.....	58
Tabela 5 – Tipos de criação e total de cabeças para as microbacia Jaguaribe e Riacho do Sangue.....	60
Tabela 6 – Tipos de esgotamento sanitário dos municípios inseridos na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.....	62
Tabela 7 – Porcentagem de lixo coletado do total de domicílios da bacia do reservatório Castanão.....	64
Tabela 8 – Emissões de N e P provenientes das microbacias Jaguaribe e Riacho do Sangue referentes a cada força motriz.....	65
Tabela 9 – Classificação do impacto das forças motrizes com base no cálculo de estimativas de carga por fator de emissão.....	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO METODOLOGICA.....	20
2.1	Bacias Hidrográficas e o seu carácter ecológico como subsídio à gestão de recursos hídricos.....	20
2.2	Reservatórios: os usos, qualidade da água e a questão do semiárido.....	23
2.3	O modelo “força motriz, pressão, estado, impacto e resposta”: contexto e bases conceituais.....	25
2.4	Estimativas de cargas por fator de emissão: N e P em bacias hidrográficas	31
2.4.1	<i>Ciclos biogeoquímicos dos nutrientes.....</i>	33
2.4.2	<i>Fontes naturais de N e P para bacias.....</i>	34
2.4.3	<i>Fontes antrópicas de N e P para bacias.....</i>	35
2.5	Procedimentos metodológicos.....	35
2.5.1	<i>Levantamento de dados, elaboração do mapeamento básico e trabalhos em campo.....</i>	36
2.5.2	<i>Tabelamento, tratamento dos dados e o cálculo das estimativas de cargas.....</i>	37
2.5.3	<i>Utilização do modelo DPSIR (Força motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta)</i>	39
3	ASPECTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONOMICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO.....	40
3.1	Caracterização Ambiental.....	42
3.1.1	<i>Unidades Geoambientais.....</i>	42
3.1.2	<i>Geologia e solos.....</i>	45
3.1.3	<i>Clima e recursos hídricos.....</i>	50
3.1.4	<i>Vegetação.....</i>	51
3.2	Aspectos socioeconômicos.....	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1	Elaboração do quadro DPSIR.....	56
4.2	Relação vetores/pressões/impactos presentes na bacia hidrográfica do	57

reservatório Castanhão	
4.2.1 Agricultura.....	57
4.2.2 Pecuária.....	59
4.2.3 Urbanização.....	61
4.3 Quantificação dos impactos negativos por meio da estimativa de cargas por fator de emissão de N e P.....	65
4.4 A categoria “respostas”.....	68
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

O elevado crescimento da demanda por água doce em todo o mundo, para abastecimento doméstico, industrial e produção de alimentos, demonstra que na atualidade as atividades humanas estão dependentes da disponibilidade desse recurso natural. Segundo Esteves (2011), a distribuição relativa do consumo global de água doce entre os diferentes usos pela sociedade mundial é 7% da água doce do Planeta Terra no uso doméstico, 23%, na indústria e, 70%, na produção de alimentos. Constata-se então, o papel estratégico desse recurso natural para a humanidade.

A preocupação ambiental trouxe à luz o conceito de desenvolvimento sustentável aplicável aos recursos hídricos. O uso, administração, conservação de recursos naturais, mudanças tecnológicas e institucionais que podem assegurar a provisão contínua de água doce de qualidade, que satisfaça as necessidades dos seres humanos atuais e o bem-estar das gerações futuras.

No Brasil, em oito de janeiro de 1997, foi criada a Lei nº 9.433, conhecida como Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). A lei no artigo 1º elenca os principais fundamentos da Política Nacional, onde há a compreensão de que a água é um bem público e recurso natural limitado, dotado de valor econômico, mas que deve priorizar o consumo humano e de animais em especial em situações de escassez. A água deve ser gerida de forma a proporcionar usos múltiplos e sustentáveis. Esta gestão deve se dar de forma descentralizada, com participação de usuários, da sociedade civil e do governo.

No artigo seguinte, a lei explicita seus objetivos: assegurar a disponibilidade de água de qualidade às gerações presentes e futuras, promover uma utilização racional e integrada dos recursos hídricos e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos (chuvas, secas e enchentes), sejam eles naturais ou decorrentes do mau uso dos recursos naturais. Cabe à União e aos estados, cada um em suas respectivas esferas, legislar sobre as águas e organizar a partir das bacias hidrográficas, um sistema de administração de recursos hídricos que atenda às necessidades regionais.

A necessidade de uma gestão das águas, tomando como base as bacias hidrográficas, voltada para os aspectos qualitativos e quantitativos torna-se evidente

a partir da ocorrência de fatores como o crescimento dos núcleos urbanos e suas respectivas atividades econômicas, os quais se desenvolvem sem um prévio planejamento; ocasionando a contaminação e poluição dos recursos naturais por inúmeras fontes. De acordo com estimativas, 41% da população do mundo vive em bacias hidrográficas sob estresse hídrico, situação que é verificada no semiárido do Nordeste brasileiro (TUNDISI, 2008).

Devido às condições climáticas impostas pelo clima semiárido, o estado do Ceará tem a necessidade de manter seu esquema de manejo hídrico baseado na construção de reservatórios, destaca-se o fato de que o estado tem sofrido um longo período de estiagem nos últimos cinco anos. Dentre os reservatórios do estado, encontra-se o Castanhão, com 6,7 bilhões de m³ de capacidade, colocando-o como o maior para usos múltiplos da América Latina (MARTINS et al., 2007). Essa característica concede ao Castanhão uma importante ferramenta para o controle da seca no Ceará.

Atualmente, o Castanhão encontra-se com aproximadamente 7% de sua capacidade de armazenamento. O mesmo perdeu cerca de 60% do seu volume entre os anos de 2012 a 2017 (FUNCEME, 2018). Mas além da condição de redução de volume natural, as atividades antrópicas desenvolvidas em sua bacia de influência tornam-se potenciais geradores de impactos negativos, comprometendo assim o seu uso.

As questões relacionadas à água no Brasil, principalmente na região Nordeste, são resultado da intervenção altamente predatória sobre os recursos hídricos. Os problemas advêm basicamente da falta de um gerenciamento efetivo da água, que é degradada pelas pressões provenientes das atividades antrópicas exercidas nas bacias hidrográficas, como o lançamento deliberado ou tolerado de esgotos domésticos e industriais não tratados; e uso e ocupação inadequada do solo.

Neste sentido, estudos ambientais integrados são importantes ferramentas que auxiliam no processo de gestão dos recursos hídricos. Estes, por sua vez, estão cada vez mais sendo utilizados, seja em esfera nacional ou internacional. A adoção de abordagens integradas permeia os mais diferentes níveis de ensino e instituições, pois conseguem inter-relacionar os mais diferentes aspectos oriundos da relação estabelecida entre sociedade e natureza (FARIAS, 2015)

O modelo DPSIR (força motriz, pressão, estado, impacto e resposta), é um exemplo de abordagem integrada ambiental, que permite o acompanhamento das relações sociedade - meio ambiente e é considerado um padrão conceitual aceito internacionalmente, principalmente quando se trata da análise de sustentabilidade em bacias hidrográficas (CASADO 2007; BIDONE; LACERDA, 2004).

A presente pesquisa tem como objetivo, aplicar o modelo DPSIR para caracterizar e analisar as relações causa-efeito das atividades socioeconômicas exercidas na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão. Conta-se também com os objetivos específicos:

- (i) Identificar e caracterizar os principais vetores atuantes na bacia hidrográfica, bem como as pressões geradas por eles e os impactos provenientes dessas pressões.
- (ii) Quantificar e qualificar os impactos e relacionar o estado ambiental atual do reservatório com os mesmos.
- (iii) Promover uma avaliação sobre o estado ambiental e gerar respostas (mitigações) para possíveis impactos negativos.

A pesquisa estrutura-se em sete capítulos. O capítulo 1: INTRODUÇÃO, traz a delimitação do problema, justificativa, apresenta os objetivos geral e específicos e mostra uma síntese do conteúdo do trabalho.

O capítulo 2: FUNDAMENTAÇÃO TEORICO-METODOLÓGICA, aborda o referencial bibliográfico basilar do trabalho em questão e descreve a metodologia e os procedimentos metodológicos utilizados em seu desenvolvimento. Exprime os fundamentos conceituais inerentes à compreensão da bacia hidrográfica, reservatório e seus usos, fatores de emissão e a utilização de modelos conceituais que permitam integrar as relações socioeconômicas e ambientais.

O capítulo 3: ASPECTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO trata da caracterização ambiental e socioeconômica da área de estudo abordando as unidades geoambientais, geologia, solo, clima e recursos hídricos, vegetação e indicadores socioeconômicos da região estudada.

O capítulo 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO tem a estrutura DPSIR confeccionada a partir do levantamento de dados secundários e geração de dados primários para a área em questão. Mostra o cálculo do fator de emissão de

nitrogênio e fósforo para cada atividade econômica presente nas microbacias de influência do Castanhão, demonstrando qual contribui de forma mais negativa e aborda diretrizes que auxiliem na tomada de decisão frente aos impactos negativos gerados pelas atividades econômicas encontradas nas microbacias.

Por fim, o capítulo 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS: discutirá acerca dos resultados alcançados pela pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO METODOLÓGICA

2.1 Bacias Hidrográficas e o seu caráter ecológico como subsídio à gestão de recursos hídricos.

A bacia hidrográfica é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial, seu comportamento hidrológico é função de suas características morfológicas, ou seja, área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal e ações antrópicas nela exercidas (CUNHA; GUERRA, 2000).

Tucci (1997) define a bacia hidrográfica como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, compondo-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório. Porto e Porto (2008, p. 45), aborda o mesmo conceito como sendo:

“Um ente sistêmico. É onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos.”

Em termos de nomenclatura, percebe-se que diversas definições de bacia hidrográfica foram formuladas ao longo do tempo. Há nos autores uma grande semelhança e consideração deste recorte espacial, baseado na área de concentração de determinada rede de drenagem. Entretanto as definições que envolvem as subdivisões da bacia hidrográfica em sub-bacia e microbacia, podem apresentar abordagens diferentes tocando fatores que vão do físico ao ecológico.

Para Santana (2004), os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos. As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. As bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica

superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Vários autores utilizam-se de diferentes unidades de medida para determinar uma sub-bacia. Faustino (1996) determina que as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km². Martins et al (2005) adotam áreas entre 200 km² a 300 km².

Dentro da literatura que define as subdivisões da bacia hidrográfica, encontra-se também o termo microbacia. Uma série de conceitos são aplicados em sua definição, adotando critérios como unidades de medida, hidrológicos e ecológicos. Cecílio e Reis (2006) definem a microbacia como uma sub-bacia hidrográfica de área reduzida, cuja a área máxima varia de 0,1 km² a 200 km². Entretanto, Faustino (1996) afirma que várias microbacias formam uma sub-bacia e estas por sua vez, possuem toda sua área de drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia. Para o autor, uma microbacia deve ser inferior a uma área de 100km².

Um importante e relevante conceito, nos dias atuais, para microbacias é o ecológico. Autores como Mosca (2003) e Leonardo (2003) consideram-na a menor unidade do ecossistema onde pode ser observada a relação de interdependência entre os fatores bióticos e abióticos, e interferências antrópicas. Esse conceito visa à identificação e o monitoramento de forma orientada dos impactos ambientais.

O conceito de bacia hidrográfica cada vez mais vem sendo utilizado, como uma unidade ecossistêmica, como subsídio para o planejamento ambiental. Um sistema ecológico ou ecossistema é qualquer unidade que inclui todos os organismos em uma área interagindo com o ambiente físico, de modo que um fluxo de energia leve a estruturas bióticas claramente definidas e a ciclagem de materiais entre componentes vivos e não vivos, é mais que uma unidade geográfica, é uma unidade de um sistema funcional, com entradas, saídas e fronteiras que podem ser tanto naturais quanto arbitrarias. Portanto, a bacia de drenagem deve ser considerada a unidade mínima do ecossistema, quando se trata da compreensão humana e gestão de recurso. O estudo da área da bacia hidrográfica é o passo primordial para se conhecer o funcionamento dessa unidade hidrogeomorfológica, já que os comportamentos naturais e das atividades humanas são desenvolvidas ao longo de sua extensão de abrangência (ODUM; BARRET, 2005; TEODORO et al, 2007).

No início dos anos 1990 a gestão de recursos hídricos baseada nos conceitos de bacias hidrográficas foi impulsionada pela Declaração de Dublin sobre

Água e Desenvolvimento Sustentável, documento redigido na Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente, ocorrida em Dublin, Irlanda. Assim diz o primeiro princípio da declaração:

“Desde que a água sustenta a vida, a gestão eficaz dos recursos hídricos exige uma abordagem holística, vinculando o desenvolvimento social e econômico com a proteção dos ecossistemas naturais. Uma gestão eficaz conecta os usos da terra e da água em toda a área de uma bacia hidrográfica. (WMO, 1992).”

Para Yassuda (1993), a bacia hidrográfica permite essa abordagem integrada, pois a bacia é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural, sendo essa concepção a questão central que deve reger a gestão, pois é a integração dos vários aspectos que interferem no uso dos recursos hídricos e na sua proteção ambiental.

No Brasil a Lei n. 9.433, de 8.1.1997, traçou uma nova política de recursos hídricos e organizou o sistema de gestão, abordando a gestão por bacias hidrográficas. Atualmente o país possui em todo o seu território uma gestão de seus recursos hídricos organizada por bacias hidrográficas, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados. Há certamente dificuldades em se lidar com esse recorte geográfico, uma vez que os recursos hídricos exigem a gestão compartilhada com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições ligadas à atividade agrícola, gestão ambiental, entre outros, e a cada um desses setores corresponde uma divisão administrativa certamente distinta da bacia hidrográfica.

Priego e Cotler (2006) destacam que as bacias hidrográficas proporcionam um enquadramento adequado para a análise dos processos ambientais e requerem uma investigação detalhada considerando aspectos como solo, água e vegetação, os quais devem ser abordados por meio de ferramentas e conceitos integrativos.

A grosso modo, as definições de bacias hidrográficas seguem duas linhas: as de cunho mais técnico e físico, que descrevem o funcionamento da bacia considerando apenas os aspectos atuando na sua formação e funcionamento; e as de caráter mais integrado, onde é possível identificar uma inter-relação entre os

diversos aspectos aliados com outras variáveis que compõem as bacias, aspectos ambientais e socioeconômicos. (FARIAS, 2015; TUCCI, 2003).

A intensificação do uso e apropriação dos recursos naturais veio acompanhada da necessidade de se pensar em ações para conservar, preservar e garantir o seu aproveitamento para as gerações futuras. Frente ao caráter vital da água, destaca-se a importância de ações voltadas para os aspectos quantitativos e qualitativos, subsidiadas com base na adoção da bacia hidrográfica como uma unidade geográfica fundamental para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Inúmeras são as estratégias para se atingir esse objetivo, se destacando a adoção da bacia hidrográfica como categoria de análise que viabiliza o desenvolvimento de ações voltadas para o uso consciente da água. (CHRISTOFOLETTI, 1980; FARIAS, 2015).

2.2 Reservatórios: os usos, qualidade da água e a questão do semiárido

Os lagos são corpos d'água interiores sem comunicação direta com o mar e suas águas tem em geral, baixo teor de íons dissolvidos, quando comparadas às águas oceânicas. Os Reservatórios, por sua vez, são importantes lagos artificiais de usos múltiplos, formados a partir do represamento de um ou mais rios. São sistemas complexos, dinâmicos e apresentam respostas rápidas às mudanças ambientais. A construção desses sistemas hídricos tem por finalidade atingir objetivos como: regularização de cursos dos rios, reserva de água, fornecimento de energia através das hidroelétricas, irrigação, navegação e água para abastecimento público (ESTEVES, 2011; TUNDISI, 1999).

Nas regiões semiáridas tropicais, a escassez e a irregularidade da pluviometria, juntamente com a ocorrência de elevadas taxas de evaporação, provocam a perda de grande parte da água superficial, e causam a intermitência de quase toda a rede hídrica, o que constitui severo problema para a captação e armazenamento desse recurso. É o que ocorre em boa parte da região do Nordeste do Brasil, possuindo em seu passado uma história de secas que afetam de forma drástica sua população rural. Essas secas estão associadas às características climáticas da região, que possui grande variabilidade espacial e temporal na distribuição de chuvas, bem como a concentração de mais de 80% do total anual de precipitação ocorrendo num período de quatro meses (MAGALHÃES; GLANTZ, 1992; MOUNCILL, 2002).

Neste contexto, a construção de barragens e reservatórios é uma das principais pressões antrópicas que os cursos de água, no Brasil, estão submetidos (SOUSA, 2007; WARD; STANFORD, 1983).

No Nordeste brasileiro a construção de reservatórios teve início no tempo do Brasil Império, com a construção do açude do Cedro (CE); esses ecossistemas são de fundamental importância socioeconômica para a região. Considerando que a construção de barragens pode ser uma questão ambiental global, podemos supor que esta questão seja bastante importante no Estado do Ceará, onde praticamente todos os ambientes fluviais estão barrados, formando, segundo estimativas, em torno de 8.000 reservatórios variando de pequenos açudes em propriedade rurais até o maior deles, o reservatório Castanhão com 6,7 bilhões de m³ (ATLAS, 2007; ESTEVES, 2011; MARTINS *et al.*, 2007).

Os reservatórios são considerados ecossistemas lênticos, ou seja, suas águas são paradas, o que torna a diluição de poluentes menos eficaz do que em cursos de água. Esses ambientes em geral, contêm camadas estratificadas que passam por poucas misturas verticais, possuem pouco fluxo, sua taxa de renovação e troca de água pode levar anos em relação aos cursos de água. Como resultado, tornam-se mais vulneráveis à contaminação por escoamento ou descarga de nutrientes e substâncias tóxicas oriundas das atividades antrópicas exercidas no entorno do reservatório e em sua bacia de drenagem, em consequência disso, torna-se necessária à gestão do uso do solo e água para a manutenção da qualidade dos recursos hídricos. Assim, os reservatórios e as margens lacustres são ameaçados por uma ampla variedade de impactos humanos. (MARGALEF, 1986; MILLER, 2007).

O termo "qualidade de água", não se refere necessariamente a um estado de pureza, mas simplesmente às características químicas, físicas e biológicas, e que, conforme essas características, são estipuladas diferentes finalidades para o uso da água. Assim, a Política Normativa Nacional de Uso da Água, como consta na resolução número 20 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), estabelece parâmetros que definem limites aceitáveis de elementos estranhos, considerando os diferentes usos. Todavia, o conceito de monitoramento da qualidade da água é mais amplo do que a simples verificação de que os padrões legais de qualidade estão sendo atendidos ou não, deve-se sobretudo atender à

necessidade de responder sobre o que está sendo alterado e porque essas modificações estão ocorrendo. (BRAGA, 2009; MERTEN; MINELLA, 2002).

A poluição da água e consequente alteração de sua qualidade, é resultado do lançamento de matéria ou energia com intensidade, quantidade, concentração ou características discordantes dos padrões de qualidade ambiental estabelecidos em legislação, prejudicando seus usos preponderantes. As descargas orgânicas e inorgânicas provenientes das atividades antrópicas, quando destinados aos rios, lagos e represas provocam modificações de diferentes graus na qualidade da água. Grandes quantidades de nutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P) podem entrar nesses sistemas, alterando suas características físicas, químicas e biológicas (DERISIO, 1992; PINTO COELHO *et al.*, 1999).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, de número 357, considera que a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário pagador e da integração, bem como no reconhecimento de valor intrínseco à natureza, e que a saúde e o bem-estar humano, e também o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas (BRASIL, 2005).

Portanto, a construção de barragens, com a consequente formação de grandes lagos artificiais, produz diferentes alterações no ambiente, assim como também estão sujeitas a pressões antropogênicas após serem construídas. Essas modificações, podem tanto ser benéficas como prejudiciais. Nesse contexto, estudos sobre os impactos que um grande reservatório causa e sofre são indispensáveis para a manutenção do mesmo.

2.3 O modelo “força motriz, pressão, estado, impacto e resposta”: contexto e bases conceituais

As ocupações antrópicas feitas sem o devido planejamento causam alterações na qualidade ambiental dos ecossistemas. Essa realidade pode ser observada dentro de uma bacia hidrográfica, por ser considerada um sistema com um alto dinamismo entre o meio socioeconômico e ambiental.

Com intuito de se fazer um planejamento ambiental coerente, alguns indicadores vêm sendo utilizados como instrumentos de análise. Esses por sua vez,

permitem compreender as múltiplas dimensões do mundo real, atribuir-lhe um valor e importância com a finalidade de apoiar a tomada de decisões e gestão.

Para compreender e quantificar os impactos em bacias hidrográficas foram desenvolvidos indicadores adequados que comportem caracterizações rápidas, sensíveis, específicas, confiáveis e economicamente viáveis das condições da bacia hidrográfica para o planejamento e manejo, integrando as ciências naturais, e sociais e econômicas (SOARES, 2007).

Segundo Landim Neto e colaboradores (2014), os indicadores ambientais determinantes para a qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica podem ser identificados por meio dos: fatores naturais da paisagem; fatores sociais que interferem no sistema ambiental com base nas atividades desenvolvidas na área de influência da bacia hidrográfica estudada; degradação dos recursos hídricos, incorporados às formas de uso e ocupação da bacia; e o estado de poluição hídrica.

Muitas abordagens utilizadas para descrever o ambiente limitam-se à produção de informação que descreve a qualidade ambiental e alterações nessa qualidade em termos de carga de poluente ou quaisquer outros parâmetros químicos, físicos ou biofísico. Porém, tornou-se evidente que esses tipos de abordagens setoriais não são o suficiente para auxiliar na gestão de atividades potencialmente prejudiciais ao ambiente. Dessa forma, os indicadores ambientais passaram a integrar modelos conceituais que permitem uma descrição mais adequada de cada sistema.

Nas últimas décadas inúmeros modelos conceituais para orientar a organização das informações ambientais vêm sendo desenvolvidos e difundidos. Dentre eles, o modelo DPSIR, (força motriz, pressão, estado, impacto e resposta).

O modelo DPSIR é uma adaptação do modelo PSR (pressão, estado e resposta), desenvolvido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), com base no modelo original de pressão-resposta proposto por Friends e Raport, em 1979 (OECD, 1994). A OECD definiu três tipos de indicadores três tipos de indicadores descritos no quadro 1 e que compõem o modelo PSR.

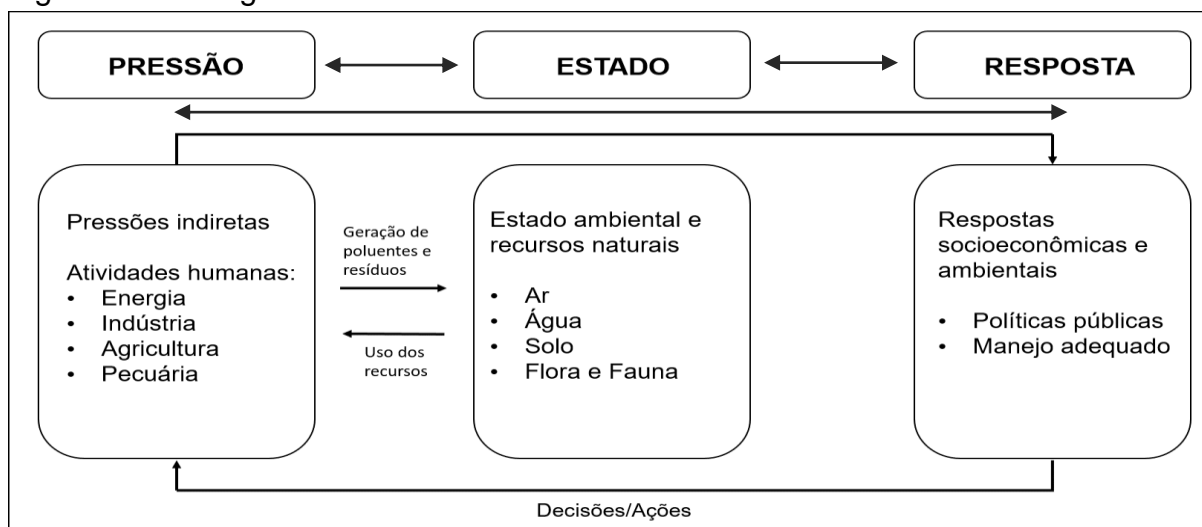
Quadro 1 – Indicadores do modelo PSR e suas definições

Indicador	Definição
Pressão ambiental	Considera a atividade humana como causadora de distúrbios e impactos ambientais.
Estado	Indicador que se caracteriza pela quantificação e qualidade dos recursos na presença da espécie humana.
Resposta	Determina a resposta social frente à pressão e qualidade dos recursos hídricos.

Fonte: Adaptado de OECD, 1994.

O PSR é o modelo com mais aceitação no mundo, em razão da sua simplicidade e facilidade de uso e pela possibilidade de ser usado em diferentes níveis e atividades humanas, é considerado um marco de referência para estruturação de indicadores. Baseia-se no fato de que as atividades humanas produzem pressões, estas podem afetar o estado do ambiente, levando a sociedade a apresentar respostas a esses problemas (CUNHA, 2002). A figura 1 exemplifica o funcionamento da estrutura PSR.

Figura 1 – Fluxograma demonstrando o funcionamento do modelo PSR



Fonte: Adaptado de OECD, 2001.

Posteriormente, a Agência Europeia do Ambiente (EEA) desenvolveu o modelo DPSIR adicionando dois novos componentes ao modelo PSR: *Driving forces* (Força Motriz) e *Impact* (Impacto), considerando-o uma versão mais sofisticada do PSR. Com o intuito de analisar problemas ambientais, estabelecendo relações de causa-efeito entre atividades antropogênicas e suas consequências ambientais e

socioeconômicas; reunindo ciências naturais, sociais e econômicas e considerando as atividades humanas como parte integrante do ecossistema (EEA, 1995).

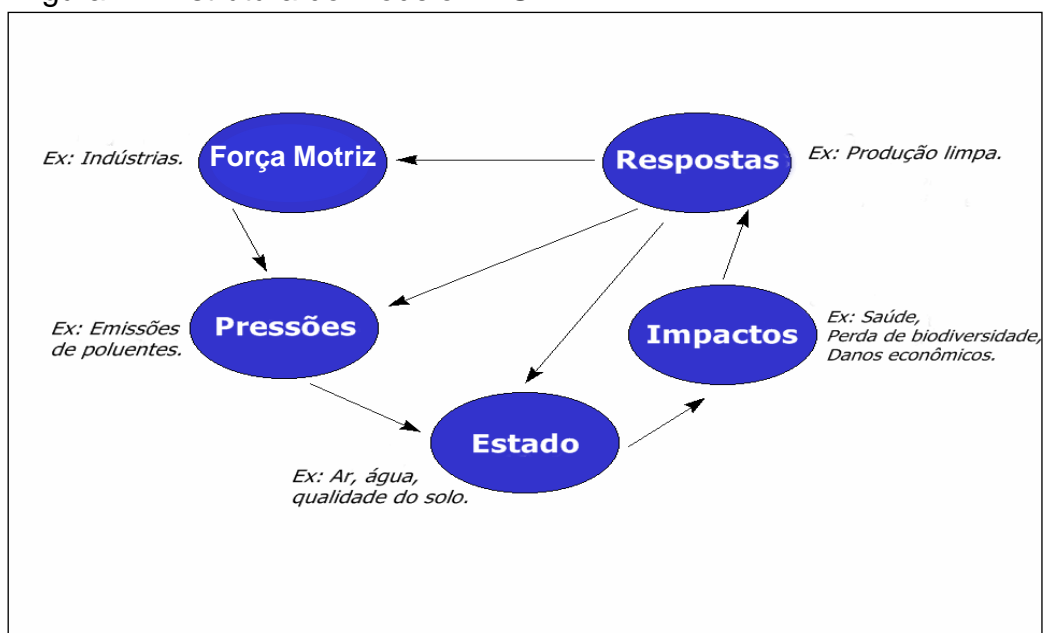
Landim (2016) afirma que o modelo DPSIR é utilizado em diversas regiões do mundo para mensurar e qualificar os impactos ambientais provenientes das ações humanas, como também estabelecer diagnósticos, prognósticos ambientais e construir instrumentos que subsidiem o planejamento ambiental e o desenvolvimento de políticas públicas condizentes com a realidade local, regional, nacional e global.

Ainda segundo o autor, a estrutura do DPSIR é capaz de agregar e organizar informações sobre as atividades humanas que exercem pressões sobre o ambiente, tais como emissões de poluentes ou mudanças no uso do solo, capazes de produzir impactos que podem induzir a mudanças no estado deste recurso. Logo, a sociedade responde às mudanças com políticas ambientais e econômicas, com o fomento de programas criados para prevenir, reduzir ou moderar pressões ambientais.

O DPSIR é considerado um modelo de avaliação integrada do meio ambiente, pois, define valores para as atividades humanas responsáveis por gerar pressões (forças motrizes); considera e mensura os elementos dos impactos ao ambiente, que exigem ações de resposta nos diferentes setores (ações políticas e macroeconômicas). Demonstra as interações do meio ambiente com o desenvolvimento social e econômico e é bastante útil para estruturar as informações necessárias. O estado do meio ambiente não pode ser compreendido sem que as pressões a que é submetido sejam entendidas (OLIVEIRA; LIMA; VIEIRA, 2005).

As cinco categorias de indicadores ocupam posições únicas na sequência e estabelecem relações entre si. A figura 2 exemplifica a estrutura do modelo e suas interações.

Figura 2 – Estrutura do modelo DPSIR



Fonte: Adaptado de EEA, 1999.

A EEA (2003), define cada categoria de indicadores da estrutura DPSIR (força motriz, pressão, estado, impacto e resposta) de acordo com o exposto no quadro 2.

Quadro 2 – Indicadores do modelo DPSIR e suas definições.

Indicador	Definição
Força motriz	Influências do homem e das atividades humanas que, quando combinadas com as condições ambientais, provocam mudanças no meio ambiente.
Pressão	Descrevem as variáveis que diretamente causam (ou podem causar) problemas ambientais. Como por exemplo: liberação de substâncias (emissões), agentes físicos e biológicos, uso de recursos e uso de terras.
Estado	Mostram uma descrição da qualidade e quantidade, da atual condição do ambiente.
Impacto	Descrevem os efeitos das mudanças de estado sobre as funções do meio ambiente, como a saúde humana, do ecossistema e a disponibilidade de recursos.
Resposta	Descrevem o esforço da sociedade para resolver os problemas, sejam eles na forma de políticas, leis, tecnologias limpas, dentre outros como as tentativas de prevenir, compensar, melhorar ou se adaptar às mudanças no estado do meio ambiente.

Fonte: Adaptado de EEA, 2003; SOARES et al, 2011.

Apesar do DPSIR ser considerado um ótimo modelo para uma avaliação ambiental integrada, algumas discrepâncias em sua aplicação são observadas. A modificação para a terminologia “DPSIR” é um dos fatores que contribuiu para tais discrepâncias. Frequentemente as mesmas variáveis são colocadas em diferentes categorias, embora os autores aleguem usar as mesmas definições para as categorias (GARI; NEWTON; ICELY 2015). Por exemplo, Borja et al. (2006), sugerem que a aquicultura pertence à categoria “força motriz”, enquanto para Lin et al. (2007), a atividade está incluída na categoria “pressão”.

Além das diferenças na colocação de variáveis, existe uma multiplicidade de terminologia em relação às categorias. As forças motrizes foram subdivididas como primárias e secundárias por Smeets e Weterings (1999); e como subjacentes e imediatas por Cooper (2012), para distinguir quais drivers induzem pressões de forma indireta e direta. Outros dividem as forças motrizes como físicas e socioeconômicas para distinguir entre fenômenos naturais e atividades humanas como é o caso de Bidone e Lacerda (2004); e como naturais e antropogênicos como Pinto et al., (2013). Para compensar as limitações percebidas do DPSIR, vários pesquisadores a utilizaram em combinação com outras metodologias.

Autores como Giupponi, Mysiak e Vargas (2002) e Walmsley (2002), afirmam que o DPSIR provou ser bastante eficiente no processo de tomada de decisão no contexto do gerenciamento sustentável dos recursos hídrico e análises de bacias hidrográficas.

A *Water Framework Directive* (WFD), uma iniciativa da Comunidade Europeia para a sustentabilidade dos recursos hídricos propõe três etapas para a análise das bacias hidrográficas através do modelo DPSIR, sendo elas (BORJA et al., 2006):

- (i) Descrever as forças motrizes, especialmente, uso do solo, desenvolvimento urbano, indústria, agricultura e outras atividades que causem pressões;
- (ii) Identificar as pressões com os possíveis impactos nos corpos hídricos e nos usos da água;
- (iii) Avaliar os impactos resultantes das pressões;

No Brasil, a Fundação Getúlio Vargas (FGV), em estudo de consultoria realizado para o Ministério do Meio Ambiente, no ano de 2000, intitulado

“Indicadores de Sustentabilidade para a Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil” também fez a proposição de grupos de indicadores de forças motrizes, pressão, estado, impacto e resposta. Partindo das forças motrizes definidas como saneamento básico, agricultura, energia, indústria, navegação e pesca; a consultoria também delineou indicadores de pressão, estado, impacto e resposta, referentes a cada força motriz citada.

O planejamento dos recursos hídricos passa por um período de reformulação de seus métodos de avaliação de desenvolvimento de procedimentos e técnicas correspondentes. A estrutura do modelo DPSIR tem se mostrado útil para descrever as relações entre as origens e consequências dos problemas ambientais em bacias hidrográficas.

2.4 Estimativas de cargas por fator de emissão: N e P em bacias hidrográficas

Um dos principais impactos gerados por atividades localizadas em bacias hidrográficas é o controle de fluxo por barragens para abastecimento de água. A construção de reservatórios gera uma diminuição significativa do fluxo fluvial a jusante, particularmente em períodos de estiagem, levando à concentração de substâncias presentes na água (LACERDA; MARINS, 2002).

Além das pressões ambientais que resultam em alterações no ambiente físico, as atividades humanas emitem para o meio ambiente diversas substâncias capazes de causar impactos negativos sobre a biodiversidade local, sobre a qualidade dos produtos explorados e eventualmente expondo populações humanas a concentrações elevadas de poluentes.

Para expressar o quão impactante é uma dada atividade, os fatores de emissão têm sido usados para a quantificação de cargas de poluentes a nível local, regional e global. Também são adotados como metodologia padrão por importantes agências ambientais (EEA, 1999; US EPA, 2002; NRC, 2003).

O fator de emissão é a expressão da quantidade de poluente por unidade de peso, área e tempo de uma determinada fonte. Portanto, reportam a quantidade de poluente equivalente emitida por unidade de atividade. Normalmente são usados quando há impossibilidade ou limitação para medição direta da carga de poluentes, usando estes fatores para estimar a dimensão destas cargas (CUNHA, 2010).

Segundo a USGS (2012), um fator de emissão é um número que representa a quantidade de um contaminante liberado para um corpo receptor, a partir de uma atividade associada a este fator.

Os nutrientes, Nitrogênio (N) e Fósforo (P), constituem uns dos principais elementos que em determinadas condições tornam-se potenciais poluidores aos corpos hídricos. São fundamentais para os ecossistemas aquáticos, pois compõe a base de crescimento fitoplanctônica e de toda a cadeia alimentar. Entretanto, a disponibilidade excessiva de nutrientes é bastante danosa ao meio, o principal impacto adverso do enriquecimento de nutrientes é a mudança do estado trófico do sistema. (CUNHA, 2010; ESTEVES 2011).

A eutrofização dos corpos d'água é um processo caracterizado pelo aumento de nutrientes, especialmente de fósforo e nitrogênio, o que pode provocar crescimento de algas e plantas aquáticas (produtividade primária e biomassa) que por sua vez, afeta a produtividade primária animal (produção secundária). Sendo assim, o fenômeno apresenta-se como um problema ambiental que afeta a biodiversidade aquática, a saúde humana e os usos múltiplos, causando prejuízos ambientais e econômicos. (SMITH, 2006; HOWARTH, 2008; BOBBINK *et al.*, 2010).

Segundo Esteves (2011), a eutrofização pode ocorrer de forma natural ou artificial sendo que, na última, os nutrientes podem ter diferentes origens, entre as principais destacam-se: esgotos domésticos, efluentes industriais e efluentes agrícolas.

A maior ou menor concentração de nutrientes em um corpo de água depende de inúmeros fatores, a interação do mesmo com sua bacia de drenagem é o fator primordial na determinação das características de suas águas. As cargas de nutrientes, embora praticamente impossíveis de medição direta, podem ser estimadas de forma razoável através das diferentes fontes naturais e antrópicas instaladas na bacia (LACERDA e SENA, 2005).

A abordagem empírica, relacionando cargas de nutrientes com eutrofização, tem sido realizada com sucesso (PAULA FILHO, 2014). Estimativas utilizando fatores de emissão, constituem uma importante ferramenta para o gerenciamento dos recursos hídricos e no desenvolvimento de estratégias de controle e mitigação de impactos por diferentes contaminantes, pois permite hierarquizar as principais forças motrizes naturais e antrópicas.

A formulação de inventários de fontes de contaminantes dos recursos hídricos contribui assim para o processo de gestão de bacias hidrográficas, fornecendo subsídios e demonstrando o quão impactante é uma dada atividade na emissão de um determinado poluente.

2.4.1 Ciclos biogeoquímicos dos nutrientes

Os elementos químicos circulam pela biosfera em caminhos característicos, que vão do ambiente para o organismo e vice-versa. Esses caminhos são conhecidos como ciclos biogeoquímicos. O movimento dos elementos e compostos inorgânicos essenciais à vida é designado de “ciclo dos nutrientes”. O nitrogênio (N) e o fósforo (P) são dois elementos vitais que limitam ou controlam a abundância de organismos (ODUM e BARRETT, 2007).

O nitrogênio em sua forma gasosa (N²) é o gás mais abundante da atmosfera, o elemento é essencial para o metabolismo e constituição molecular de proteínas, peptídeos e aminoácidos. De maneira simplificada, o ciclo do nitrogênio se resume em quatro etapas: (i) fixação, (ii) amonificação, (iii) nitrificação e (iv) desnitrificação (ODUM E BARRETT, 2007).

(i) Consiste na transformação do nitrogênio gasoso em substâncias aproveitáveis pelos seres vivos (amônia e nitrato) pela ação de bactérias específicas. Os organismos responsáveis pela fixação são bactérias.

(ii) Parte da amônia presente no solo, é originada pelo processo de fixação. A outra é proveniente do processo de decomposição das proteínas e outros resíduos nitrogenados, contidos na matéria orgânica morta e nas excretas.

(iii) Processo de conversão da amônia em nitratos.

(iv) Bactérias específicas são capazes de converter o nitrato em nitrogênio molecular, que volta a atmosfera fechando o ciclo.

O ciclo do fósforo (P) é um pouco mais simples que o do nitrogênio, porém não menos importante. A principal fonte de P na natureza são as rochas. O elemento também possui relevância em processos fundamentais dos seres vivos, como a composição de ácidos nucleicos, macronutrientes e metabolismo celular (ESTEVES, 2011).

O ciclo tem início quando as rochas sofrem intemperismo e liberam o íon fosfato no solo. Assim, esse composto pode ser carregado até os rios, oceanos e

lagos ou incorporado por seres vivos. Ao ser aproveitado pelos seres vivos, pode retornar à natureza durante a decomposição da matéria orgânica. As bactérias fosfolizantes atuam nesse processo e transformam o fósforo em um composto solúvel, que pode ser facilmente dissolvido na água. O fósforo pode ser levado para rios, lagos e mares. Em ambientes aquáticos, o fósforo pode ser aproveitado pelos seres vivos ou sedimenta e ser incorporado às rochas em formação (ODUM E BARRETT, 2007).

O ciclo do elemento supracitado pode ser dividido em duas etapas no que se refere a aspectos relacionados a escalas de tempo: ciclo de tempo ecológico, que ocorre em tempo mais curto, acontecendo quando uma parte dos átomos de fósforo é reciclada entre o solo, plantas, animais e decompositores; e o ciclo de tempo geológico que acontece quando outra parte dos átomos de fósforo é sedimentada e incorporada às rochas.

2.4.2 Fontes naturais de N e P para as bacias

As principais fontes naturais de N e P são a deposição atmosférica e a denudação física e química de solos.

A deposição atmosférica de nutrientes é parte integrante dos ciclos biogeoquímicos destes elementos. A transferência de gases, líquidos e sólidos nas interfaces ar-água e ar-terra constitui um dos principais mecanismos de ciclagem e redistribuição dos vários elementos químicos sobre a superfície do planeta, exercendo, portanto, um papel fundamental nos processos biogeoquímicos continentais). A entrada de nutrientes por essa fonte é dada em função da área da bacia e da concentração das substâncias químicas na deposição total (precipitação úmida e seca), corrigida pela taxa de retenção do elemento pelos solos (BURNS, 2004; SOUZA; DE MELLO; MALDONADO, 2006).

A outra fonte natural de nutrientes é a perda de solos. Para a denudação física e química dos solos, a lixiviação de solos naturais constitui-se em uma importante fonte de nutrientes para os corpos hídricos. Esse processo natural aumenta com a urbanização e a criação de áreas agrícolas e pastoris, sendo também dependente do tipo de uso de solo e climatologia de uma área da bacia (LACERDA; SENA, 2005; SILVA, 1996).

2.4.3 Fontes antrópicas de N e P para bacias

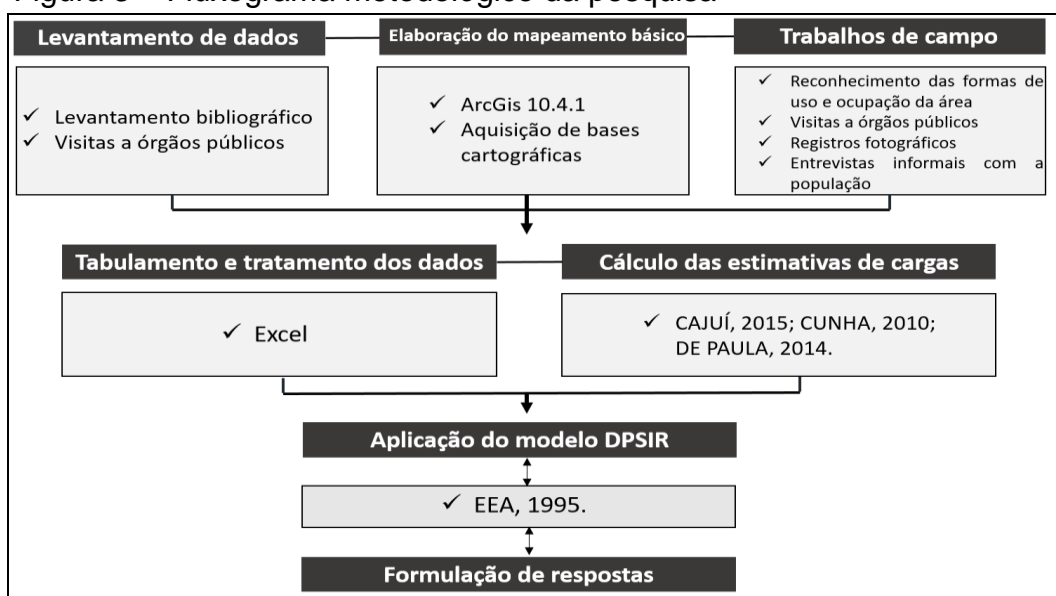
As atividades humanas estão baseadas na utilização de recursos naturais e na emissão de resíduos para o ambiente, tornando-se, portanto, fontes adicionais de nutrientes e em relação às fontes naturais oriundas da denudação e lixiviação de solos e da deposição atmosférica. (MOLISANI et al, 2013). A taxa de urbanização e as atividades agropastoris constituem umas das principais fontes de emissões para as bacias hidrográficas.

Larceda e colaboradores (2008), afirmam que a emissão de efluentes domésticos e industriais, junto com o escoamento superficial urbano e os resíduos sólidos são diretamente associados à taxa de urbanização registrada em uma dada bacia hidrográfica. Desta maneira, quanto mais urbanizada uma bacia tanto maior a emissão de N e P. Outra importante fonte de nutrientes citada pelos autores são as atividades agropastoris que através dos insumos agrícolas e dejetos animais contribuem para a entrada de nutrientes.

2.5 Procedimentos metodológicos

A presente pesquisa se divide em três etapas, pode-se observar o resumo dos procedimentos metodológicos que foram utilizados em seu desenvolvimento dispostos na figura 3.

Figura 3 – Fluxograma metodológico da pesquisa



Fonte: AVELINO, 2017.

2.5.1 Levantamento de dados, elaboração do mapeamento básico e trabalhos de campo

Nesta etapa, realizou-se um levantamento bibliográfico por meio de obras disponibilizadas em bibliotecas, como as da Universidade Federal do Ceará (UFC); nos laboratórios do Departamento de Geografia e Instituto de Ciências do Mar da UFC; em trabalhos pesquisados na internet como teses, dissertações e artigos publicados em periódicos; em informações disponibilizadas por órgãos públicos através da internet; e por meio de visitas à órgãos públicos como o DNOCS (sede em Jaguaribara) e às secretarias municipais de Deputado Irapuã Pinheiro, Jaguaribara, Jaguaribe, Jaguaretama, Milhã e Solonópole.

Em seguida, a elaboração do mapeamento básico para a caracterização da área de estudo contou com a aquisição das informações cartográficas, feita a partir de dados fornecidos por diversos órgãos e instituições governamentais, sendo eles:

- Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH)
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)
- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME)
- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE)
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
- Levantamento Geológico dos Estados Unidos (USGS)

O processamento e análise dos dados foram feitas utilizando o software ArcGis versão 10.4.1, sob licença do Laboratório de Cartografia (LABOCART), do departamento de Geografia da UFC. A projeção cartográfica utilizada para a confecção dos mapas foi a UTM (Universal Transverso de Mercator), tendo como datum geodésico o SIRGAS 2000, com escala de 1:500 000.

Para a delimitação da bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão utilizou-se um conjunto de ferramentas para análises hidrológicas disponibilizado para o software ArcGis, denominado de ArcHydro.

É fato que a pesquisa de campo é o contato direto com a realidade de um sistema. O trabalho contou com duas visitas a campo nos meses de março e julho de 2017. Durante os trabalhos em campo, realizou-se um reconhecimento das

formas de uso e ocupação da área, bem como os seus principais impactos ambientais, com suas possíveis causas e efeitos; entrevistas informais com a população residente, que auxiliaram na compreensão de como se deu o início da ocupação da área de estado e da atual estrutura socioeconômica; e registros fotográficos, que possibilitaram a representação visual da área em questão.

2.5.2 Tabelamento, tratamento dos dados e o cálculo das estimativas de cargas por fator de emissão

Para subsidiar a categoria “impactos” proposta pelo modelo DPSIR, o cálculo das estimativas de cargas de N e P foi feito com a finalidade de demonstrar e quantificar a significância de cada microbacia para o reservatório Castanhão, levando-se em conta a emissão de N e P provenientes das atividades econômicas desenvolvidas nas respectivas áreas.

Os cálculos das estimativas das cargas de nutrientes para uma determinada bacia hidrográfica são efetuados pelo uso de fatores de emissão, calculados a partir de parâmetros de produção e/ ou consumo das diferentes fontes antrópicas e do balanço químico de processos naturais.

Os fatores de emissão expostos neste estudo, foram adaptados de acordo com dados locais disponíveis em fontes estatísticas governamentais e órgãos internacionais.

O uso de parâmetros mais locais ou regionais, como as emissões de efluentes domésticos, deposição atmosférica e agricultura, contribui para diminuir as dúvidas associadas a metodologia.

As fórmulas utilizadas para os cálculos das emissões foram baseadas de acordo com estudos de estimativas de cargas realizados no Nordeste (adaptações) por CAJUÍ, 2015; CUNHA, 2010; PAULA FILHO, 2014, e estão dispostas no quadro 3.

Quadro 3 – Formulas para o cálculo de estimativa de cargas por fator de emissão

	Fontes	Fórmula	Legenda
Naturais	Deposição atmosférica	$EPDA = [FEDA \times (1 - TR) \times ABH] / 10^3$	EPDA = Emissão do nutriente proveniente da deposição atmosférica (t ano-1) FEDA = Fator de emissão para a deposição atmosférica, que relaciona a concentração de nutrientes presentes na água da chuva corrigida pela pluviosidade média anual da região (mg.m2.ano-1) TR = Taxa de retenção pelo solo ABH = Área da bacia (km2)
	Denudação dos solos	$EPDFQS = \Sigma (\text{Asolo} \times \text{CPolvente} \times \text{QP}) / 10^6$	EPDFQS = Emissão do nutriente proveniente da denudação dos solos (t ano-1) Asolo = Área ocupada por cada tipo de solo presente na bacia (km2) CPolvente = Concentração do nutriente em um dado tipo de solo (mg.g-1) Qp = Quantidade de solo perdido pela denudação (t.km-2.ano-1)
Antrópicas	Resíduos sólidos	$EPRSM = \Sigma [P \times QH \times CM \times FG \times TA \times (1 - TR) \times 365] / 10^9$	EPRSM = Emissão do nutriente proveniente dos resíduos sólidos municipais (t ano-1) P = População referente a cada município da bacia (hab) QH = Quantidade de resíduos sólidos produzidos por habitante (kg.hab-1.dia-1) CM = Concentração média de N ou P nos resíduos sólidos municipais (mg.kg-1) FG = Fator gravimétrico (0,514) TA = Taxa de adequação relacionada ao tipo de disposição final do resíduo (0,70) TR = Taxa de retenção pelo solo (a mesma coisa)
	Escoamento superficial urbano	$EPESG = \Sigma (\text{PRU} \times \text{QRU} \times \text{CESG} \times (1 - \text{TR}) \times \text{CR} \times 365) / 10^9 + \Sigma (\text{PURB} \times \text{QURB} \times \text{CESG} \times (1 - \text{TR}) \times 365) / 10^9$	EPESG = Emissão do nutriente proveniente dos efluentes domésticos (t ano-1) PRU e PURB = População urbana e rural em cada município (hab) QRU e QURB = Quantidade <i>per capita</i> de água consumida na zona rural e urbana (L.hab-1.dia-1) CESG = Concentração de N ou P no esgoto bruto (mg.L-1) TR = Taxa de retenção pelo solo CR = coeficiente de retorno da água (0,62)
	Efluentes domésticos	$EPRUNOFF = \Sigma [FERUNOFF \times \text{AURB} \times (1 - \text{TR})] / 10^6$	EPRUNOFF = Emissão do nutriente proveniente do escoamento superficial urbano (t ano-1) FERUNOFF = Fator de emissão para o escoamento superficial urbano, que é o produto da relação entre a concentração do nutriente no escoamento urbano (mg.L-1) e a pluviosidade média anual da região (mm.ano-1) AURB = Área urbana associada a cada município (km2) TR = Taxa de retenção pelo solo
	Agricultura	$EPAGR = \Sigma [\text{FEAGR} \times \text{Ap} \times (1 - \text{TR})] / 10^3$	EPAGR = Emissão do nutriente proveniente da atividade agrícola (t ano-1) FEAGR = Fator de emissão que relaciona a quantidade de N ou P aplicado como fertilizante (kg.ha-1) e o percentual de perda por tipo de cultivo. Ap = Área de produção de cada cultivo (ha.ano-1) corrigida pelo percentual da área do município inserido na microbacia. TR = Taxa de retenção nos solos
	Pecuária	$EPPEC = \Sigma [\text{FEPEC} \times \text{R} \times (1 - \text{TR})] / 10^9$	EPPEC = Emissão do poluente estimada para a pecuária (t ano-1). FEPEC = Produto da relação entre a produção de dejetos (kg.cabeça-1.dia-1) e a concentração de N ou P nos dejetos úmidos (mg.kg-1). R = Quantidade de animais em cada rebanho (cabeças) corrigida pelo percentual da área de cada município inserido na microbacia. TR = Taxa de retenção de N e P pelo solo.

Fonte: Adaptado de CAJUI, 2015; DE PAULA, 2014; CUNHA, 2010.

2.5.3 Utilização do modelo DPSIR (Força motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta)

Os elementos presentes no modelo DPSIR estão relacionados em uma cadeia de conexões. A avaliação das categorias da estrutura DPSIR e suas interações para a área de estudo foram feitas através do levantamento da informação já existente, visitas a campo e geração de dados primários pela pesquisa.

O quadro matriz proposto pelo modelo DPSIR identifica e descreve as principais forças motrizes socioeconômicas e ambientais, atuantes em cada subdivisão da microbacia do reservatório Castanhão, bem como as pressões causadas por essas, que podem alterar ou modificar a dinâmica ambiental da área de estudo. O modelo utilizado na presente pesquisa baseia-se no proposto pela Agência Europeia do Ambiente (EEA, 1995).

3 ASPECTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONOMICOS DAS MICROBACIAS DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO

A bacia hidrográfica de influência direta do reservatório Castanhão possui aproximadamente 6.080 Km² abrangendo um total de nove municípios: Alto Santo, Deputado Irapuã Pinheiro, Iracema, Juaguaretama, Jaguaribara, Jaguaribe, Milhã, Perreiro e Solonópole, conforme mostra a tabela 1 e o mapa 1. Todavia, apenas seis municípios apresentam representatividade para o estudo em questão, por terem suas sedes municipais e área significativa contidas dentro do perímetro da bacia.

Para fins de quantificação dos impactos provenientes das atividades econômicas desenvolvidas na bacia em estudo, a área total foi dividida em duas microbacias, que são microbacia do rio Jaguaribe e microbacia do Riacho do Sangue, com nascente situada no município de Deputado Irapuã Pinheiro. A justificativa se dá pelo fato de serem as principais fontes hídricas para o reservatório Castanhão.

Tabela 1 – Informações de áreas (Km²) dos municípios inseridos na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.

Município	Área total (Km ²)	Área contida na bacia (Km ²)	% do município na Bacia
Alto Santo	1.338	55	4
Dep. Irapuã Pinheiro	470	470	100
Iracema	821	108	13
Jaguaretama	1.759	974	55
Jaguaribe	1.876	1.877	100
Jaguaribara	668	597	89
Milhã	502	282	56,116
Pereiro	433	198	45,720
Solonópole	1.536	1.536	100

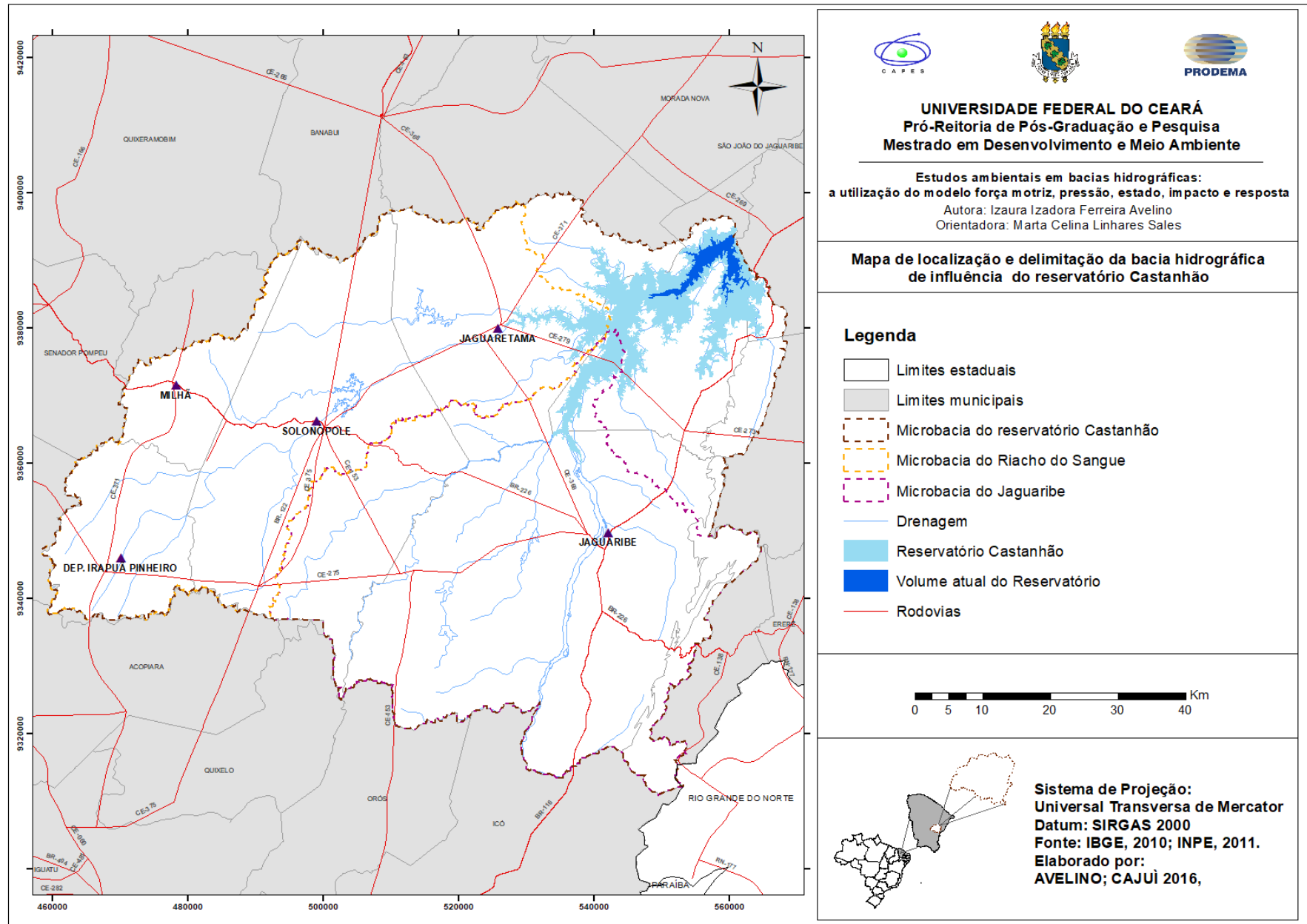
Fonte: IBGE, 2010.

O reservatório é o maior do Estado e foi completamente inundado em 2004, sendo de responsabilidade do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). A capacidade total de armazenamento é de 6,7 bilhões de m³, enquanto que a capacidade normal de operação é de 4,45 bilhões de m³.

Abrange uma área inundada de 325 km² e tem 48 km de extensão, com uma profundidade superior a 50 m em algumas áreas. Seus principais usos consultivos são: abastecimento humano, irrigação de agricultura e piscicultura em tanques-rede, que são fornecidos através da captação direta e pela perenização da porção do rio Jaguaribe a jusante da barragem (DNOCS, 2015).

De acordo com a Comissão Mundial de Barragens (2000), estas características classificam o Castanhão como um reservatório de grande porte. O mesmo faz parte de um projeto inserido no contexto da política de desenvolvimento do Nordeste e do Ceará, que inclui a transposição do rio São Francisco e as interligações das águas do interior do estado com a Região Metropolitana de Fortaleza e também com o Complexo Portuário Porto do Pecém (ARAÚJO,2006).

Mapa 1 – Localização e delimitação da bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.



O rio Jaguaribe nasce na serra da Joaninha, no município de Tauá, drena uma área de aproximadamente 75.669 km², correspondendo a praticamente 51,9% do Estado do Ceará. O rio percorre um trajeto aproximado de 610 km desde sua nascente até sua desembocadura no oceano Atlântico, entre as cidades de Fortim e Aracati (IBGE, 1999).

A bacia do rio Jaguaribe é subdividida em 5 setores principais: Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe e as sub-bacias do rio Salgado e do rio Banabuiú. A bacia do reservatório Castanhão encontra-se situada na sub-bacia do Médio Jaguaribe, abrangendo mais de 50%.

3.1 Caracterização ambiental

3.1.1 Unidades Geoambientais

A compartimentação das unidades geoambientais do Ceará, é resultado de uma concisa análise integrada dos aspectos naturais desta mesma região (relevo, vegetação, clima, solo, hidrologia). Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) o zoneamento geoambiental é um instrumento técnico voltado para o planejamento ambiental, proporcionando parâmetros e referências para uma reavaliação permanente do processo de planejamento, principalmente dos setores agrícola.

Souza (2005) afirma que a análise geoambiental deriva do estudo unificado das condições naturais que conduz a uma percepção do meio em que vive o homem e onde se adaptam os demais seres vivos.

Souza e Carvalho (2009) apontam que o conjunto dos componentes, processos e sistemas de meio físico-geográfico, são expressos através da concepção de unidade geoambiental ou geossistemas.

O termo “unidades geoambientais” teve como subsídio a Teoria Geral dos Sistemas (TSG), que adentrou na geografia física no início da década de 1960. Na TGS o estudo de sistemas tem como princípio básico a conectividade, surgindo os geossistemas como forma de analisar as paisagens geográficas complexas (BERTRAND, 1968; CHRISTOFOLETTI, 1999; SOTCHAVA 1977).

O estudo de Souza (2005) e da FUNCEME (2009) são os mais abrangentes, e apresentam nove unidades geoambientais, tendo como base de delimitação a geomorfologia, por sintetizar o conjunto dos componentes geoambientais. Com base em estudos de levantamentos setoriais, integração dos recursos naturais e do meio ambiente, técnicas de sensoriamento remoto aéreo e orbital e geoprocessamento, adotam-se procedimentos metodológicos capazes de conduzir à delimitação das unidades geoambientais.

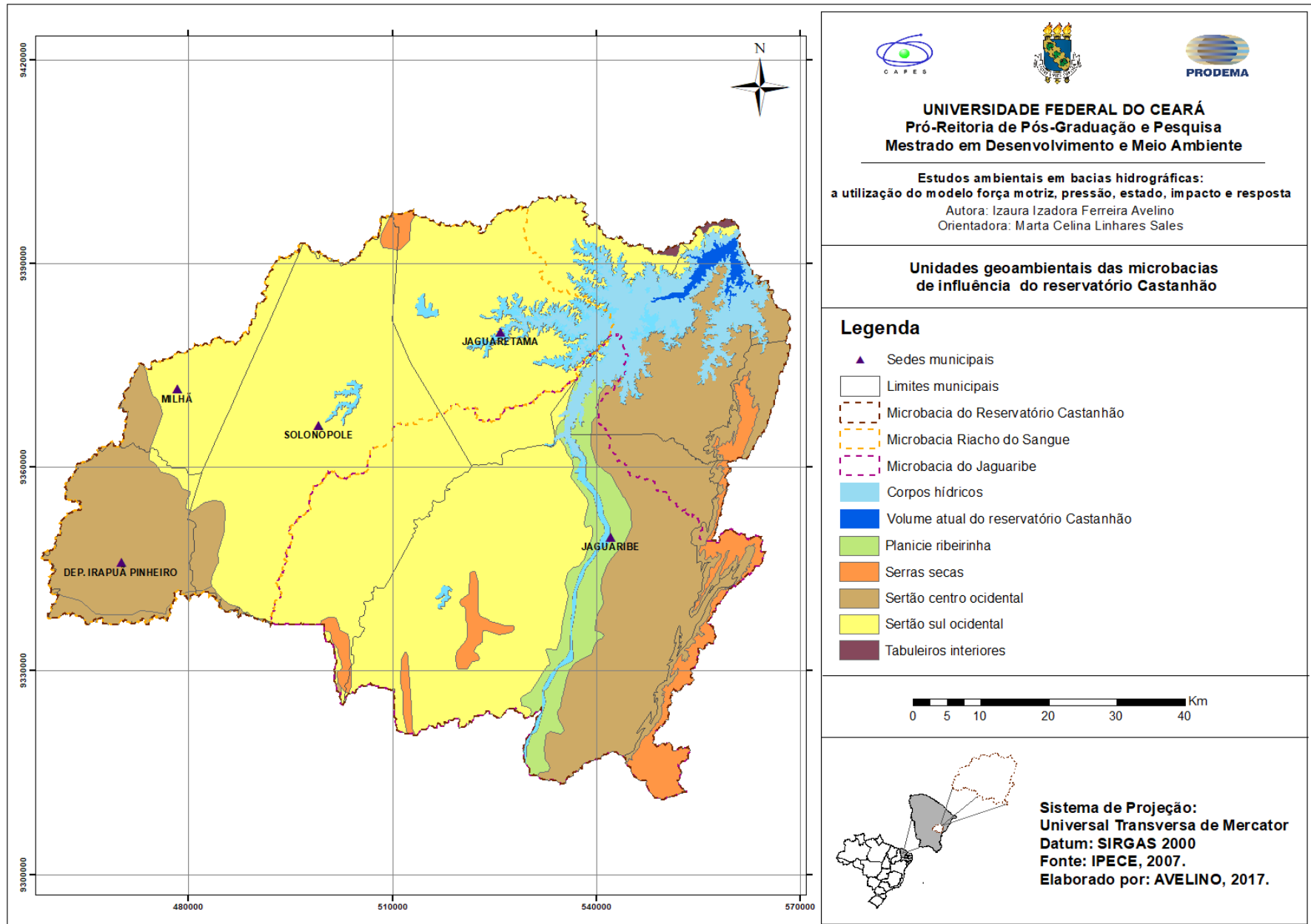
A bacia hidrográfica do reservatório Castanhão abrange cinco dessas unidades conforme demonstra o mapa 2: planície fluvial, serras secas, sertão ocidental, sertão sul ocidental e tabuleiros interiores. O quadro 4 define e caracteriza as unidades abrangidas pelo recorte espacial da bacia.

Quadro 4 – Unidades geoambientais inseridas na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão com suas definições e características

Unidade	Definição e características
Planícies fluviais	São constituídas por áreas amplas resultantes da acumulação fluvial e sujeitas a inundações periódicas. Situadas nas bordas dos rios. Nelas identificam-se solos aluviais profundos e com drenagem deficiente e eventuais problemas de salinização. Tem como uso predominante o agro-extrativismo. O mau uso pode causar a degradação da mata ciliar, poluição dos recursos hídricos, assoreamento dos rios e salinização do solo.
Maçiços residuais: serras e secas	São formados por áreas serranas dispersas pela depressão sertaneja, localizada nos sertões distantes da faixa litorânea com níveis altimétricos entre 500 e 700m. Possui uma rede fluvial densa com padrão dendrítico. Nas colinas há predominância de argissolos vermelho-amarelo com pequena espessura e fertilidade natural variando entre média e alta. Nas vertentes mais íngremes e nas cristas ocorrem neossolos litólicos e afloramentos rochosos. O revestimento vegetal primário é de mata seca ou de caatinga arbórea, fortemente descaracterizada pelo uso agrícola. Estas unidades vêm passando por um elevado processo de erosão motivado pelo desmatamento indiscriminado, o que provoca perda de solo e empobrecimento da biodiversidade.
Sertões do Sul	Possui superfície pediplanada nas depressões sertanejas semi-áridas ou subúmidas secas, truncando rochas cristalinas do complexo cristalino em níveis altimétricos entre 250-400m. O escoamento superficial tem rede de drenagem com padrão subdendrítico e com eventuais controles estruturais, além da predominância de regimes fluviais intermitentes sazonais. Possui argissolos vermelho-amarelo e luvissolos no topo. As altas vertentes das colinas sertanejas são revertidas primariamente por caatinga arbustiva, nos fundos dos vales as planícies fluviais são revestidas por mata ciliar. Esta área possui um uso agro extrativo com predominância das atividades de pecuária extensiva. Entre os principais problemas gerados pela ocupação nestas áreas está a susceptibilidade à degradação do solo a à desertificação.
Sertões do Centro-Norte	Constituem as áreas de superfície pediplanada nas depressões sertanejas semi-áridas ou subúmidas secas, possuindo níveis altimétricos entre 100-250m. A superfície aplainada tem inclinação suave em direção ao litoral com baixa amplitude térmica entre os interflúvios sertanejos e fundos dos vales. Possui um escoamento superficial com rios intermitentes sazonais com padrão subdendrítico. Os solos podem ser planossolos e neossolos litólicos em afloramentos rochosos nas áreas erodidas e aluviais nas planícies fluviais. No que se refere à vegetação há o recobrimento de caatinga arbóreo-arbustiva densa e eventualmente aberta. Esta vegetação está fortemente degradada pelo uso agroextrativo e pecuária extensiva.

Fonte: Adaptado de SOUZA, 2005 e FUNCEME, 2009.

Mapa 2 – Unidades geoambientais presentes na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão



3. 1. 2 Geologia e Solos

A região Nordeste os é definida por grandes estruturas geológicas denominadas bacias sedimentares e escudos cristalinos. No estado do Ceará, Souza (1988), afirma que as unidades morfoestruturais, encontram-se agrupadas em três domínios geológicos: Domínio dos depósitos sedimentares cenozóicos; Domínio das bacias sedimentares paleomesozóicas; e Domínio dos escudos e dos maciços antigos (cristalino). Para a identificação dessas unidades morfoestruturais, o autor utiliza como base os domínios estruturais, considerando desde elementos geotectônicos até a observação das litologias mais nítidas. Além disso, demonstrou o significado da estrutura a partir da disposição das rochas na superfície, dos modelos de estratificação e do comportamento das rochas em função da atuação dos processos morfoclimáticos.

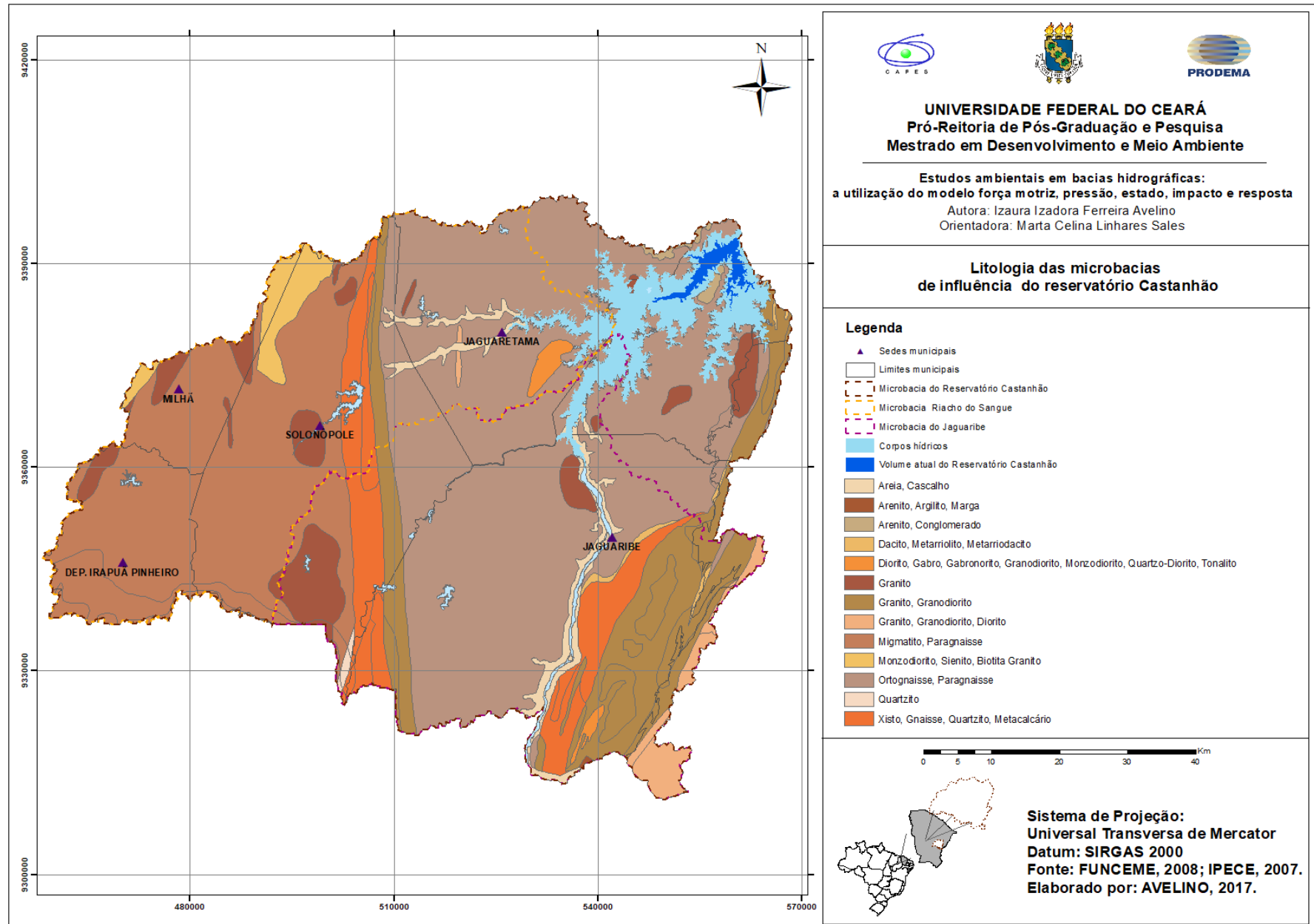
A área da bacia do reservatório Castanhão encontra-se inserida em sua maior parte no domínio do embasamento cristalino, a descrição da geologia foi baseada no estudo da CPRM (2003) e considerações feitas por Souza (1986). O quadro 5 e o mapa 3 apresentam a distribuição da litologia agrupados em formações encontrada na área de estudo.

Quadro 5 – Tipos de litologia encontrada na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão em seus respectivos domínios.

Domínio	Litologia
Domínio das sequencias vulcanossedimentares proterozóicas dobradas metamorfizadas de baixo a alto grau	Decito, Gnaise, Metacalcário, Metarriolito, Metarriodacito, Quartzito, Xisto
Domínio dos complexos gnaise-migmatíticos e granulitos	Migmatito, Ortognaise, Paragnaise
Domínio dos complexos granitoides deformados.	Diorito, Biotita, Granito, Granodiorito, Mongodiorito, Sienito
Domínio dos complexos granitoides intensamente deformados: ortognaisses	Granito, Granodiorito
Domínio dos complexos granitoides não deformados.	Diorito, Gabro, Gabronorito, Monzodiorito, Quartzo-Diorito, Tonalito
Domínio dos sedimentos cenozoicos e mesozoicos pouco a moderadamente consolidados, associados a pequenas bacias continentais do tipo rift	Arenito, Argilito, Marga
Domínio dos sedimentos cenozoicos pouco a moderadamente consolidados, associados a tabuleiros.	Arenito, Conglomerado
Domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso	Areia, Cascalho

Fonte: CPRM, 2003.

Mapa 3 – Litologia da bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão



Os solos são formados pela interação de diversos fatores do ambiente ao longo do tempo, os condicionantes climáticos, a morfologia dos terrenos, a geologia e o tipo vegetacional produzem uma vasta tipologia pedológica. A classificação de um solo é obtida a partir da avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil que o representam.

No Brasil, o Sistema Nacional de Classificação dos Solos (SiBCS) define treze ordens de solos para o país: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvissolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos.

De acordo com Pereira e Silva (2005), há treze classificações de solo para o estado do Ceará: Argissolos Vermelho-Amarelos, Chernossolo Argilúvico, Gleissolos, Latossolos Vermelho Amarelos, Luvissolos, Nitossolos Vermelhos, Planossolos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos, Cambissolos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Quartzarênicos e os Vertissolos.

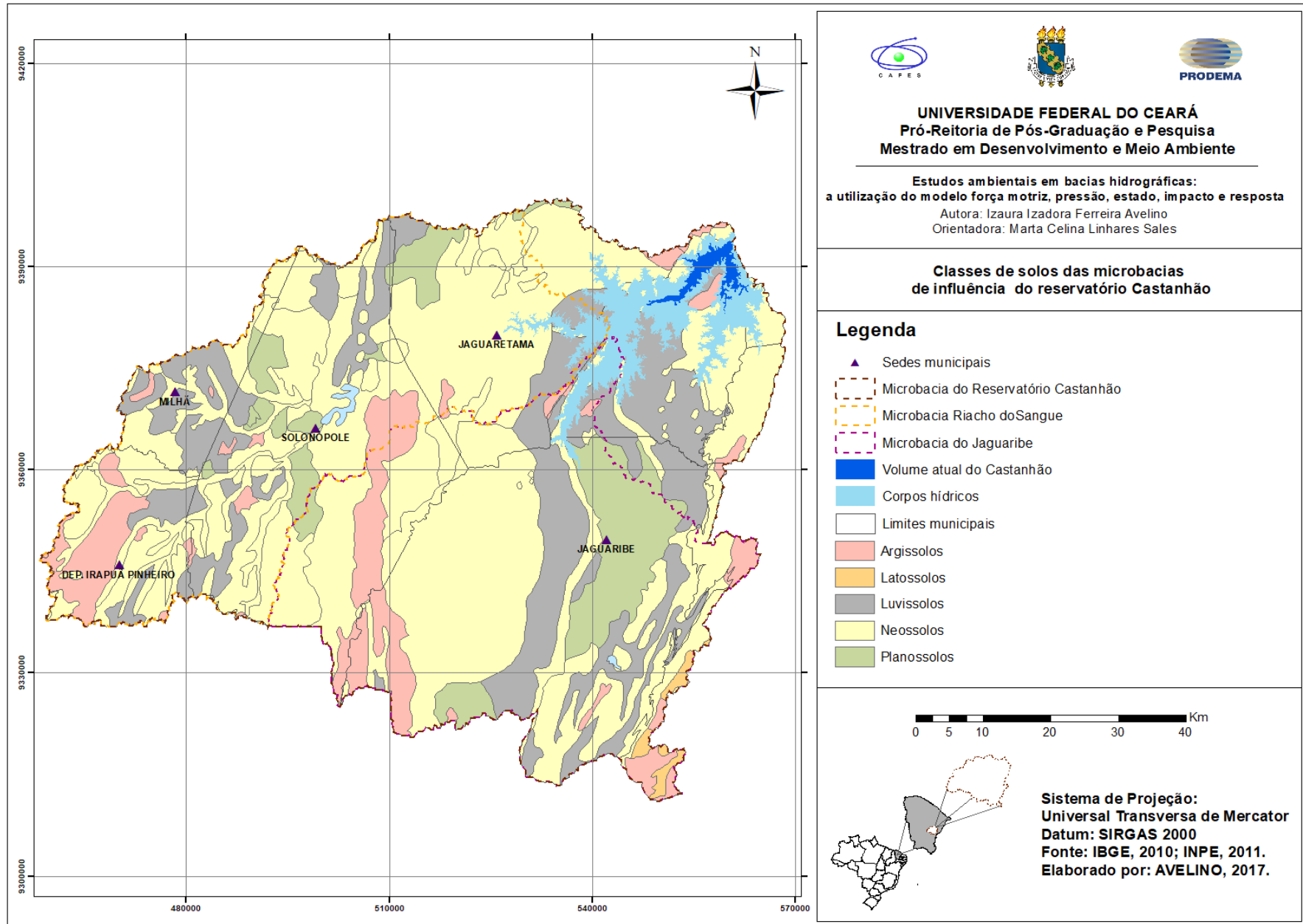
Na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão foram encontrados quinze tipos de solos distribuídos em cinco ordens. A predominância na área de estudo é de Neossolos, conforme demonstra o quadro 6 que traz de forma mais detalhada a classificação e o mapa 4 onde observa-se a espacialização dos tipos de solo encontrados.

Quadro 6 – Tipos de solos encontrados na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão e suas características

Ordem/Tipo	Características gerais
Argissolos vermelho amarelo	Solos minerais, não-hidromórficos, com horizonte A ou E (horizonte de perda de argila, ferro ou matéria orgânica, de coloração clara) seguido de horizonte B textural, com nítida diferença entre os horizontes. Apresentam horizonte B de cor avermelhada até amarelada e teores de óxidos de ferro inferiores a 15%. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos. Têm profundidade variadas e ampla variabilidade de classes texturais. Quimicamente são solos ácidos à moderadamente ácidos, podendo apresentar baixa ou alta fertilidade natural.
Latossolos Vermelho Amarelos	Solos minerais, não-hidromórficos, profundos (normalmente superiores a 2 m), com seqüência de horizontes A, B e C pouco diferenciados; as cores variam de vermelhas muito escuras a amareladas. A sílica (SiO ₂) e as bases trocáveis (em particular Ca, Mg e K) são removidas do sistema, levando ao enriquecimento com óxidos de ferro e de alumínio que são agentes agregantes, dando à massa do solo aspecto maciço poroso; apresentam estrutura granular muito pequena; são macios quando secos e altamente friáveis quando úmidos. São passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento.
Luvissolos	Solos com horizonte B textural, não hidromórficos e com argila de atividade alta. São de alta fertilidade natural, com alta saturação e soma de bases, reação moderadamente ácida a, praticamente, neutra, ou mesmo moderadamente alcalina, bem como conteúdo mineralógico que encerra quantidade significativa de minerais primários facilmente decomponíveis, os quais constituem fontes de nutrientes para as plantas. São solos moderadamente profundos a rasos, tendo, de modo geral, seqüência de horizontes A, B e C.
Neossolos Litólicos, Quartzarenicos, Regolíticos e Flúvicos.	Solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso, com insuficiência de manifestação dos atributos que caracterizam os diversos processos de formação dos solos, seja em razão de maior resistência do material de origem ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo) que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. São pouco evoluídos e sem a presença de horizonte diagnóstico. Podem apresentar alta (eutróficos) ou baixa (distróficos) saturação por bases, acidez e altos teores de alumínio e de sódio. Variam de solos rasos até profundos e de baixa a alta permeabilidade.
Planossolos	Solos minerais que apresentam desargilização (perda de argila) vigorosa da parte superficial e acumulação ou concentração intensa de argila no horizonte subsuperficial, conferindo como características distintivas marcantes, uma mudança textural normalmente abrupta ou transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B. Essa desargilização é responsável pela textura arenosa dos horizontes superficiais (A ou E).

Fonte: EMBRAPA, 2006.

Mapa 6: Tipos de solos encontrados nas Microbacias de influência do reservatório Castanhão.



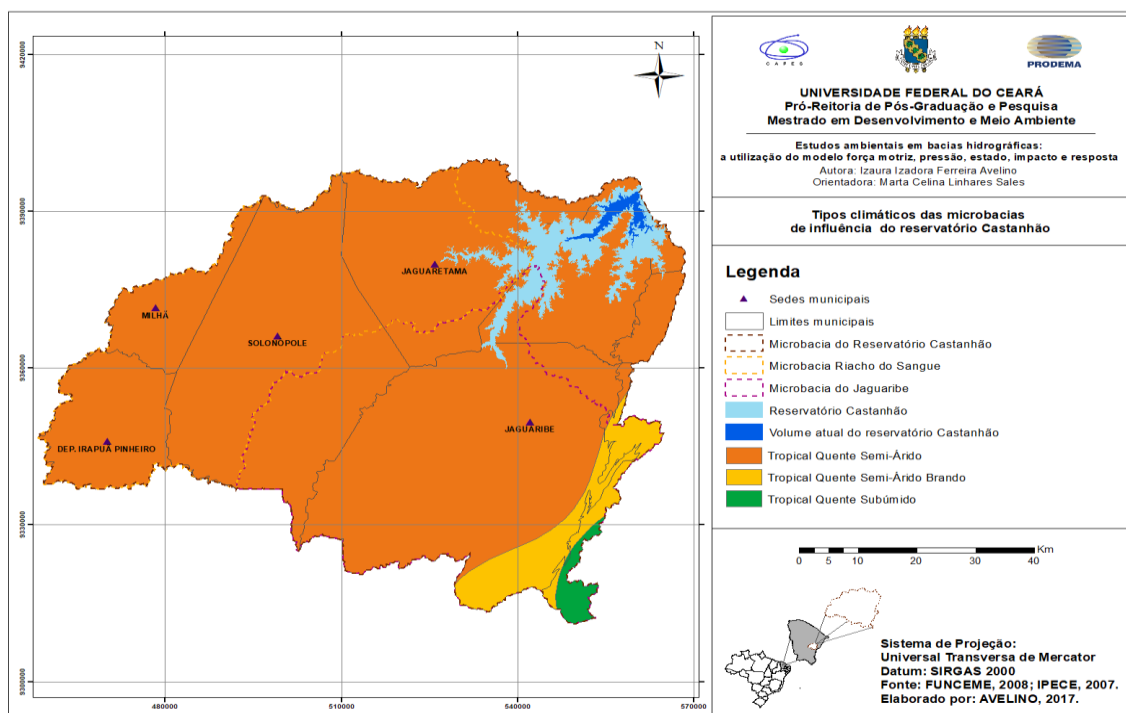
3.1.3 Clima e recursos hídricos

O principal sistema atmosférico atuante no semiárido nordestino é a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, consistindo em uma massa de ar que circunda a faixa equatorial do globo terrestre. Seus deslocamentos ao norte do equador fazem com que a estação de estiagem se acentue, e quando ao sul, carregam umidade do oceano ocorrendo a formação das nuvens (FUNCEME, 2011).

Zanella (2005) afirma que as chuvas se concentram, principalmente nos meses de fevereiro a abril, quando o estado fica sob a influência da ZCIT. As precipitações pluviométricas no Ceará caracterizam-se por um período chuvoso curto e irregular e um período seco prolongado. De forma geral o estado apresenta temperaturas médias anuais elevadas e baixa amplitude térmica, fruto de sua proximidade com o equador.

A bacia hidrográfica do reservatório Castanhão está inserida em sua maior porção na região climática do tipo Bshw (mapa 5), classificação climática de Köppen. Este clima pode ser definido como Tropical Quente Semiárido, apresentando regime de chuva irregular e deficiência hídrica de baixa (IPECE, 2007).

Mapa 5 – Tipos climáticos predominantes na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão



A precipitação média estimada da bacia hidrográfica entre os anos de 1974 a 2012 foi de 757,81 mm com temperaturas médias de 26° a 28° (FUNCEME, 2017). As características climáticas representadas pela sazonalidade das precipitações mantêm uma relação direta com o comportamento fluvial. As concentrações de chuvas em um curto período de tempo impõem a característica de intermitência a grande parte dos rios que correm no território estadual. Alguns já se encontram perenizados, como é o caso do rio Jaguaribe, barrado pelo reservatório Castanhão. (MAGALHÃES; SILVA, 2010; ZANELLA, 2005).

O reservatório supracitado conta com duas principais fontes de alimentação hídrica, o rio Jaguaribe e o riacho do Sangue.

3.1.4 Vegetação

Pode-se dizer que as características da vegetação são produtos da interação entre os componentes naturais (clima, solo, recurso hídrico, rochas e relevo). A vegetação do Ceará caracteriza-se pelo domínio do bioma Caatinga sobre maior parte do estado.

Figueiredo (1997) e Moro et al (2015) classificam as unidades fitoecológicas do estado em doze grandes grupos: complexo vegetacional costeiro, manguezal, cerrado e cerradão costeiros, carnaubal, caatinga do cristalino, mata seca do cristalino, mata úmida do cristalino, caatinga do sedimentar, mata seca do sedimentar e mata úmida do sedimentar.

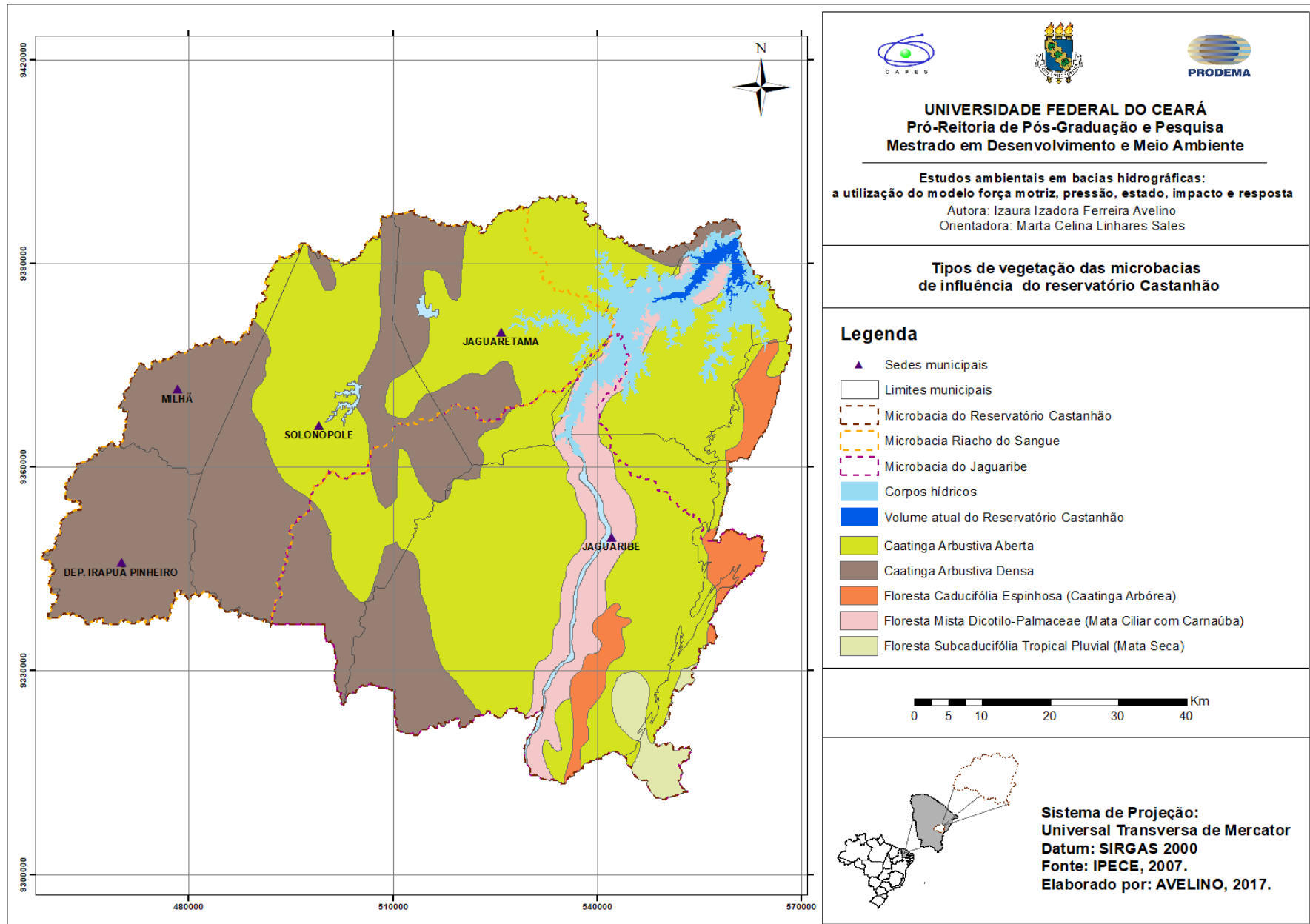
As unidades fitoecológicas existentes na área da microbacia do reservatório Castanhão podem ser observadas no mapa 6 e foram identificadas a partir dos dados fornecidos pela FUNCEME (1997), são as seguintes: caatinga arbustiva aberta e densa, caatinga arbórea, mata ciliar com carnaúba, e mata seca. O quadro 7 descreve de forma mais detalhada as unidades encontradas na bacia em questão.

Quadro 7 – Unidades fitoecológicas predominantes na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão

Unidade fitoecológica		Aspectos gerais
Caatinga do cristalino	Caatinga aberta	<p>A caatinga que cresce sobre a depressão sertaneja é considerada como uma única fitounidade: caatinga do cristalino, a qual poderá ser descrita em estudos na escala local por sua fisionomia como de porte arbóreo, arbustivo denso ou arbustivo aberto.</p> <p>Ocorre em solos rasos e pedregosos. É decídua, espinhosa e perenifólias.</p> <p>Espécies características: Anadenanthera colubrina, Cereus jamacaru, Combretum leprosum, Commiphora leptophloeos, Cordia oncocalyx, Croton blanchetianus, Handroanthus impetiginosus, Libidibia ferrea, Luetzelburgia auriculata, Mimosa caesalpinifolia, Mimosa tenuiflora, Piptadenia stipulacea, Poincianella gardneriana.</p>
	Caatinga arbustiva	
	Caatinga arbórea	
	Mata seca	<p>O sotavento das serras e as cotas altitudinais mais baixas recebem uma quantidade menor de chuvas provocando o aparecimento das matas secas. Nos maciços cristalinos, as matas secas se diferenciam das caatingas do cristalino pelo porte maior das árvores.</p> <p>Espécies características: Anadenanthera Colubrina var. cebil, Aspidosperma multiflorum, Aspidosperma ulei, Brosimum gaudichaudii, Capparidastrum frondosum, Ceiba glaziovii, Chloroleucon dumosum, Combretum duarteanum, Cordia glabrata, Cordia trichotoma, Hymenaea courbaril, Machaerium acutifolium, Pterocarpus zehntneri, Spondias mombin, Zeyheria tuberculosa.</p>
	Mata ciliar com carnaúba	<p>Vegetação típica que margeia os leitos dos grandes rios do semiárido brasileiro, embora possam ocorrer também ao redor de outros corpos hídricos como lagoas e lagoas.</p> <p>Crescem sobre os neossolos flúvicos, hidromorfos, plásticos, sujeitos a inundações durante parte do ano.</p> <p>Espécies características: Combretum laxum, Copernicia prunifera, Erythrina velutina, Ficus elliotiana, Geoffroea spinosa, Guazuma ulmifolia, Licania rigida, Maytenus obtusifolia, Sapindus saponaria, Sebastiania macrocarpa, Tarenaya spinosa, Ziziphusjoazeiro.</p>

Fonte: MORO et al, 2015.

Mapa – 6 Tipos de vegetação da bacia hidrográfica do reservatório Castanhão



3.2 Aspectos socioeconômicos

O levantamento de informações socioeconômicas de um determinado município demonstra a forma como as atividades ou bens de uso coletivo estão sendo utilizados. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) foi utilizado afim de expor as características sociais dos municípios inseridos na bacia em estudo. O IDH, foi construído para medir o desenvolvimento humano a partir de indicadores relativos às dimensões de Educação, Longevidade e Renda. O IDH de cada município é fruto da média aritmética simples desses três subíndices, sendo que o mesmo varia de 0 (nenhum desenvolvimento humano) a 1 (desenvolvimento humano total). Municípios com índice variando de 0,600 a 0,699 são qualificados como possuindo médio desenvolvimento humano, como é o caso de todos os municípios presentes na bacia hidrográfica conforme demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 – Aspectos demográficos e sociais dos municípios inseridos na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão

Município	Demografia		IDH
	Pop. Urbana	Pop. Rural	
Dep. Irapuã Pinheiro	4.133	4.962	0,609
Jaguaretama	8.469	9.394	0,612
Jaguaribara	3.539	5.191	0,618
Jaguaribe	23.268	11.141	0,621
Milhã	5.969	7.117	0,626
Solonópole	9.106	8.559	0,625

Fonte: IBGE;2010; IPECE, 2016.

Quanto aos aspectos econômicos, levou-se em consideração o Produto Interno Bruto (PIB), que representa a soma, em valores monetários, de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região durante um determinado período. Entre os municípios destaca-se o setor econômico terciário entres os municípios, seguido pelo setor secundário, as especificações dos dados podem ser observadas na tabela 3.

Tabela 3 – Dados socioeconômicos referente aos municípios inseridos na bacia hidrográfica de influência do reservatório Castanhão

Município	PIB (R\$ mil)	Per capita (R\$ 1,00)	PIB por setor (%)		
			Agropecuária	Indústria	Serviços
Dep. Irapuã Pinheiro	47.287	5.052	15,73	2,68	81,59
Jaguaretama	107.976	5.985	21,34	4,62	74,04
Jaguaribara	120.471	11.061	48,55	4,09	47,36
Jaguaribe	345.656	9.966	10,07	21,10	68,83
Milhã	71.889	5.443	21,37	3,21	75,42
Solonópole	100.591	5.581	17,35	3,46	79,19

Fonte: IBGE;2010; IPECE, 2016.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em quatro tópicos. O primeiro traz a elaboração e apresentação do quadro geral do modelo DPSIR. Em seguida, as forças motrizes foram descritas, caracterizadas e relacionadas com suas possíveis pressões. O terceiro tópico atribuiu valores a categoria “impactos” por meio do método de estimativa de cargas, demonstrando hierarquicamente a gravidade dos mesmos. Por fim, no último tópico, há a construção da categoria “respostas” gerada mediante a quantificação e classificação dos impactos negativos.

4.1 Elaboração do quadro DPSIR

O quadro DPSIR (quadro 8) apresenta as principais forças motrizes naturais e antrópicas observadas em campo, bem como as categorias “pressões” e “impactos” provenientes destas. Deve-se ressaltar que as a categoria “força motriz” baseia-se no aporte dos elementos nitrogênio e fósforo para a bacia hidrográfica em estudo. A categoria “estado” traz referenciais a serem adotados para uma bacia sem intervenção antrópica.

Dentre as forças motrizes naturais, observadas em campo, que afetam o meio ambiente da bacia, encontram-se as variáveis relacionadas ao regime climático, como as entradas atmosféricas e denudação física e química dos solos. Dentre as antrópicas, destacam-se as fontes difusas de contaminação e alteração ambiental, relacionadas com a agropecuária e a urbanização. Mostrando uma visão geral englobando os componentes do modelo, o quadro foi montado a partir em do levantamento e geração de dados gerados durante a pesquisa.

Quadro 8 – Matriz DPSIR apresentando as principais forças motrizes, pressões, impactos e referencial a ser utilizado na categoria “estado” observadas na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão

Força Motriz	Pressões	Impactos	Estado (Referencial utilizado) ¹
Entradas atmosféricas	Aporte de nutrientes	-	-
Denudação física e química dos solos	Aporte de nutrientes	-	-
Agricultura	Aumento de carga de nutrientes Altera carga de metais Diminuição da oferta de água	Negativos: -Anoxia -Aumento da erosão -Contaminação -Diminuição da biodiversidade -Eutrofização -Sedimentação -Turbidez	Contribuição das emissões naturais de N e P (t ano ⁻¹): - Entradas atmosféricas - Denudação física e química dos solos
Pecuária	Aumento de carga de nutrientes		
Urbanização	Aumento de carga de nutrientes Aumento de DBO Introdução de patógenos Altera carga de metais	Positivos: -Geração de emprego -Movimentação da economia.	

Fonte: A autora. 1. Estimativa de cargas.

4.2 Relação forças motrizes/pressões/impactos presentes na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão

4.2.1 Agricultura

A agricultura moderna, faz o uso indiscriminado de fertilizantes, pesticidas, herbicidas e inseticidas para combater pragas. As formas indevidas de manejo do solo fazem com que esses insumos, ricos em nutrientes, sejam arrastados para os corpos hídricos através das chuvas. Segundo dados da Associação Internacional da Indústria de Fertilizantes, o consumo de fertilizantes (NPK) cresceu 24% no mundo e 14% na América Latina. No Brasil, seu consumo triplicou a partir da década de 1990. Em relação ao *ranking* do consumo mundial dos produtos fertilizantes, o Brasil é o quarto maior consumidor (ANDA, 2011).

Para Cunha (2010), entre as principais pressões e impactos estão a erosão e a salinização dos solos; poluição dos recursos hídricos por nutrientes e agrotóxicos através das águas de drenagem de terrenos agriculturados; a contaminação humana e dos alimentos; o desmatamento; a diminuição da biodiversidade e a dilapidação dos recursos não renováveis, bem como a diminuição do volume d'água dos reservatórios.

Para a região em estudo, a agricultura destaca-se no PIB dos municípios abrangidos como uma das principais atividades econômicas. Na tabela 4 são listadas as culturas presentes em cada microbacia, bem como sua produção e área colhida.

Tabela 4 – Cultura, produção e área colhida para as microbacias Jaguaribe e Riacho do sangue.

Cultura	Microbacia rio Jaguaribe		Microbacia Riacho do Sangue	
	Produção Ton/ano	Área (ha)	Produção Ton/ano	Área (ha)
Algodão	0	0	85	180
Banana	196	7	224	14
Batata doce	54	9	4	0,3
Castanha	62	270	42	154
Coco (1000 frutos)	365	30	48	6
Feijão	1.844	2.820	1.709	6.626
Goiaba	840	56	0	0
Mamão	600	8	0	0
Mamona	0	0	22	228
Manga	12	2	13	2
Mandioca	216	12	20	0,9
Milho	2.167	1.600	3.044	7353
Total	6.356	4.814	5.211	15.164

Fonte: IBGE, 2014; ADECE; 2016.

Observa-se que a produtividade maior se concentra na microbacia do rio Jaguaribe, porém a microbacia do Riacho do Sangue possui menor extensão territorial mas detém maior área colhida. Destaque para as culturas com maior produção, feijão e milho sequeiro, técnica agrícola muito comum em áreas com baixa pluviosidade e que possuem solos firmes, uma forma de agricultura bem presente no sertão nordestino. A figura 4 mostra um pequeno cultivo familiar de

milho saqueiro as margens do Riacho do Sangue (lado A), o lado B, mostra a cultura do milho no município de Jaguaribe.

Figura 4 – Agricultura familiar no município de Jaguaribetama



Fonte: Acervo pessoal.

Ressalta-se também dois principais perímetros de agricultura irrigada observados na área da bacia hidrográfica em estudo, o perímetro Curupari com 447 hectares e o perímetro Alagamar, com 312 hectares.

4.2.2 Pecuária

Lacerda et al. (2003) consideram que em áreas rurais, as principais pressões provenientes da pecuária são as fontes de nutrientes e de alguns metais pesados, sendo estes menos significativos, para águas superficiais. Ocorrendo assim, a poluição dos corpos d'água pelo aporte de dejetos animais que podem ser carregados por sedimentos em processos erosivos.

A partir do solo, os nutrientes podem ser perdidos para as reservas de água subterrânea e para os corpos d'água superficiais. Entretanto, a transferência de nutrientes não ocorre de forma direta, pois, cerca de 10% do N e P consumido pelo animal, é incorporado ao crescimento de sua biomassa. O restante da carga de nutrientes produzido pela pecuária, liberada sob forma de dejetos, tende a ser incorporada ao solo, particularmente na criação extensiva. Cerca de 40 a 65% da carga incorporada ao solo é absorvida pelas plantas nativas ou cultivadas. Estima-se que, de 20 a 35% do nitrogênio e de 35 a 60% do fósforo presente nos dejetos animais, sejam eventualmente exportados para águas superficiais e daí para os reservatórios (BOUWMAN; BOOIJ 1998; NRC, 1993).

Juntamente com a agricultura, a atividade ocupa primeiro lugar no PIB por setor dos municípios abrangidos pela bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.

A tabela 5 mostra os tipos de criação exercidos em cada microbacia, bem como sua quantificação em termos produtivos

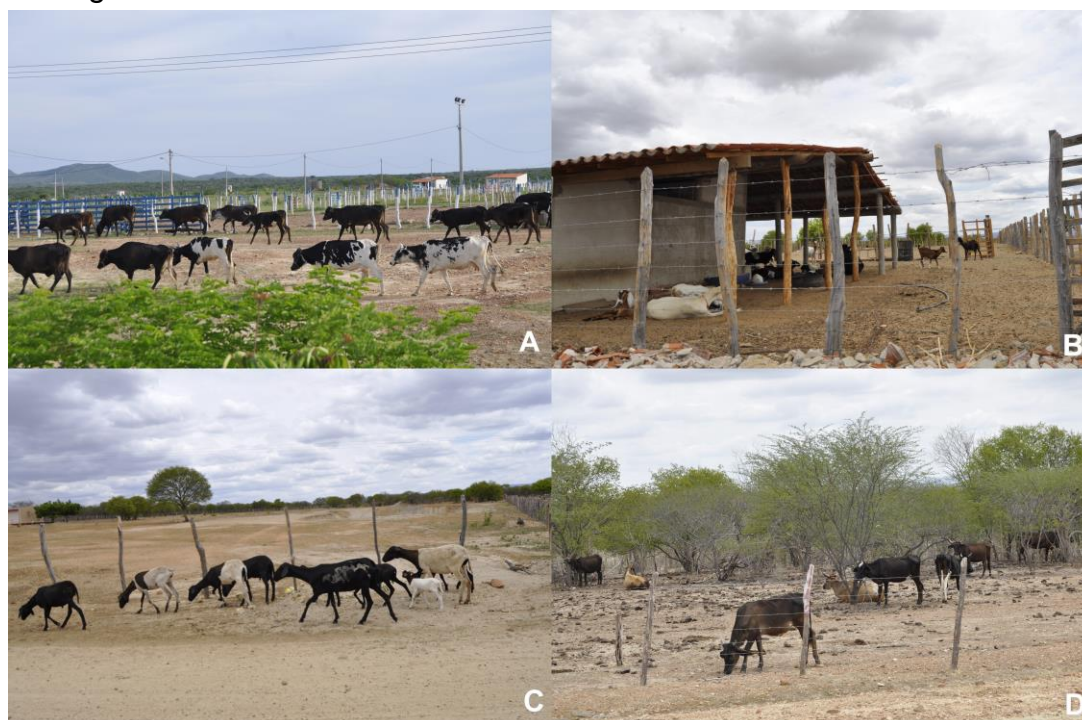
Tabela 5 – Tipos de criação e total de cabeças para cada microbacia

Tipo de criação	Microbacia rio Jaguaribe	Microbacia Riacho do Sangue
	Total de cabeças	Total de cabeças
Bovinos	62.826	70.625
Caprinos	20.955	17.373
Equinos	2.667	2.226
Galináceos	178.007	114.812
Suínos	14.062	9.323
Ovinos	67.315	62.494
Total	354.832	276.853

Fonte: IBGE, 2016.

A microbacia do rio Jaguaribe, maior em extensão territorial comparada a do Riacho do Sangue, também possui maior produtividade por total de cabeças de tipos de criação no setor pecuário. Na região predomina-se a técnica da pecuária extensiva para bovinos, caprinos, equinos e ovinos, realizada tanto em grandes latifúndios quanto em pequenas áreas familiares. A figura 5 registra um exemplo de criação extensiva de bovinos nos quadrantes A e D, em latifúndio e pequenas áreas, respectivamente. Em B e C registra-se a criação de caprinos, também em pequenas áreas familiares. Ambas imagens foram capturadas no município de Jaguaribe.

Figura 5 – conjunto de fotos mostrando a criação semiextensiva de bovinos e caprinos em áreas de latifúndio e pequenas áreas familiares no município de Jaguaribe



Fonte: Acervo pessoal.

4.2.3 Urbanização

O crescimento dos centros urbanos e povoados em direção a reservatórios d'água é um fator preocupante. Tal situação pode contribuir para aumentar os riscos de contaminação das águas lá represadas, com efluentes sanitários, hospitalares e/ou industriais, além dos resíduos sólidos de diversas fontes, uma vez que estes mananciais servem de fonte hídrica para abastecimento humano. Pode-se dividir em três, os principais fatores da urbanização:

Efluentes domésticos: As emissões provenientes dos esgotos domésticos são importantes fontes de nutrientes e metais para as águas superficiais e são diretamente proporcionais ao número de habitantes, ao consumo de água por habitante, corrigida pela taxa de retorno de 80% para as águas distribuídas na rede de abastecimento, e à concentração destes elementos químicos nos efluentes, que, geralmente, possuem reduzida variabilidade. Quando não existem estações de tratamento, a carga de nutrientes a partir da emissão de efluentes domésticos é diretamente proporcional à população e a taxa de retorno da água que é utilizada

pelos habitantes da bacia, uma vez que as concentrações de N e P em águas residuais variam dentro de uma faixa estreita (VON SPERLING, 2005; IBGE, 2012).

De acordo com Von Sperling (1996), as concentrações de nutrientes nos esgotos variam entre 35 – 70 mg N.l⁻¹ e 5 – 25 mg P.l⁻¹. A tabela 6 traz em números a porcentagem dos tipos de esgotamento sanitário dos municípios inseridos na bacia hidrográfica em questão.

Tabela 6 – Tipos de esgotamento sanitário dos municípios inseridos na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão

Município	Total de Domicílios	Tipo de esgotamento sanitário (%)			
		Rede pluvial	Fossa séptica	Outra	Sem banheiros
Dep. Irapuã Pinheiro	2.762	0,76	1,30	75,60	22,34
Jaguaretama	5.262	4,26	1,51	82,78	11,45
Jaguaribara	2.814	50,50	6,65	36,89	5,97
Jaguaribe	10.138	49,85	4,23	38,07	7,84
Milhã	3.837	8,89	13,27	65,62	12,22
Solonópole	5.292	11,83	1,15	75,62	11,39

Fonte: IBGE, 2010; IPECE 2017.

Aproximadamente 30.105 domicílios estão inseridos na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão. Desse total, apenas 25% possui rede pluvial para coleta de esgoto sanitário. Quatro por cento do esgoto destina-se a fossa séptica, 10% por cento dos municípios não possuem banheiro e 61% possuem outra forma de destinação do esgoto. A microbacia do Riacho do Sangue possui aproximadamente 57% do número total dos municípios inseridos em seu recorte espacial, porém, apenas 7% dos municípios possuem rede pluvial. A microbacia do Jaguaribe apresenta maior quantidade de domicílios com destinação adequada para o esgoto, com 50% de rede pluvial. A figura 6 registra o lançamento de efluentes domésticos de forma indiscriminada no município de Jaguaretama.

Figura 6 – lançamento indiscriminado de efluentes domésticos em Jaguaretama



Fonte: Prefeitura de Jaguaretama.

Escoamento superficial urbano: as áreas urbanizadas são consideradas como uma significativa fonte difusa de contaminantes para o ambiente por meio da lixiviação. A lavagem dos telhados, paredes e ruas de uma cidade pela água da chuva arrasta uma quantidade não desprezível de poluentes, que eventualmente chegam aos rios receptores das águas das bacias hidrográficas. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), em seu Inventário Nacional de Qualidade da Água, identificou o escoamento urbano como uma das principais fontes para o comprometimento da qualidade da água superficial (PAULA FILHO, 2014; USEPA, 2002).

Segundo Cunha (2010), as águas provenientes do escoamento superficial urbano têm influência significativa na qualidade dos corpos receptores e a origem dos poluentes carregados pelo escoamento é bastante diversificada, a abrasão e o desgaste de vias públicas pelo tráfego de veículos, o lixo acumulado nas ruas e calçadas, os resíduos orgânicos gerados por animais, os produtos descartados pela construção civil, óleos e graxas automotivas, entre outros, são exemplos desses contribuintes.

Resíduos sólidos: o lixo é uma fonte extremamente importante de nutrientes e metais pesados, devido, entre outras causas, às enormes quantidades de resíduos sólidos geradas pelas populações humanas. Estima-se que no Brasil, 64% da composição do resíduo sólido é orgânica (ABRELPE 2011).

Segundo Cunha (2010), o chorume gerado pelos resíduos sólidos contém elevadas concentrações de metais de relevância ambiental, como chumbo, cádmio, cobre, mercúrio e zinco e também de nutrientes potencialmente geradores do impacto eutrofização. O chorume pode escorrer diretamente para os corpos de água adjacentes ou pode ser lixiviado para as águas subterrâneas, seja devido à falta de um manejo apropriado ou pela escolha inadequada da localização dos lixões.

A principal pressão dos resíduos sólidos em uma bacia hidrográfica se dá através de seu lançamento ou arraste para os corpos receptores, por carreamento superficial ou infiltração atingem águas superficiais e subterrâneas, causando deterioração em virtude de sua elevada carga poluidora. A tabela mostra a porcentagem dos domicílios inseridos na bacia que recebem coleta de lixo.

Tabela 7 – Porcentagem de lixo coletado do total de domicílios da bacia do reservatório Castanão

Município	Total de domicílios	Com lixo coletado (%)
Dep. Irapuã Pinheiro	2.762	45,87
Jaguaretama	5.262	48,22
Jaguaribara	2.814	75,16
Jaguaribe	10.138	66,19
Milhã	3.837	50,01
Solonópole	5.292	53,38

Fonte: IBGE, 2010; IPECE 2017.

Aproximadamente 50% do total de domicílios possuem o serviço de coleta de lixo. A microbacia do Rio Jaguaribe recebe o serviço de forma mais eficiente, tendo 68% dos seus municípios com seus resíduos coletados, enquanto a microbacia do Riacho do sangue possui apenas 33% de coleta. A figura 7 registra a disposição indevida de resíduos sólidos na cidade de Jaguaretama.

Fotos 7 – Disposição indevida de resíduos sólidos no município de Jaguaretama



Fonte: Prefeitura de Jaguaretama.

4.3 Quantificação dos impactos negativos por meio da estimativa de cargas de N e P por fator de emissão

Para calcular a quantidade de poluente por unidade de peso, área e tempo da bacia hidrográfica do reservatório Castanhão, utilizou-se as fórmulas contidas nas metodologias adotadas nos estudos de Cajuí (2015), De Paula (2014) e Cunha (2010). Os resultados da emissão de poluentes (N e P) para cada força motriz observada, estão expressos na tabela 8. A bacia foi dividida nas microbacia do Jaguaribe e microbacia do Riacho do Sangue afim de especificar quais as maiores fontes de nitrogênio e fósforo, como também, identificar qual microbacia possui maior fonte de nutrientes para o reservatório Castanhão.

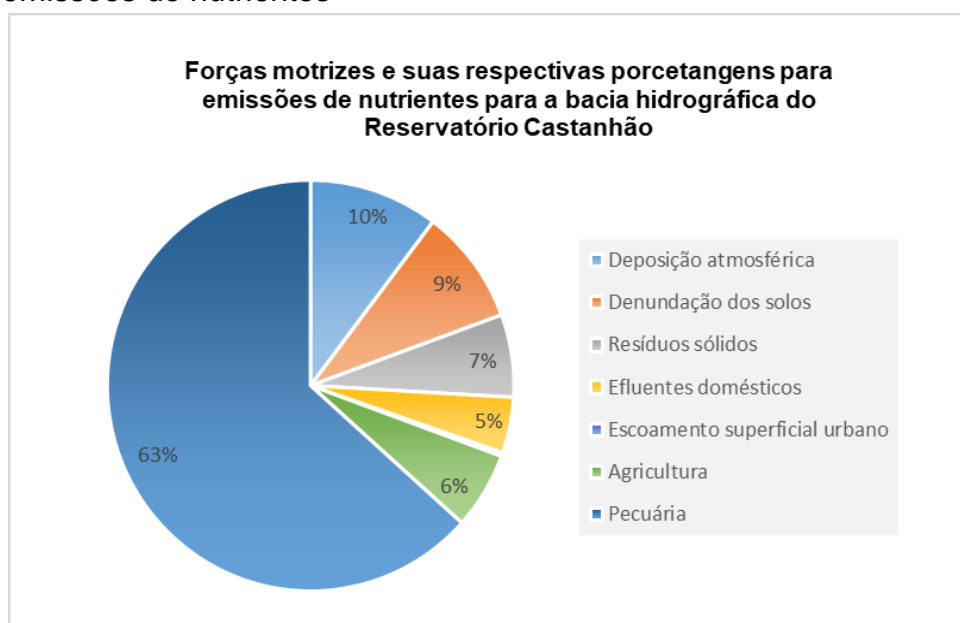
Tabela 8 – Emissões de N e P provenientes das microbacias Jaguaribe e Riacho do Sangue referentes a cada força motriz

	Força motrizes	Microbacia (kg/km ² /ano)			
		Rio Jaguaribe		Riacho do sangue	
		N	P	N	P
Naturais	Deposição atmosférica	27,8	2,7	13,2	4,4
	Denudação dos solos	16,4	4,4	20,4	1,4
Antrópicas	Resíduos sólidos	9,3	8,9	6,7	5,5
	Efluentes domésticos	7,3	1,3	10,2	1,8
	Escoamento superficial urbano	0,2	0	1	0,1
	Agricultura	4,6	1,7	16	6
	Pecuária	67,6	70,9	81,3	76,3
	Total	133,2	89,9	148,8	95,5

Fonte: Adaptado de CAJUÍ, 2015; A autora.

De maneira geral, o somatório das emissões de nutrientes por forças motrizes antrópicas já supera as naturais. As maiores fontes de nutrientes por fatores de emissão estão nas atividades agropastoris, emitindo aproximadamente 70% do total do aporte de N e P. O escoamento superficial urbano, contido na força motriz “urbanização” possui menor valor, sendo praticamente irrelevante. O gráfico 1 expressa a porcentagem emitida de nutrientes relacionando-as com suas respectivas forças motrizes.

Gráfico 1 – Forças motrizes e suas respectivas porcentagens para emissões de nutrientes

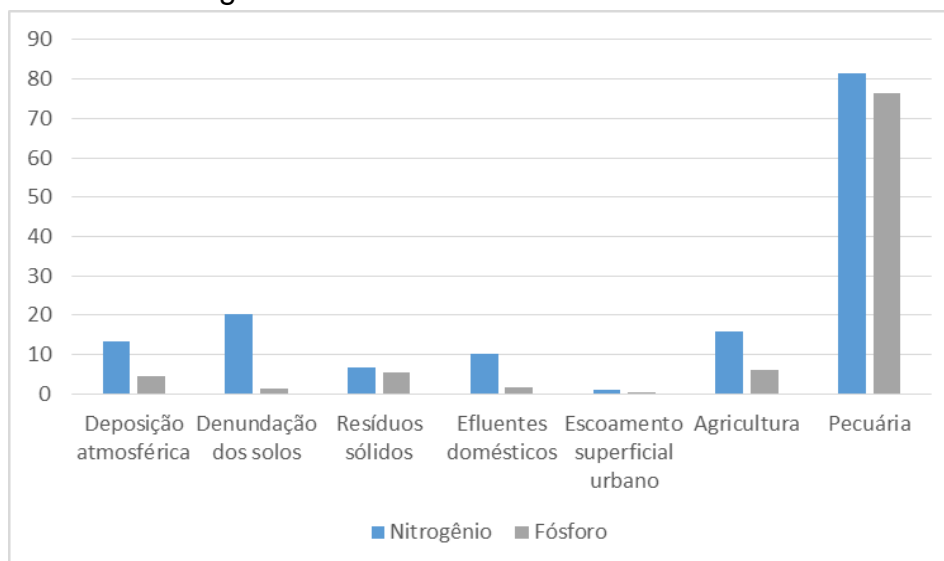


Fonte: Elaborado pela autora.

A microbacia do Riacho do Sangue é menor em extensão territorial quando comparada à microbacia do Jaguaribe, porém apresenta maiores fatores de emissão para ambos nutrientes.

Nota-se no gráfico 2, que representa os números referentes as emissões para a microbacia do Riacho do Sangue em kg/km²/ano, o destaque para força motriz “pecuária”, contribuindo com 54%, seguido da “urbanização” e “agricultura” com 11% cada. As fontes naturais de nutrientes para a esta microbacia abrangem aproximadamente 35% do total.

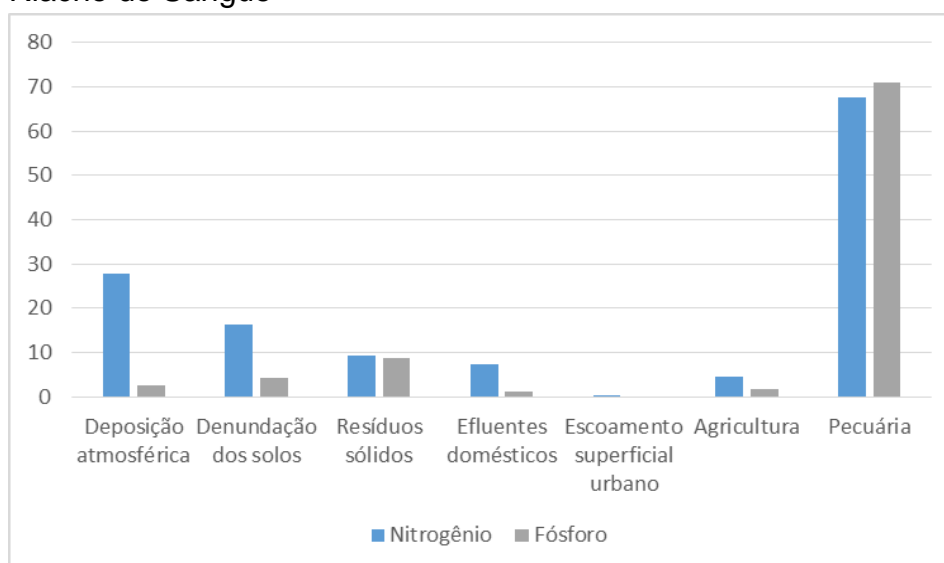
Gráfico 2 – Representação das emissões de nutrientes em kg/km²/ano para cada força motriz encontrada na microbacia do Riacho do Sangue



Fonte: Adaptado de CAJUÍ, 2015.

A microbacia do rio Jaguaribe, conforme se observa no gráfico 3, também apresenta resultados expressivos para a força motriz “pecuária”, com 51% do total das emissões, seguida da “urbanização” com 13%, “agricultura” com 3% e um somatório de 33% para as forças motrizes naturais.

Gráfico 3 – Representação das emissões de nutrientes em kg/km²/ano para cada força motriz encontrada na microbacia do Riacho do Sangue



Fonte: Elaborado pela autora.

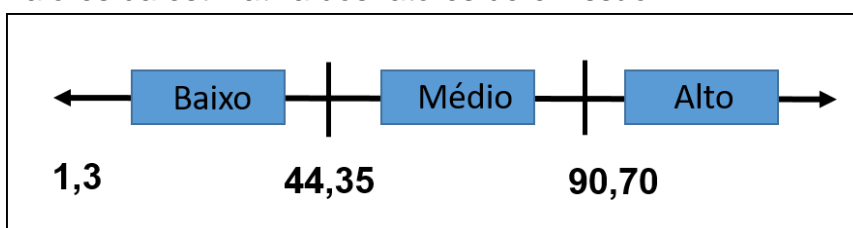
De modo geral, a força motriz “pecuária” apresenta valores semelhantes para ambas microbacias, diferentemente da “agricultura” que possui maior representatividade na microbacia do Riacho do Sangue, fator que pode ser explicado pela maior produtividade agrícola dos municípios inseridos na região quando comparados aos municípios pertencentes a microbacia do rio Jaguaribe. Ao falarmos da força motriz “urbanização”, observa-se uma baixa variação entre os valores de ambas microbacias, entretanto, a do rio Jaguaribe possui emissões maiores mesmo tendo uma menor população residente.

4.3 A categoria “respostas”

O processo de tomada de decisão começa com a identificação dos problemas e a quantização do mesmo. Para categorizar os impactos, no caso a poluição por aporte de nutrientes, utilizou-se como parâmetro o somatório dos valores das entradas naturais de nitrogênio e fósforo, respectivamente a deposição atmosférica e a denudação física e química dos solos. Juntas possuem um fator de emissão de 90,70 kg/km²/ano.

A figura 8 mostra a divisão das categorias em baixo, médio e alto risco, com base nos valores da estimativa dos fatores de emissão encontrados para a bacia hidrográfica do reservatório Castanhão. Sendo de 1,3 até 44,35 kg/km²/ano considerada de baixo risco, acima de 44,35 até 90,70 kg/km²/ano de médio risco e acima de 90,70 kg/km²/ano de alto risco. O estudo foi feito com valores referente aos anos de 2015 a 2017.

Figura 8 – Divisão das categorias de risco com base nos valores da estimativa dos fatores de emissão



Fonte: Elaborado pela autora.

O valor de 1,3 kg/km²/ano corresponde as entradas de nutrientes por escoamento superficial urbano, menor fator de emissão para a bacia. Dividiu-se pela metade, o somatório dos fatores de emissão por fontes naturais para obter valores médios que subsidiam a categoria “médio risco” e valores acima de 90,70 kg/km²/ano foram considerados de “alto risco” por ultrapassarem o somatório de emissões por fontes naturais. A tabela 9 apresenta a classificação do impacto das forças motrizes conforme os valores dos fatores de emissão para as mesmas, apresenta o valor utilizado como estado referencial e mostra a divisão das microbacias com suas respectivas contribuições de nutrientes.

Tabela 9 – Classificação do impacto das forças motrizes com base no cálculo de estimativas de carga por fator de emissão

Força Motriz	Microbacia (kg/km ² /ano)		Total	Estado referencial	Categoria do impacto
	Rio Jaguaribe	Riacho do Sangue			
Agricultura	6	22	28	90	Baixo
Pecuária	138	157	295		Alto
Urbanização	27	25	52		Médio

Fonte: CAJUÍ, 2015; AVELINO, 2018.

Pode-se inferir que cargas poluidoras de nutrientes se apresentam mais provenientes na microbacia do Riacho do Sangue. Numa visão geral, a força motriz “pecuária” consiste na atividade econômica de maiores potencialidades de risco à bacia hidrográfica do reservatório Castanhão e conseqüentemente aos corpos hídricos.

O quadro 9, apresenta o modelo DPSIR desenvolvido pela Agência Europeia do Ambiente (EEA, 1995) com adaptações para esta pesquisa. Podemos observar a quantificação da categoria “impacto” através do cálculo das estimativas de carga por fatores de emissão, mostrando qual microbacia contribui com “maiores” ou “menores” emissões. Por fim, traz uma classificação geral quanto ao fator de risco do impacto, no caso, estimando a contaminação pelo o aporte de nutrientes, para a bacia do reservatório Castanhão.

Quadro 9 – Modelo DPSIR aplicado a bacia hidrográfica do reservatório Castanhão

Força Motriz	Pressões	Impactos	Estado (Referencial utilizado) ^{1, 2}	Microbacia quanto as Emissões		Categoria do Impacto
				Jaguaribe	Riacho do Sangue	
Entradas atmosféricas	Aporte de nutrientes	Negativos:	Contribuição das emissões naturais de N e P (t ano ⁻¹):	Maior	Menor	Referencial
Denudação física e química dos solos	Aporte de nutrientes	- Anoxia - Aumento da erosão - Contaminação - Diminuição da biodiversidade - Eutrofização - Sedimentação - Turbidez	- Entradas atmosféricas - Denudação física e química dos solos	Menor	Maior	Referencial
Agricultura	Aumento de carga de nutrientes Altera carga de metais Diminuição da oferta de água	Positivos:	$\Sigma = 90 \text{ kg/km}^2/\text{ano}$	Menor	Maior	Baixo
Pecuária	Aumento de carga de nutrientes	- Geração de emprego - Movimentação da economia.		Menor	Maior	Alto
Urbanização	Aumento de carga de nutrientes Aumento de DBO Introdução de patógenos Altera carga de metais			Menor	Maior	Médio

Fonte: AVELINO, 2018.

Diante da categorização do impacto e seus respectivos riscos à bacia do reservatório Castanhão, propõe-se algumas medidas mitigatórias, tomando como referência ter corpos hídricos com boa qualidade, sendo necessário definir ações que contribuam para a redução da carga de nutrientes a serem desenvolvidas pelas instituições envolvidas com o problema, de acordo com as atribuições e responsabilidades de cada uma delas. Por fim, recomenda-se algumas respostas, expressas no quadro 10 mediante as suas respectivas forças motrizes.

Quadro 10 – Respostas sugeridas para as respectivas forças motrizes encontradas na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão

Respostas	Forças motrizes
Adotar medidas de manejo mais adequadas para a exploração da pecuária em toda bacia hidrográfica do reservatório Castanhão, tomando como exemplo, o incentivo da criação semiextensiva, para que haja contenção do acesso aos corpos hídricos e controle da produção de dejetos.	Pecuária
Que sejam difundidas e executadas políticas de saneamento mais eficazes para os municípios inseridos na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.	Urbanização
Delegar a fiscalização dos órgãos competentes quanto ao uso impróprio do solo na região de entorno, o lançamento inadequado de efluentes e resíduos sólidos ao reservatório Castanhão e suas afluentes.	Urbanização
Adotar práticas de conservação do solo (adubação verde e plantio direto) para promover um uso mais sustentável do mesmo na agricultura, para reduzir a necessidade da utilização de insumos agrícolas.	Agricultura
Deferir sobre políticas de Incentivos aos agricultores, com fins de implantar sistemas de agricultura orgânica	Agricultura
Educar a população local, por meio de reuniões comunitárias e encartes educativos, com o intuito de criar uma consciência ambiental que esclareça a importância da contribuição da comunidade para a manutenção do reservatório.	Agricultura, pecuária e urbanização.

Fonte: AVELINO, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção de modelos que forneçam uma solução de problemas, relacionados com a questão ambiental é bem evidente na atualidade. Porém não há um método universal para as tomadas de decisões mediante a isto.

O presente trabalho propôs a adoção do modelo DPSIR (Força motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta) aliado a outras metodologias, como o cálculo da estimativa de cargas de nitrogênio e fósforo afim de estabelecer uma relação causa-efeito das atividades econômicas observadas em campo na bacia hidrográfica do reservatório Castanhão.

O quadro proposto pelo modelo em questão, apresentou de forma resumida as atividades antrópicas presentes na bacia e suas possíveis pressões e impactos, permitindo uma visão geral acerca das potencialidades negativas das mesmas e concedendo ao leitor, uma informação organizada.

Observou-se que a urbanização, com seus efluentes, a agropecuária, com fertilizantes, agrotóxicos e dejetos de animais, são potenciais fontes de contaminantes por aporte de nutrientes, que podem resultar em um desequilíbrio ambiental e aumento da exposição humana aos contaminantes.

Destaca-se o fato de que os indicadores ambientais constituem ferramenta poderosa que podem servir a vários propósitos, como o aumento da consciência pública em relação as potencialidades aos problemas ambientais e o suporte a decisões políticas.

A presente pesquisa foi fundamentada por um conjunto de indicadores utilizados em consonância com fundamentos do modelo DPSIR, sendo possível qualificar e quantificar informações socioeconômicas e ambientais. Por fim, é possível afirmar que o modelo se mostrou apto a:

- ✓ Proporcionar uma análise integrada dos problemas ambientais gerados por atividades econômicas presentes em bacias hidrográficas rurais em relação às causas que os produzem.
- ✓ Quando aliado a outras metodologias, consiste-se em uma importante base para tomada de decisões mediante aos problemas ambientais provenientes das atividades antrópicas.

- ✓ Fornecer subsídios ao planejamento e gestão ambiental de uma bacia hidrográfica, mediante a ações mitigatórias que podem ser fomentadas pelas administrações públicas, sociedade civil e setores econômicos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. S *et al.* **Análise da biodiversidade do bioma caatinga**: suporte a estratégias regionais de conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2005.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**, 2011. Disponível em <http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00>. Acesso em 21 de agosto de 2017.
- ATLAS. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Atlas eletrônico dos recursos hídricos e meteorológicos do Estado do Ceará**. Disponível em: <http://www25.ceara.gov.br/redirecionador.asp?pagina=http://atlas.srh.ce.gov.br/acudesestado>. Acesso em: 15 de abril de 2015.
- BIDONE, E. D.; LACERDA, L. D. The use of DPSIR framework to evaluate sustainability in coastal areas. Case study: Guanabara Bay basin. **Regional Environmental Change**, Rio de Janeiro, v. 4, p. 1-5, mar. 2004.
- BORJA, A. *et al.* The European water framework directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status. **Estuar. Coast. Shelf Sci**, Pasaia, Espanha, v. 66, p. 84-96, 2006.
- BOUWMAN, A. F.; BOOIJ, H. Global use and trade of feedstuff and consequences for the nitrogen cycle. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Holanda, v. 52, p. 261-267, 1998.
- BRAGA, R. **Instrumentos para Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos**. Recife, UFPE, 2009. 132p.
- BRASIL, **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 01 de maio de 2015.
- BOBBINK, R.K., *et al.* Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. **Ecological Applications**, Estados Unidos, v. 20(1), p. 30-59, jul. 2010.
- BURNS, D.A. The effects of atmospheric nitrogen deposition in the Rocky Mountains of Colorado and Southern Wyoming, **Environmental Pollution**, Estados Unidos, v. 127, p. 257-269. 2004.
- CAJUÍ, K. N. S. **Estimativas de cargas de nitrogênio e fósforo e hidroquímica de uma microbacia do semiárido cearense**. 2015. 102 f. Monografia (Graduação em Ciências Ambientais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

CASADO, A.M. de. A. **Sistemas de Indicadores para a Caracterização da Qualidade de Águas Superficiais**. 2007. 289 f. Dissertação. Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2007.

CECÍLIO, R.A.; REIS, E.F. **Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas**. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 2006. 10p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Edgard Blücher, São Paulo, 1999. 256p.

COOPER, P. **The DPSWR Social Ecological Accounting Framework: Notes on its Definition and Application**, University of Bath, Bath, 2012. 13p.

CUNHA, P. E. V. **Aplicação da metodologia para estimativa do fator de emissão-nutrientes e metais pesados- para avaliar a contribuição de efluentes da carcinicultura no estuário do rio Potengi, Natal (RN)**. 2010. 238 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Degradação ambiental**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, E. S. B. Geomorfologia e meio ambiente. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p.337-379.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. 1. ed. São Paulo: CETESB, 1992. 50p.

DNOCS, Departamento Nacional de Obras Contra A Seca -. **Ficha técnica**. Disponível em: http://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos_hidricos/fic_tec_reservatorio.php?codigo_reservatorio=35&descricao_reservatorio=Açude+Castanhão. Acesso em: 12 jun. 2015.

EEA, European Environment Agency - **Environmental indicators: Typology and overview**. 1999. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>. Acesso em: 10 jun. 2015.

EEA, **Europe's Environment: the Dobris Assessment**. European Environmental Agency, Copenhagen, 1995. 40p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SIBCS**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 412 p.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. 790 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Solos do Nordeste**. Levantamento Exploratório. Reconhecimento de solos do Estado do

Ceará. Recife, 1973. Disponível em:
<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=ce>. Acesso em: maio de 2015.

FARIAS, Juliana Felipe. **Aplicabilidade da geoecologia das paisagens no planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Palmeira, Ceará, Brasil**. 2015. 224 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: Catie, 1996. 90p.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos -. **Portal hidrológico do Ceará**. 2017. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/>. Acesso em: 06 ago. 2017.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV. **Indicadores de sustentabilidade para a gestão dos recursos hídricos no Brasil. Projeto Indicador de Sustentabilidade para a Gestão de Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro, RJ: FGV/CIDS/EBAP, 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/estudos/doc/indicad.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2017.

GARI, Sirak Robele; NEWTON, Alice; ICELY, John D. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. **Ocean & Coastal Management**, v. 103, p. 63-77, jan. 2015.

HOWARTH, R. W. Coastal nitrogen pollution: A review of sources and trends globally and regionally. **Harmful Algae**, Estados Unidos, v. 8 p.14–20, ago. 2008.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Pesquisa de Informações Básicas Municipais. **Perfil dos Municípios Brasileiros**. Rio de Janeiro, 2012.

IPECE, Instituto de Pesquisa e Estatística Econômica do Ceará -. **Ceará em números 2011**. Disponível em:
http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2011/infra/index.htm. Acesso em: 13 jun. 2015.

LACERDA, L. D.; MOLISANI, M. M.; SENA, D.; MAIA, L. P. Estimating the importance of natural and anthropogenic sources on N and P emission to estuaries along. **Environmental Monitoring and Assessment**, Ceará, v. 141, p.149-164, 2008.

LACERDA, L.D. Updating global Hg emissions from small-scale gold mining and assessing its environmental impacts. **Environmental Geology**, Ceará, v. 43(3) p. 308-314. Jan. 2003.

LACERDA, L. D.; SENA, D. D. **Estimativas de cargas de nitrogênio, fósforo e metais pesados de interesse ambiental para as bacias inferiores do litoral do Estado do Ceará**. Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Ceará; Programa de Zoneamento Ecológico e Econômico do Litoral do Ceará. Fortaleza, 2005.

LACERDA, L. D.; MARINS, R. V. River damming and changes in mangrove distribution. **ISME/Glomis Electronic Journal**, Ceará, v. 2, p. 1-4. Jul. 2002.

LANDIM NETO, Francisco Otávio. **Aplicação de indicadores do modelo força motriz pressão, Estado, impacto, resposta - dpsir: subsídios para o Planejamento e gestão da bacia hidrográfica do rio são Gonçalo - CE**. 2016. 252f. Tese (Doutorado em geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo CUE, região oeste do Estado do Paraná**. 2003. 121f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LIN, T., XUE, X., Z., LU, C., Y. Analysis of coastal wetland changes using the DPSIR model: a case study in Xiamen. **Coast. Manag**, China, v. 35, n. 3, p. 289-303. Mar. 2007.

MARTINS, E. S. P. R. et al. Utilização de imagens CBERS para mapeamento dos espelhos d'água do Brasil. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis, Brasil, **Anais...** INPE, 2007, p. 969-976.

MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona: Omega, 1986, 1030p.

MARTINS, F.B. *et al.* Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Cerne**, Lavras, v.11, n.3, p.315-322. Jul. /set. 2005.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38. Out./dez. 2002.

MILLER, G. Tyler. **Ciência Ambiental**. 11. ed. São Paulo: Cenage Learning, 2007. 501 p.

MOLISANI, M. M.; ESTEVES, F. A.; LACERDA, L. D.; REZENDE, C. E. Emissões naturais e antrópicas de nitrogênio, fósforo e metais para a bacia do Rio Macaé (Macaé, RJ, Brasil) sob influência das atividades de exploração de petróleo e gás na Bacia de Campos. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v.36, n.1, p. 27-66. 2013.

MOSCA, A.A.O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas**. 2003. 96f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003

MORO, M. F. *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, São Paulo, v. 66, n. 3, p.717-743. Set. 2015.

NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Soil and Water Quality: Agenda for Agriculture**. Washington: National Academy Press, 1993. 519 p.

OECD, ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. Organization for Economic Cooperation and Development**, Paris: General Distribution, 1993, 93p.

ODUM, E., P.; BARRET, G., W. **Fundamentos de ecologia**. 5. Ed. São Paulo: Cenage Learning, 2005. 612 p.

PAULA FILHO, F. J. **Avaliação integrada da bacia de drenagem do rio Parnaíba através de fatores de emissão de cargas de nitrogênio e fósforo e índices de qualidade de águas**. 2014. 192f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 2014.

PEREIRA, R. C. M; SILVA, E. V. **Solos e vegetação do Ceará: características gerais. In: Ceará: um novo olhar geográfico**. 2. Ed. Fortaleza: Demócrito Rocha, 2007. 480p.

PINTO, R. *et al.* Towards a DPSIR driven integration of ecological value, water uses and ecosystem services for estuarine systems. **Ocean Coast. Manag**, Portugal, v. 72, p. 1-16. Jan. 2011.

PORTO, M. F. A.; PORTO, L. L. Gestão de Bacias hidrográficas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 63, p. 43-60, 2008.

PRIEGO, A.; COTLER, H. **El análisis Del paisaje como base para El manejo integrado de cuencas: El caso de La cuenca Lerma-CH**. Acesso em: Disponível em: <http://www.agua.org.mx>. Acesso em 14 ago. de 2017.

SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 63p.

SMEETS, E., WETERINGS, R. Environmental Indicators: Typology and Overview. **Technical report EEA**, Copenhagen, v.25, p. 1-19. Set.1999.

SOUZA, P.A., DE MELLO, W.Z., MALDONADO, J. Rainwater chemistry and atmospheric deposition at Ilha Grande, RJ. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 3, p.471-476. 2006.

SOARES, A. B. **Análise da Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em economia) – Faculdade de Economia, Administração, Atuaria e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, 2007.

SILVA FILHO, J. C. L.; ABREU, M. C. S. Revisando a estruturação do modelo dpsir como base para um sistema de apoio à decisão. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Paraná, v.4, n.3, p. 521-545. Set/dez. 2011.

SOUZA, M.J.N. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará. *In*: LIMA, L.C; MORAIS, J.O; SOUZA, M.J.N. (orgs). **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000. 98 p.

SOUZA, J. M. N. *et al.* **Contexto geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Acaraú, Curu e Baixo Jaguaribe – Estado do Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2005. 50 p.

SOUZA, M.J.N. Geomorfologia. *In*: **Atlas do Ceará**. Fortaleza: SUDEC, 1986.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. *In*: **Métodos em Questão**, USP, São Paulo: USP, 1977, 50 p.

SMITH, R.A., ALEXANDER, R.B., WOLMAN, M.G. Regional interpretation of water monitoring data. **Water Resources Research** n. 33, p. 2781–2798. Dez. 1997.

TEODORO, Valter Luiz Iost et al. O CONCEITO DE BACIA HIDROGRÁFICA E A importância da caracterização morfodinâmica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Aruanquara, v. 20, n. 5, p.137-157, jan. 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. Ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1997. 943 p.

TUNDISI, J.G. **Limnologia do século XXI: perspectivas e desafios**. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2. Ed.1999. 24 p.

US EPA. **National recommended water quality criteria**. Washington, DC: US EPA, 2002. 36 p.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. 2012. **SPARROW Surface Water-Quality Modeling**. Disponível em: <http://water.usgs.gov/nawqa/sparrow/index.html>. Acesso em 12 de março de 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo horizonte: DESA / UFMG, 2005. 425 p.

WMO. The Dublin Statement and Report of the Conference. **International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century**. Dublin, p. 26-31. Jan. 1992.

WATER FRAMEWORK DIRECTIVE. **Guidance for the analysis of Pressures and Impacts in accordance with the Water Framework Directive. Pressures and Impacts Analysis Final**. France: IFREMER, 2002.

WARD, J. V.; STANFORD, J. A. The serial discontinuity concept in lotic ecosystems. *In*: FONTAINE, T. D.; BARTHEL, S. M. **Dynamic of lotic ecosystems**. Michigan: Ann. Arbor. Scien, p. 347-356. 1983.

WCD, **Dams and Development, a new framework for decision-making: the report of the World Commission on Dams**. London: Earthscan Publications Ltd, VA. 2000. 20 p.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Revista de administração pública**, São Paulo, v. 27, n. 2. 1993.

