



ipece INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

CONTRATAÇÃO DOS SERVIÇOS DE CONSULTORIA (PESSOA JURÍDICA) PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE SEGURANÇA HÍDRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ESTRATÉGICAS DO ACARAÚ, METROPOLITANAS E DA SUB-BACIA DO SALGADO

PSH-RT10-02

RELATÓRIO PARCIAL DE METODOLOGIA DE ENQUADRAMENTO DE RESERVATÓRIOS





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

Governador: Camilo Sobreira de Santana

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Secretário: Francisco José Coelho Teixeira

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Diretor-Presidente: João Lúcio Farias de Oliveira

CHEFIA DE GABINETE

Antônio Treze de Melo Lima

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO

Ubirajara Patrício Álvares da Silva

DIRETORIA DE OPERAÇÕES

Débora Maria Rios

DIRETORIA FINANCEIRA

Paulo Henrique Studart Pinho

GERENTE DO PROJETO

Zulene Almada Teixeira





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

EQUIPE TÉCNICA DO CONSÓRCIO

Francisco Jácome Sarmiento (Coordenador Geral)

Ivanildo Hespanhol

Romulo de Macedo Vieira

Bruno Costa Castro Alves

Juliana Argélia Garcia de Almeida

Alan Pinheiro de Souza

Akira D. Kobayashi

Talles Chateaubriand de Macedo

EQUIPE TÉCNICA COGERH

Francimeyre Freire Avelino

Micaella da Silva Teixeira Rodrigues

Nice Maria da Cunha Cavalcante

Zulene Almada Teixeira

AGRADECIMENTOS/COLABORADORES

Arthur Jordan de Azevedo Toné

Berthyer Peixoto Lima

Claire Anne Viana de Sousa

Davi Martins Pereira

Elano Lamartine Leão Joca

Francisco de Assis de Souza Filho

Fátima Lorena Magalhães Ferreira

Walt Disney Paulino



QUADRO DE CODIFICAÇÃO

| | | | |
|-----------------------------------|---|-------------|------------------|
| Código do Documento | PSH-RT10-02 | | |
| Título | Contratação dos serviços de consultoria (pessoa jurídica) para elaboração do plano de segurança hídrica das bacias hidrográficas estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da sub-bacia do Salgado | | |
| Aprovação Inicial por: | Francisco Jácome Sarmento | | |
| Data da Aprovação Inicial: | 14/12/2016 | | |
| Controle de Revisões | | | |
| <i>Revisão N^o</i> | <i>Natureza</i> | <i>Data</i> | <i>Aprovação</i> |
| 00 | Emissão Inicial | 14/12/2016 | |
| 01 | Correções Gerais | 19/01/2017 | |
| 02 | Correções Gerais | 24/01/2017 | |



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

APRESENTAÇÃO

Este documento, denominado *Produto 10 – Relatório Parcial de Metodologia de Enquadramento de Reservatórios* é parte integrante do **Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas do Acaraú, Metropolitanas e Salgado**, que é um indicador do Projeto de Apoio ao Crescimento Econômico com Redução das Desigualdades e Sustentabilidade Ambiental do Estado do Ceará – Programa para Resultados (PforR). Este plano foi contratado pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH).

O Produto 10 - Relatório Parcial de Metodologia de Enquadramento de Reservatórios é produto editado em volume único e é preliminar ao Produto 11 - Relatório Técnico Final de Metodologia de Enquadramento de Reservatórios a ser apresentado posteriormente à fase de aprovação dos Inventários Ambientais das bacias de interesse.





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Composição esquemática da metodologia proposta | 11 |
| Figura 2 – Composição do Diagnóstico Ambiental Integrado | 21 |
| Figura 3 – Conteúdos geradores de informação para o enquadramento..... | 22 |
| Figura 4 – Barragem Aracoiaba: Contagem de cianobactérias, por volume acumulado. | 23 |
| Figura 5 – Açude Gavião: Histórico do estado trófico | 24 |
| Figura 6 – Barragem Gavião: Histograma do estado trófico | 25 |
| Figura 7 – Procedimentos do Inventário Ambiental | 26 |
| Figura 8 – Açude Gavião: Campanha de campo realizada em 07/12/2016 - APP | 30 |
| Figura 9 – Diagrama de articulação dos principais componentes da modelagem matemático. | 32 |
| Figura 10 – Relação chuva-vazão com dados do SMAP..... | 34 |
| Figura 11 – Mapa das vazões médias de longo termo na bacia do reservatório Aracoiaba. | 36 |
| Figura 12 – Codificação da direção de fluxo | 37 |
| Figura 13 – Plano de informação da direção de fluxo na bacia hidrográfica do reservatório Aracoiaba. | 38 |
| Figura 14 – Determinação da acumulação do fluxo | 39 |
| Figura 15 – Plano de informação do acúmulo de fluxo na bacia hidrográfica do reservatório Aracoiaba..... | 40 |
| Figura 16 – Carga total de fósforo na área de contribuição hidrográfica do reservatório Aracoiaba..... | 41 |
| Figura 17 – Concentração média anual de fósforo na área de contribuição hidrográfica do reservatório Aracoiaba..... | 43 |
| Figura 18 – Mapa de uso e cobertura do solo da área de contribuição hidrográfica do reservatório Aracoiaba..... | 47 |
| Figura 19 – Precipitação média anual na área de contribuição hidrográfica do reservatório Aracoiaba. | 49 |
| Figura 20 – Área de influência da bacia hidrográfica do reservatório Aracoiaba. | 52 |
| Figura 21 – Ilustração da articulação entre os elementos constitutivos das dimensões envolvidas no Prognóstico Ambiental .. | 56 |
| Figura 22 – Etapas do processo de enquadramento dos açudes | 62 |





**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**
Secretaria dos Recursos Hídricos

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Comitês de Bacias Hidrográficas..... | 15 |
| Tabela 2 – Coeficientes médios de exportação de fósforo total adotados no estudo | 45 |
| Tabela 3 – Alguns Inventários Ambientais elaborados/contratados pela COGERH com uso da equação de Salas e Martino (1991) em reservatórios do semiárido..... | 76 |





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| CBH-RMF | Comitê das Bacias Hidrográficas da Região Metropolitana de Fortaleza |
| COGERH | Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos |
| CONERH | Conselho Estadual de Recursos Hídricos |
| FUNCEME | Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPECE | Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará |





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO | 10 |
| 1. ASPECTOS LEGAIS | 13 |
| 1.1. Estrutura Normativa e contexto institucional | 13 |
| 1.2. Análise dos conteúdos normativos mais relevantes | 15 |
| 2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL INTEGRADO | 21 |
| 2.1. Diagnóstico ambiental e relatórios de coleta e análise de água:..... | 21 |
| 2.2. Inventários Ambientais..... | 26 |
| 2.2.1. Identificação dos fatores condicionantes da qualidade das águas | 26 |
| 2.2.2. Modelagem matemática para definição da área de influência dos reservatórios | 31 |
| 2.2.2.1. Modelo Digital de Elevação – MDE e Direção de Fluxo..... | 31 |
| 2.2.2.2. Modelagem da Relação Chuva X Vazão..... | 33 |
| 2.2.2.3. Modelo de vazão acumulada | 35 |
| 2.2.2.4. Modelo de cargas difusas e pontuais | 40 |
| 2.2.2.5. Modelo regressivo referenciador..... | 42 |
| 2.2.2.6. Modelagem espacial distribuída..... | 44 |
| 2.2.2.7. Calibração de parâmetro de depuração | 50 |
| 3. PROGNÓSTICO AMBIENTAL | 54 |
| 4. PROGRAMACÃO DAS AÇÕES | 58 |
| 5. QUESTÕES ESPECÍFICAS | 65 |
| 5.1. Experiências de enquadramento desenvolvidas no nordeste brasileiro..... | 65 |
| 5.2. Suficiência das informações sobre qualidade da água nos reservatórios | 69 |
| 5.3. Sobre a utilização da equação de Salas e Martino (1991) | 73 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 78 |



INTRODUÇÃO

O presente relatório denominado *Produto 10 – Relatório Parcial de Metodologia de Enquadramento de Reservatórios* tem como principal objetivo apresentar uma proposta de metodologia de enquadramento para os 15 reservatórios de interesse, localizados nas Bacias Hidrográficas Metropolitanas, Acaraú e Salgado.

O texto se encontra organizado em 05 (cinco) capítulos, a saber:

1. Aspectos legais;
2. Diagnóstico ambiental integrado;
3. Prognóstico ambiental;
4. Planejamento das ações.
5. Referências bibliográficas.

Os conteúdos mencionados foram articulados de maneira a garantir o alcance dos objetivos. Assim, a abordagem afeta à esfera técnica, onde são tratadas as especificidades do problema em análise, desenvolve-se lastreada pela esfera normativa, onde se encontra delineado o domínio de exercício da criatividade capaz de conferir originalidade à metodologia proposta.

A Figura 1 ilustra a composição da metodologia concebida, enfatizando-se desde logo trata-se de um **processo**, essa lida com o tema do enquadramento e não propriamente de uma metodologia, no sentido mais corriqueiro da palavra. O termo é aqui aplicado pelo tanto que possa representar de um processo de planejamento com fases objetivas, entremeadas de experiências envolvendo a intersubjetividade, porquanto exige de participação da sociedade civil representada nas diversas instâncias de diálogo e deliberação, preconizadas pelo arcabouço jurídico vigente.

Em seu viés técnico, os procedimentos que serão descritos se integram à metodologia não como passos a serem testados em sua adequabilidade para resultarem realistas no que engendram, **mas sim como passos já ajustados e validados para os fins pretendidos**, tendo como objetos de teste **as próprias bacias hidrográficas de interesse**, quando da abordagem dessas ao longo do desenvolvimento dos estudos que dão suporte à proposta de metodologia de enquadramento, em especial, os relatórios de coleta e análise de água, e em especial, os inventários ambientais.

Figura 1 – Composição esquemática da metodologia proposta



Fonte: Elaboração própria.

O enfrentamento do tema tendo como objeto reservatórios do semiárido assoma à concepção metodológica dificuldades adicionais e pouco tratadas no até então realizado em termos de trabalho nesse âmbito técnico.

Por exemplo, no que diz respeito à componente procedimental técnica, via de regra, as referências bibliográficas disponíveis portam considerável estofamento de subjetividade inconfessa, em particular pelo que omitem ao descreverem passos relevantes do que se pretende apresentar como procedimento, portanto, sequência objetiva pela qual se atinge o desejado. Ainda mais relevante do que esse aspecto, é a raridade de experiências reais envolvendo o enquadramento no espaço geográfico matizado por tão expressivas particularidades hidroclimatológicas, sociais e culturais, composto em um pano de fundo jurídico institucional tanto marcado pelo vanguardismo e modernidade dos dispositivos normativos, quanto pela distância entre estes e a real dimensão sociocultural que demandam para serem absorvidos pela população envolvida.

Do prisma institucional, a COGERH põe-se adiante, ao pautar em sua agenda de implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos, tão relevante instrumento, capaz, inclusive, de operar como elemento de reforço institucional pela ampliação de domínios de ação e de responsabilidades, além da reafirmação, em grau mais elevado, dos encargos já assumidos pela instituição.



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**
Secretaria dos Recursos Hídricos

1. ASPECTOS LEGAIS



1. ASPECTOS LEGAIS

1.1. Estrutura Normativa e contexto institucional

A proposta metodológica concebida e ora apresentada em caráter parcial tem seu domínio normativo definido a partir dos seguintes diplomas:

- 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;
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes;
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes;
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 274, DE 29 DE NOVEMBRO DE 2000 - Dispõe sobre condições de balneabilidade para atividade de recreação;
- RESOLUÇÃO CNRH Nº 143, DE 10 DE JULHO DE 2012 - Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010;
- RESOLUÇÃO CNRH Nº 141, DE 10 DE JULHO DE 2012 - Estabelece critérios e diretrizes para implementação dos instrumentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos e de enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, em rios intermitentes e efêmeros, e dá outras providências;
- RESOLUÇÃO CNRH Nº 91, DE 5 DE NOVEMBRO DE 2008 - Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos;
- LEI 14.844, de 28 DE DEZEMBRO DE 2010 - Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH, e dá outras providências;

Cada um desses regramentos contém disposições específicas que clarificam matizes importantes à concepção de metodologia adequada à realidade social e institucional dos reservatórios de interesse, sendo igualmente exigível à mesma, habilitar-se construto compatível com a disponibilidade de informações nas esferas públicas e privadas, sob pena de perda de aplicabilidade prática.

Precipuamente, importa que a concepção logre materializar-se instrumento capaz de fornecer respostas à altura do que demanda o papel central do enquadramento, em torno do qual, conforme preconizam os próprios regimentos em vigor, gravitam vários dos mais importantes instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, como é o caso do sistema de outorgas e a estratégica e imprescindível cobrança pelo uso da água, para citar apenas dois dentre os mais eficazes no cotidiano de aplicabilidade dessa política.

Nos contextos tanto da concepção como da aplicação e controle do preconizado como metodologia de enquadramento, a instituição contratante tem protagonismo. De fato, a COGERH, dentre os seus seis principais eixos de atuação, já promove e desenvolve várias atividades constitutivas de imbricamentos com o mencionado domínio legal, tais como:

- Monitoramento Quantitativo e Qualitativo dos Recursos Hídricos;
- Gestão Participativa;
- Implementação dos Instrumentos de Gestão dos Recursos Hídricos;
- Desenvolvimento Institucional.

Concernente à gestão participativa - esta pilastra da Política Nacional de Recursos Hídricos - destaca-se o trabalho da instituição na formação dos Comitês de Bacias Hidrográficas. Pioneiramente iniciada em 1994, essa relevante atividade fez-se prática a partir de metodologia desenvolvida pela própria Companhia (COGERH, 2016).

No espaço geográfico de interesse direto do presente escopo, existem três Comitês de Bacias Hidrográficas (Tabela 1), cada um com o seu próprio regimento interno e com representantes de quatro setores: usuários (30%), sociedade civil (30%), poder público municipal (20%), poder público estadual/federal (20%).

Tabela 1 – Comitês de Bacias Hidrográficas

| Bacia ou Sub-Bacia | Ano de Instalação | Quantidade de Membros | Quantidade de Municípios |
|--------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| Salgado | 2002 | 50 | 23 |
| Metropolitanas | 2003 | 60 | 31 |
| Acaraú | 2004 | 40 | 27 |

Fonte: COGERH, 2016.

O enquadramento, enquanto processo estreitamente entrelaçado com as atividades estatais de planejamento, desenvolve-se no âmbito normativo sob a égide não meramente dos diálogos institucionais, mas, de maneira mais pronunciada, enfática e pródiga em resultados práticos, no exercício incondicional da gestão participativa, envolvendo a sociedade civil representada nas instâncias preconizadas na legislação em vigor.

1.2. Análise dos conteúdos normativos mais relevantes

Conforme estabelece o Art. 46 da Política Estadual dos Recursos Hídricos, é de competência dos Comitês de Bacias Hidrográficas:

I – promover o debate de questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação com entidades interessadas;

II – propor a elaboração e aprovar o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica;

III – arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos;

IV – fornecer subsídios para a elaboração do relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica;

V – acompanhar a implementação do plano de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;

VI – propor ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Ceará (CONERH), critérios e mecanismos a serem utilizados na cobrança pelo uso de recursos hídricos, e sugerir os valores a serem cobrados;

VII – estabelecer os critérios para o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo;

VIII – propor ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH) programas e projetos a serem executados com recursos oriundos do Fundo Nacional de Recursos Hídricos (FUNERH);



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

IX – constituir comissões específicas e câmaras técnicas definindo, no ato de criação, sua composição, atribuições e duração;

X – acompanhar a aplicação dos recursos advindos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos;

XI – aprovar a proposta de enquadramento de corpos d'água em classes de uso preponderante das Bacias Hidrográficas.

§1º Aplicam-se aos Comitês de Sub-Bacias Hidrográficas todas as regras pertinentes aos Comitês de Bacias Hidrográficas constantes desta Lei.

§2º Às decisões dos Comitês de Bacias Hidrográficas caberão recursos ao CONERH.

Embora o texto legal transcrito importe no todo pelo que comunica em termos de competência do âmbito “parlamentar” onde se debate o tema dos recursos hídricos, o conteúdo do inciso XI se reporta diretamente ao enquadramento dos corpos d'água em classes de usos preponderantes, reconhecendo assim a instância do Comitê como detentora do poder de aprovar o enquadramento proposto, salvaguardada a via recursiva do CONERH.

O enquadramento referido é objeto abordado na RESOLUÇÃO Nº 91, de 05 de novembro de 2008 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH onde se ler no Art. 2 e parágrafos:

Art. 2º O enquadramento dos corpos de água se dá por meio do estabelecimento de classes de qualidade conforme disposto nas Resoluções CONAMA nos 357, de 2005 e 396, de 2008, tendo como referências básicas:

I - a bacia hidrográfica como unidade de gestão; e

II - os usos preponderantes mais restritivos.

§1º O enquadramento de corpos de água corresponde ao estabelecimento de objetivos de qualidade a serem alcançados através de metas progressivas intermediárias e final de qualidade de água.

§2º O processo de enquadramento pode determinar classes diferenciadas por trecho ou porção de um mesmo corpo de água, que correspondem a exigências a serem alcançadas ou mantidas de acordo com as condições e os padrões de qualidade a elas associadas.

§ 3º O processo de enquadramento deverá considerar as especificidades dos corpos de água, com destaque para os ambientes lênticos e para os trechos com reservatórios artificiais, sazonalidade de vazão e regime intermitente.



Importa destacar o reconhecimento de prioridades como, por exemplo, o abastecimento humano, como referência básica que, em sendo parte do rol dos usos de determinado corpo d'água, deve ditar o enquadramento em face de outros usos menos restritivos. No caso em tela, já foram levantadas, em termos de outorgas vigentes, todos os usos associados a cada um dos reservatórios de interesse.

Da mesma forma, reconhece-se a implementação do enquadramento como um processo que pode e deve ser dotado de caráter evolutivo na medida em que lhe confere essa característica a adoção de metas intermediárias, com as quais se contorna situações recorrentes de impossibilidade prática de adequação imediata ou abrupta dos usuários integrantes dos setores dependentes de determinado manancial.

O terceiro parágrafo do Art. 2º comunica a necessidade de observância das especificidades dos corpos d'água no que concerne ao enquadramento, reportando-se explicitamente aos ambientes aquáticos lênticos (naturais), mas se referindo apenas indiretamente aos reservatórios artificiais, aparentemente em razão de os mesmos necessariamente serem construídos em seções de trechos de cursos d'água. Entretanto, há referência explícita a mais relevante característica da esmagadora maioria rios da região semiárida nordestina: a intermitência. De fato, em se tratando das especificidades dos corpos d'água em questão, o enquadramento encontrará na elevada variabilidade dos fenômenos hidrológicos afetos à semiaridez o seu maior óbice metodológico. Essa característica emerge temporalmente tanto intra- como interanualmente.

No caso do Ceará, em média, 90% da precipitação média anual se verifica em seis meses. Enquanto que o trimestre chuvoso, em média, concentra cerca de 70% do total médio anual. Tangente à variabilidade interanual, não há como se enquadrar em formulação analítica a forma como a natureza semeia os eventos hidrológicos na escala temporal, sendo essa dificuldade mais expressiva no domínio climatológico da semiaridez que, no nordeste setentrional, onde está inserido o Ceará, abrigam-se dois extremos do espectro hidrológico: da quase absoluta escassez de chuvas à superabundância, igualmente implicante em graves consequências socioeconômicas.

Além de definir o conteúdo estrutural do enquadramento, no qual se espelha a metodologia proposta, o Art. 3º enfatiza, a nosso ver, de maneira extremamente oportuna, a



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

necessidade de o mesmo ser elaborado em conformidade com o plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica. Como se verá adiante, mais do que meramente técnica, essa determinação preserva o papel fundamental conferido aos planos de bacia enquanto importante instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos. Por outro lado, fora dessa exigência do contexto normativo, a inexistência de coerência entre esses conteúdos – enquadramento e plano de recursos hídricos – faria do primeiro um instrumento sem utilidade programática, pois não necessariamente teria coincidentes as ações estruturais e não estruturais previstas no plano de bacia, o que não apenas o desproveria de legitimidade o seu escopo, mas, sobretudo inviabilizaria as vias de fomento e execução demandadas por sua implementação.

A necessidade de articulação institucional entre a COGERH e o órgão ambiental é necessidade ressaltada no Art. 8º do mesmo diploma normativo, onde também fica estabelecido que essas instituições conjuntamente “*elaborarão e encaminharão as propostas de alternativas de enquadramento aos respectivos comitês de bacia hidrográfica para discussão, aprovação e posterior encaminhamento, para deliberação, ao Conselho de Recursos Hídricos competente.*”. A formulação de alternativas pressuposta atrela-se à fulcral necessidade de se colocar na mesa de debate o leque viável de possíveis enquadramentos, informando-se devidamente aos atores do processo todas as nuances que importam à tomada de decisão norteada pela sustentabilidade no sentido mais amplo possível.

A estreita relação a ser estabelecida, conservada ou aprofundada com o órgão ambiental é recorrente nos artigos 9º e 10º, onde antecipa-se as adequações a serem procedidas no sistema de outorga, onde os documentos de concessão de direito de uso passam a contemplar as condições desse mesmo uso à luz do acompanhamento do cumprimento das metas intermediárias e finais previstas no enquadramento. O cumprimento das metas deverá contar com a articulação entre a COGERH e o órgão ambiental. A cooperação institucional igualmente é pontuada no Art. 12 da mesma Resolução do CNRH, no que concerne ao monitoramento, controle e fiscalização do cumprimento das metas do enquadramento.

Mais do que reafirmar a diretriz da consideração dos usos mais restritivos no enquadramento dos corpos d’água, o Art. 15 localiza esse instrumento de gestão de recursos hídricos como centro de gravidade de outros importantes mecanismos previstos na Política





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

Nacional para o setor, tais como a outorga de direito de uso, a cobrança pelo uso da água e o próprio licenciamento ambiental, além de reconhecê-lo em seu papel “*na aplicação dos demais instrumentos da gestão de recursos hídricos e de meio ambiente que tenham o enquadramento como referência*”, mesmo em se tratando de corpos de água superficiais ainda não enquadrados. No segundo parágrafo do referido artigo fica estabelecido que, na ausência de elementos para a determinação dos usos mais restritivos das águas doces superficiais, a Classe 2 deve ser a adotada.





**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**
Secretaria dos Recursos Hídricos

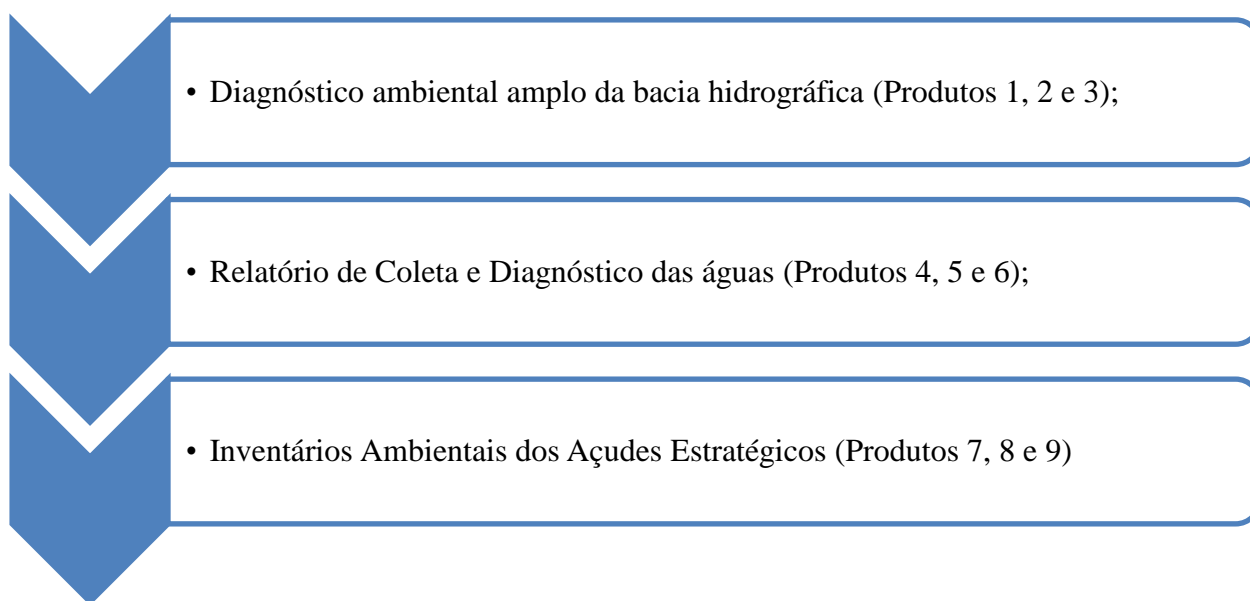
2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL INTEGRADO



2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL INTEGRADO

A Figura 2 ilustra a composição proposta para o tema que corresponde a um dos quatro principais elementos constitutivos da metodologia em exposição. Os produtos de 1 a 9 constituem-se em fontes geradoras de informações para o Diagnóstico Ambiental Integrado – DAI, uma vez que os mesmos focam tanto os aspectos gerais envolvendo a bacia como um todo, como também, aprofundam a abordagem no espaço geográfico de inserção das bacias controladas pelos 15 reservatórios de interesse.

Figura 2 – Composição do Diagnóstico Ambiental Integrado



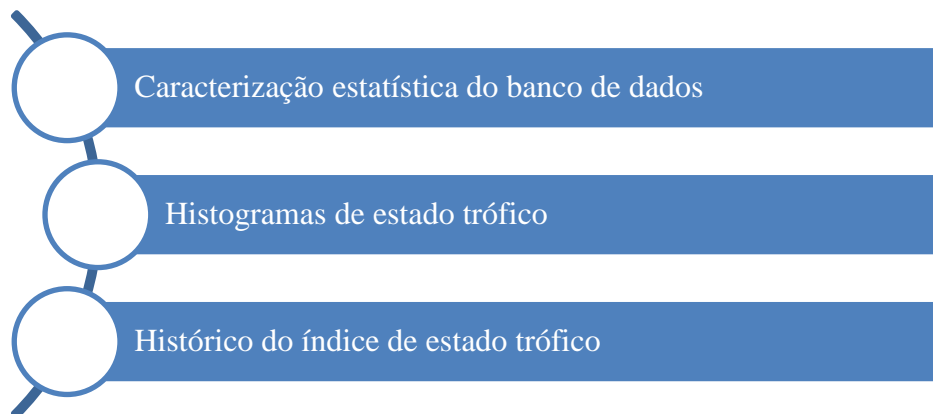
Fonte: Elaboração própria.

2.1. Diagnóstico ambiental e relatórios de coleta e análise de água:

Aduz-se do diagnóstico ambiental materializado nos produtos 1, 2 e 3 todas as informações de cunho geral interferentes na concepção metodológica em comento, em particular elementos básicos como cartografia, limites hidrográficos, divisão municipal, mapa geral de uso e ocupação, demografia, socioeconômica, etc.

A Figura 3 apresenta os principais conteúdos geradores de informação que entram como integração dos Relatórios de Coleta e Análise das águas (Produtos 4, 5 e 6) à metodologia em comento.

Figura 3 – Conteúdos geradores de informação para o enquadramento



Fonte: Elaboração própria.

A caracterização estatística incidirá no Banco de Dados de informações qualitativas sobre a água fornecido pela COGERH e ampliado em três campanhas realizadas pela contratada tendo como objeto os 15 reservatórios de interesse. O processamento da informação disponível permite apresentar gráficos da evolução temporal de parâmetros de qualidade da água em cada reservatório, tendo como variável de comparação o volume armazenado no açude na data da coleta realizada.

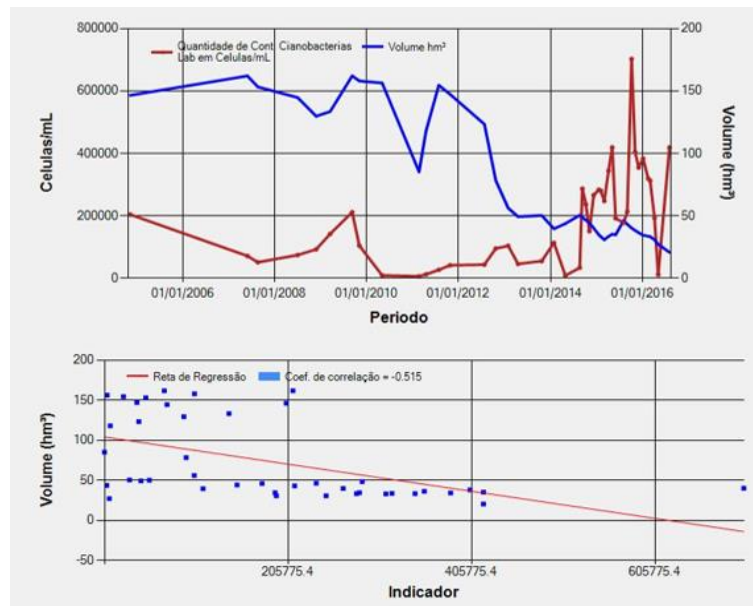
Embora na maioria dos casos as amostras reflitam apenas a condição qualitativa das águas para a coluna e certo raio de entorno, a ilustração gráfica proposta não deixa de ser uma forma interessante de representar a informação de que se dispõe. Afinal, se essa informação pontual não tivesse importância, sequer seria de interesse gera-la, via campanhas de campo, aplicação de recursos financeiros em análise laboratoriais, etc. Ideal seria que, a depender da magnitude da bacia hidráulica do corpo hídrico, fosse definida uma malha de coleta, porém, a realidade de disponibilidade de recursos certamente é um dos fatores impeditivos de tal detalhamento.

O procedimento aqui descrito valoriza e extrai o máximo que se pode obter do Banco de Dados como ele está disponível.

A Figura 4, mostrada a seguir, exemplifica para um dos parâmetros analisados a exposição da informação em sua escala temporal e relativa ao volume acumulado no corpo

d'água na data da coleta (2º eixo vertical, à direita). Também é mostrada a disposição dos pontos e respectiva tendência linear, quando a mesma está presente.

Figura 4 – Barragem Aracoiaba: Contagem de cianobactérias, por volume acumulado



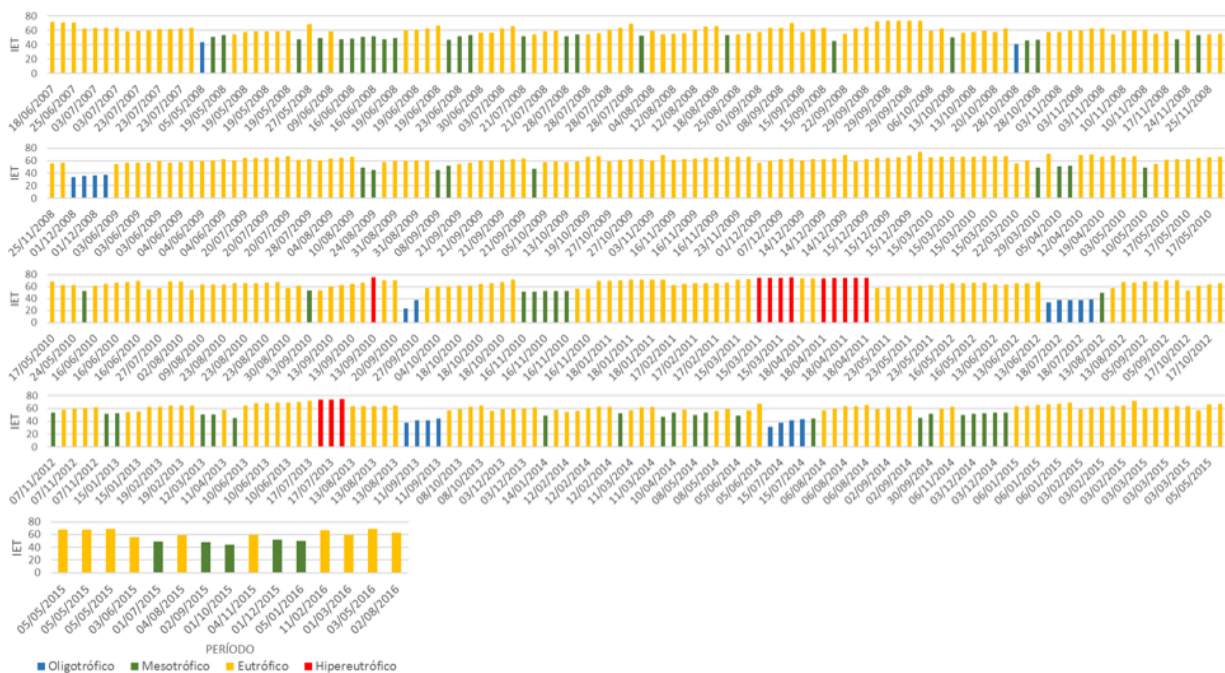
Fonte: Elaboração própria.

Na condição de informação gerada no contexto de desenvolvimento dos relatórios de Coleta e Análise da água a ser integrado ao eixo denominado Diagnóstico Ambiental Integrado – DAI tem-se a caracterização do estado trófico dos reservatórios, obtido para cada uma das amostras disponíveis ao longo do tempo. Apesar da restrição já mencionada concernente à representatividade das amostras na dimensão espacial de algumas das bacias hidráulicas, onde a própria dimensão destas é fator impeditivo da mistura, a representação gráfica temporal do estado trófico processado a partir das amostras disponíveis, aliado ao histograma de frequência de permanência em cada estado, fornece uma visão panorâmica das ocorrências temporais do estado trófico, também sintetizada em termos de frequências mostradas como gráficos tipo “pizza”.

Nas Figuras 5 e 6 tem-se o exemplo do reservatório Gavião. Trata-se de um caso muito específico por lidarmos com um lago relativamente pequeno. Sua dimensão possibilita alto grau de mistura em seus aportes hídricos e esses provêm de diversas fontes; desde as contribuições resultantes da conversão de chuva em vazão em sua própria bacia hidrográfica chegando até sua

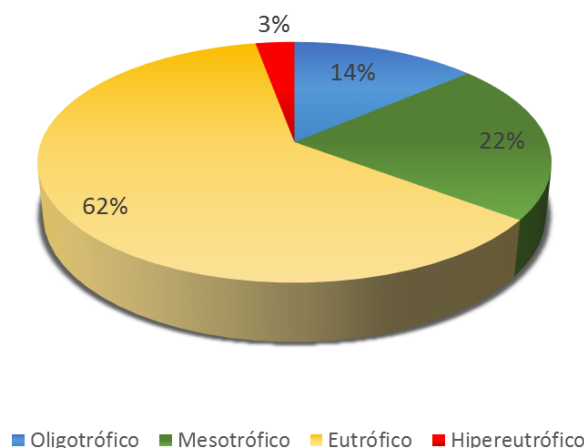
funcionalidade mais relevante de corpo receptor de vazões transpostas, seja do Pacoti-Riachão, seja desses mananciais em mistura com águas advindas do rio Jaguaribe, via Eixão das Águas. Em um futuro próximo, será agregado a esse “coquetel” hídrico as águas transpostas pelo Eixo Norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco – PISF. Portanto, o que é retratado na figura mencionada deve ser analisado sem se desconsiderar esse peculiar modo de operação do reservatório como corpo hídrico receptor final do sistema de abastecimento de água da região metropolitana de Fortaleza.

Figura 5 – Açude Gavião: Histórico do estado trófico



Fonte: Elaboração própria.

Figura 6 – Barragem Gavião: Histograma do estado trófico



Fonte: Elaboração própria.

Conforme se ver nas figuras acima mostradas, foram processadas todas as informações disponíveis sobre os parâmetros químicos relevantes ao cálculo do índice de estado trófico pelo método de Carlson (1977) adaptado por Toledo (1983), resultando no diagrama de barras no qual o simples olhar revela a permanência desse reservatório, sob a condição de mistura mencionada, na condição preponderante de eutrofizado. O histograma em forma de pizza apresentado revela que, quantitativamente, essa percepção visual, corresponde a uma permanência de 63% do tempo coberto pelas amostras disponíveis no banco de dados da COGERH.

Importa lembrar que, no caso do açudo Gavião, decorrente das ponderações já feitas em relação à sua condição de receptor de diversas fontes hídricas, as variações de estado trófico que se intercalam na série histórica calculada para esse índice têm não apenas explicação nos eventos hidrológicos de sua própria bacia hidrográfica, mas, muito mais, certamente, em função das manobras de gestão procedidas objetivando atender as demandas estabelecidas com sistemáticas transferências de águas entre os mananciais integrados na composição do sistema. A série histórica de estado trófico pode ser vista como um reflexo temporal das variações dos parâmetros influentes nessa classificação.

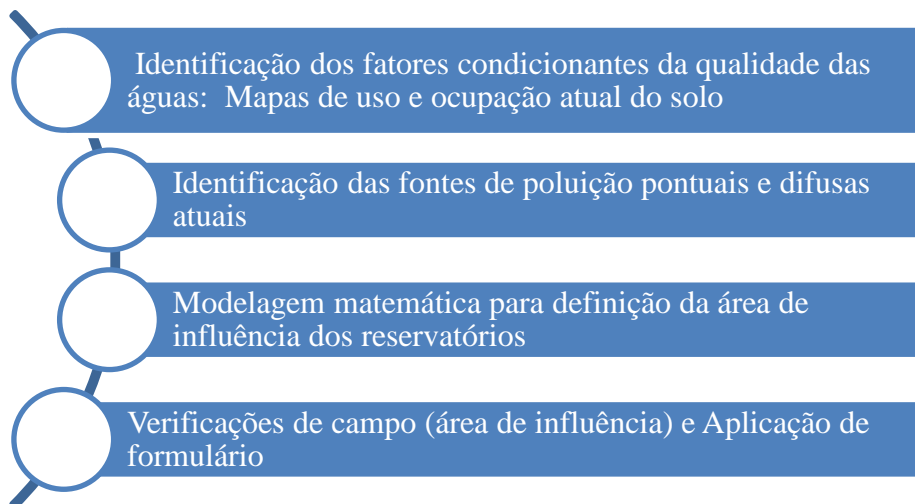
No contexto do enquadramento objetivado, o histórico e o correspondente histograma de estado trófico tornam-se instrumento eficiente da exposição da condição qualitativa das águas do reservatório ao longo do tempo. Por exemplo, observando-se o mesmo, não se pode dizer que

houve agravamento da qualidade da água espelhada por esse índice para além do surgimento de estados de hipereutrofização em 3% do tempo a partir de setembro de 2010, condição nunca verificada antes na série histórica.

2.2. Inventários Ambientais

Por fim, complementando o Diagnóstico Ambiental Integrado, descreve-se a parcela metodológica referente ao enquadramento a ser derivada dos procedimentos concebidos no desenvolvimento dos Inventários Ambientais (Produtos 7, 8 e 9). Tal parcela articula-se conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Procedimentos do Inventário Ambiental



Fonte: Elaboração própria.

2.2.1. Identificação dos fatores condicionantes da qualidade das águas

A principal fonte de informação desta etapa são os mapas de uso e ocupação do solo, que foram produzidos na fase de inventário, de maneira totalmente focada nas áreas de drenagem dos reservatórios de interesse. Esses mapas de uso e ocupação atuais serão elaborados tendo-se como diretriz a ênfase nos elementos da paisagem natural e artificial correlacionados com afluxos de substâncias degradadoras da qualidade da água nos mananciais que controlam tais bacias hidrográficas.



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

A análise subjacente ao mapeamento resultante considera tanto as fontes difusas como as fontes pontuais ou concentradas de efluentes capazes de comprometer a qualidade das águas armazenadas no reservatório controlador a jusante. A identificação dessas fontes compreende uma fase de escritório e uma fase de campo.

A fase de escritório faz uso de imagens de satélite e sistemas de informações geográficas para exaurir, via métodos classificatórios consagrados, os conteúdos pertinentes em cada paisagem integrante do espaço hidrográfico de interesse. O objetivo aqui é extrair mapeamento realista da diversidade geográfica da bacia de drenagem de maneira a produzir informações confiáveis a partir das quais se possa fazer uso das tabelas disponíveis na literatura, na estimativa das cargas unitárias das substâncias de interesse.

O processo de extração de informações em imagens se dá, principalmente, através da classificação ou associação de cada pixel da imagem à um tema de interesse, obtendo, assim, uma representação que melhor descreva a realidade do objeto.

Os métodos de classificação podem ser divididos em supervisionado e não-supervisionado e em 'pixel a pixel', onde são analisadas características espectrais individuais de cada célula do objeto, ou por regiões, que analisam também a relação espacial do pixel e sua contiguidade.

Os métodos supervisionados demandam o conhecimento prévio mais detalhado da área, tendo em vista que os padrões selecionados, chamados de treinamento, responsável pelo reconhecimento da assinatura espectral de cada uma das classes de uso do solo da área da imagem, serão comparados com todos os pixels desconhecidos para então realizar a classificação. São exemplos destes: *MaxVer*, *Distância Mínima*, entre outros.

Já nos métodos não-supervisionados as células dentro de uma área são agrupadas numa feição espacial de dimensão igual ao número de bandas presentes. Este algoritmo assume que cada grupo ("cluster") representa a distribuição de probabilidade de uma classe, à exemplo do *IsoCluster*, *IsoSeg*, entre outros.

Além dos classificadores computacionais, devem ser atribuídas técnicas de interpretação visual e correção de possíveis erros no mapeamento devido à confusão gerada por semelhanças nas características espectrais de algumas classes.





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

No presente estudo, conforme descrito mais adiante, foi adotado o método de classificação não supervisionado *IsoCluster* da ferramenta *Image Classification*, através do software ESRI® ArcGIS, associado à fotointerpretação do operador responsável pelo refinamento do mapeamento, tendo sido este método, o que mais se adequou às condições espaciais e espectrais da imagem utilizada, bem como ao objetivo da caracterização da área.

Não menos importante nessa fase de escritório é a identificação de todos os aglomerados urbanos relevantes no âmbito dos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica (levantados no Diagnóstico Ambiental), sua demografia e a conversão dessas informações, mais uma vez, via tabelas consagradas (referidas mais adiante), em carga poluente **especialmente** georreferenciada.

Paralelamente, vasta pesquisa em diversas fontes é empreendida para cada município de interesse com o objetivo de inventariar a infraestrutura privada/pública que possa ser relacionada como fator potencial ou efetivo de geração de carga poluente, como é o caso de indústrias, estações de tratamento de esgoto – ETE, aviários, matadouros, etc. O foco dessa pesquisa mais esmiuçada recai sobre os empreendimentos potencialmente localizados na **zona de influência dos reservatórios**.

Exaustiva pesquisa nos bancos de dados disponibilizados em internet, relativos à informação sobre saneamento ambiental, complementa o quadro de dados a ser considerado nas fases que se seguem.

Uma vez identificados os pontos de interesse, são procedidas visitas de campo onde se cumpre exatamente o que estabelecem os Termos de Referência, inclusive quanto à aplicação do questionário contido no Anexo I dos TR's. Nessas visitas, as áreas de APP são percorridas em toda a sua extensão acessível, bem como são contatados os representantes de todos os empreendimentos inventariados em escritório como pertencentes à área de influência do reservatório. Para cada ponto de interesse busca-se saber a origem e o destino das águas servidas, tudo documentado fotograficamente, de maneira georreferenciada e datada.

Nos aglomerados urbanos de relevância, localizados na área de influência, ou naqueles mais adensados, embora apenas potencialmente localizados na área de influência, para além das informações levantadas sobre infraestrutura de saneamento básico e ambiental, a equipe técnica se informa localmente (em complemento ao conteúdo eventualmente identificado em imagem de





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

satélite) e percorre todos os pontos de concentração de lançamentos indesejáveis, em particular, canais de drenagem (os quais, geralmente, contém águas servidas) ou córregos de esgoto a céu aberto para onde afluem os montantes servidos concentrados pela topografia favorável.

A Figura 8 exemplifica para o entorno do reservatório Gavião parte da realidade inventariada durante a campanha lá realizada em 07 de dezembro de 2016. Chama a atenção o fato de a realidade retratada se referir à bacia hidráulica (APP) do reservatório receptor final de onde é derivado o montante hídrico destinado ao abastecimento de água da região metropolitana de Fortaleza, situação que ressalta a pertinência da iniciativa da COGERH em incluir no programa em curso, reservatório de tal importância estratégica para o estado do Ceará.



Figura 8 – Açude Gavião: Campanha de campo realizada em 07/12/2016 – APP



Fonte: Elaboração própria.

2.2.2. Modelagem matemática para definição da área de influência dos reservatórios

A modelagem proposta encontra articulação conforme ilustra a Figura 9, onde se identifica todos os elementos sistematicamente compostos para que, a partir da informação efetivamente disponível e confiável, possa ser avaliado realisticamente o efeito do uso e ocupação do solo sobre a qualidade das águas em cada reservatório. Note-se que as fases anteriores, tais como a caracterização estatística do Banco de Dados e resultados das campanhas de coleta e análise de água entram em consideração com vistas a maximizar o grau de realismo da modelagem, mas sobretudo como meios para validar a pertinência e adequabilidade da metodologia de enquadramento em exposição.

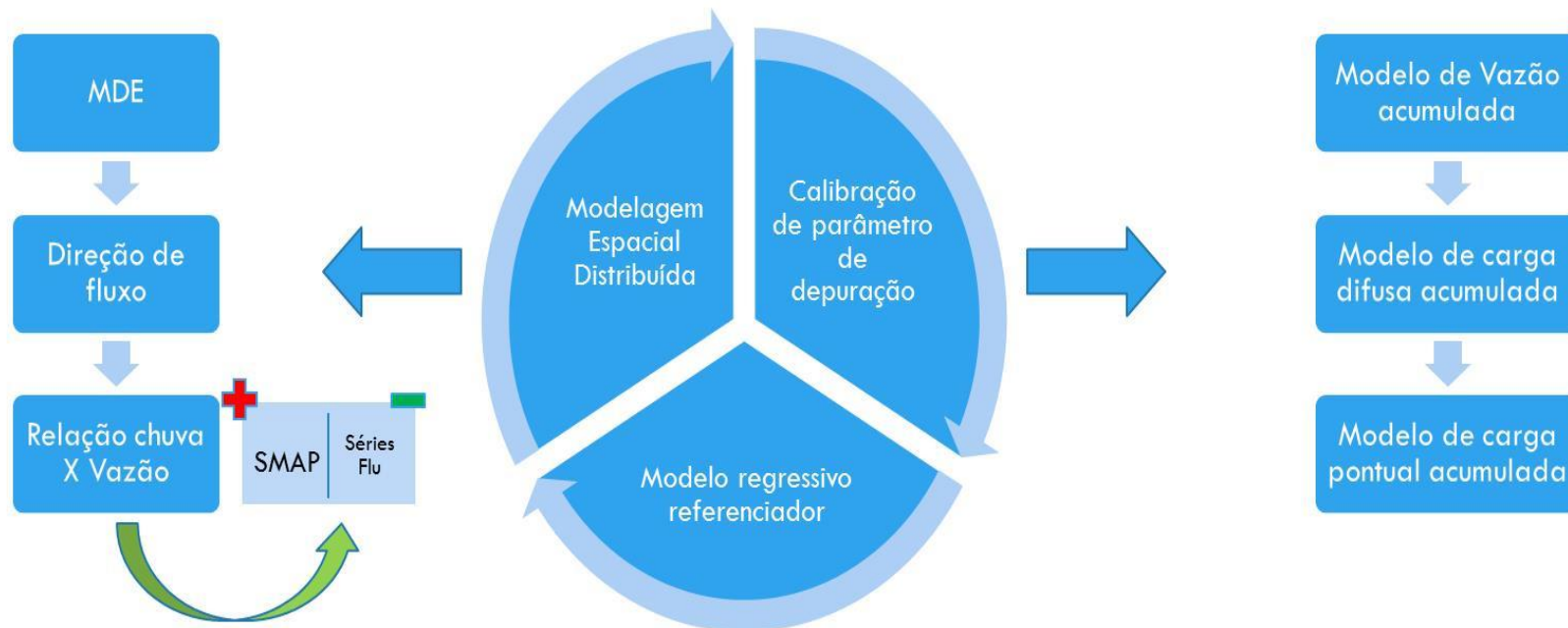
2.2.2.1. Modelo Digital de Elevação – MDE e Direção de Fluxo

O modelo digital de elevação (MDE) utilizado foi obtido do projeto Topodata, desenvolvido e disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O modelo é proveniente do refinamento de imagens da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) da National Aeronautics and Space Administration (NASA) e conta com dados topográficos de todo território nacional com resolução espacial de 1 arco-segundo (~30m).

Em ambiente SIG, a partir do MDE e utilizando o ArcHydro, um conjunto de ferramentas para análises hidrológicas que opera como módulo do software ESRI® ArcGIS, foram executadas diversas etapas que resultaram em *rasters* contendo a direção do escoamento superficial da água para cada célula, a acumulação do fluxo, rede de drenagem e, por fim, os limites das sub-bacias e bacias hidrográficas.

No âmbito da elaboração dos Inventários Ambientais, esta etapa foi desenvolvida para os quinze reservatórios em estudo, devido à necessidade da aplicação do modelo de direção de fluxo no processo de modelagem da carga e concentração de fósforo. Contudo, foram considerados, para fins de delimitação de área de contribuição hidrográfica, apenas os limites dos reservatórios faltantes, tendo sido os demais disponibilizados pela COGERH.

Figura 9 – Diagrama de articulação dos principais componentes da modelagem matemático



Fonte: Elaboração própria.

2.2.2.2. Modelagem da Relação Chuva X Vazão

Para a análise da potencialidade hídrica superficial é utilizado o cálculo do deflúvio superficial direto que corresponde ao volume médio de água que escoar na superfície de uma determinada área devido à ocorrência de precipitação. O cálculo do deflúvio é obtido pela relação entre as vazões médias anuais e a área de drenagem, resultando em valores em m/ano, convertido para ser expresso em $\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$.

$$D = \frac{Q_{\text{anual}}}{A}$$

onde:

D = Deflúvio ($\text{m}\cdot\text{ano}^{-1}$);

Q_{anual} = vazão média anual (m^3/ano);

A = área de drenagem da estação (m^2);

Para a elaboração de um modelo de vazão distribuída nas bacias estudadas, foi necessária a construção de uma relação matemática entre chuva e vazão. Para isso foram realizadas análises de regressão linear e não linear simples com objetivo de se verificar o ajuste entre os dados de vazão e chuva e para a obtenção de uma equação de regressão com o melhor ajuste possível entre os dados.

Para a avaliação da representatividade dos dados pelas equações consideradas foi estimado o coeficiente de determinação (R^2), calculado sendo:

$$R^2 = \frac{SQDR}{SQRM}$$

Onde:

SQDR é a soma dos quadrados devido à regressão (variação devido à regressão);

SQRM é a soma dos quadrados com relação à média (variação total).

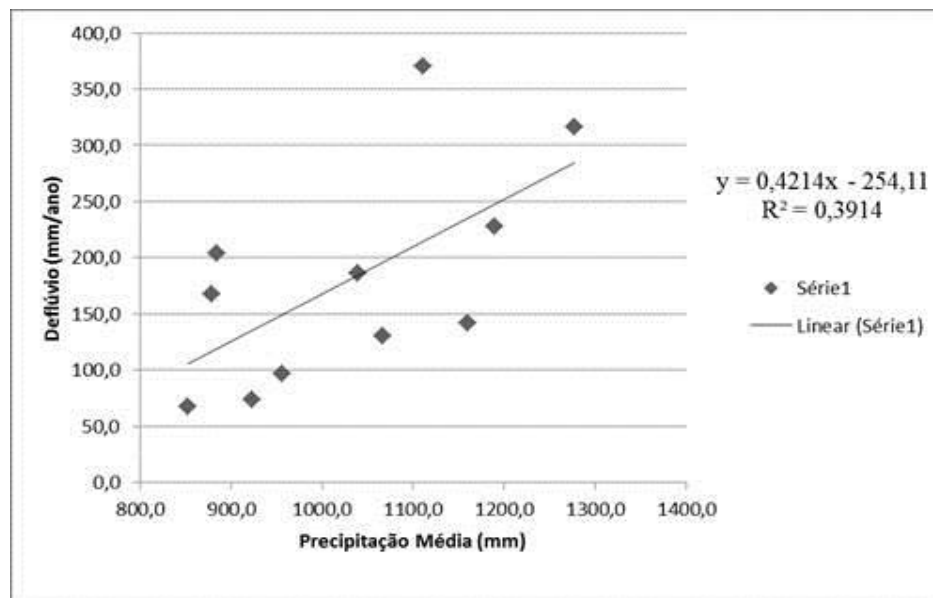
Por fim, a função de regressão com o melhor ajuste para a relação chuva-vazão é aplicada sobre o mapa de precipitação com objetivo de se obter o plano de informação da vazão média de longo curso distribuída em função da precipitação em $\text{mm}\cdot\text{m}^2\cdot\text{ano}^{-1}$.

No contexto de desenvolvimento dos Inventários Ambientais, ao se trabalhar o tema da relação chuva-vazão em nível anual, inicialmente foi dada preferência de utilização às séries pseudohistóricas de vazões fornecidas pela COGERH, obtidas por aplicação do modelo chuva-vazão SMAP.

Os dados de chuva e deflúvio considerados foram fornecidos pela própria COGERH. Dentre os 15 reservatórios de interesse, quatro deles não possuem os dados de deflúvio, pois são muito pequenos e não constam no acervo fornecido à consultora pela companhia (em cumprimento ao estabelecido nos TR's). O método do cálculo de chuva média (e.g. Thiessen), bem como das vazões encontra-se especificado nos relatórios produzidos pela COGERH-UFC, de onde provieram os dados mostrados na Figura 10.

Os resultados obtidos não foram satisfatórios e serão comentados em maior profundidade quando da apresentação do produto final do enquadramento dos corpos hídricos. A título ilustrativo é apresentado a seguir (Figura 10) o ajustamento linear aos pares ordenados de chuva e vazão, esta última calculada pelo SMAP, tendo como espaço geográfico exutórios localizados nas bacias objeto do presente trabalho. Observe-se que tal é o grau de dispersão dos pontos que o coeficiente de determinação não chega a atingir 0,40.

Figura 10 – Relação chuva-vazão com dados do SMAP



Fonte: Elaboração própria.

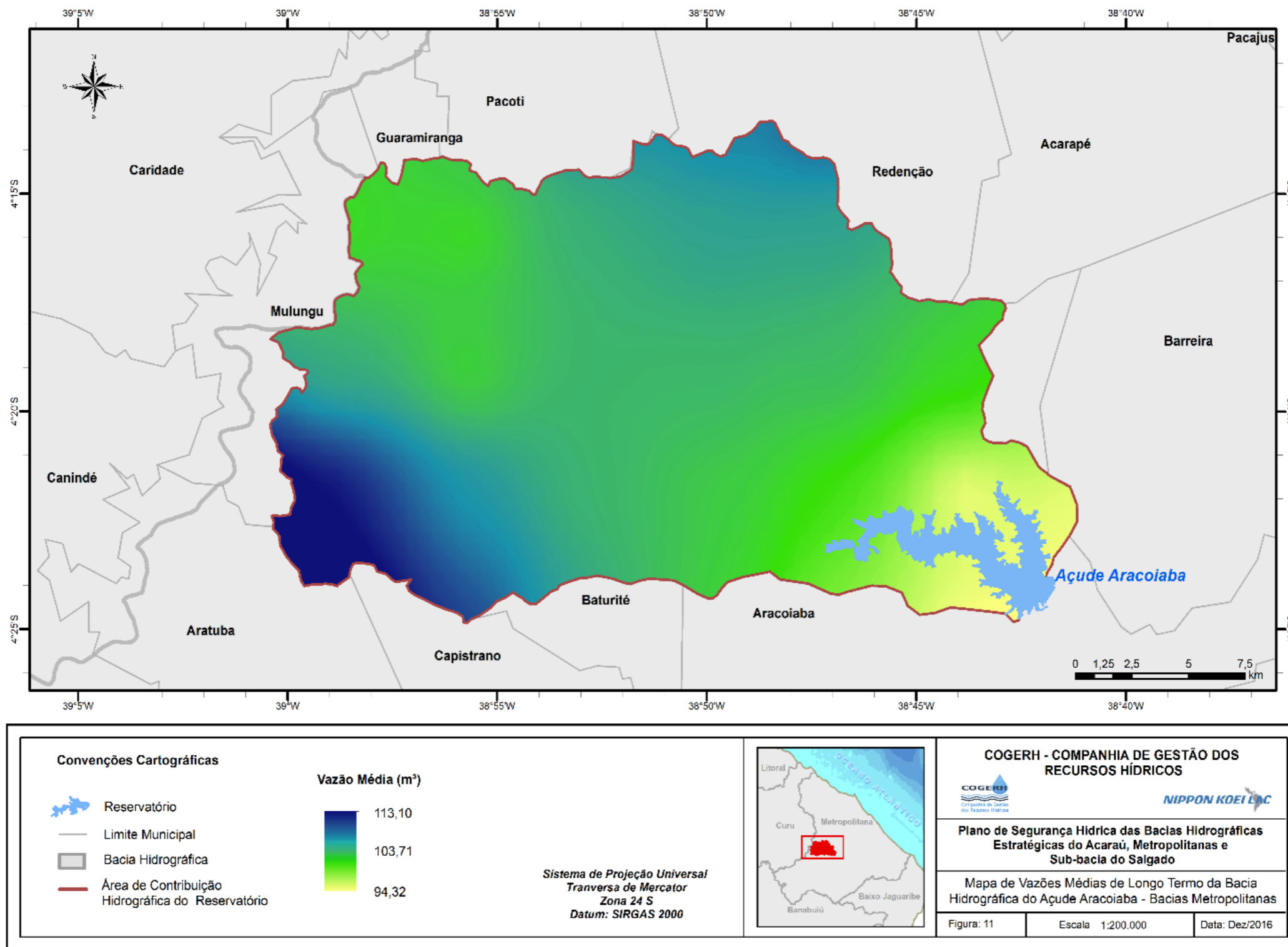
A alternativa encontrada é a de se utilizar os postos fluviométricos disponíveis nas bacias hidrográficas de interesse, bem como naquelas áreas de drenagem localizadas nas adjacências, com homogeneidade garantida pela proximidade. A análise de pertinência da inserção de um dado posto fluviométrico no conjunto previamente escolhido com base na lista de estações utilizada nos Estudos anteriormente desenvolvidos pela COGERH deve ser procedida avaliando-se o grau de dispersão que o novo ponto possa apresentar em relação aos insertos na regressão.

Assim, para cada uma das sub-bacias hidrográficas (Metropolitanas, Acaraú e Salgado) foram selecionadas as estações fluviométricas integrantes de sua respectiva rede de monitoramento, bem como postos fluviométricos localizados em bacias adjacentes, cuja homogeneidade hidrológica em relação às sub-bacias mencionadas é avaliada pela própria aderência do par ordenado (Chuva, Deflúvio) à linha de tendência ajustada ao conjunto de dados disponível. Portanto, cada sub-bacia será individualizada com sua respectiva relação regressiva Chuva-Vazão. As verificações preliminares realizadas dão conta de que, essa individualização é superior a agrupamento de todos os dados para o ajustamento de uma única relação de regressão. Esse resultado é o esperado, em face de as regiões de localização das três sub-bacias terem a conversão de chuva em vazão sob influência de sua localização geográfica, bem como suas peculiaridades fisiográficas (tipo de solos, geologia, ocupação, etc.)

2.2.2.3. Modelo de vazão acumulada

Obtida a distribuição das vazões médias de longo termo em função da precipitação (Figura 11), torna-se possível determinar, em ambiente SIG, o volume de água acumulado na bacia através de procedimentos de análise do escoamento superficial, utilizando algoritmos encontrados na caixa de ferramentas “Hydrology”, do módulo Spatial Analyst do software ArcGIS.

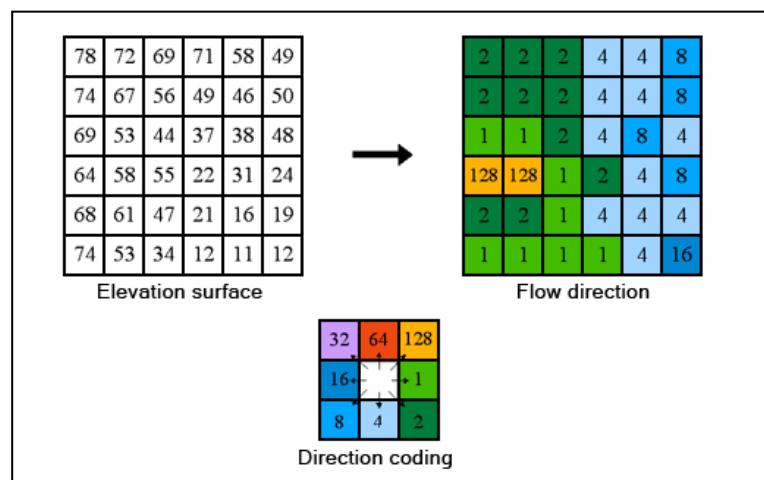
Figura 11 – Mapa das vazões médias de longo termo na bacia do reservatório Aracoíaba



Fonte: Elaboração própria (Software: ArcGIS).

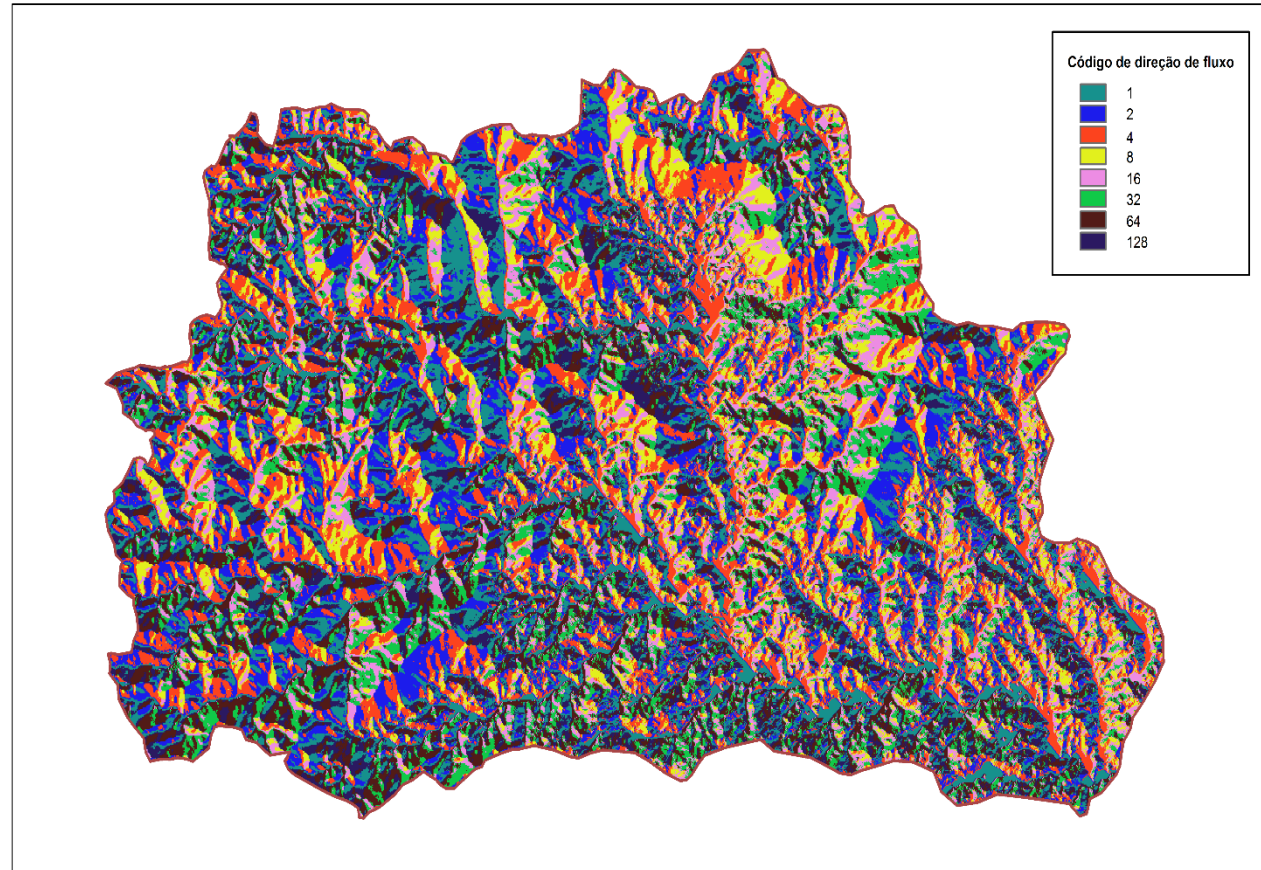
O primeiro procedimento, denominado “Flow Direction” (Direção de Fluxo) atribui à um raster de entrada, que contém a elevação do terreno, o sentido do escoamento de cada célula (pixel) baseando-se na diferença de cota ponderada pela distância entre o pixel e suas oito células adjacentes, considerando estas, suas oito direções de fluxo possíveis (Figura 12). Como resultado, obtém-se um plano de informação em que cada pixel do raster da bacia hidrográfica possui um código indicativo da direção que tomará o fluxo, conforme mostrado na Figura 13, para o caso da área de contribuição do reservatório Aracoiaíba.

Figura 12 – Codificação da direção de fluxo



Fonte: ESRI® ArcGIS.

Figura 13 – Plano de informação da direção de fluxo na bacia hidrográfica do reservatório Aracoíaba

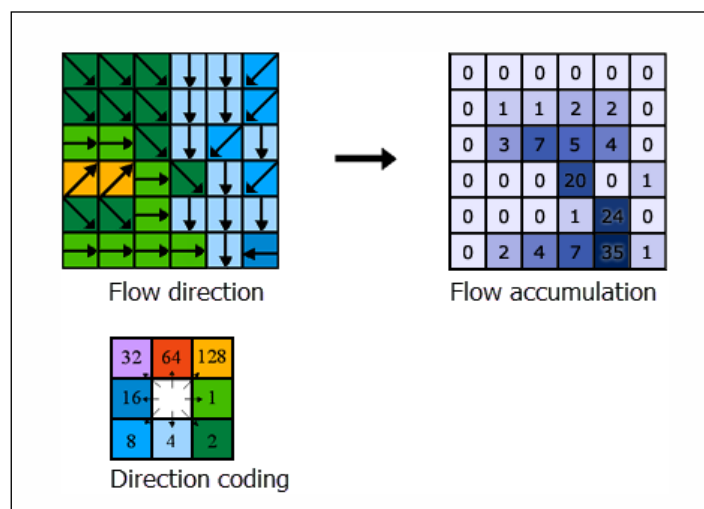


Fonte: Elaboração própria (Software: ArcGIS).

Definidas as direções do escoamento superficial, podemos calcular o volume de água acumulado na bacia utilizando o algoritmo de fluxo acumulado (*Flow Accumulation*) implementado na ferramenta *hydrology* do software ArcGIS.

Este procedimento é responsável por determinar, por meio da direção de fluxo, a quantidade de células que drenam para cada pixel de um plano de informação (*raster*), conforme ilustrado na Figura 14, identificando por onde haverá um maior acúmulo de água, até o exutório da bacia.

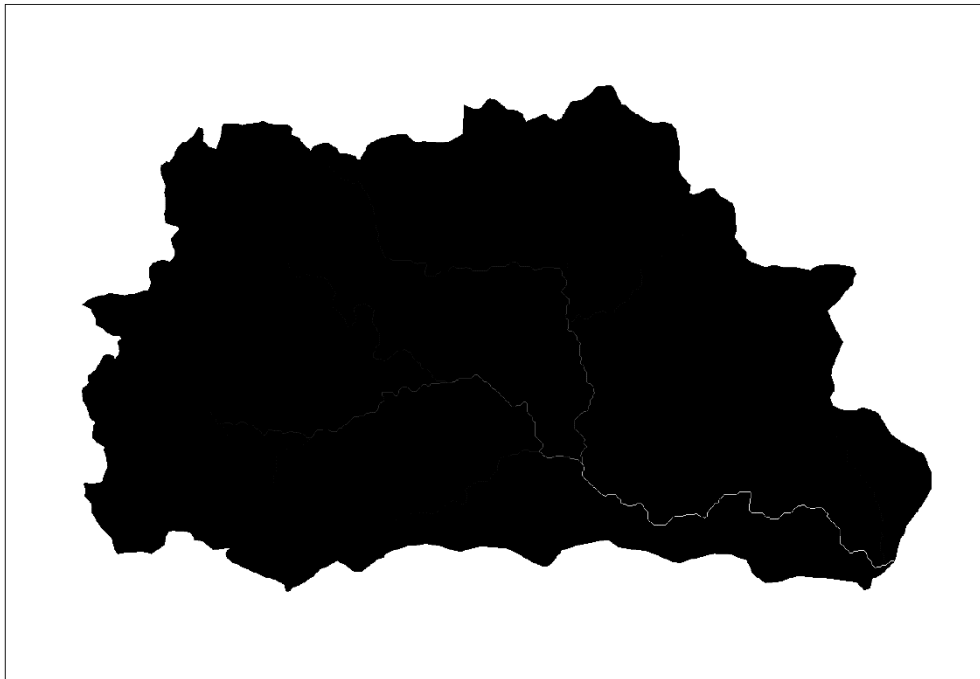
Figura 14 – Determinação da acumulação do fluxo



Fonte: ESRI® ArcGIS.

Seguindo requerimento da ferramenta, o procedimento teve como dados de entrada o raster de direção de fluxo e o plano de informação das vazões médias de longo termo, tendo como produto o modelo do acúmulo das vazões médias de longo termo, em m³.ano (Figura 15).

Figura 15 – Plano de informação do acúmulo de fluxo na bacia hidrográfica do reservatório Aracoiaba



Fonte: Elaboração própria (Software: ArcGIS).

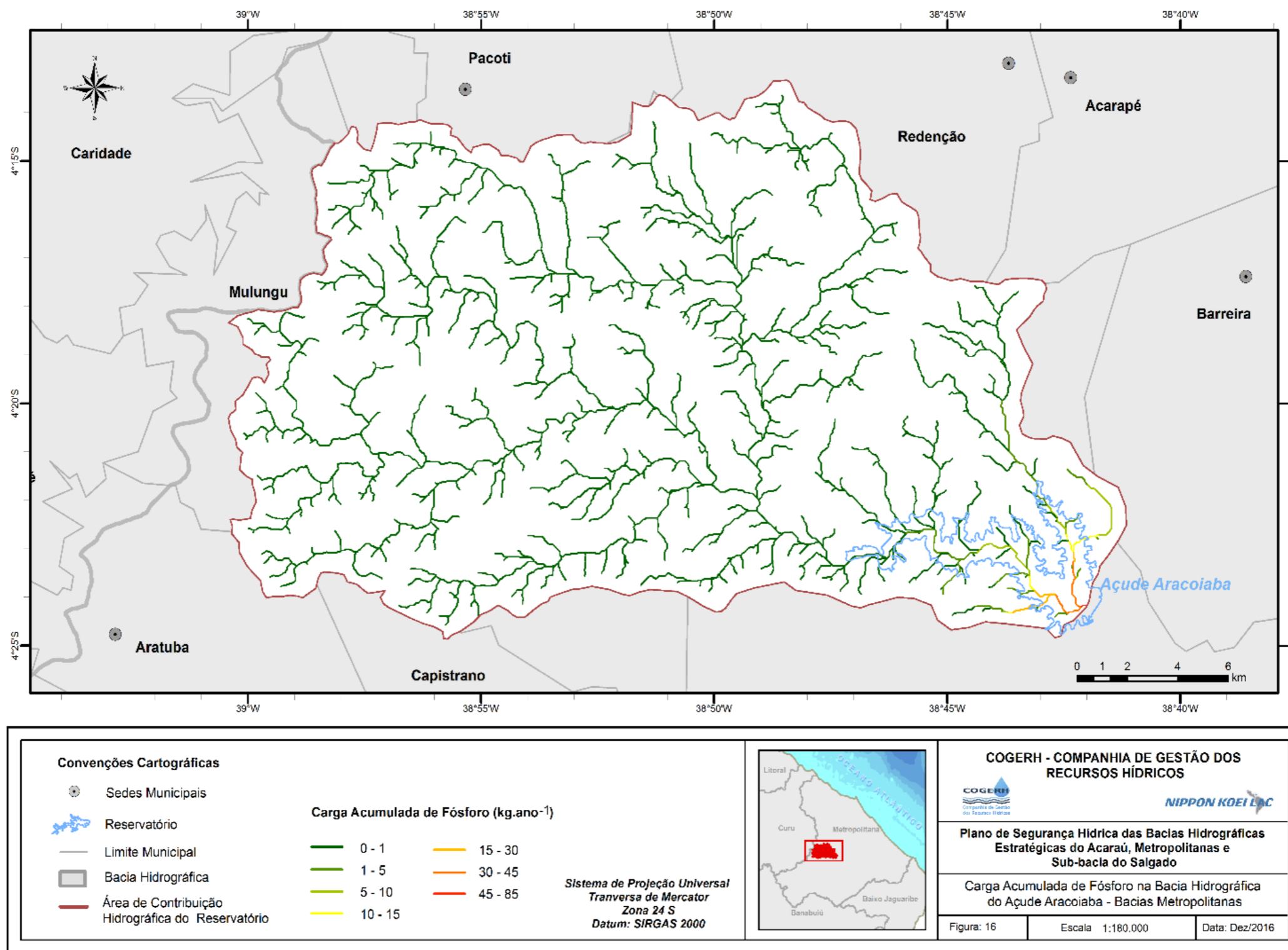
2.2.2.4. Modelo de cargas difusas e pontuais

Considerando as interações físicas ocorridas no processo de carreamento dos nutrientes, um fator a ser ponderado no cálculo das cargas, por exemplo, de fósforo, é a distância que a fonte poluente está do corpo hídrico.

Os valores de carga potencial de fósforo **devem ser distribuídos para todos os pixels dos planos de informação de carga difusa e pontual** e, sobre eles, **deve ser aplicado o indicador de distância a fim de considerar o decaimento (depuração) ao longo da trajetória percorrida pela substância até chegar ao reservatório.**

Um exemplo de carga total acumulada de fósforo é apresentado na Figura 16 para a bacia hidrográfica do reservatório Aracoiaba. A estimativa é feita somando-se as cargas potenciais provenientes de fontes pontuais e difusas e, posteriormente, aplicando-se o algoritmo FAP, conforme descrito anteriormente, combinando os planos de direção de fluxo e da carga total de fósforo.

Figura 16 – Carga total de fósforo na área de contribuição hidrográfica do reservatório Aracoiaba



Fonte: Elaboração própria (Software: ArcGIS).

A partir do modelo de vazões médias de longo termo acumuladas e do modelo de carga total de fósforo acumulada torna-se possível obter a concentração média anual na área de contribuição hidrográfica, utilizando a seguinte equação:

$$C_p = \frac{L_p}{Q_p}$$

onde:

C_p é a concentração média anual da substância;

L_p é carga total acumulada de P ($\text{kg}\cdot\text{ano}^{-1}$); e

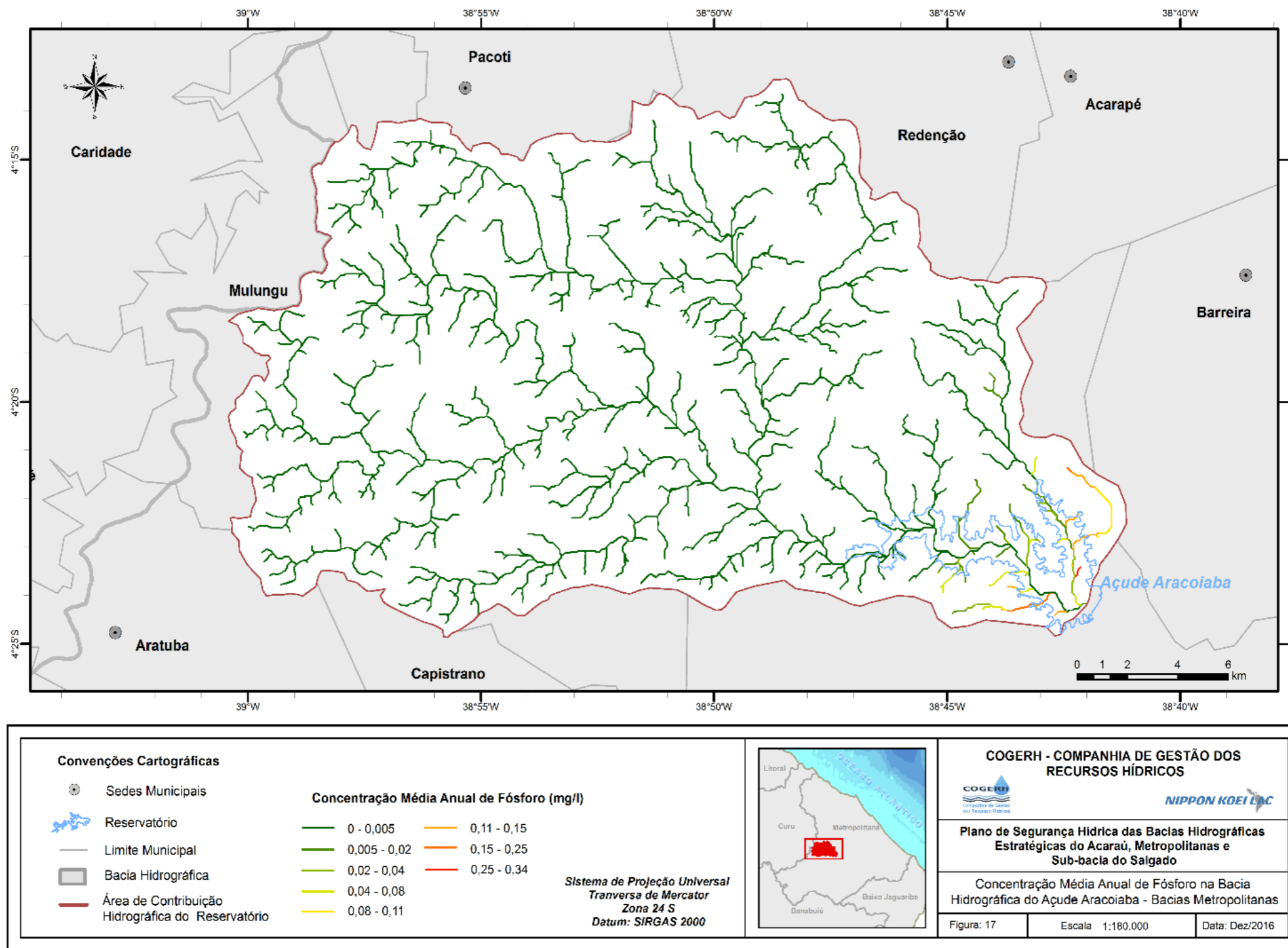
Q_p é vazão média anual acumulada ($\text{m}^3\cdot\text{ano}^{-1}$).

Tendo, assim, como resultado a concentração média anual na bacia em kg/m^3 , posteriormente convertida, obtendo-se o plano de informação da concentração média anual de fósforo em mg/L . A Figura 17 exemplifica o resultado do procedimento para a bacia do reservatório Aracoiaba.

2.2.2.5. Modelo regressivo referenciador

Conforme sugere o próprio título do presente item, o modelo adotado destina-se a fornecer uma referência da carga total de fósforo na bacia a partir de variáveis estudadas e identificadas como determinantes da mesma, em se tratando de lagos tropicais de águas quentes. A metodologia escolhida para esse fim é consagrada e foi proposta por Salas e Martino (1991). Esses autores conduziram importante investigação científica no contexto de um Programa Regional para o desenvolvimento de metodologias simplificadas para a avaliação da eutrofização em lagos/reservatórios tropicais de água quente da América Latina e do Caribe. Trata-se de um programa que foi iniciado em 1981 pelo Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais (CEPIS) do Centro Especializado da Organização Pan-Americana da Saúde, este, por sua vez ligado à Organização Mundial de Saúde (OMS).

Figura 17 – Concentração média anual de fósforo na área de contribuição hidrográfica do reservatório Aracoiaba



Fonte: Elaboração própria (Software: ArcGIS).

As informações coletadas em diversos países indicam uma maioria de lagos e reservatórios regionais aparentemente limitados pelo fósforo. A classificação do estado trófico desses corpos d'água e um modelo de fósforo total simplificado foram desenvolvidos com dados regionais e, segundo os autores, verificados com sucesso considerando os dados de outros lagos e reservatórios do continente africano. Nesse artigo, hoje tomado por muitos profissionais da área como um clássico, o uso do modelo de fósforo é indicado por seus autores como ferramenta preditiva na gestão e no planejamento dos recursos hídricos.

No presente contexto, conforme mencionado, o modelo regressivo se prestará ao fornecimento de um valor de referência para a carga de fósforo afluyente à bacia hidráulica dos reservatórios. Conforme o artigo supracitado, a equação do balanço de massa para o fósforo total é dada por:

$$P_{\lambda} = \frac{L(P)}{\bar{Z} \left(\frac{1}{T_w} + K_s \right)}$$

Onde:

P_{λ} é o fósforo total em mg/L ;

$L(P)$ é a taxa de contribuição de fósforo total por unidade de superfície em $g/m^2 \cdot ano$;

\bar{Z} é a profundidade média do lago em m ;

T_w é o tempo de detenção em $anos$;

K_s é a taxa global de perda de fósforo total em $1/ano$.

O valor do parâmetro K_s é obtido como função do tempo de detenção como sendo (Salas e Martino, 1991):

$$K_s = \frac{2}{\sqrt{T_w}}$$

2.2.2.6. Modelagem espacial distribuída

De posse de todos os dados das áreas potenciais de poluição, é dado início à etapa de identificação e quantificação das cargas de fósforo provenientes de fontes pontuais e difusas,

baseando-se na carga per capita e no tipo de uso e cobertura do solo associados aos coeficientes médios de exportação (Tabela 2) definidos pelo Modelo Matemático de Correlação Uso do Solo/Qualidade da Água (MQUAL), desenvolvido pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA, 2010).

Tabela 2 – Coeficientes médios de exportação de fósforo total adotados no estudo

| TIPO | FONTE | UNIDADE | FÓSFORO TOTAL |
|---------|---------------------|-------------------------|---------------|
| Difusa | Afloramento Rochoso | kg/km ² .ano | 10,22 |
| | Área Urbana | | 12,41 |
| | Água | | 0,00 |
| | Cultura Agrícola | | 126,29 |
| | Vegetação | | 14,24 |
| | Pastagem | | 10,22 |
| | Solo Exposto | | 12,41 |
| Pontual | Carga per capita | kg/hab.ano | 0,28 |

Fonte: Adaptado de SMA (2010).

A estimativa da carga potencial (C_p) de fósforo por origem pontual é feita a partir da quantificação, segundo dados do Censo Demográfico 2010 (IBGE 2010), da população por setor, parcial ou integralmente incluso no limite da bacia hidrográfica do reservatório. O cálculo é feito considerando a população e a área proporcionais do setor e a carga per capita média de fósforo total anual, aplicando-se:

$$C_p = \frac{P_{st} C_{pc}}{A_{st}}$$

Onde:

C_p é a carga pontual de fósforo em kg/km².ano;

P_{st} é a população proporcional do setor;

C_{pc} é a carga per capita anual de fósforo em kg/hab; e

A_{st} é a área proporcional do setor em km².

Concernente à poluição proveniente de fontes difusas, esta se encontra fortemente associada ao tipo de uso e ocupação do solo existente na bacia. Para identificação e quantificação das potenciais causas da eutrofização dos corpos hídricos serão aplicados coeficientes de exportação às diferentes classes de cobertura do solo e atividades desenvolvidas dentro da área de contribuição do reservatório.

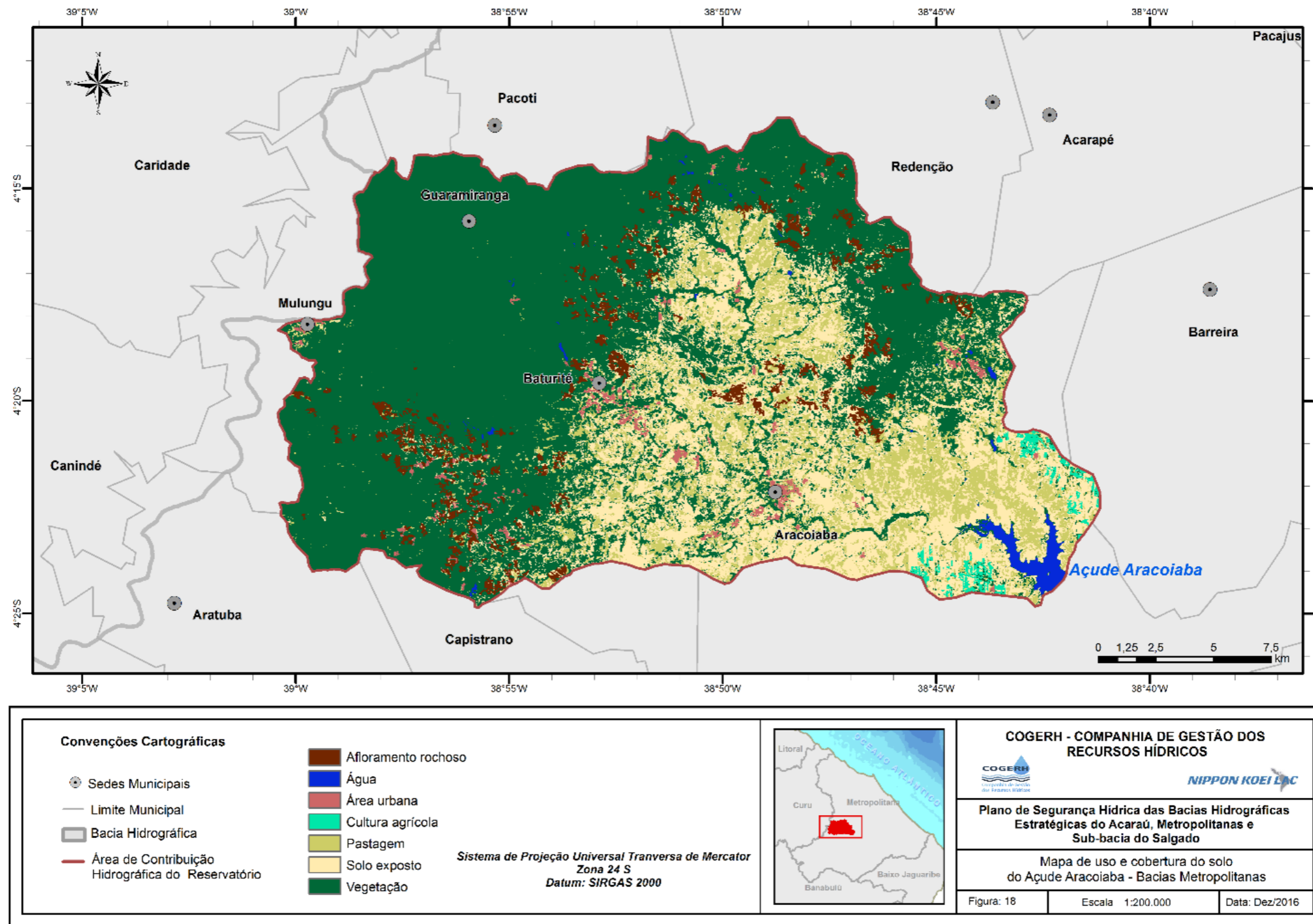
Para tanto, nos inventários ambientais em desenvolvimento estão sendo utilizadas imagens multiespectrais, do sensor TM do satélite LANDSAT 8, distribuídas pela *U.S Geological Survey* (USGS), com resolução espacial de 30 m, para as quais foi atribuída composição colorida RGB nas bandas 6, 5 e 4, respectivamente.

O processo de classificação das imagens vem sendo feito nos inventários ambientais através de sistema de informações geográficas, utilizando-se o método não supervisionado *IsoCluster* da ferramenta *Image Classification*, obtendo, de modo geral, sete classes: afloramento rochoso, área urbana, cultura agrícola, pastagem, solo exposto e vegetação.

Uma vez gerada a classificação, para melhor adequá-la à realidade apresentada na imagem de satélite, faz-se necessário realizar uma pós-classificação, a fim de identificar e corrigir eventuais erros no mapeamento. Algumas células que possam ter tido suas classes determinadas com imprecisão durante o processo são identificadas pelo operador que realizou a edição e permuta das categorias, para assim obter uma representação satisfatória do objeto em estudo. A Figura 18 ilustra o resultado para a bacia do reservatório Aracoiaíba.

A cada grupo de objetos é atribuído seu respectivo coeficiente médio de exportação de fósforo, resultando no modelo de cargas potenciais de origem difusa, distribuídas por categoria de uso e cobertura do solo.

Figura 18 – Mapa de uso e cobertura do solo da área de contribuição hidrográfica do reservatório Aracoíaba



Fonte: Elaboração própria (Software: ArcGIS).

Para melhor entender a dinâmica do transporte de nutrientes na bacia pelo escoamento superficial é necessário antes conhecer as características hidrológicas do ambiente. Para tanto, conforme descrito no item 2.2.2.2., foram estudados métodos e alternativas a fim de identificar a melhor representação da realidade hidrológica da bacia hidrográfica em estudo.

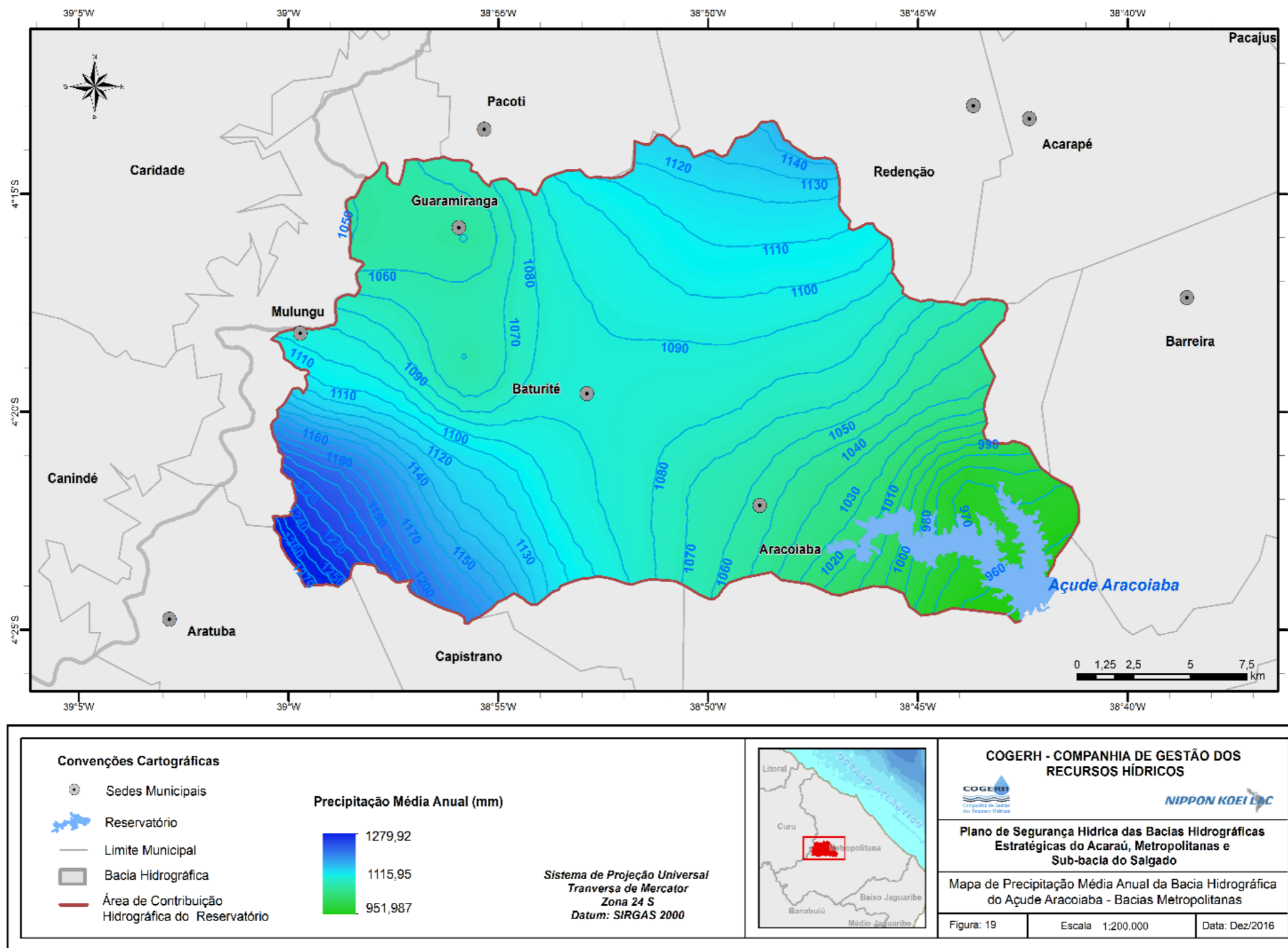
Para a caracterização do comportamento hidrológico e da disponibilidade hídrica nas bacias estudadas foi necessário calcular as vazões e as precipitações médias por área de drenagem, e construir uma relação matemática entre chuva e vazão a fim de se obter a vazão média de longo termo ou de longa duração.

Conforme já visto, a vazão média de longa duração permite caracterizar a disponibilidade potencial de uma bacia hidrográfica. O cálculo da vazão média de longa duração das áreas estudadas é obtido pela média das vazões médias anuais para toda a série de dados.

O plano de informação relativo ao regime de chuva na área de interesse é gerado através da espacialização de dados de precipitação obtidos do banco de dados dos *Estudos Pluviométricos* desenvolvidos no âmbito do "Estudo para refinamento do balanço hídrico e definir diretrizes, metodologias e ferramenta para subsidiar o estabelecimento de regras operativas para 204 reservatórios localizados na região semiárida, contemplando estimativas de oferta hídrica e demandas associadas, criação de base de dados e aplicação de ferramenta de suporte e decisão", ANA (2016). A Figura 19 ilustra o caso do reservatório Aracoiaba.

Através de técnicas de geoprocessamento, conforme descrito anteriormente, tem-se delimitadas as áreas de drenagem de estações pluviométricas e de reservatórios selecionados, cujos valores de precipitação de suas células são sumarizados, resultando em valores de precipitação média anual por área de drenagem, a fim de subsidiar as etapas seguintes para a elaboração do plano de informação da vazão média de longo curso, distribuída em função da precipitação.

Figura 19 – Precipitação média anual na área de contribuição hidrográfica do reservatório Aracoiaba



Fonte: Elaboração própria (Software: ArcGIS).

2.2.2.7. Calibração de parâmetro de depuração

O decaimento da carga de nutrientes ao longo do espaço no percurso do escoamento superficial é modelado por um coeficiente de atenuação dependente da distância entre o ponto e o exutório da bacia. Um índice normalizado denominado Indicador de Distância (DI), proposto por Cecchi et al. (2007), pode ser utilizado para ponderar os coeficientes de exportação, conforme as equações a seguir:

$$DI_i = e^{-D_i K}$$

$$CE_{PD} = DI_i \times CE_{UCS}$$

DI_i é o indicador de distância entre a célula i e o corpo de água;

D_i é a distância euclidiana da célula i ao exutório medida em número de células;

K é a variável de calibração;

CE_{PD} é o coeficiente de exportação ponderado pela distância dado em $kg \cdot km^{-2} \cdot ano^{-1}$;

CE_{UCS} é o coeficiente de exportação de cada tipo de uso e cobertura do solo dado em $kg \cdot km^{-2} \cdot ano^{-1}$;

Portanto, se $D_i = 0 \Rightarrow DI_{i=1} = 1$; e se $D_i = \infty \Rightarrow DI_{i=1} = 0$. Essa condição, expressa em palavras em termos práticos aproximados, significa que, se a retícula (pixel) de discretização da área de drenagem estiver no próprio lago ou na APP, sua contribuição para o total da carga poluente depositada será integral ($DI_{i=1} = 1$). Na situação oposta, ou seja, se localizado a uma distância muito grande do lago, sua contribuição se anula, via processo de decaimento, admitido, como em tantos modelos clássicos, como governado pela função exponencial.

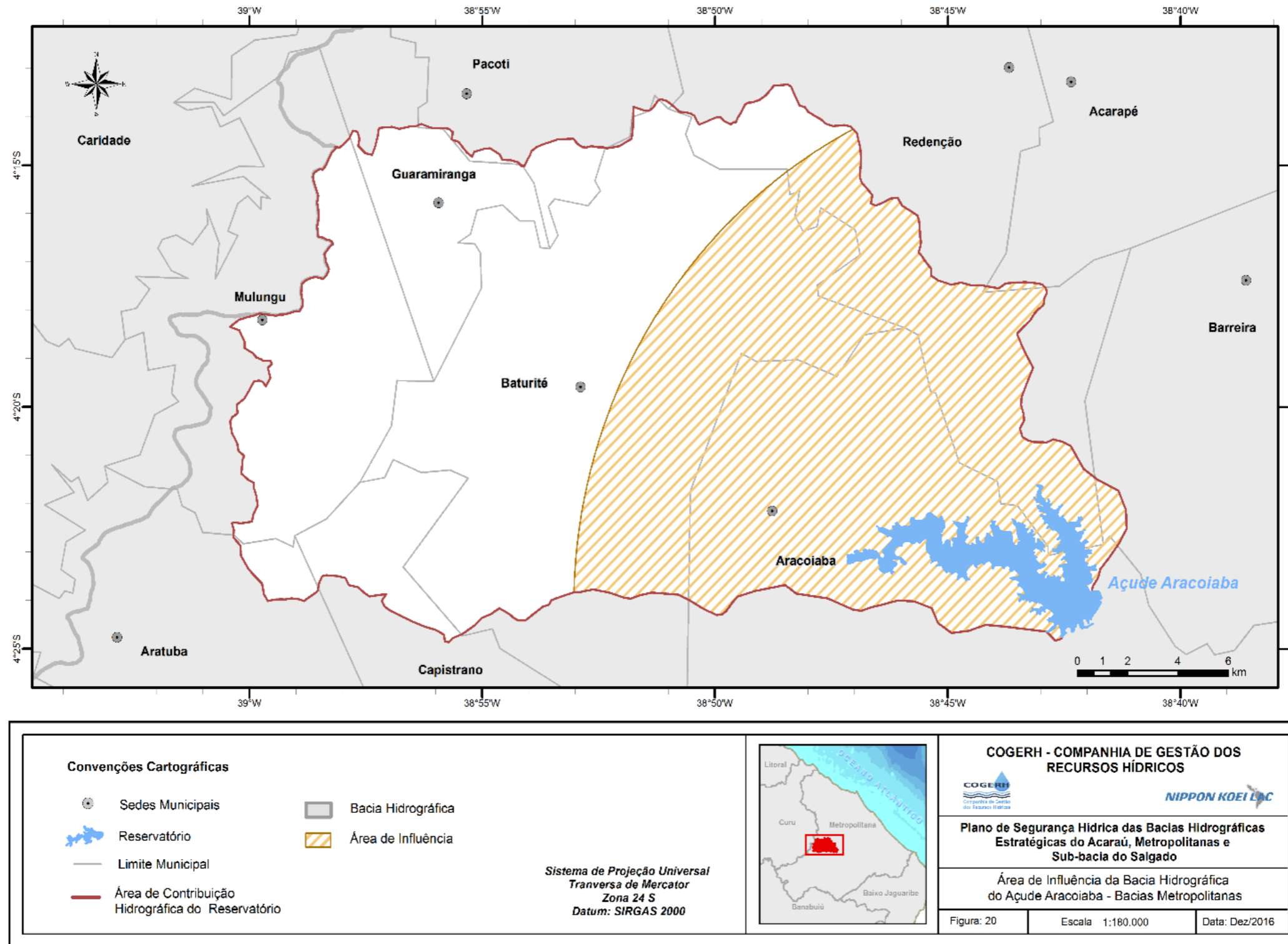
Considerando a área de influência do reservatório como a porção da bacia hidrográfica que responde pela potencial contribuição para a poluição do lago - representado pela porção amostrada, onde se fez a coleta da água - procede utilizar o indicador de distância como índice ou parâmetro a calibrar, de maneira que a carga de fósforo obtida no exutório da bacia hidrográfica, calculada em termos de média anual pelo modelo referenciador, seja aproximada pelo resultado do processamento do algoritmo acumulativo da carga poluente na bacia. A

calibração de K é iterativa: expande a área de influência inicialmente tomada como coincidente com a bacia hidráulica, até que os resultados mencionados se aproximem suficientemente. Em outras palavras, ao se expandir a área potencial de contribuição de poluentes desde o entorno do reservatório (bacia hidráulica) crescem, de maneira não linear, os valores da carga afluente ao lago. Em um dado momento da expansão, a carga afluente se aproxima do valor estimado pelo modelo referenciador. Nesse momento, o raio da expansão correspondente implica em uma região de entorno do lago que, uma vez analisada com as imagens de satélite, pode vir a ser ajustada para, eventualmente, incluir alguma fonte que seja relevante e ficou nas adjacências da delimitação. O exercício prático desse procedimento mostra excepcional coerência entre a realidade qualitativa da água no reservatório e a realidade física materializada nas fontes poluentes (pontuais e difusas) que a calibração faz incluir como pertencentes à área de influência. A Figura 20 ilustra o resultado do procedimento para a bacia do reservatório de Aracoíaba.

Uma observação comum a todas as bacias de reservatórios analisados nos Inventários Ambientais foi o registro de superestimação, até mesmo em termos médios, da concentração de fósforo identificada no lago, ou melhor, na zona do lago onde se deu a coleta. Nessas circunstâncias, o uso do modelo referenciador se mostra extremamente útil, pois fornece uma estimativa da concentração dessa substância (em termos médios anuais) compatível com a magnitude da área de drenagem e com o uso e ocupação do solo. A utilização apenas dos valores médios anuais de concentração obtidos das amostras disponíveis no banco de dados leva inexoravelmente à conclusão, em todos os casos analisados, que existem atividades sendo realizadas no próprio lago, na sua APP ou no entorno mais imediato que resultam no despejo praticamente direto de nutrientes no reservatório.

A superestimação mencionada foi constatada mediante a comparação direta entre os valores calculados pela equação empírica e os valores advindos das análises da água coletada nas campanhas realizadas pelo consórcio, bem como aqueles valores e a média obtida a partir de todas as informações julgadas consistentes fornecidas pela COGERH.

Figura 20 – Área de influência da bacia hidrográfica do reservatório Aracoiaba



Fonte: Elaboração própria (Software: ArcGIS).



3. PROGNÓSTICO AMBIENTAL



3. PROGNÓSTICO AMBIENTAL

Conforme enfatizado no *Capítulo 1. Aspectos Legais*, a metodologia de enquadramento proposta deve aduzir vasto conteúdo dos Planos de Recursos Hídricos e Planos de Bacias Hidrográficas disponíveis, sendo preferencial o uso desses últimos, por oferecerem, via de regra, nível mais aprofundado de detalhamento dos temas de interesse.

A atualidade dos estudos a serem considerados é igualmente importante, visto ser esperado, para além do inventário de informações mais recentes, que aqueles baseiem suas conclusões em séries temporais mais longas e de maior significância estatística.

Os cenários previstos nos planos, principal conteúdo a ser deles carreado ao prognóstico ambiental, precisam comportar estreito entrelaçamento com a realidade dos programas e intervenções previstos diretamente, no sentido de serem empreendidos pela própria esfera governamental, ou aqueles resultantes de planejamento que indicam, por exemplo, a pertinência de incentivos setoriais. Em qualquer caso, que não omitam elementos implicantes no quadro de demandas que se estabelecerá no horizonte de planejamento.

No contexto da metodologia de enquadramento aqui apresentada, entende-se como necessária a consideração dos seguintes elementos atinentes aos cenários que prognosticarão a trajetória evolutiva da condição qualitativa das águas dos corpos d'água de interesse, contexto que constitui a primeira dimensão do problema enfrentado:

- Evolução da distribuição das populações e das atividades econômicas;
- Evolução de usos e ocupação do solo;
- Políticas e projetos de desenvolvimento existentes e previstos;
- Evolução da disponibilidade e da demanda de água;
- Evolução das cargas poluidoras dos setores relevantes.

A segunda dimensão da fase de prognóstico diz respeito à incorporação direta e efetiva da sociedade civil representada pelas entidades legitimadas ao debate envolvendo os usos desejados de recursos hídricos em relação às características específicas de cada bacia. Para tanto é preciso que se tenha em mãos as projeções associadas aos cenários considerados, materializadas na forma de evolução das condições de quantidade e qualidade dos corpos hídricos em cada uma



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

das bacias controladas pelos reservatórios de interesse. Esse quadro evolutivo é projetado com base na modelagem matemática descrita no item 2.2.2., tendo como dados de entrada os valores assumidos pelas variáveis influentes para as hipóteses de concretização de cada cenário considerado.

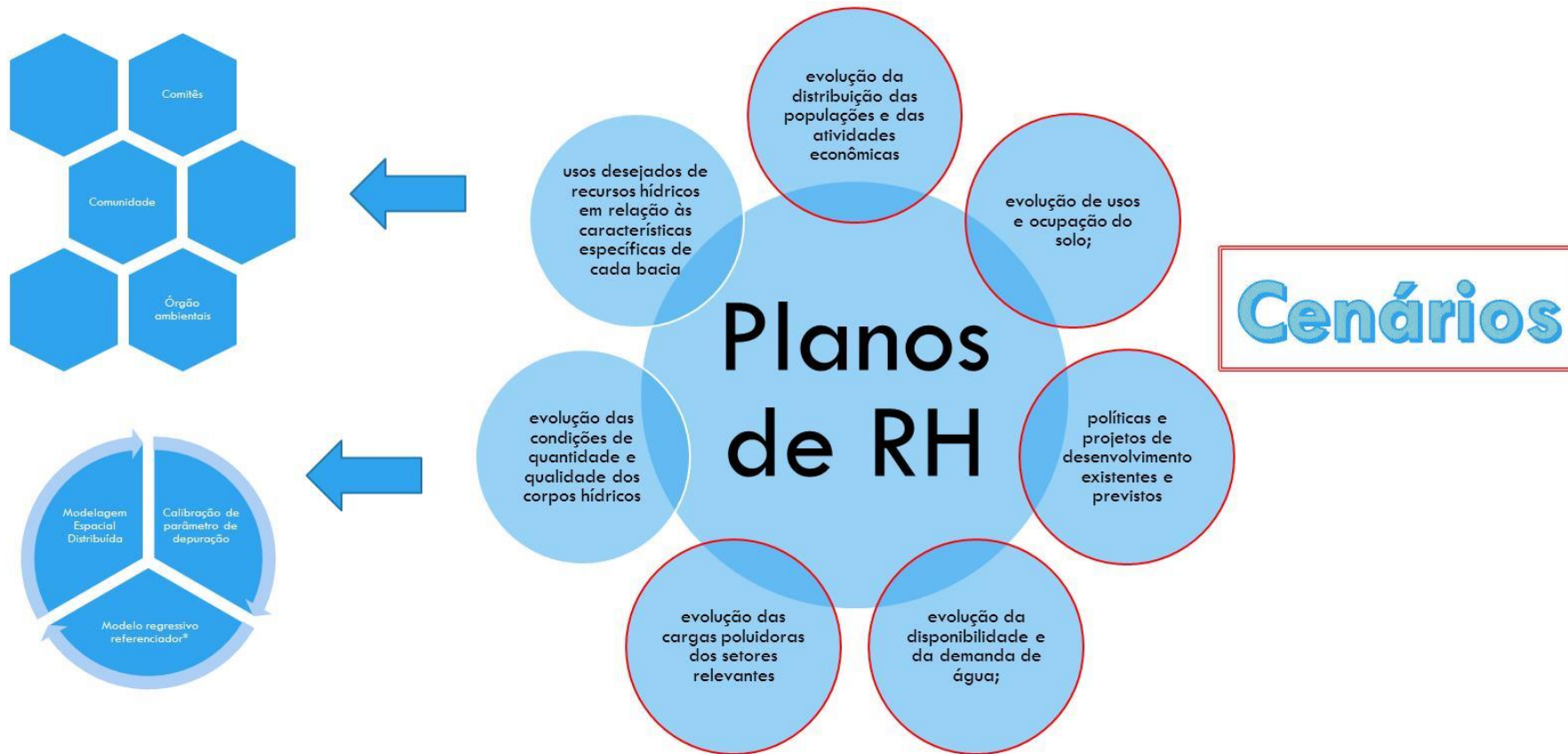
Essa participação da sociedade civil representada é preconizada já na fase conclusiva do Diagnóstico Ambiental Integrado, atividade que, além realizar o caráter participativo e descentralizado da política de gestão de recursos hídricos, enseja a legitimação do trabalho técnico realizado naquela fase do enquadramento. Tal inserção, nessa temporalidade do cronograma de execução, justifica-se pelo fato de o diagnóstico ambiental integrado ser composto, conforme já explicado, a partir dos encaminhamentos técnicos e metodológicos atinentes aos nove primeiros relatórios.

Importa enfatizar, mais pronunciadamente ainda nessa etapa dos trabalhos, o necessário estreitamento institucional com o órgão ambiental, conforme preconiza a estrutura normativa vigente (ver Capítulo 1- ASPECTOS LEGAIS).

O debate a ser travado nessa relevante etapa de concretização da metodologia de enquadramento proposta é protagonizado pela COGERH que, em audiências públicas deverá levar a conhecimento dos interessados a situação presente e futura a se estabelecer em cada reservatório, em dependência do cenário que se configurar. A Figura 21 ilustra a articulação prevista entre os temas arrolados em ambas as dimensões formadoras dessa etapa. Enfatize-se mais uma vez o papel central dos planos de recursos hídricos como fonte com a qual se deve concertar todas as trajetórias evolutivas de interesse.



Figura 21 – Ilustração da articulação entre os elementos constitutivos das dimensões envolvidas no Prognóstico Ambiental



Fonte: Elaboração própria.



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**
Secretaria dos Recursos Hídricos

4. PROGRAMAÇÃO DAS AÇÕES



4. PROGRAMAÇÃO DAS AÇÕES

Reafirma-se aqui o enquadramento dos corpos d'água como um processo que se concretiza por meio do planejamento participativo envolvendo o Poder Público e a sociedade civil representada nos órgãos de gestão hídrica, quais sejam: Agências de Água, Comitês de Bacia Hidrográfica e Conselhos de Recursos Hídricos Nacional, Estaduais e do Distrito Federal.

Conforme a Política Nacional de Recursos Hídricos

Art. 44. Compete às Agências de Água, no âmbito de sua área de atuação:

....

X - elaborar o Plano de Recursos Hídricos para apreciação do respectivo Comitê de Bacia Hidrográfica;

....

XI - propor ao respectivo ou respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica:

*a) o **enquadramento dos corpos de água nas classes de uso**, para encaminhamento ao respectivo Conselho Nacional ou Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, de acordo com o domínio destes. (Grifo nosso)*

A programação das ações aqui referida engloba todas as atividades envolvidas na seleção e posterior complementação dos cenários no que diz respeito às intervenções estruturais e não estruturais demandadas em cada um deles, constituindo-se a viabilidade técnica, econômica, financeira e ambiental de cada uma dessas intervenções, avaliada de forma simplificada, cofator de decisão da consideração ou não de determinado cenário levado à apreciação nos debates.

Em termos pragmáticos, trata-se aqui de conduzir os debates à luz de uma racionalidade orientada pela “arte do possível”. Em outras palavras, há que se levar à consideração das esferas envolvidas apenas as possibilidades de enquadramento que podem encontrar consonância na realidade socioambiental da bacia, bem como sejam condizentes com os orçamentos públicos.

Importa ressaltar que a temática em debate, para além do seu campo primário de inserção e das repercussões que nele engendra na instrumentalização da política de recursos hídricos, propaga-se com o mesmo nível de influência que o tem o elemento água enquanto insumo básico para qualquer modelo de desenvolvimento desejável para determinada região.

Vista dessa perspectiva, a água, ou melhor, a definição de sua classe de uso, pode, em última análise, determinar o próprio padrão de desenvolvimento potencial a se estabelecer, cujo



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

sucesso irá depender, basicamente, **do grau de acerto da decisão negociada de enquadramento em relação à ambiência socioambiental dela derivada.**

No leque de alternativas que as experiências práticas têm trazido, um extremo é a exacerbção das restrições de cunho ambiental, em detrimento da componente social, o que pode levar a uma situação de restauração das condições edênicas da bacia, mas à ruína econômica das populações que tiram seu sustento como funcionários de atividades empresariais eventualmente estabelecidas na área. No capitalismo vigente, não é sensato se esperar sensibilização ecológica dos empreendedores quando seus estudos de viabilidade indicam uma maior atratividade de mudanças de suas atividades produtivas para outras regiões em face de restrições ambientais extremadas.

Na outra ponta do espectro está o rebaixamento da classe de uso, respeitadas as determinações normativas concernentes aos usos mais restritivos, como o abastecimento de água. Nesse caso, as ações a serem programadas, envolvendo os âmbitos público e privado, serão pautadas por uma flexibilização limitada pelo que pode vir a acontecer em termos prognósticos.

Na verdade, valorando-se a componente ambiental, a hipótese mais desfavorável passível de consideração nesse mero exercício de possibilidades que podem emergir do debate, seria a manutenção da situação atualmente encontrada nas bacias, prevendo-se metas voltadas à adequação de situações pontuais ou generalizadas de inconformidade em relação, por exemplo, à classe 2 de uso, prevista em norma como default, em caso de lacuna no enquadramento. Conforme visto, as metas podem ser intermediárias, o que possibilita a adaptação gradativa ao padrão estabelecido.

O enquadramento será *de referência* quando visas atender, de forma satisfatória, aos usos atuais dos recursos hídricos na bacia hidrográfica e será dito *prospectivo* quando objetivar atender, de forma satisfatória, uma determinada alternativa de usos futuros para os corpos hídricos da bacia hidrográfica.

A proposta de enquadramento considerará em sua formulação a seleção de um conjunto de parâmetros de qualidade da água, em consonância com a COGERH. Essa assertiva ecoa no art. 8º da Resolução CONAMA 357/05:



Art. 8º O conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público.

§ 1º Também deverão ser monitorados os parâmetros para os quais haja suspeita da sua presença ou não conformidade.

§ 2º Os resultados do monitoramento deverão ser analisados estatisticamente e as incertezas de medição consideradas.

§ 3º A qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas.

§ 4º As possíveis interações entre as substâncias e a presença de contaminantes não listados nesta Resolução, passíveis de causar danos aos seres vivos, deverão ser investigadas utilizando-se ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos.

§ 5º Na hipótese dos estudos referidos no parágrafo anterior tornarem-se necessários em decorrência da atuação de empreendedores identificados, as despesas da investigação correrão as suas expensas.

§ 6º Para corpos de água salobras continentais, onde a salinidade não se dê por influência direta marinha, os valores dos grupos químicos de nitrogênio e fósforo serão os estabelecidos nas classes correspondentes de água doce.

Em resumo, a definição da classe de qualidade do corpo hídrico dar-se-á de acordo com as metas progressivas e finais a serem alcançadas, baseando-se não necessariamente no estado atual dos corpos d'água, mas nos níveis de qualidade que deveria possuir para atender às necessidades da comunidade. A discussão acerca do que vêm a ser essas necessidades é comportada pela fase de interação consultiva com as esferas envolvidas e ao debate confere densidade temática, enquanto cerne de irradiação do processo de decisão compartilhada e descentralizada.

Conforme mencionado, as metas serão definidas mediante a seleção de valores máximos para os parâmetros relacionados a cada uma das classes de enquadramento, observando os limites para cada parâmetro previstos na lei. A flexibilidade para ultrapassar esse limite é possível em dois casos, conforme reza o art. 10 da Resolução CONAMA 357/05:

- Aumento do limite do DBO em classe 2 e 3 no caso do OD não ser desobedecido em função de autodepuração;
- Violação dos limites de N e P em decorrência de “condições naturais” ou em decorrência de estudos ambientais específicos.

Em olhar retrospectivo do conteúdo já exposto, principalmente a completude do processo de Inventário Ambiental com vistas ao enquadramento dos açudes em classes de uso exige que os processos de modelagem numérica atinjam uma capacidade de prognóstico compatível com a avaliação de diferentes alternativas e cenários futuros e as efetivas consequências de determinadas mudanças nos padrões de lançamento de efluentes ou normas de operação.

Em suma, a legislação vigente define duas grandes linhas mestras a serem seguidas no processo. Uma primeira linha diz respeito às peças normativas do arcabouço ambiental, com destaque para as resoluções CONAMA que trata do enquadramento de Corpos d'água (CONAMA 357/2005) e as relativas à balneabilidade e às condições de lançamento de efluentes (CONAMA 274/2000 e CONAMA 430/2011), conforme já explorado anteriormente.

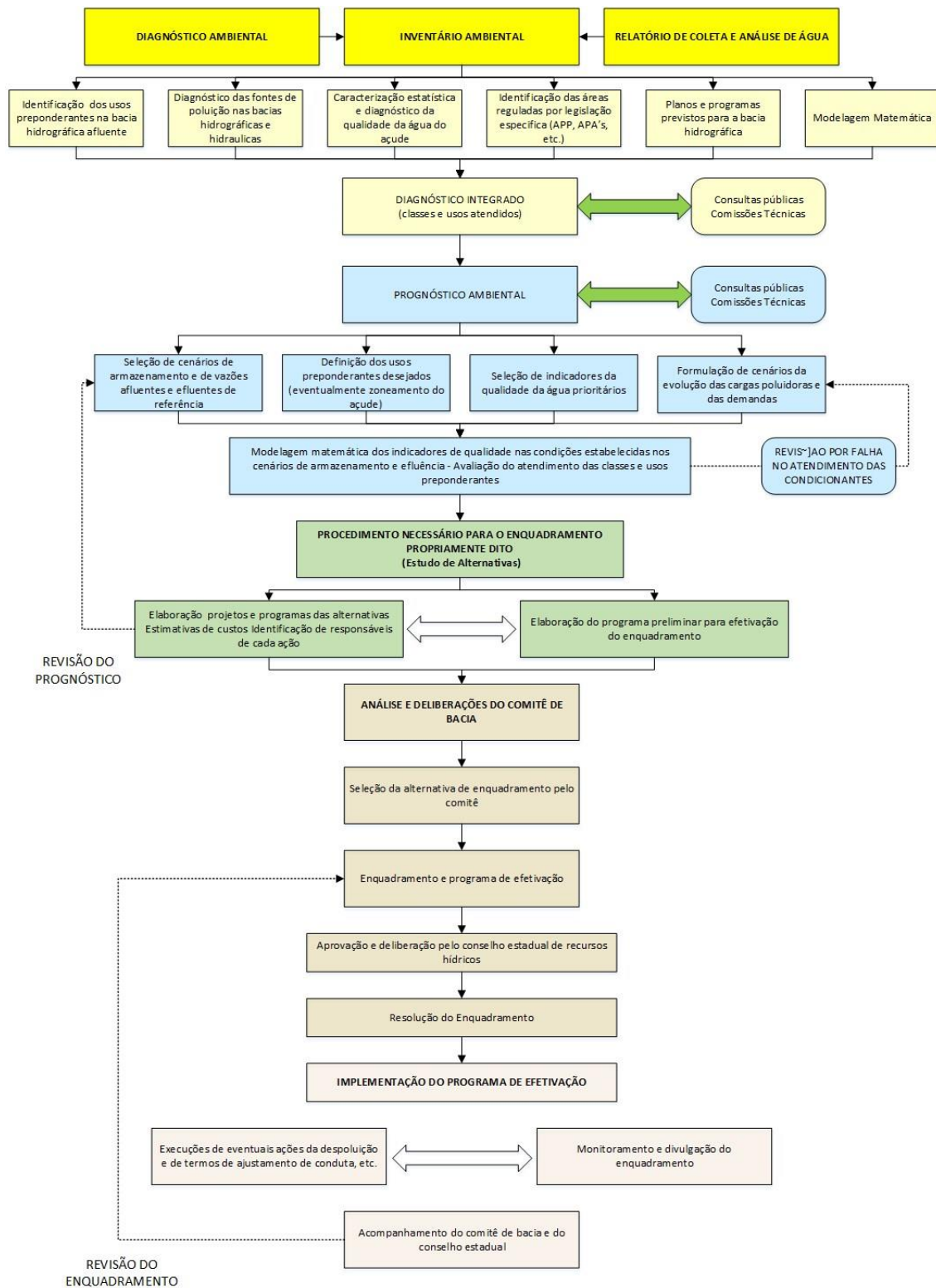
A outra grande linha mestra da metodologia de enquadramento dos corpos d'água diz respeito ao tantas vezes já enfatizado caráter participativo que é exigido pelas diferentes etapas de enquadramento, conforme preconizado pela legislação federal e estadual de Recursos hídricos e as deliberações do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

Assim, um determinado enquadramento de corpo d'água será efetivamente validado quando ocorrerem efetivas consultas públicas nas três etapas do processo de enquadramento. A saber, na consolidação do Diagnóstico ambiental integrado, durante o Prognóstico ambiental e durante o enquadramento propriamente dito.

Entende-se que essas consultas públicas devem ocorrer na validação do Diagnóstico ambiental integrado de açudes (primeira consulta pública), quando da elaboração dos Prognósticos Ambientais (segunda consulta pública) e durante o processamento específico do enquadramento (terceira consulta pública).

Na Figura 22 estas consultas são especialmente enfatizadas. Entende-se que tanto a primeira como a segunda consulta pública pode ser realizada em contextos de mobilização exclusivamente associados aos açudes em avaliação, sendo que a terceira consulta pública exige deliberação específica dos Comitês de Bacia Hidrográfica e posterior homologação pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Figura 22 – Etapas do processo de enquadramento dos açudes



Fonte: Adaptado de ANA, 2011.

Nas consultas públicas de Diagnóstico integrado e Prognóstico, a intervenção de Câmaras Técnicas associadas aos Comitês de Bacia Hidrográfica, a intervenção das equipes técnicas das sedes regionais da COGERH e o desenvolvimento de um processo de mobilização local são considerados suficientes.

Adotadas estas duas grandes linhas mestras, os aspectos metodológicos específicos passam a gravitar no procedimento de enquadramento do corpo d'água. E isso exige a formulação de alternativas tecnológicas e de regulação que permitam que o açude possa atingir uma determinada qualidade da água que se pretende, atendendo à classe em que o mesmo foi enquadrado e aos usos preponderantes.

Neste contexto as formulações abrangem uma ampla lista de ações que vão desde a simples especificação de proibição de uso de determinados defensivos agrícolas em áreas de proteção ambiental (APP) ou a especificação de padrões de lançamento de efluentes industriais, ambos mediante termos de ajustamento de conduta. Compondo ainda esse leque de providências, tem-se:

- A mudança de locais de lançamento de efluentes, de modo a evitar a degradação de um determinado corpo d'água em estudo;
- A formulação de padrões de coleta e tratamento de efluentes urbanos e o estabelecimento de padrões de operação dos reservatórios, de modo a garantir a melhor qualidade da água, atingindo e seu enquadramento o melhor desempenho com menos custo.

Este processo denominado “Estudo de Alternativas” conclui com a avaliação de custos (a nível de estudo de alternativas) e eventualmente pode exigir revisão do prognóstico por inviabilidade financeira da classe do corpo d'água prognosticada. É premissa que os relatórios da fase de planejamento das ações – conteúdo legalmente definido para os planos de bacias ou planos estaduais de recursos hídricos disponíveis – contenham essas avaliações, preservando a coerência tão necessária entre o enquadramento e esses outros instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Por fim, em termos funcionais ou de condicionamentos concernente ao enquadramento, serão postas em pauta duas alternativas necessariamente inovadoras, uma vez que incomuns



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

igualmente são as condições às quais, do ponto de vista hidrológico, estão submetidos os reservatórios de interesse, como por exemplo, a intermitência dos rios barrados e a extrema variabilidade das vazões aportadas, tanto na escala intra-anual como interanual. Face a tais peculiaridades o enquadramento poderá ser função:

- 1) Da curva de permanência do armazenamento, associando-se a classe ao volume com permanência maior ou igual a determinado percentual do volume máximo;
- 2) Do zoneamento vertical da curva cota X volume, definindo-se a classe por faixas de armazenamento.

Embora o viés técnico da consideração acima prepondere, a escolha tem implicações também em temáticas que devem fazer parte das discussões que fazem parte do processo de enquadramento e envolve também observância da capacidade operacional da própria COGERH no que diz respeito ao acompanhamento e controle do enquadramento no dia a dia.

No que se refere ao contexto operacional do enquadramento, experiências recentes como aquela apresentada por Lima (2016), representam uma referência importante no construto de uma dinâmica adequada envolvendo os atores legitimados nas diversas esferas representativas.



5. QUESTÕES ESPECÍFICAS

No presente capítulo serão abordados alguns temas específicos relacionados com o enquadramento, a saber:

- Experiências de enquadramento desenvolvidas no nordeste brasileiro;
- Suficiência das informações sobre qualidade da água nos reservatórios.

5.1. Experiências de enquadramento desenvolvidas no nordeste brasileiro

Dentre os instrumentos de gestão de recursos hídricos preconizados pela Política Nacional para o setor, o enquadramento é um dos que menos evoluiu em termos de implementação prática, em especial, no que diz respeito aos reservatórios do nordeste brasileiro, onde, qualquer que seja a perspectiva envolvida no processo de enquadramento, constata-se a existência de singularidades a exigirem tratamento específico.

Da perspectiva hidroclimatológicas, as particularidades regionais desafiam os pesquisadores a elaborarem metodologias que venham a considera-las adequadamente, sob pena de se idealizar um processo de enquadramento dissociado da realidade, inexecutável ou comprometedoramente inadequado para ser levado ao lume cotidiano, seja da instituição responsável, seja dos usuários/atores envolvidos na prática, ou pelo conjunto imbricado com essa operacionalização.

Conforme registra Lima (2016), em recentíssima tese de doutorado, na qual o autor trata especificamente do tema do enquadramento de corpos d'água no Nordeste brasileiro (com estudo de caso do açude Acarape do Meio no Ceará):

“Um dos mais importantes produtos desta pesquisa [a própria tese de doutoramento] foi a aprovação, pelo Comitê de Bacias, da proposta de enquadramento para um reservatório no nordeste do Brasil, em função de um volume mínimo armazenado e da máxima carga de fósforo que aporta no mesmo. Recentemente, esta proposta de enquadramento foi ao Conselho de Recursos Hídricos do Ceará como a primeira experiência em enquadramento de corpos d'água no nordeste brasileiro.” (Grifo nosso).

Ainda Lima(2016), em ampla revisão bibliográfica do tema em comento, constata que:



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

“Alguns estados do Nordeste já experienciaram o processo de enquadramento dos corpos d’água. Daqueles estados que vivenciaram alguma forma de enquadramento, os mesmos utilizaram de legislação em desuso tal como a portaria 013 do Ministério do Interior de 1976. Foi o caso do estado do Rio Grande do Norte, enquadrando apenas rios, riachos e lagoas, e do estado da Paraíba no ano de 1988, se baseando na resolução CONAMA nº 20 de 1986, mas também se atendo apenas a rios e riachos. Desta forma, há poucas experiências no uso da legislação atual, a resolução CONAMA 357 de 2005, neste caso não há qualquer experiência no enquadramento de reservatórios no Brasil, principalmente na região Nordeste, tão pouco na região semiárida.” (Grifo nosso)

De fato, qualquer pesquisa que se faça, seja por meio eletrônico, seja contatando-se às instituições e/ou aos militantes profissionais dessa área de conhecimento, a incipiência do estágio de implementação desse importante instrumento de gestão hídrica não é condizente com as duas décadas transcorridas desde a entrada em vigor da chamada Lei das Águas ou mesmo com a Resolução CONAMA nº 357/2005. Isso certamente explica e justifica o fato de tal temática ser válida enquanto trabalho de doutoramento, dado o ineditismo exigido pelo meio acadêmico em se tratando de tese e não de dissertação (onde o ineditismo não é exigido).

É sem dúvida uma situação que enseja providências governamentais (do Estado Brasileiro) esta em que se tem como cerne o enquadramento de corpos d’água, pois não é concebível que um mecanismo de tamanha relevância, vinte anos após a aprovação da Política Nacional de Recursos Hídricos, ainda tenha em uma Tese de Doutorado *“a primeira experiência em enquadramento de corpos d’água no nordeste brasileiro.”*

Se por um lado é reconhecível o mérito do autor em abordar tema de tal relevância prática, por outro lado, por se tratar de uma Tese de Doutorado, sublinha-se o incômodo flagrante de se ter um diploma legal em vigor desde 1997 que, até o presente, ainda enseja a abordagem de parte constitutiva do seu conteúdo - o mecanismo enquadramento – nesse nível de tratamento, ou seja, no **campo da pesquisa**, quando já se deveria dispor de inúmeras experiências de enquadramento no vasto território nordestino, secularmente marcado pela escassez hídrica e, mais recentemente e de forma célere, assistindo seus parques recursos hídricos enfrentarem a degeneração qualitativa.





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

Embora se constate a absoluta carência de experiências de enquadramento no nordeste à luz da nova legislação em vigor (Resolução CONAMA no. 357/2005), propostas têm sido apresentadas nos últimos anos. Entretanto, sem a devida mensuração da eficácia ou mesmo adequabilidade à realidade local, posto que não foram ainda implementadas, como é o caso da **“Proposta de Metodologia de Enquadramento de Corpos de Água para o Estado de Alagoas”**, desenvolvida pela SEMARH-AL no âmbito do Programa PROÁGUA SEMI-ÁRIDO, teve como objeto piloto de aplicação (não efetivada) a bacia do rio Coruripe – AL. Os autores a resumiram nas seguintes etapas:

- Diagnóstico da bacia hidrográfica;
- Planejamento das atividades de enquadramento;
- Levantamento de dados cadastrais de usos de água;
- Mapeamento dos trechos a serem segmentados;
- Estudos para determinação da condição de qualidade de água;
- Avaliações e proposições técnicas;
- Apresentação da proposta de enquadramento.

Estados nordestinos, como a Bahia somente tiveram o enquadramento incorporado à política estadual em 2006, quando a Lei nº 10.432/06, instituiu o enquadramento como instrumento de Política Estadual de Recursos Hídricos naquele estado, sendo posteriormente ratificado em 2009 pela nova Lei Estadual de Recursos Hídricos da Bahia (Lei nº 11.612/2009), que elenca o enquadramento de corpos de água como um dos instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos. Atualmente aquele estado vem desenvolvendo estudos de priorização dos rios para os quais, no futuro, se fará o enquadramento.

No “apagar das luzes” de 2016, o Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Salitre (CBHS), através da DELIBERAÇÃO do CBHS Nº 04, de 06 de dezembro de 2016, aprovou com ressalvas o Plano de Trabalho para elaboração do “Plano de Recursos Hídricos e da Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Salitre”. Ou seja, trata-se de um trabalho ainda por iniciar (fase de plano de trabalho).

Em Sergipe, o estado d’arte se encontra ainda menos avançado. Conforme a Superintendência de Recursos Hídricos, órgão da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e de





Recursos Hídricos, os procedimentos para o enquadramento de corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes, deverão ser desenvolvidos em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos de Bacia Hidrográfica e o Plano de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe. Alerta, porém que “como tais documentos ainda não estão disponíveis e na ausência dos Comitês de Bacias Hidrográficas”, aquela instituição da administração direta do estado está providenciando “estudos específicos sobre o assunto”.

Igualmente em estágio inicial se encontra a situação no estado de Pernambuco. O movimento mais recente envolvendo o enquadramento deu-se em 2016, quando, por intermédio da Secretaria de Desenvolvimento Econômico - SDEC, tendo como entidade executora a Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, com financiamento do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) no âmbito da implementação do Programa de Saneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca – PSA Ipojuca, foi destinada uma parte dos recursos a seleção e contratação de serviços de consultoria, para elaboração de proposta de enquadramento dos cursos de água da bacia hidrográfica do Rio Ipojuca. Embora não se saiba ainda como resultou a licitação, o prazo de execução dos serviços de consultoria é de 18 meses e incluem a elaboração de proposta de enquadramento dos corpos de água em classes de uso, conforme Resolução - CONAMA nº 357/2005. O Edital de Manifestação de Interesse prevê que o “enquadramento será feito com base no diagnóstico ambiental e socioeconômico, na análise da qualidade da água e dos principais fatores e fontes de poluição, assim como dos usos preponderantes existentes e aqueles pretendidos na bacia hidrográfica.”. Estabelece por fim que, “deverão ser utilizados modelos matemáticos de simulação de cenários e estabelecidas metas com vistas à melhoria da qualidade dos recursos hídricos.”.

No Piauí, somente em agosto de 2016 publicou-se o Decreto Nº 16.696 que “Regulamenta a Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos no Estado do Piauí, prevista na Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, e na Lei Estadual nº 5.165, de 17 de agosto de 2000, revoga o Decreto nº 14.144, de 22 de março de 2010, e dá outras providências”. No inciso IV do art. 2º do referido diploma legal, vem à baila a questão do enquadramento (a ser realizado) como estimulador do cumprimento dos objetivos da cobrança, na medida em que poderá determinar o investimento em projetos de despoluição, reuso, proteção e conservação, bem como a utilização de tecnologias limpas e poupadoras dos recursos hídricos.





A situação no estado do Maranhão é semelhante aos demais, onde não há qualquer experiência concreta afeta ao enquadramento dos corpos hídricos de sua dominialidade, tão pouco na parcela que compartilha com os estados do Piauí e Ceará, atinente à bacia do Parnaíba.

5.2. Suficiência das informações sobre qualidade da água nos reservatórios

A metodologia proposta para o enquadramento dos corpos d'água parte do princípio de que o Banco de Dados disponibilizado pela COGERH - até mesmo por ser o único de que dispõe a instituição - pode e deve ser utilizado com o objetivo de melhor conhecer os aspectos qualitativos envolvidos nos corpos hídricos de interesse.

Portanto, a representatividade dos dados nele contidos é pressuposta, até porque se trata do acervo que a própria instituição utiliza na sua lida cotidiana com os problemas qualitativos que enfrenta nos reservatórios de sua ingerência. Evidente que, se no futuro houver um adensamento dos pontos de coleta nos lagos monitorados, os resultados produzidos pela metodologia ganharão em precisão, na mesma proporção em que o adensamento agrega em termos de representatividade.

Fato é que, nenhuma metodologia, em nenhuma parte do mundo, é capaz de contornar eventuais deficiências presentes nos dados dos quais ela se alimenta para fornecer os resultados. Isso é particularmente verdadeiro quando a questão envolve representatividade.

Assim, no que diz respeito à suficiência das informações, não se encontra previsto nos TR's nenhuma atividade afeta à construção de juízo de valor sobre a qualidade dos dados disponibilizados pela contratante, muito menos sobre a representatividade dos mesmos. Afinal, repita-se, são os dados que a própria companhia usa em sua lida diária com os problemas de gerenciamento qualitativo dos recursos hídricos.

A metodologia de enquadramento proposta, como não poderia deixar de ser, pressupõe o uso dos dados de que dispõe a contratante, sob a hipótese de representatividade acima referida. Afinal, inadequado seria propor um procedimento que viesse a exigir da contratante uma radical mudança na forma como admite e processa as informações que gera ou obtém por contratação, em particular, no que concerne à amostragem que realiza para caracterizar a qualidade da água nos reservatórios que gerencia.



Mesmo em face de tais fatos e sendo sabidamente fora do domínio delimitado nos TR's, como contributo à otimização das futuras campanhas de coleta e análise de água a serem procedidas pela COGERH, em sendo de interesse da companhia, indica-se a seguir metodologia complementar que permite determinar o número mínimo de pontos necessários para se alcançar a representatividade da amostragem para o corpo hídrico como um todo, levando em consideração variáveis influentes no processo.

A metodologia detalhada a seguir está baseada em **Análise Multivariada** e tem como ideia central a maximização da variância explicada, variância essa expressa na matriz de correlações afetas ao conjunto de dados originais.

Conforme evidencia o raciocínio lógico, nenhuma metodologia tem o condão de criar informações novas, mas tão somente extrair do que existe, ou seja, dos dados disponíveis, o essencial para os fins que se deseja atingir.

No caso em tela, a pergunta a ser respondida é: Qual o número mínimo de amostras que precisam ser coletadas e analisadas em um dado reservatório para que os resultados encontrados possam ser considerados suficientemente representativos do corpo hídrico como um todo?

Sendo m o número de locais onde são coletadas n amostras de água ao longo tempo na bacia hidráulica de um determinado reservatório para o qual se deseja determinar a representatividade do conjunto de dados afetas a um certo parâmetro P , a matriz de covariâncias entre os valores medidos é:

$$S = \begin{bmatrix} S_{1,1} & S_{1,2} & \dots & S_{1,m} \\ S_{2,1} & S_{2,2} & \dots & S_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n,1} & S_{n,2} & \dots & S_{n,3} \end{bmatrix}$$

Para um conjunto de dados amostrais de um par de variáveis A e B , contando com n valores observados, com médias \bar{a} e \bar{b} respectivamente, a covariância será:

$$Cov(A, B) = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})$$

Sendo as variáveis normalizadas, a matriz S é equivalente à matriz de correções R , a qual tem em sua diagonal principal a unidade. Logo, a matriz R será:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{1,2} & \dots & r_{1,m} \\ r_{2,1} & 1 & \dots & r_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n,1} & r_{n,2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

No conjunto original de dados, cada ponto no espaço m –dimensional corresponde a uma linha da matriz que abriga os valores originais padronizados ou não. Portanto, um ponto no espaço m –dimensional é uma informação sobre o parâmetro P na i -ésima amostra que pode ser referida como um vetor linha X_i com m componentes. Como as m dimensões são correlacionadas entre si, cada um dos n pontos do gráfico exibe um conteúdo que, em parte e subjacentemente, é comum às m variáveis.

Uma vez que as m variáveis são correlacionadas positivamente, sendo m inicialmente um valor relativamente grande, certamente não serão necessárias m dimensões para comunicar um conteúdo parcialmente redundante. Em face dessa redundância, é possível sintetizar tal conteúdo em um número menor de dimensões, de forma a expressar, se não toda, mas a maior parte do conteúdo das m variáveis.

Boa parte da Análise Multivariada lida exatamente com a busca da redução de dimensões, de forma a permitir considerar apenas aquelas que explicam suficientemente a quantidade de informações contidas nas variáveis originais. A quantidade de informação se traduz pela medida de dispersão dos dados, ou seja, pela variância. Assim, para explicar o máximo possível de informação contida nas variáveis, basta determinar uma dimensão para a qual a variância seja máxima.

Faz-se então necessário determinar a combinação linear das variáveis X_j (vetores colunas) que exiba máxima variância, para que, com isso, cada componente principal explique o máximo de informação contida nas variáveis correlacionadas originais. Geometricamente, estas combinações lineares representam a adoção de um novo sistema de coordenadas a partir de uma rotação aplicada ao sistema original.

Os novos eixos apresentam a vantagem de representarem variáveis não correlacionadas (o que simplifica a análise), orientados segundo as direções com variabilidade máxima. A variância das novas variáveis decresce da primeira dimensão principal para a última.

Conforme Sarmiento (2016), a determinação matemática das orientações das componentes principais implica em formular o problema considerando que as dimensões principais orientam-se na direção da máxima variância, de maneira que a j -ésimo dimensão explique o máximo da variância remanescente, não explicada pelo seu predecessor. A expressão matricial da j -ésima dimensão principal expressa uma função linear dada por:

$$\vec{z}_j = X\vec{c}_j$$

Onde \vec{z}_j é o vetor coluna ($n \times 1$) com os n valores transformados da variável analisada; \vec{c}_j é o vetor coluna ($p \times 1$) que orienta a transformação na direção do j -ésimo componente.

Para se encontrar a variância de \vec{z}_j basta se calcular a variância da função linear acima, ou seja:

$$Var(\vec{z}_j) = Var(X\vec{c}_j) = \vec{c}_j^T Var(X)\vec{c}_j = \vec{c}_j^T S\vec{c}_j$$

Onde S é a matriz de variância e covariância que estima $Var(X)$ que será igual a matriz de correlações R se as variáveis (colunas da matriz X) forem padronizadas. Para a primeira dimensão principal, orientado na direção dada pelo vetor \vec{c}_1 , a função objetivo a ser maximizada é:

$$Max[Var(\vec{z}_1) = \vec{c}_1^T S\vec{c}_1]$$

O ponto de máximo da função V pode ser encontrado igualando-se a zero sua derivada em relação ao vetor direcional \vec{c}_1 :

$$\frac{\partial V}{\partial \vec{c}_1} = 2S\vec{c}_1 - 2\lambda_1\vec{c}_1 = 2(S - \lambda_1 I)\vec{c}_1 = 0$$

A equação a ser resolvida será $(S - \lambda_1 I)\vec{c}_1 = 0$ que reproduz a forma clássica de um problema de autovalores e autovetores. No caso presente, λ_1 e \vec{c}_1 representam a raiz característica (um escalar) e o vetor característico da matriz de covariância S (ou de correlação R , se a variável estiver padronizada), respectivamente.

Com essa formulação, a variância total das dimensões principais é expressa pelo traço da matriz de autovalores λ que é igual ao número de variáveis envolvidas na análise, ou seja:

$$\sum_{i=1}^m \lambda_{i,i} = m$$

E a proporção da variância total explicada pela dimensão principal de ordem j será igual ao quociente entre o respectivo autovalor e o número de variáveis envolvidas:

$$\frac{\lambda_j}{m}, \text{ com } j = 1, 2, 3, \dots, m$$

O processo de otimização do número de locais amostrados passa então a ser determinado com base nas percentagens de variância explicada acumulada, observando-se que:

- (i) Para um conjunto inicial de dados com m locais amostrados na bacia hidráulica, uma concentração de percentual explicado de variância nas primeiras k dimensões é indicativo de excesso de informação e possibilidade de reduzir o valor de m ;
- (ii) A presença de autovalores nulos associados à matriz de covariância ou de correlação indica a possibilidade de eliminação de locais de coleta e análise por apresentarem redundância de informação em relação ao conjunto;
- (iii) Ao fazer variar m de maneira sistemática pode-se determinar o número mínimo de locais amostrados de forma a preservar a explicação da parcela preponderante da variância do sistema, concentrada no número mínimo de dimensões principais.

Dentre outras, a metodologia descrita tem a vantagem de contornar o óbice analiticamente inabordável do excesso de variáveis influentes no problema da representatividade amostral relatado. Sua aplicação, portanto, é individualizada por reservatório, dada a singularidade desses corpos d'água em termos de valores assumidos pelas variáveis influentes no grau de representatividade que certa malha de pontos amostrais pode ter em um lago.

5.3. Sobre a utilização da equação de Salas e Martino (1991)

O presente tópico foi elaborado com o objetivo específico de atender à solicitação de membro da comissão de acompanhamento e fiscalização do objeto contratado. Foi solicitado à consultora apresentar “como a equação do modelo referenciador foi adequada ao semiárido



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

cearense”. A referência diz respeito à equação de Salas e Martino (1991) utilizado de maneira incidental no chamado modelo referenciador, que faz parte da metodologia de enquadramento aqui apresentada.

Inicialmente enfatize-se o papel subsidiário do emprego dessa equação no contexto metodológico proposto, onde outros elementos constitutivos dividem protagonismo na determinação de parâmetros com os quais são atingidos, do ponto de vista técnico, os objetivos definidos nos TR's.

Em face desse papel subsidiário do trabalho de Salas e Martino (1991) no nosso contexto metodológico - trabalho esse, diga-se de passagem, detentor de reputação globalmente reconhecida - a comprovação do uso da referida equação como elemento central e determinante de tomadas de decisão revestidas de responsabilidade técnica superior àquela afeta ao papel da equação no modelo referenciador, **é prova robusta da sua validade**, visto que excede a qualquer interpretação extensiva dos TR's que o consórcio tenha no seu escopo a tarefa de atestar a qualidade de trabalhos técnicos/científicos disponíveis na literatura mundial. Ainda menos quando tais trabalhos integram os métodos banalizados pelo uso nas próprias instituições estatais, conforme veremos a seguir.

Arrolar exemplos de uso da referida equação em bacias hidrográficas insertas na ambiência semiárida não demanda transpor as fronteiras nem cearenses, nem institucionais locais. Na sua dedicada lida tratando dos problemas gerencias dos recursos hídricos do estado, a COGERH vem utilizando a equação em diversos Inventários Ambientais (IVA) que tem concluído e disponibilizado ao público, tanto aqueles de lavra própria, ou seja, desenvolvidos diretamente pela instituição, pelo seu corpo técnico, como também por empresas consultoras contratadas.

No contexto dos chamados IVA's, a equação de Salas e Martino é recorrentemente utilizada pela COGERH na determinação da capacidade de suporte dos reservatórios ambientalmente inventariados. Para exemplificar, o resultado advindo de Salas e Martino, para a COGERH define a carga de fósforo máxima permitida para manutenção da qualidade das águas do reservatório aceitável para os usos a que o corpo d'água se destina.





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

Ao fazer uso da mesma equação na elaboração do presente trabalho, o consórcio tão somente ratifica o valor do trabalho daqueles autores mundialmente conhecidos, cuja adequabilidade reconhece a própria instituição – a COGERH – na medida em que faz uso corrente e frequente da mesma equação para obtenção de resultados fundamentam tomadas de decisão, contexto de importância ainda maior do que o uso subsidiário de que lança mão a metodologia de enquadramento proposta.

Para fins meramente exemplificativos a Tabela 3 apresenta as referências onde a equação de Salas e Martino tem uso corrente em reservatórios do semiárido cearense.



Tabela 3 – Alguns Inventários Ambientais elaborados/contratados pela COGERH com uso da equação de Salas e Martino (1991) em reservatórios do semiárido.

| RESERVATÓRIO | Z (m) | T (ano) | Capacidade IVA (kg/ano) | CONCEPÇÃO/COORDENAÇÃO |
|-----------------|-------|-----------|-------------------------|-----------------------|
| ACARAPÉ DO MEIO | 24.0 | 1.9 | 2132.7 | COGERH |
| AYRES SOUZA | 21.5 | 1.3 | 7377,1 | COGERH |
| CASTRO | 22.0 | 10.3 | 1824.0 | COGERH |
| COLINA | 9.0 | 1.1 | 460.0 | COGERH |
| CURRAL VELHO | 10.0 | 0.4 | 2598.7 | COGERH |
| FORQUILHA | 11.0 | 9.8 | 980.5 | COGERH |
| SERAFIM DIAS | | | | COGERH |
| SÍTIOS NOVOS | 17.5 | 1.9 | 9553.2 | COGERH |
| OLHO D'ÁGUA | 21.5 | 1.8 | 1934.4 | COGERH |
| ANGICOS | 15.5 | 0.43 | 15004 | COGERH/GEOSOLO |
| ARREBITA | 16.5 | 0.2 | 9100.0 | COGERH/GEOSOLO |
| BANABUIÚ | 56 | 1.78 | 14530 | COGERH/GEOSOLO |
| CACHOEIRA | 20.5 | 1.43 | 3810 | COGERH/GEOSOLO |
| CANAFISTULA | 10.0 | 0.9 | 1690.0 | COGERH/GEOSOLO |
| CARNAUBAL | 12 | 1.42 | 5800 | COGERH/GEOSOLO |
| CASTANHÃO | 63.0 | 2.1 | 51800.0 | COGERH/GEOSOLO |
| CAXITORÉ | | 1.38 | 30820 | COGERH/GEOSOLO |
| EDSON QUEIROZ | 27 | 1.702 | 30820 | COGERH/GEOSOLO |
| FLOR DO CAMPO | 16 | 2.08 | 5680 | COGERH/GEOSOLO |
| GENERAL SAMPAIO | 28 | 1.88 | 28730 | COGERH/GEOSOLO |
| ITAÚNA | 10.5 | 0.25 | 31130 | COGERH/GEOSOLO |
| ORÓS | 19.5 | 1.54 | 213580 | COGERH/GEOSOLO |
| PACAJUS | 12.0 | 1.4 | 14680.0 | COGERH/GEOSOLO |
| PACOTI | | sem dados | sem dados | COGERH/GEOSOLO |
| QUINCOÉ | | 1.07 | 830 | COGERH/GEOSOLO |
| QUIXERAMOBIM | | 0.43 | 13900 | COGERH/GEOSOLO |
| RIACHÃO | | sem dados | sem dados | COGERH/GEOSOLO |
| RIVALDO | 16 | 1.19 | 2131700 | COGERH/GEOSOLO |
| ROSÁRIO | 20 | 0.87 | 7420 | COGERH/GEOSOLO |

Fonte: Elaboração própria.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2016). **Estudo Para Refinamento do Balanço Hídrico e Definição de Diretrizes, Metodologias e Ferramenta para Subsidiar o Estabelecimento de Regras Operativas para 204 Reservatórios Localizados na Região Semiárida, Contemplando Estimativas de Oferta Hídrica e Demandas Associadas, Criação de Base de Dados e Aplicação de Ferramenta de Suporte e Decisão**, Relatório Parcial RP03B - Estudos Pluviométricos e Evaporimétricos, 208p, Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA/SPR.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2011). **Outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos, vol.06. Brasília – DF. 2011.

Barros, A. M. L. **Modelagem da poluição pontual e difusa: Aplicação do modelo Moneris à bacia Hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco**. 2008. 193 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

Carlson, R. E. (1977) **A trophic state index for lakes**. Limnology and Oceanography. March, V22 (2): 361-369. 1977

CECCHI, G.; MUNAFÒ, M.; BAIOTTO, F.; ANDREANI, P.; MANCINI, L. (2007) **Estimating river pollution from diffuse sources in the Viterbo province using the potential non-point pollution index**. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità, v. 43, n. 3, p. 295-301

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, **Outorgas Concedidas e Vigentes** <http://outorgasvigentes.cogerh.com.br/paginaSemValidacao/outorgaVigente/outorgas_fh.xhtml>. Acesso em julho de 2016;





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, **Portal da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos** <<http://portal.cogerh.com.br/>>. Acesso em julho de 2016;

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2010) **Censo Demográfico 2010. Agregados por Setores Censitários**. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm>. Acesso em: 25 agosto 2016.

Larentis, D. G. (2004) **Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: Sistema Taquari-Antas - RS**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 159 p., 2004.

Lima, B. P. (2016) Enquadramento de corpos d'água no nordeste brasileiro como instrumento de gestão e sustentabilidade ambiental: O caso da bacia hidrográfica Acarape do Meio – CE – Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 272 p., 2016.

Salas, H. J.; Martino, P. **A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes**. Water Research, v. 25, n. 3, p. 1341 – 350, 1991.

Sarmiento, F. J. (2016), “Aplicabilidade de Análise Multivariada em problemas de Engenharia Civil e Ambiental”, *in press*.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SMA. (2010) **Elaboração do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings**. Relatório Final. Processo N° 7097/2007, Contrato SMA/CPLEA N° 09/2007, São Paulo.





GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

Toledo Jr., A. P.; Talarico, M.; Chinez, S. J.; Agudo, E. G. (1983) **Aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processos de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Anais.Camboriú, Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, p.1-34. 1983.

