

A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAUAMÉ



Fábio Luiz Wankler
Marcos José Salgado Vital
Elizete Celestino Holanda
Vladimir de Souza
(Organizadores)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO
DE RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA/UFRR

A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAUAMÉ

Fábio Luiz Wankler
Marcos José Salgado Vital
Elizete Celestino Holanda
Vladimir de Souza

(Organizadores)



Copyright © 2022 do autores

Esta publicação está disponibilizada gratuitamente no site oficial do Profªgua UNESP, no link: <https://www.feis.unesp.br/#!/pos-graduacao/profagua/livro/livros/>

Foto da capa: encontro do rio Cauamé com o rio Branco (no horizonte), na área urbana da cidade de Boa Vista, Roraima. R. C. Caleffi (2021).

Agradecimentos

O presente trabalho está sendo realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001 – e do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – Profªgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015.

Corpo de Revisores

Prof. Dr. Reinaldo Imbrózio Barbosa (INPA)
Prof. Dr. Carlos Eduardo Lucas Vieira (UFRR)
Prof. Dr. Alex Bortolon de Barros (UFRR)
Prof. Dr. Wellington Farias Araújo (UFRR)
Prof.^a. Dr.^a. Maria do Carmo Sobral (UFPE)
Prof.^a. Dr.^a. Elisabete Lourdes do Nascimento (UNIR)
Prof.^a. Dr.^a. Ofélia de Lira Carneiro Silva (UFRR)
Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha (UNESP)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A bacia hidrográfica do Rio Cauamé / Fábio Luiz Wankler... [et al]. – São Carlos, SP : RiMa Editorial, 2022.

196 p. : il.

ISBN: 978-65-84811-12-6

1. Bacias hidrográficas. 2. Rio Cauamé. 3. Recursos hídricos – governança. I. Wankler, Fábio Luiz.

CDD 551.483

Elaborado por Natalia Gallo Cerrao – CRB 8/10169

Índice para catálogo sistemático:

1. Bacias hidrográficas 551.483

RiMa

Rua Virgílio Pozzi, 81 – Santa Paula
13564-040 – São Carlos, SP
Fone/Fax: (16) 988064652

Sumário

Apresentação v

Prefácio vii

Instrumentos da Política de Recursos Hídricos

Capítulo 1 Distribuição Espacial e Perfil de Usos de Recursos
Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, RR 3

Miguel Felipe de Souza Lima e Marcos José Salgado Vital

Capítulo 2 Compartimentação da Paisagem da
Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, RR: uma
análise da fragilidade à erosão do solo 21

Débora Strucker, Luiza Câmara Beserra Neta e Stélio Soares Tavares Júnior

Capítulo 3 Hidrogeologia da Bacia do Rio Cauamé, RR 39

Pedro Antônio Santiago Dória dos Santos, Fábio Luiz Wankler e Carlos Sander

Capítulo 4 Hidrologia de Superfície da Bacia do
Baixo Rio Cauamé, em Boa Vista, RR 59

Rômulo Ferreira de Magalhães, Fábio Luiz Wankler e Carlos Sander

Capítulo 5 Ocupação Urbana e Usos do Solo em um Trecho do
Baixo Rio Cauamé, Zona Leste de Boa Vista, RR 83

Átyles Paiva Loura e Pedro Alves da Silva Filho

Capítulo 6 Qualidade e Usos da Água na Bacia do Rio Cauamé,
no Estado de Roraima 105

*Amanda Soares Cardoso, Marcos José Salgado Vital e
Adriano Frutuoso da Silva*

Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Capítulo 7	Política Estadual de Recursos Hídricos: Histórico e Tendências	127
	<i>Ana Cristina Mendes Ruiz Rolim, Indianara Gouveia de Sene Dias, Elizete Celestino Holanda e Vladimir de Souza</i>	
Capítulo 8	Qualidade de Águas Subterrâneas: Estudo de Caso no Projeto de Assentamento Nova Amazônia, Boa Vista, RR	143
	<i>Zacarias Cruz de Oliveira e Vladimir de Souza</i>	
Capítulo 9	Segurança de Barragens: Análise Evolutiva na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé	163
	<i>Andressa dos Santos Pereira, Adriano Frutuoso da Silva e Silvestre Lopes da Nobrega</i>	
Sobre os Autores	185

Apresentação

A Universidade Federal de Roraima passou a integrar a Rede Nacional do Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, o ProfÁgua, a partir de 2018, atendendo ao objetivo de descentralizar a pesquisa no país, de modo que o conhecimento não se restrinja aos grandes centros reconhecidos como de excelência, e também a regionalização dos estudos sobre a gestão dos recursos hídricos, de modo a atender às especificidades das diferentes regiões hidrográficas.

A participação da UFRR na Rede Nacional do ProfÁgua traz a perspectiva do extremo norte do país, de uma região transfronteiriça, com disponibilidade hídrica fortemente influenciada por eventos extremos, sejam cheias ou estiagens, e que carece de decisões vinculadas à gestão das águas, uma vez que não possui comitês de bacias implementados.

Neste sentido, o corpo docente e discente do ProfÁgua/UFRR tem abordado em suas pesquisas temas relacionados às problemáticas da região, atendendo a demandas dos órgãos gestores de recursos hídricos do Estado e focando seus estudos nas bacias urbanas de interesse para a gestão, como é o caso da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé. A cidade de Boa Vista está instalada sobre a extensa planície de inundação do rio Branco, sendo o rio Cauamé o principal afluente urbano da margem direita do rio Branco.

A pressão do crescimento populacional, da expansão da malha urbana, da demanda para irrigação, do uso de agrotóxicos e do lançamento de efluentes sobre essa bacia tem gerado conflitos pelo uso da água, e o ProfÁgua/UFRR tem focado esforços em caracterizar, diagnosticar e propor soluções para esses problemas, de forma a dar suporte para a atuação dos órgãos gestores. O livro *Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé* é o primeiro produto desses esforços.

Prof. Jefferson Nascimento de Oliveira
Coordenador Geral do ProfÁgua

Prefácio

Considerando que as questões ambientais ganham cada dia mais relevância, analisadas e investigadas em suas múltiplas formas, pontos de vista e perspectivas, seja observando os lugares, paisagens e diversos horizontes, torna-se fundamental conhecer com mais detalhes as particularidades, geografia e trajetória criadas por um elemento essencial à manutenção da vida no planeta, a água, que se movimenta e se renova, formando redes fluviais em bacias hidrográficas.

Considerada um recorte da superfície terrestre adequado ao olhar investigativo dos pesquisadores e à atuação dos gestores dos recursos hídricos, a Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé é retratada neste livro como uma unidade que possui características naturais, sociais, econômicas, políticas e culturais que a particularizam e proporcionam uma análise integrada, para o planejamento e gestão, ora com traços comuns a outros recursos hídricos, ora com distinções específicas da sua região.

Nessa perspectiva, estudar a Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé exige amplo debate sobre instrumentos da política de recursos hídricos e suas regulações e governança, propiciadas nesta obra, que reúne contribuições inéditas de diferentes áreas de conhecimento, com estudos aplicados na referida bacia.

Este compêndio é resultado de pesquisas interdisciplinares no âmbito do Mestrado Profissional em Rede Nacional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, Polo da Universidade Federal de Roraima, trazendo resultados de projetos desenvolvidos com esforço coletivo de diversos pesquisadores, envolvendo docentes e discentes desse relevante Programa, revelando a viabilidade do desenvolvimento de ações em parceria com a sociedade e agregando organizações públicas e privadas.

Por sua riqueza de diferentes abordagens, apresenta-se como uma importante fonte de consulta para pesquisadores, discentes, gestores públicos e empresários, que vivem integrados à vida da bacia do rio Cauamé, bem como para todos aqueles que possuem interesse nas questões ambientais como um todo.

Os autores exploram um panorama geral da bacia, com sua distribuição espacial e perfil dos usos múltiplos da água e do solo, elementos da paisagem, hidrogeologia, ocupação urbana e uso do solo, histórico e tendências da política pública estadual de recursos hídricos, qualidade de águas subterrâneas e segurança de barragens. Essas contribuições desempenham um importante papel no desenvolvimento da consciência ecológica da população local, em especial da população ribeirinha.

O conjunto de métodos abordados neste livro evidencia que essas se tornam fundamentais para estudos que visam compreender e modificar as relações entre sociedade e natureza, de modo a mitigar e reduzir os riscos decorrentes da degradação ambiental, insegurança hídrica e mudanças climáticas. Nesse contexto, a Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé constitui-se em um espaço hídrico agregador de temas para pesquisadores e profissionais ligados à gestão das águas e ambiental, possibilitando novos estudos, leituras, movimentos, aproximações e intervenções para a união de saberes, construção coletiva e democrática de acordos para a sustentabilidade hídrica e ambiental da região.

Por fim, parablenizo os autores, organizadores e todos aqueles que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para a estruturação deste livro, pela qualidade do trabalho e pela excelência do seu resultado. Aos leitores que agora irão embarcar e navegar pelas águas do afluente do rio Branco, peço que sigam em frente, pois tenho certeza de que farão uma viagem memorável pelas deslumbrantes paisagens da bacia do rio Cauamé!

Desejo uma boa leitura!

Maria do Carmo Martins Sobral

Professora titular do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental e do Profªgua da Universidade Federal de Pernambuco

Instrumentos da Política de Recursos Hídricos



Distribuição Espacial e Perfil de Usos de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, RR

Miguel Felipe de Souza Lima
Marcos José Salgado Vital

Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e a Política Estadual de Recursos Hídricos do estado de Roraima, instituída pela Lei nº 547, de 23 de junho de 2006, estabeleceram a bacia hidrográfica como unidade territorial para sua implementação.

Considerando os diferentes conceitos estabelecidos para bacia hidrográfica, foi adotada a definição proposta por Rodrigues e Leitão (2001) e utilizada por Teodoro et al. (2007), a qual conceitua bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. Os autores ressaltaram que a análise de aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia podem levar à elucidação e compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local.

Em ambas as legislações de recursos hídricos, federal (BRASIL, 1997) e estadual (RORAIMA, 2006), foi assegurado o direito de participação do Poder Público, usuários e comunidade na gestão, tendo por base a bacia hidrográfica.

A regulamentação do Sistema de Informações de Recursos Hídricos do Estado de Roraima, por meio de decreto governamental, formalizou a garantia de acesso às informações, entretanto, passados 13 anos da publicação do decreto, não existem dados que confirmem a implementação de fato dos princípios e objetivos estabelecidos no decreto regulamentador (RORAIMA, 2007).

Considerando a necessidade de apresentação de uma ferramenta de auxílio para implementação dos instrumentos das políticas públicas estabelecidas, os

dados relativos às autorizações de usos de recursos hídricos disponibilizados pelo órgão gestor receberam tratamento prévio por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), de modo a apresentar a dinâmica de distribuição espacial e quantitativa dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé.

Como produtos foram gerados mapas de compartimentação da bacia de acordo com a metodologia adotada pela Agência Nacional de Águas, mapa de densidade de usuários, quadro de tipos de usos e volumes autorizados para utilização por sub-bacia.

Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a distribuição espacial e o perfil dos usos de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, disponibilizando em plataforma interativa, através da sistematização das informações dos usuários autorizados para utilização de recursos hídricos na bacia, quantificação do volume dos recursos hídricos autorizados para utilização na bacia, identificação das áreas propensas a conflitos, produção de mapas, tabelas e arquivos digitais da distribuição espacial dos usuários da bacia, disponibilização de uma plataforma interativa com dados das outorgas da bacia do rio Cauamé, com a proposição de uma Nota Técnica ao programa de mestrado profissional ProfÁgua.

Para apresentação dos resultados foi elaborada uma plataforma interativa via *web*, com interface simplificada, de modo a promover a democratização do acesso às informações relativas à utilização de recursos hídricos na bacia. Os dados foram disponibilizados em formato de SIGWeb, a qual dispõe de mapa geográfico da bacia e sua compartimentação otocodificada, autorizações com as devidas informações disponibilizadas pelo órgão gestor de recursos hídricos.

A metodologia utilizada consistiu no georreferenciamento das informações disponibilizadas pelo gestor de recursos hídricos, elaboração de plataforma interativa por meio de programação e avaliação dos dados contidos nas tabelas referentes à dinâmica de usos e volumes outorgados.

Materiais e Métodos

Considerando a metodologia adotada para elaboração da pesquisa apresentada na Figura 1, foram definidos os métodos para delimitação da área de estudo, sistematização de informações, processamento e apresentação dos dados propostos.

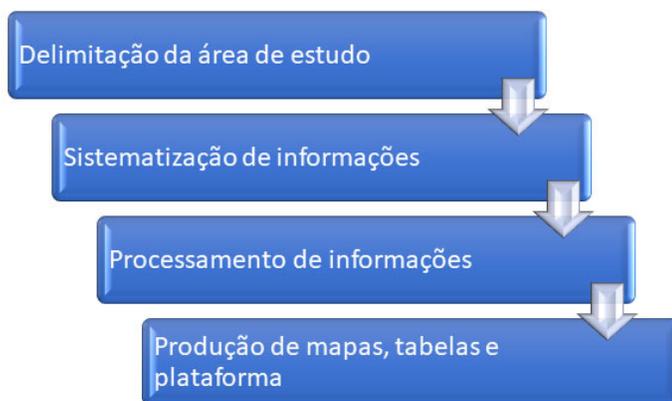


Figura 1 Fluxograma sintetizado das etapas da pesquisa.

Delimitação da Área de Estudo

Para o desenvolvimento da pesquisa foi definida a Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé como área de estudo.

Nesta pesquisa foi adotada a metodologia proposta por Sperling (2007), considerando a inexistência de delimitação oficial aprovada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Roraima.

A delimitação da bacia foi elaborada usando dados topológicos fornecidos pela *Advanced Land Observing Satellite (ALOS)*, sensor *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR)*, com resolução espacial de 12,5 m, disponibilizadas por *Alaska Satellite Facility (ASF)*. Para delimitação da bacia foi construído um mosaico com imagens topográficas de codificação AP-26622-FBS-F0040-RT1, AP-27045-FBS-F0040-RT1 e AP-27643-PLR-F0050-RT1. A delimitação foi elaborada utilizando complemento denominado "r. watershed" do sistema de informações geográficas Quantum versão 3.4.

A delimitação foi realizada em dois momentos: o primeiro estabelecendo os limites da bacia, e o segundo estabelecendo subdivisão de acordo com a metodologia utilizada pela Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2018).

De acordo com a metodologia, primeiro é necessário identificar o curso d'água principal da bacia a ser codificada, o qual recebe a maior contribuição de afluentes. Adotando o curso d'água principal como referência, determinam-se os quatro tributários com as maiores áreas de drenagem de jusante para montante e acrescentam-se os códigos 2, 4, 6 e 8 ao final do número 48474 (codificação da bacia do rio Cauamé) para as quatro maiores bacias. As áreas

restantes contribuem diretamente para o rio principal e são chamadas de sub-bacias, as quais recebem então os dígitos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9.

Sistematização de Informações

Os dados relativos às outorgas e autorizações de uso insignificante foram disponibilizados pelo órgão gestor de recursos hídricos do Estado de Roraima por meio de planilha eletrônica. Foram disponibilizadas as seguintes informações: município, corpo hídrico, data de validade, empreendimento, tipo de autorização, data de cadastro, número do processo, ato, volume anual (m³) e finalidade.

O georreferenciamento das informações foi realizado por meio de ferramenta do sistema de informações Quantum.

Processamento de Informações

O processamento de informações foi dividido em duas partes, tendo em vista as avaliações propostas: distribuição espacial (sub-bacias) e relativas às características das autorizações (usos e volumes outorgados).

Distribuição espacial

Os processamentos das informações relativas às características de distribuição espacial dos dados foram realizados utilizando ferramenta do sistema de informações Quantum, o qual permite a elaboração de mapas de densidade com a finalidade de auxiliar na interpretação de dados em grande quantidade. A metodologia utilizada nesta pesquisa foi descrita por Silverman (2018).

Análise de dados

Para análise proposta dos volumes autorizados e perfil de uso, foi utilizado o *software* Microsoft Excel, empregando fórmulas para cálculo dos volumes e filtros para avaliação do perfil de usos no arquivo disponibilizado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH). Os arquivos gerados foram apresentados em formato de quadros.

Apresentação de Dados

Para apresentação dos dados foi elaborada plataforma interativa disponibilizada por meio de *website*, a qual dispõe de mapa interativo.

O sistema foi desenvolvido para plataforma *web*, por ser multiplataforma. Segundo Cavanaugh (2006), ela pode ser executada na maioria das interfaces com acesso à internet, seu design é versátil e pode ser acessada por outros aplicativos, ampliando o acesso às informações.

A linguagem utilizada na elaboração da plataforma foi JavaScript, que, segundo Severance (2012), é uma linguagem de *script* voltada para o desenvolvimento *web*, muito utilizada com HTML e CSS, como foi o caso no projeto em questão.

Para criação do sistema foi utilizado o *framework web* de código aberto, Vue, que se trata de um conjunto de funções para criação de sites utilizando linguagem JavaScript, junto a uma API (*Application Programming Interface*), que é um conjunto de rotinas padrões de programação para acesso a um aplicativo de *software* ou plataforma baseado na *web*. A API utilizada foi o Leaflet, uma biblioteca que permite utilizar os dados exportados a partir dos programas de processamento de dados geoespaciais, utilizando o *OpenStreetMaps* ou outros mapas públicos como base para gerar mapas interativos.

O site foi montado utilizando um gerenciador de pacotes, *Node Package Manager*, gerando uma versão compilada de todas as dependências do site.

Os arquivos gerados foram enviados para uma VPS (*Virtual Private Server*), um servidor virtual para hospedagem de serviços *web* que permite acesso aos arquivos que geram a visualização do site através de qualquer navegador ou *smartphone* com suporte a navegador.

Elaboração de Nota Técnica

Considerando as propostas elaboradas para realização da pesquisa e constatações em sua execução, foi desenvolvida proposta de nota técnica encaminhada ao Programa de Pós-graduação referente às linhas de pesquisa Gestão de recursos hídricos e Democratização do acesso às informações.

Resultados e Discussões

Considerando os objetivos propostos na pesquisa, foram obtidos os seguintes resultados: identificação do perfil de uso de recursos hídricos na bacia, volume anual outorgado e distribuição por sub-bacia, georreferenciamento das informações disponibilizadas pelo órgão gestor, elaboração de plataforma para apresentação dos dados e elaboração de proposta de Nota Técnica, fornecendo, assim, dados para avaliação da distribuição espacial e perfil de usos de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé.

Para melhor compreensão da distribuição espacial dos usuários, foi elaborado mapa temático de compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé de acordo com a metodologia utilizada pela Agência Nacional de Águas, gerando nove sub-bacias devidamente ottocodificadas (Figura 2).

Rolim et. al (2020) realizaram classificação semelhante utilizando a mesma metodologia aplicada à Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, abrangendo áreas dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e do Uruguai. Os autores ressaltaram a importância da delimitação como subsídio para as modelagens hidrológicas, facilitando, portanto, cálculos computacionais. Destacaram, ainda, a possibilidade de utilização da delimitação elaborada como dado de entrada para futuras aplicações, facilitando o pré-processamento de informações.

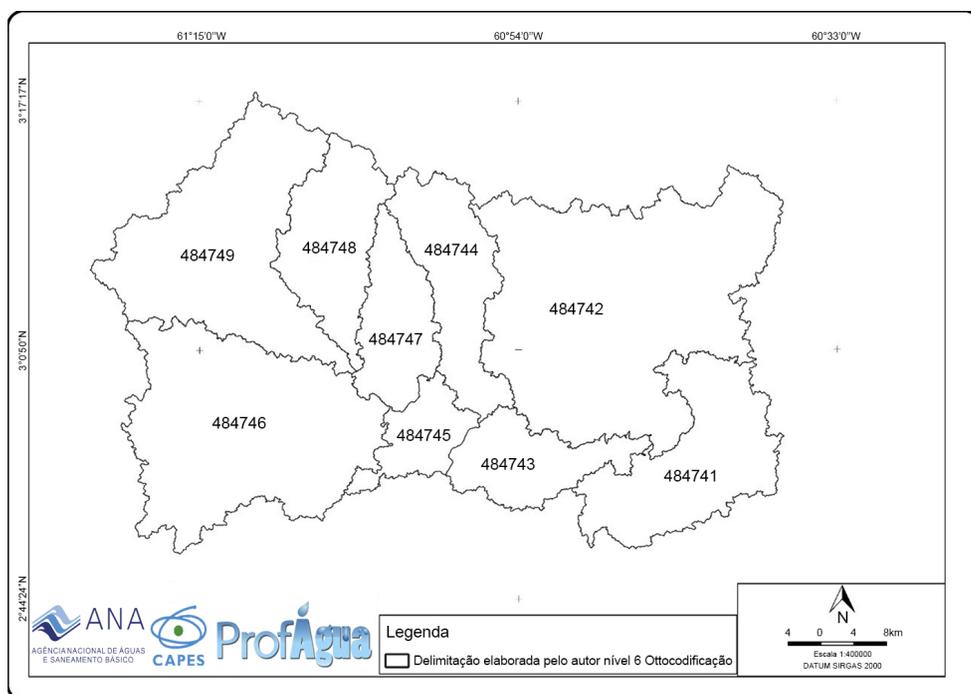


Figura 2 Mapa temático de ottocodificação em nível 6 da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, RR. Fonte: Os autores.

Para apresentar proposta de enquadramento de corpos hídricos, Carneiro et. al (2020) utilizaram delimitação ottocodificada em nível 6 no processamento de dados do rio Piranga, gerando mapa de enquadramento referente aos critérios estabelecidos com valores discretizados por ottobacia.

Quantificação do Volume de Recursos Hídricos Autorizados para Utilização na Bacia

A análise dos dados disponibilizados pela FEMARH permitiu a identificação dos volumes propostos na pesquisa, gerando as seguintes informações:

- ◆ Volume total anual autorizado (outorgas e cadastro de uso insignificante) para uso na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé: 561.153.115,3 m³;
- ◆ Volume autorizado por sub-bacia (outorgas e cadastro de uso insignificante).

O Quadro 1 foi elaborado com a finalidade de apresentar os dados de distribuição espacial do volume outorgado de acordo com a compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, utilizando a metodologia adotada pela Agência Nacional de Águas.

Quadro 1 Volume anual autorizado para uso (outorgas e cadastro de uso insignificante) por sub-bacia em nível 6 de ottocodificação.

Sub-bacia	Volume anual autorizado (m ³)
484741	54.052.619,85
484742	142681386,8
484743	9.163.654,78
484744	30.271.347,50
484745	60.143.994,70
484746	65818285,87
484747	550488,2
484748	446229,6
484749	198.025.108,00

Fonte: Os autores.

Identificação de Áreas Propensas a Conflitos

Considerando a espacialização de informações, foi elaborado um mapa de densidade com a finalidade de identificar áreas com maior número de autorizações emitidas, objetivando a identificação de áreas propensas a conflitos pelo uso de recursos hídricos.

A Figura 3 ilustra o mapa de densidade de usuários de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, seguindo compartimentação ottocodificada.

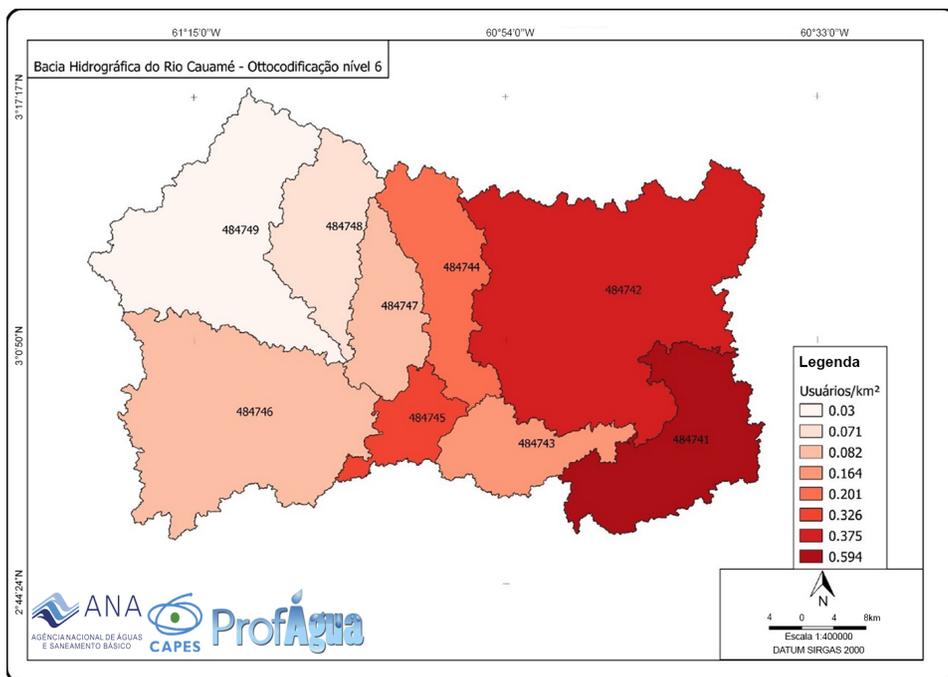


Figura 3 Mapa de densidade de usuários de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé. *Fonte:* Os autores.

Moreira et al. (2012) elaboraram metodologia de identificação de conflitos pelo uso da água na bacia do rio Paracatu, Minas Gerais, e concluíram que, apesar do baixo número de outorgas vigentes (29), em algumas regiões havia conflitos pelo uso da água, os quais poderiam ser minimizados com ações de gestão e planejamento. Os autores utilizaram os dados disponibilizados pelo órgão gestor e, cruzando informações como os dados de disponibilidade hídrica, identificaram regiões em que a vazão outorgada excedia os volumes estabelecidos nos instrumentos regulatórios.

Produção de Mapas, Tabelas e Arquivos Digitais da Distribuição Espacial dos Usuários da Bacia

A partir das tabelas de autorizações de recursos hídricos (outorgas e usos insignificantes) disponibilizadas pelo órgão gestor, foi possível espacializar as informações por meio do sistema de informações Quantum (versão 3.4), gerando os mapas temáticos de distribuição espacial de outorgas e cadastro de uso insignificante. A Figura 4 apresenta o mapa de distribuição espacial das autorizações de uso de recursos hídricos na bacia (outorgas e usos insignificantes).

Na pesquisa foram constatadas três atividades principais: piscicultura, irrigação e dessedentação animal. Observou-se uma distribuição espacial não uniforme, com concentração de outorgas nas proximidades da zona urbana de Boa Vista e usos insignificantes no Projeto de Assentamento Nova Amazônia. A diferença de concentração por usuário é de aproximadamente 30% entre a bacia com maior densidade de usuários (484741) e a bacia com menor densidade (484749).

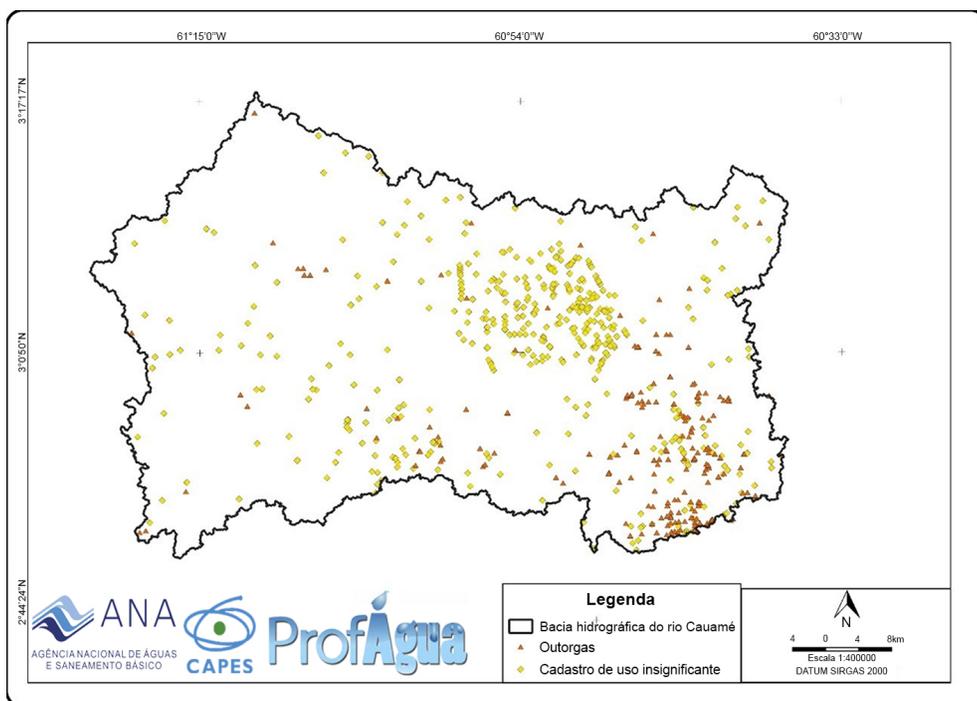


Figura 4 Distribuição espacial de autorizações de uso de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, RR. *Fonte:* Os autores.

O Quadro 2 ilustra a presença de múltiplos usos estabelecidos na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, fato que contribui para o cumprimento dos preceitos instituídos nas legislações e a presença de atores distintos, considerando as múltiplas finalidades de utilização. Faz-se importante ponderar a representatividade dos atores em possíveis arranjos organizacionais futuros para gestão, tendo em vista a diferença em número de usuários outorgados e considerando as classificações de uso preponderantes.

Quadro 2 Perfil de atividade na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, RR.

Atividade	Quantidade
Aquicultura em Tanque Escavado	299
Irrigação	123
Criação Animal	122
Outras	84
Consumo Humano	40
Obras Hidráulicas	6
Abastecimento Público	4
Serviços	1
Mineração – Outros Processos Extrativos	1
Reservatório Barramento Regularização de Vazões para Usos Múltiplos	1

Fonte: Os autores.

Plataforma Interativa com Dados das Outorgas da Bacia do Rio Cauamé

A plataforma interativa foi estruturada em formato de mapa geográfico, ilustrado na Figura 5. A interface dispõe, em sua composição, menus de seleção e filtros, de forma a apresentar os dados relativos às autorizações de maneira interativa e simplificada, com comandos baseados em cliques de *mouse* sobre os ícones disponibilizados. Com um clique no filtro de interesse (tipo de autorização ou divisão hidrográfica), o usuário controla os dados a serem apresentados; já com um clique sobre o ícone, a plataforma apresenta os dados relativos à autorização selecionada (<http://144.217.82.205/basin/>).

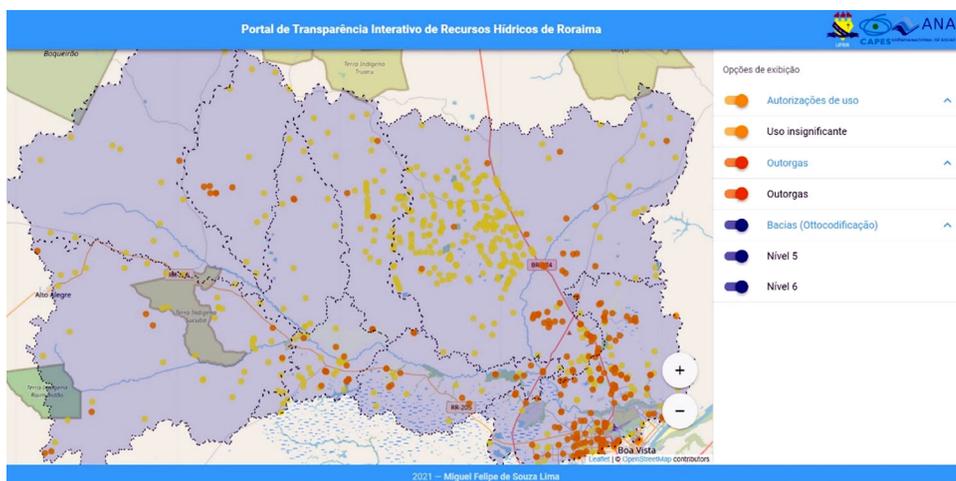


Figura 5 Mapa interativo para a caracterização e uso de recursos hídricos. Fonte: Os autores.

Resultados similares foram obtidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, a qual elaborou plataforma interativa com a finalidade de facilitar o acesso da sociedade às informações públicas de seu interesse, por meio de um Sistema de Informações Geográficas – SIG (PARAÍBA, 2020). Os dados apresentados dispõem de divisão hidrográfica, outorgas emitidas, açudes, classificação de tipos de outorgas e demais informações relativas às autorizações.

Proposta de Nota Técnica ao Programa de Moestrado Profissional ProfÁgua

Considerando as constatações observadas no decorrer da execução da pesquisa, foi elaborada uma nota técnica para fins de submissão ao Programa de Mestrado ProfÁgua com a finalidade de formalizar a identificação de inconsistências detectadas na gestão de recursos hídricos da bacia em estudo.

Proposta de Nota Técnica 001/2021

I. Objetivo

Adoção de procedimentos para cumprimento de dispositivos da Política Estadual de Recursos Hídricos relativos à transparência de informações e disponibilidade hídrica.

II. Antecedentes

A Constituição Federal garante, em seu artigo 225, que os recursos ambientais devam ser utilizados de forma racional, para proveito das gerações atuais e futuras (BRASIL, 1988);

Considerando que as Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos estabelecem a bacia hidrográfica como unidade de suas implementações (RORAIMA, 2006; BRASIL, 1997);

Considerando que são objetivos das políticas federal e nacional de recursos hídricos assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade dos recursos hídricos, na medida de suas necessidades e em padrões qualitativos e quantitativos adequados aos respectivos usos (RORAIMA, 2006; BRASIL, 1997);

Considerando os instrumentos da política estadual, a qual dispõe que devem ser elaborados inventário e balanço entre disponibilidade e deman-

da, atual e futura, dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais (RORAIMA, 2006);

Considerando o princípio básico para o funcionamento do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (RORAIMA, 2007):

- ◆ a disponibilização dos dados e informações a toda sociedade;

Considerando o objetivo do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (RORAIMA, 2007):

- ◆ atualizar, permanentemente, as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em todo o território do Estado;

Considerando o artigo 11 da Política Estadual de Recursos Hídricos de Roraima, Lei nº 547, de 23 de junho de 2006, que estabelece o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos com o objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos corpos hídricos e o efetivo exercício do direito de acesso à água;

Considerando a Sessão II do Decreto nº 8.123-E, de 12 de julho de 2007, que dispõe sobre as águas superficiais e estabelece:

“Art. 14. Independem de outorga da Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia: I - as derivações e captações de águas superficiais consideradas insignificantes:

a) entende-se como uso insignificante as derivações e captações individuais de até 1L/s (um litro por segundo), desde que o somatório dos usos individuais no trecho ou na unidade hidrográfica de gerenciamento não exceda 20% (vinte por cento) da vazão outorgável.

II - as acumulações de águas superficiais consideradas insignificantes:

a) entende-se como acumulação insignificante de água aquela com volume máximo de 50.000 m³ (cinquenta mil metros cúbicos).

§1º Para fins do disposto neste artigo, os quantitativos de acumulações, derivações e captações de águas superficiais considerados insignificantes poderão ser revistos quando da aprovação dos Planos de Recursos Hídricos, pelos respectivos Comitês de Bacias, ou por proposta destes, se existentes, ou pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos, em caráter geral.

§2º As derivações, captações e acumulações de volumes de águas superficiais consideradas insignificantes serão objeto de cadastro e fiscalização pela Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia de Roraima.

Art. 16. A disponibilidade hídrica será estabelecida em função das características hidrológicas do local ou da bacia sobre a qual incide a outorga, observando ainda o seguinte:

I - a vazão de referência para fins de concessão de outorga de direito de uso de água superficial deverá ser a Q7,1 ou Q9,0 ou QL;

II - na falta de qualquer uma das vazões citadas no Inciso I deste artigo, a Fundação Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia poderá adotar os seguintes procedimentos para análise e emissão das respectivas outorgas:

a) vazões instantâneas medidas pelo usuário pelo menos nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, que correspondem ao período seco do Estado;

b) apresentação por parte do requerente de declaração de aceite dos usuários a jusante do ponto de captação ou que não existiu conflito pelo uso de águas superficiais no curso d'água nos últimos cinco anos;

c) os prazos de outorga de direito de uso de águas superficiais concedidos com base nas avaliações do inciso II deste artigo terão validade de três anos, prorrogável a critério do órgão gestor de recursos hídricos por igual período;

d) no instrumento da concessão de outorga de direito de uso de águas superficiais com base nas avaliações do inciso II deverão constar obrigatoriamente as vazões com critérios estabelecidos pela Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia de Roraima.

III - quando se tratar de água para lançamento de efluentes, a vazão de diluição:

a) será fixada de forma compatível com a carga poluente, podendo variar ao longo do prazo estabelecido, em função da concentração máxima de cada indicador de poluição;

b) serão calculadas individualmente, em função da natureza do poluente (RORAIMA, 2007, p. 6)";

Considerando que o referido decreto relativo à regulamentação não dispõe de dispositivos de garantia e regulamentação de vazão ecológica, que é a quantidade mínima de água que deve permanecer no leito dos rios para atendimento das demandas do ecossistema aquático, para preservação da flora e da fauna relacionada ao corpo hídrico (CRUZ, 2005; MEDEIROS et al., 2011);

Considerando a pesquisa elaborada pelo Prof. Dr. Silvestre Lopes da Nóbrega na Bacia Hidrográfica do Rio Surumu, RR, em que o autor obteve valores de vazões de referência satisfatórios para as estações hidrológicas da Faz. Bandeira Branca, Maloca do Contão e Vila Surumu, as quais apresentaram diferença considerável (aproximadamente 60%) entre as vazões outorgáveis, considerando metodologias de cálculo Q7,1 e Q9,0 (NÓBREGA, 2018).

III. Situação

Considerando as informações disponibilizadas nos meios oficiais de comunicação do Estado de Roraima relativos à gestão de recursos hídricos, foi constatada a indisponibilidade das seguintes informações:

- ◆ Divisão hidrográfica oficial do estado homologada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Roraima (CERH), ata da reunião do conselho e dados técnicos relativos à metodologia para determinação da divisão hidrográfica definida;
- ◆ Dados relativos à metodologia utilizada para determinação da disponibilidade hídrica e critérios técnicos para emissão, monitoramento e controle e outorgas do estado;
- ◆ Dados relativos à disponibilidade hídrica do estado.
- ◆ Critérios técnicos para determinação da vazão de referência por bacia e percentual disponibilizado para alocação de usos dos recursos hídricos.

IV. Recomendações

- ◆ Publicidade da divisão hidrográfica oficial homologada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Roraima;
- ◆ Publicidade de dados oficiais relativos à disponibilidade hídrica no Estado de Roraima;
- ◆ Publicidade dos critérios técnicos da metodologia para cálculo de disponibilidade hídrica;
- ◆ Avaliação técnica do instrumento de outorga existente, especificamente relacionado aos artigos 14 e 16 do referido decreto regulamentador, considerando que os parâmetros adotados para determinação de usos, acumulações insignificantes e vazões de referência não dispõem de publicidade dos critérios utilizados em sua determinação e consulta ao CERH.

Considerações

Considerando a carência de informações relativas à gestão de recursos hídricos disponibilizada no Estado de Roraima, faz-se necessária a divulgação de informações pelas plataformas de maneira a democratizar o acesso às informações relativas ao uso, disponibilidade e gestão de recur-

tos hídricos assegurados nas legislações federal e estadual. Tais informações são necessárias para o cumprimento dos preceitos estabelecidos nas legislações quanto ao acesso à informação, garantindo a democratização das discussões nos processos decisórios estabelecidos nas legislações.

Referências

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. p. 143.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos da água; Hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 jan. 1997.

CRUZ, R. C. **Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados**. 2005. 135f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MEDEIROS, P. C.; SOUZA, F. A. S.; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.179>

NOBREGA, S. L. da. **Comportamento hidrológico em bacia hidrográfica da savana amazônica e cenários de usos do solo**. 2018. 126 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Conservação) – Programa de Pós-graduação Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, Universidade Federal de Roraima, Roraima, 2018.

RORAIMA. Lei 547 de 23 de junho 2006. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, p.01-08, jun. 2006.

RORAIMA. Decreto nº 8.121-E, de 12 de julho de 2007. Regulamenta o inciso III, do artigo 4º, bem como os artigos 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 e 78 da Lei n.º 547, de 23 de junho de 2006, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, p. 01-03, Jul 2007.

RORAIMA. Decreto nº 8.123-E, de 12 de julho de 2007. Regulamenta o inciso III, do artigo 4º, bem como os artigos 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 e 78 da Lei n.º 547, de 23 de junho de 2006, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, p. 04-09, Jul 2007.

Boa Vista, 16 de junho de 2021

Miguel Felipe de Souza Lima
Engenheiro Ambiental

Conclusões

Considerando os resultados obtidos, é possível afirmar que a distribuição espacial de usuários de recursos hídricos está concentrada em duas áreas: proximidades à zona urbana de Boa Vista (Bacia 484741) e Projeto de Assentamento Nova Amazônia (Bacia 484742), sendo, respectivamente, as duas bacias com maior densidade de usuários por quilômetro quadrado.

Em relação ao volume autorizado para utilização na bacia, foi constatado que duas outorgas para atividade piscicultura em tanques são responsáveis por 51,98% do volume anual outorgado, num universo de 710 usuários, entre outorgas e cadastro de usos insignificantes.

A Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé possui múltiplos usos estabelecidos, sendo aquicultura em tanque escavado, irrigação e criação animal as classes com maior número de usuários.

A sub-bacia de codificação 484741, próxima à zona urbana de Boa Vista, apresenta o maior número de usuários por quilômetro quadrado, o que deve ser levado em consideração na proposição da instituição de Comitês de Bacias. A sub-bacia apresenta múltiplos usos instalados, os quais dispõem de diferentes tipos de quantidade e qualidade necessários, de usos mais restritivos (recreativo) a usos menos restritivos (irrigação).

As fragilidades técnicas do instrumento de outorga e a ausência de dados oficiais relativos à disponibilidade hídrica evidenciam a sub-bacia 484741 como região com possibilidade de surgimento de conflito pelo uso da água. A concentração de usuários, a ausência de instância participativa dos processos decisivos e a ausência de dados relativos à disponibilidade podem ser apontadas como fatores propícios ao surgimento de conflito na região específica.

A ferramenta desenvolvida pode ser utilizada como suporte para decisões quanto à emissão de novas concessões e renovações das autorizações emitidas. Em conjunto com dados de disponibilidade, podem fornecer um diagnóstico mais preciso da relação demanda x disponibilidade na bacia do rio Cauamé.

A ferramenta desenvolvida pode ser expandida para as demais bacias do Estado de Roraima, além de permitir a integração com bancos de dados de outros órgãos e esferas, de modo a ampliar o número de informações a serem avaliadas no processo de concessão, tais como Cadastro Ambiental Rural, áreas embargadas, áreas em litígio e bases fundiárias.

Referências

- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Codificação de Bacias Hidrográficas pelo Método de Otto Pfafstetter**. 2018. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/104/1/apostila.pdf> Acesso em: 23 maio 2020.
- BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos da água; Hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- CARNEIRO, F. M. F. et al. Proposta de enquadramento de corpos hídricos em classes de uso na bacia hidrográfica do rio Piranga utilizando geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.13, n. 05, p. 2491-2502, 2020.
- CAVANAUGH, E. **Web services: Benefits, challenges, and a unique, visual development solution**. 2006. Disponível em: <<http://www.altova.com/whitepapers/webservice.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2020.
- MOREIRA, M. C. et al. Índices para Identificação de Conflitos pelo Uso da Água: Proposição Metodológica e Estudo de Caso. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p.7-15 Jul/Set 2012.
- PARAÍBA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **SIGAESA-WEB**. Disponível em: <<http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/sigaesaweb.html>>. 10 nov 2020. Acesso em: 05 dez 2020.
- ROLIM, F. E. et al. Ottocodificação e análise altimétrica e da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Canoas na fronteira entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Tecnológica**, Santa Cruz do Sul, v. 24, n. 1, p. 64-73, fev./jul. 2020.
- RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 320 p.
- RORAIMA. Decreto nº 8.121-E, de 12 de julho de 2007. Regulamenta o inciso III, do artigo 4º, bem como os artigos 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 e 78 da Lei n.º 547, de 23 de junho de 2006, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, p. 01-03, Jul 2007.
- RORAIMA. Decreto nº 8.123-E, de 12 de julho de 2007. Regulamenta o inciso III, do artigo 4º, bem como os artigos 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 e 78 da Lei n.º 547, de 23 de junho de 2006, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, p. 04-09, Jul 2007.
- RORAIMA. Lei 547 de 23 de junho 2006. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, p.01-08, jun. 2006.
- SEVERANCE, C. Javascript: Designing a language in 10 days. **Computer**, v. 45, n. 2, p. 7-8, 2012.
- SILVERMAN, B. W. **Density estimation for statistics and data analysis**. Nova York: Routledge, 2018. 176 p.
- SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 196 p.

Compartimentação da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, RR: uma análise da fragilidade à erosão do solo

Débora Strucker
Luiza Câmara Beserra Neta
Stélio Soares Tavares Júnior

Introdução e Problemática da Área de Estudo

A área de uma bacia hidrográfica é considerada unidade de referência para estudos em diversas temáticas. Nesse contexto, o pleno conhecimento de componentes da paisagem, como a litologia, clima, relevo, solos, vegetação e os próprios recursos hídricos, deve anteceder qualquer estudo que se pretenda desenvolver nessa área.

O estudo da paisagem dividida por compartimentos tem demonstrado resultados positivos para análises de áreas. Calderano Filho et al. (2010), em uma delimitação de unidades ambientais, puderam observar a relação de mudanças na paisagem realizadas pelo homem com a presença de vegetação original apenas em áreas de maior altitude. Os mesmos autores relatam que as atividades humanas degradam mais severamente os compartimentos mais delicados da paisagem. Farias e Silva (2015), em estudo de compartimentação da paisagem, consideram a importância dessa metodologia para o planejamento ambiental e a referem como uma das ferramentas mais eficazes para propor medidas de uso compatíveis com a capacidade dos recursos naturais encontrados na bacia.

A Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé (BHRC) está situada na porção nordeste do Estado de Roraima, abrangendo os municípios de Boa Vista e Alto Alegre (Figura 1). É considerada uma importante bacia hidrográfica em função dos seus usos múltiplos, contribuindo para o abastecimento de água da cidade de Boa Vista, balneabilidade, pesca e captação de recursos hídricos para fins agropecuários.

Por estar inserida no município de Boa Vista, essa bacia está sendo fortemente afetada pela expansão urbana, em consequência dos impactos antró-

picos sobre o seu principal corpo hídrico (rio Cauamé), e pressionada também na parte rural, com o crescimento da atividade agropecuária, principalmente das lavouras irrigadas.

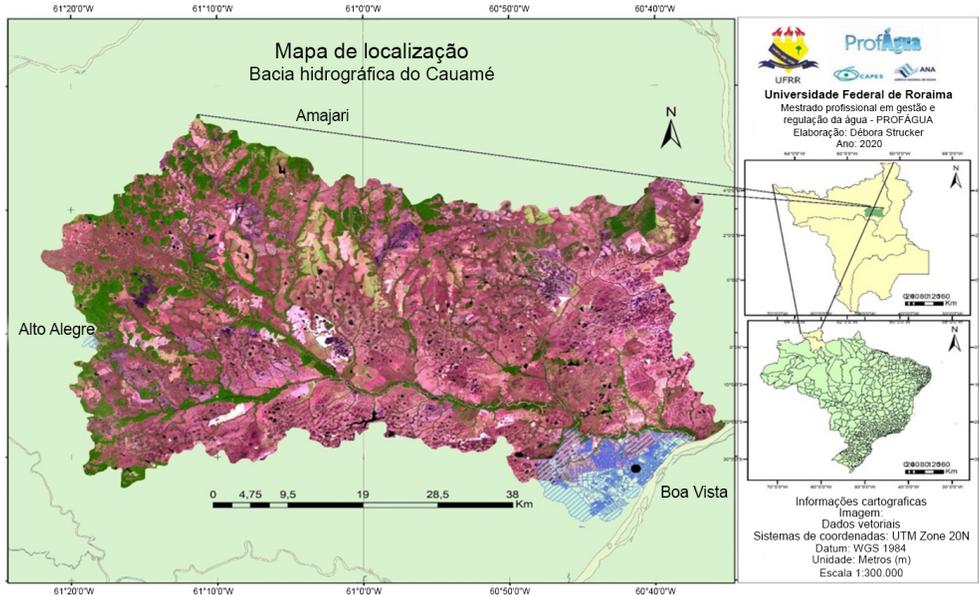


Figura 1 Esquema de localização geográfica da BHRC. Imagem do sensor OLI/Landsat 8 resultante do processo de fusão entre as imagens 6R5G2B com a banda pancromática. *Organização:* Elaborado pelos autores.

A BHRC tem sido objeto de estudo de alguns pesquisadores, como, por exemplo, Barroso (2009), que delimita a bacia por áreas e propõe os tipos de atividades que podem ser desenvolvidas em cada área em virtude da fragilidade do ambiente. Já Oliveira (2014) observou que os principais problemas ambientais que afetam o rio Cauamé são a ocupação irregular, destruição das matas ciliares e poluição doméstica devido à falta de saneamento básico.

Nesse sentido, apresenta-se este estudo sobre o grau de proteção do solo da região da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, a partir da análise dos elementos formadores e modificadores da paisagem, como geologia, relevo, solos, vegetação e ações antrópicas (uso e ocupação do solo), proporcionando um planejamento adequado de uso e conservação das áreas ambientalmente frágeis, bem como conhecimento prévio do arcabouço da paisagem para o desenvolvimento de outras pesquisas.

Ao destacar a importância das bacias hidrográficas como unidade de estudo e abranger seus fatores de formação de paisagem de forma integrada, este trabalho tem por finalidade a construção do mapa de vulnerabilidade à erosão do solo, importante instrumento para análise do grau de proteção do solo da bacia hidrográfica do Cauamé.

Localização e Características Gerais da BHRC

A BHRC está situada na porção nordeste do estado de Roraima, entre as coordenadas geográfica 03° 17' 25" N e 61° 22' 50,4" W; 02° 47' 40,14" N e 60° 35' 50,3" W; abrangendo os municípios de Boa Vista e Alto Alegre (Figura 1), tendo o rio Cauamé como sua drenagem principal.

De acordo com a classificação apresentada por Rocha (1997), a BHRC é considerada grande, apresenta uma dimensão areal de cerca de 3.159,23 km², ou seja, maior que 1000 km². Nessa área são encontrados 1.942 canais, com seu principal canal alcançando uma extensão de 120 km.

Em consonância com a necessidade de conhecimento prévio dos principais elementos componentes da paisagem, apresenta-se a seguir, de forma sintética, as características fisiográficas da região da BHRC.

Em termos litológicos, afloram nessa região conjuntos de rochas, desde o Paleoproterozoico como sequências de paraderivadas; dentre essas, predominam gnaisses e quartzitos e rochas vulcânicas, derrames basálticos da fase pré-rift do gráben do Tacutu no Mesozoico, bem como pacotes de sedimentos inconsolidados reputados ao Neógeno e Pleistoceno.

Os compartimentos de relevos são representados por extensas áreas de aplanamento, onde se desenvolvem tipos diferenciados de Latossolos, recobertos por uma vegetação savânica. Intercaladas a estas ocorrem áreas abaciais, onde se instalam lagoas perenes e temporárias em solos do tipo Neossolos quartzarênicos. Por vezes, esses compartimentos são interrompidos por relevos residuais (inselbergs), a exemplo da serra Nova Olinda (Figura 2).

Nessas vastas áreas de aplanamento ocorrem igarapés perenes e intermitentes, marcados por alinhamento de veredas de buritis (*Mauritia flexuosa*), o que proporciona uma beleza cênica à paisagem.

No que diz respeito à hidrografia, destacam-se três cursos d'água: na margem esquerda, o rio Murupu, e, na direita, o rio Au-Au e o Igarapé Caranã, que flui inteiramente no perímetro urbano de Boa Vista.



Figura 2 Relevos residuais representados por morros estruturalmente alinhados e modelados em rochas basálticas, que compõem a serra Nova Olinda, adjacências ao norte do perímetro urbano de Boa Vista. Ao fundo, serra do Murupu, estruturada em gnaisses paraderivados. *Organização:* Fotografia dos autores adquirida em 11/06/2021.

De acordo com a classificação de Koppen, o clima predominante na região é o tropical úmido, tipo Am (BRASIL, 1975). O regime de chuvas concentra-se entre os meses de abril e setembro, e a redução do volume das chuvas entre os meses de outubro e março.

Materiais e Procedimentos Metodológicos

Na obtenção dos dados foi realizado levantamento bibliográfico, cartográfico e de sensores remotos; confecção de mapas temáticos; atividades de campo (fotografias da paisagem da área de estudo adquiridas por máquina fotográfica e drone a uma altura de 30 metros) e de laboratório.

Levantamento Bibliográfico, Cartográfico e de Sensores Remotos

O levantamento bibliográfico foi realizado mediante a interpretação de dados bibliográficos (livros, dissertações, teses, artigos científicos de periódicos e revistas eletrônicas de sítios nacionais e internacionais, e publicações em congressos e simpósios) acerca dos conceitos/metodologias que norteiam a

pesquisa, como: conceitos de paisagem, estudos em bacias hidrográficas, geotecnologias e erosão do solo.

Os produtos cartográficos listados no Quadro 1 figuram-se entre os materiais essenciais para o desenvolvimento de estudos que se propõem a uma análise da paisagem. Cabe ressaltar a análise de Marques Neto (2020), que vincula o desenvolvimento da cartografia geomorfológica brasileira ao pioneirismo do projeto RADAMBRASIL, que serviu de importante base para a geração dos atuais produtos e proposições metodológicas, como a apresentada a seguir.

As cartas topográficas foram utilizadas, principalmente, no sentido de obter os valores das altitudes das formas de relevo, enquanto o mapa geomorfológico serviu de base para o conhecimento das unidades de relevo.

Inicialmente elaborou-se, detalhadamente, o mapa da rede de drenagem de forma automática e com refinamento sobre a imagem OLI/Landsat 8, resultante da fusão entre as bandas espectrais 6R5G2B e a banda pancromática, pelo modelo Brovey. Em seguida, inteiramente em ambiente de Sistema de Informação Digital (SIG) e utilização da lógica *Fuzzy* para padronização dos intervalos de variação e ajustamento dos contatos entre classes, foram gerados os mapas temáticos, cuja integração via técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process*), para tomadas de decisões complexas, permitiu a elaboração do mapa de fragilidade à erosão do solo.

Quadro 1 Características dos dados cartográficos e de sensoriamento remoto utilizados.

Título	Escala/ Resolução espacial	Referência
Mapa Geomorfológico do Estado de Roraima, Folhas NB. 20 e NA. 20	1:1.000.000	RADAMBRASIL, 1975
Mapa Geomorfológico do Estado de Roraima	1:250.000	IBGE, 2005
Carta Topográfica de Boa Vista, Folhas NA. 20-X-D e NA. 21-V-C	1:250.000	Exército Brasileiro, 1981
Imagem OLI/Landsat 8	30 m e 15 m	www.earthexplorer.usgs.gov.br
Modelo de Elevação Digital	30 m	www.earthexplorer.usgs.gov.br

Organização: Elaborado pelos autores.

Elaboração dos Mapas Temáticos

Os mapas temáticos de solos e de vegetação foram reeditados a partir dos dados constantes nos relatórios do Sistema Estadual de Recursos Hídricos do Governo do Estado de Roraima (2007).

O mapa de compartimentos geomorfológicos foi elaborado seguindo a técnica que consiste na definição de morfoestruturas de relevo, conforme Araújo et al. (2003), integradas com dados morfoesculturais de campo.

Os dados para a definição de classes de cobertura da terra foram obtidos a partir de visitas *in locu* e do conhecimento dos aspectos físicos e ambientais da área, juntamente com as regiões delimitadas na imagem segmentada. Na imagem OLI/Landsat 8 em composição colorida, selecionada para a classificação supervisionada pelo método MAXVER, foram demarcadas, em nível de pixel, as classes áreas urbanas, úmidas, cultivadas e de pastos, solos expostos, corpos hídricos, savanas e regiões de mata, durante a fase de treinamento desse método. Nessa fase, como procedimento de verificação, contou-se com o apoio da imagem de alta resolução espacial exibida no aplicativo Google Earth, além dos 20 pontos verificados *in locu*, que possibilitaram a seleção de cerca de 370 amostras dentro da região correspondente à BHRC. Deste modo, após a execução da operação de classificação propriamente dita, obteve-se o mapa de cobertura da terra.

Aplicação da lógica *fuzzy*

Esta etapa tem por finalidade a conversão dos mapas temáticos em modelos numéricos de terreno, dentro de um mesmo intervalo de variação, além de suavizar as regiões de contato entre classes. Nesse sentido, foram criados scripts na linguagem LEGAL implementada no aplicativo Spring, em que foram definidas diferentes funções numéricas e de lógica de acordo com a temática. No Quadro 2 é exemplificado o script para a geração do modelo numérico de terreno para o mapa de compartimentos geomorfológicos.

A necessidade de padronização deve-se ao fato de cada mapa possuir uma unidade temática diferente. Assim, a padronização permite que as unidades dos mapas tenham uniformidade (DE PAULA; SOUZA, 2007). Cada unidade foi ponderada de acordo com sua importância quanto à fragilidade do solo, em que os valores mais próximos de 1 representam áreas mais frágeis e os próximos de 0, áreas inaptas.

Quadro 2 Script na linguagem LEGAL implementado no aplicativo Spring para criação de uma superfície contínua correspondente às classes dos compartimentos geomorfológicos na região da BHRC.

```
//Programa para criação da superfície contínua das unidades geomorfológicas
//Declaração
Tematico var1("CAT_Tematico");
Numerico var2, var3, var4, var5, var6 ("CAT_MNT");
Numerico var7("Rel_Pond");

//Instanciação
var1=Recupere (Nome="relev2");
var2=Recupere (Nome="Dist_DBV");
var3=Recupere (Nome="Dist_PMU");
var4=Recupere (Nome="Dist_PRB");
var5=Recupere (Nome="Dist_RR");
var6=Recupere (Nome="Dist_SO");
var7=Novo (Nome="Geomorfo_fuzzy3", ResX=30, ResY=30, Escala=70000, Min=0, Max=1);

//Operação
var7=((var2<100&&var1=="DBV")? ((var2*0.005)+0.5)*0.30:
(var3<100&&var1=="PMU")? ((var3*0.005)+0.5)*0.14:
(var4<100&&var1=="PRB")? ((var4*0.005)+0.5)*0.40:
(var5<100&&var1=="RR")? ((var5*0.005)+0.5)*0.06:
(var6<100&&var1=="SO")? ((var6*0.005)+0.5)*0.10:
(var1=="DBV"&&var2>=100)? Digital (1)*0.30:
(var1=="PMU"&&var3>=100)? Digital (1)*0.14:
(var1=="PRB"&&var4>=100)? Digital (1)*0.40:
(var1=="RR"&&var5>=100)? Digital (1)*0.06:
(var1=="SO"&&var6>=100)? Digital (1)*0.10:
Digital (0);
```

Critérios AHP – *Analytic Hierarchy Process*

A elaboração dos mapas temáticos citados visou às suas análises de forma integrada para a construção de uma superfície contínua, que representasse a variação da fragilidade à erosão, por meio do uso da técnica de análise multicriterial AHP.

Nesse tipo de análise, os critérios, correspondentes aos dados temáticos, são comparados par a par, utilizando-se como referência uma escala contínua de nove possibilidades de pesos de intensidade de importância. A Tabela 1 demonstra os pesos de importância propostos neste estudo na comparação dos dados temáticos (critérios) analisados. A atribuição dos pesos de importância baseou-se nos conhecimentos prévios da fisiografia da área e nas análises realizadas nos mapas temáticos.

Tabela 1 Escala de pesos de importância AHP para comparação pareada entre os temas analisados neste estudo.

Critério	Peso (Numérico)	Peso	Critério
Cobertura da terra	3	Algo melhor	Declividade
Declividade	4	Moderadamente melhor	Geomorfologia
Declividade	6	Bem melhor	Solos
Declividade	7	Muito melhor	Vegetação
Cobertura da terra	5	Melhor	Geomorfologia
Cobertura da terra	6	Bem melhor	Solos
Cobertura da terra	9	Absolutamente melhor	Vegetação
Geomorfologia	3	Algo melhor	Solos
Geomorfologia	5	Melhor	Vegetação
Solos	2	Um pouco melhor	Vegetação

Organização: Elaborado pelos autores.

Resultados e Discussão

Análise dos Tipos de Solos na BHRC

O mapa de solos exposto na Figura 3 demonstra que as classes de Latossolos Amarelos são as que apresentam maior distribuição na área. Porém, em função de sua provável fertilidade, vale destacar a restrita ocorrência da classe Latossolos Vermelhos Eutróficos. A classe dos Latossolos é conhecida por ser a mais resistente à erosão, devido às suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas.

Os Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos (PVAd1) são os solos da classe menos representativa da bacia, localizados no limite superior da região noroeste, com 0,38 km² (0,01%) de extensão (Tabela 2). Esses solos apresentam de média a baixa fertilidade e restrições de uso principalmente em relevo acidentado.

A classe dos Neossolos Litólicos (RLd1) possui cerca de 101,31 km² (3,21%) e está localizada numa região muito próxima da capital, Boa Vista, situando-se em área de expansão urbana. Estes solos são frágeis à erosão por serem pouco profundos e geralmente associados a relevos declivosos.

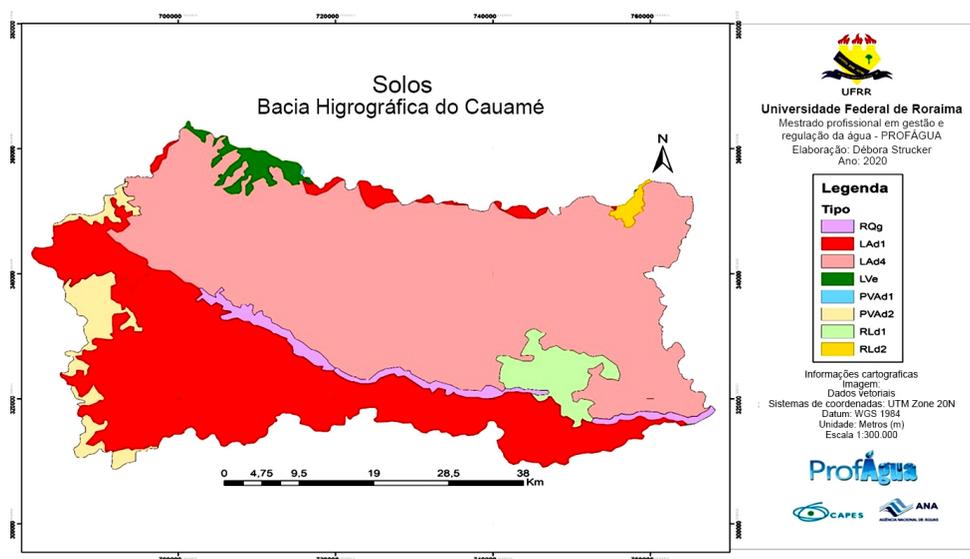


Figura 3 Mapa de classes de solos ocorrentes na BHRC, adaptado do mapa de solos do Estado de Roraima (RORAIMA, 2007). *Organização:* Elaborado pelos autores.

Tabela 2 Características das classes de solo ocorrentes na região da BHRC.

Classe de solo	Área (km ²)	Total (%)
LAd4 – Latossolos Amarelos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos	1797,04	56,88
LAd1 – Latossolos Amarelos Distróficos	1009,44	31,94
LVe – Latossolos Vermelhos Eutróficos	47,18	1,49
PVAd1 – Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	0,38	0,01
PVAd2 – Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos + Latossolos Amarelos Distróficos	111,60	3,53
RLd1 – Neossolos Litólicos Distróficos	101,31	3,21
RLd2 – Neossolos Litólicos Distróficos + Latossolos Amarelos Distróficos	13,70	0,43
RQg – Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos	79,26	2,51
Total	3.160	100

Fonte: Modificado de Roraima (2007).

A última classe de solo que se apresenta nesta bacia são os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos (RQg). Estes ocupam 79,26 km² (2,51%) e margeiam o curso principal do rio Cauamé, na porção central da bacia e próximo à área urbana da cidade de Boa Vista. Têm por característica serem solos profundos e com textura muito arenosa.

Análise dos Compartimentos Geomorfológicos na BHRC

A Figura 4 mostra que na região da BHRC distinguem-se quatro compartimentos geomorfológicos, relacionados com seus respectivos valores de área na Tabela 3. Em análise dessas informações verifica-se que a Depressão Boa Vista é a unidade geomorfológica de maior distribuição, seguida da unidade Patamar do Médio Uraricoera. Deste modo, pode-se considerar que na região da BHRC predomina um relevo plano a suavemente ondulado, que provém de processos predominantemente acumulativos, onde se instalam as atividades agrícolas. No entanto, em meio a essa extensa área de aplanamento ocorrem testemunhos de dissecação de relevos residuais, cujas altitudes não ultrapassam os 500 m.

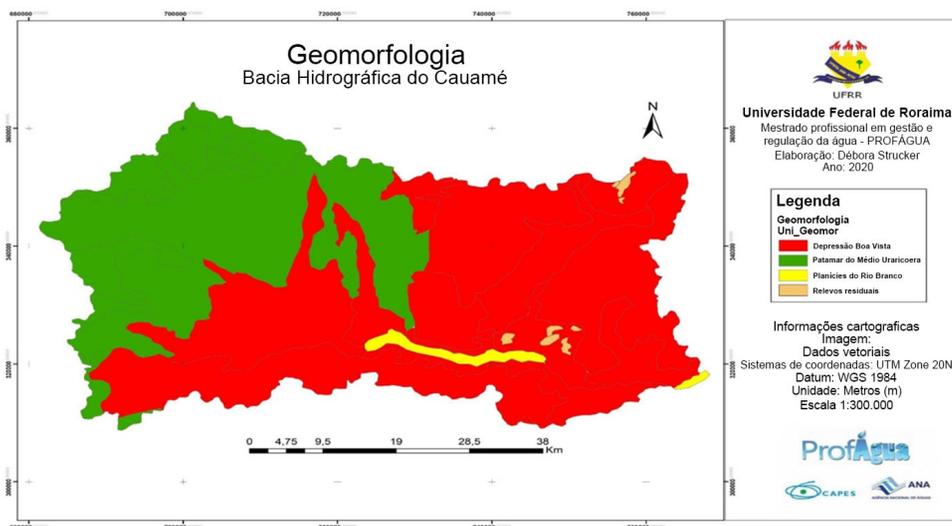


Figura 4 Mapa de compartimentação geomorfológica da região da BHRC. Organização: Elaborado pelos autores.

Tabela 3 Características dos compartimentos geomorfológicos ocorrentes na BHRC.

Compartimentos geomorfológicos	Área – km ²	Total (%)
Depressão Boa Vista	1944,25	61,52
Patamar do Médio Uraricoera	1150,06	36,40
Planícies do Rio Branco	50,03	1,58
Relevos Residuais	15,85	0,50
Total	3.160	100

Organização: Elaborado pelos autores.

Análise da Declividade na BHRC

O compartimento geomorfológico correspondente às planícies do rio Branco se encontra em uma pequena extensão na borda da cidade de Boa Vista, em um trecho do rio Cauamé. Essas planícies se situam em baixas altitudes, de 70 a 80 m, de acordo com Costa, Schaefer e Vale Júnior (2005), e são definidas por faixas alongadas que se depositam pelos rios, sujeitas a inundações periódicas, correspondendo a áreas de várzeas atuais.

Conforme o mapa de declividade (Figura 5), a bacia do Cauamé apresenta em sua maior parte áreas planas, com declividade de 0-3% e de 3-8%, que se estendem ao longo da Depressão Boa Vista.

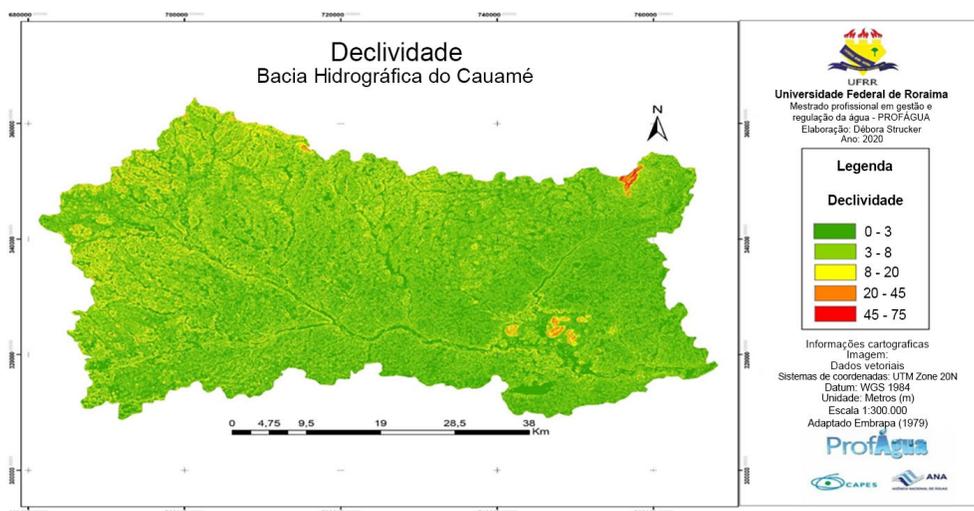


Figura 5 Mapa de declividade da região da BHRC. *Organização:* Elaborado pelos autores.

Mais na porção oeste, o relevo acaba se enquadrando mais na faixa de 8-20%, que se encontra justamente no Patamar do Médio Uraricoera. E os relevos residuais presentes nas áreas de depressão estão nas classes de 20-45° e de 45-75° de declividade, sendo áreas mais íngremes como a serra Nova Olinda. Esses locais são áreas consideradas mais frágeis para qualquer atividade antrópica, e a declividade acima de 45° se enquadra como área de preservação permanente (APP), segundo o Código Florestal (1988).

Análise da Vegetação na BHRC

Conforme observado no mapa da Figura 6, a vegetação da região da BHRC é representada por duas classes: a savana, que constitui a maior parte da região, e a floresta estacional semidecidual, que recobre a porção sudoeste, próximo da cidade de Alto Alegre (Tabela 4).

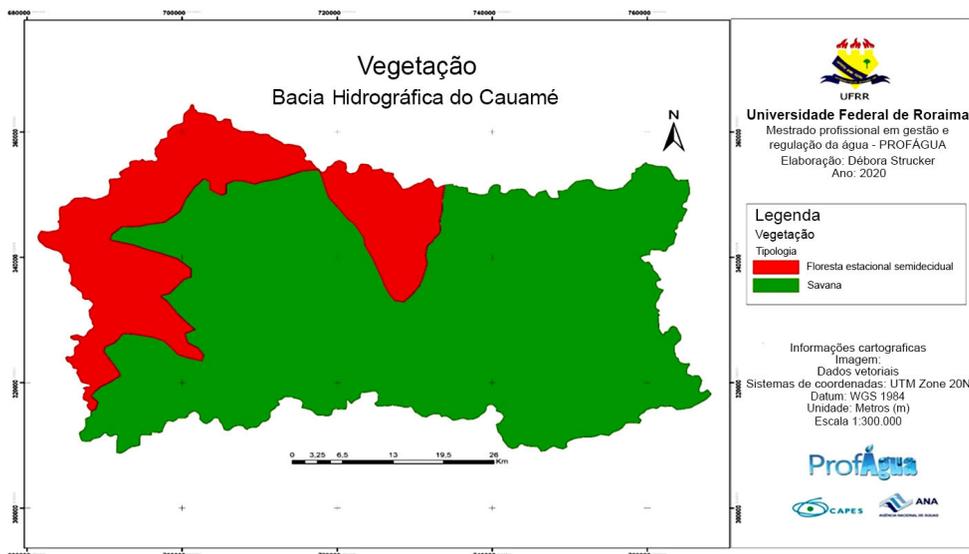


Figura 6 Mapa de vegetação da região da BHRC, adaptado do mapa de vegetação do Estado de Roraima (RORAIMA, 2007). *Organização:* Elaborado pelos autores.

Tabela 4 Características das classes de vegetação da região da BHRC (modificado de Roraima, 2007).

Classe de vegetação	Área – km ²	Total (%)
Savana	2422,95	76,67
Floresta estacional semidecidual	737,88	23,35
Total	3.160	100

Organização: Elaborado pelos autores.

Análise da Cobertura de Terra na NA BHRC

A partir do conhecimento prévio dos aspectos físicos e ambientais da área e da análise da imagem segmentada, foram definidas oito classes de cobertura da terra (Tabela 5). A observação do mapa da Figura 7 demonstra que, entre

essas classes, a do Lavrado – termo regional utilizado para a vegetação de Savana característica da região central de Roraima – é a mais representativa. Apesar de a tipologia Savana (Lavrado) ser vegetação originária e recobrir o solo, não é tão eficiente em sua proteção à erosão em comparação com as áreas de vegetação de grande porte e mais densas, a exemplo das áreas de florestas.

A classe das matas ciliares desempenha um importante papel na região da bacia, por serem áreas de preservação permanente (APP) protegidas pela legislação (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), porém na região, como ocorre em outros locais do Brasil, há o risco de degradação devido à expansão urbana, uso agropecuário e para atividades de balneabilidade.

A classe de áreas de cultivo apresenta-se disposta ao longo da área rural da cidade de Boa Vista e nas áreas interiores da bacia. Destacam-se cultivos de milho, soja, plantações frutíferas e pastagens para pecuária, em diferentes graus tecnológicos, contando com pequenos produtores, sem nenhuma implementação de tecnologias, até produções grandes e avançadas, com utilização de pivôs para irrigação.

A classe de solo exposto se estende por áreas de expansão urbana da cidade de Boa Vista, nos loteamentos para construção, e em áreas preparadas para cultivo.

Os corpos d'água e as áreas úmidas formam classes distribuídas por toda a extensão da bacia, cuja importância consiste na necessidade de preservação dos recursos hídricos, planejamento de questões de infraestrutura e zoneamento dos locais adequados para agropecuária, áreas de preservação e áreas urbanas.

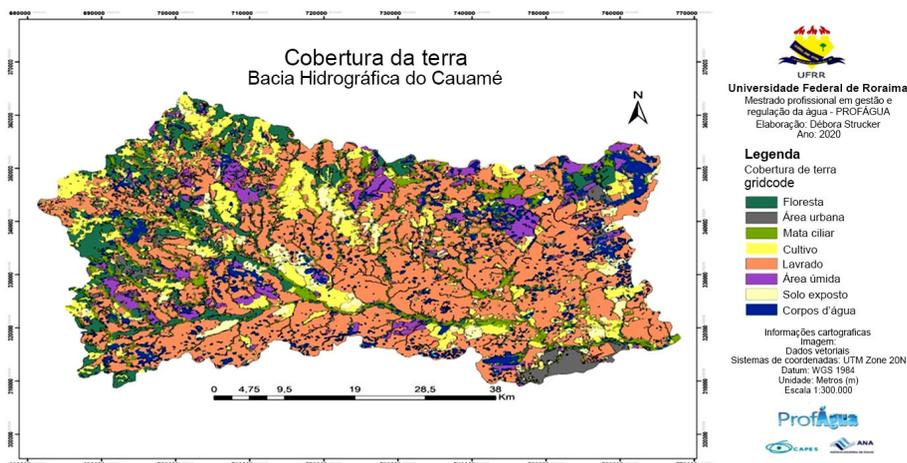


Figura 7 Mapa de cobertura da terra da região da BHRC. *Organização:* Elaborado pelos autores.

Tabela 5 Características das classes de cobertura da terra.

Classes de cobertura	Área (km²)	Total de classes (%)
Lavrado	1.454,90	46,04
Floresta	328,45	10,39
Mata ciliar	283,54	8,97
Cultivo	418,47	13,24
Solo exposto	127,95	4,05
Corpos d'água	275,48	8,72
Áreas úmidas	183,64	5,81
Área urbana	87,58	2,77
Total	3.160	100

Organização: Elaborado pelos autores.

A classe de solo exposto se estende por áreas de expansão urbana da cidade de Boa Vista, nos loteamentos para construção, e em áreas preparadas para cultivo.

Os corpos d'água e as áreas úmidas formam classes distribuídas por toda a extensão da bacia, cuja importância consiste na necessidade de preservação dos recursos hídricos, planejamento de questões de infraestrutura e zoneamento dos locais adequados para agropecuária, áreas de preservação e áreas urbanas.

Análise da BHRC e Sua Fragilidade à Erosão

Na análise do mapa da Figura 8, constata-se que as regiões da BHRC, correspondentes ao relevo plano a suavemente ondulado recoberto pela vegetação de savanas (Lavrado) e solos mais profundos (Latossolos), apresentam médio a baixo risco à erosão do solo, enquanto os locais mais frágeis restringem-se às vertentes dos relevos residuais e de matas ciliares.

De modo geral, de acordo com o mapa de fragilidade à erosão, pode-se verificar que a Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, em sua maior parte, demonstrou ter de médio a baixo risco de erosão. Isso se deve, principalmente, ao seu estado de conservação, pois grande extensão encontra-se ocupada pela vegetação original (savana) e a agropecuária ainda não está sendo desenvolvida de forma tão intensa na bacia. Contudo, há alguns locais com cultivo de milho e soja, inclusive com utilização de irrigações (pivôs), observados no

mapa de cobertura da terra. Esses locais devem ser monitorados devido à retirada da cobertura vegetal original e implementação desses cultivos que podem ocasionar impactos no solo e futuramente problemas de erosão.

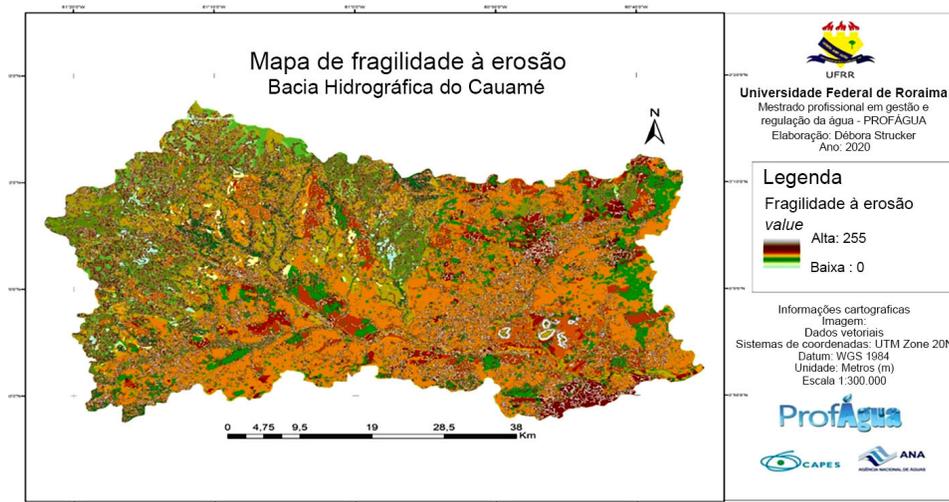


Figura 8 Mapa de fragilidade à erosão do solo da região da BHRC. *Organização:* Elaborado pelos autores.

Em uma análise comparativa ao mapa de cobertura da terra verifica-se que, nas áreas de menor fragilidade, ocorre maior desenvolvimento de atividades agropecuárias. Apesar desse uso, nota-se ainda um bom estado de conservação, todavia medidas de monitoramento devem ser rotineiras, em razão de operações inerentes a essas atividades, como a retirada da cobertura vegetal original e o revolvimento do solo, que, conforme Galet (1984), podem ocasionar o rebaixamento do perfil, alteração de sua estrutura e perda de matéria orgânica.

No caso dos locais de maior fragilidade, como as vertentes dos relevos residuais, a alta declividade e os solos Litólicos constituem um risco ao desenvolvimento de cultivos. Deste modo, devem ser mantidos preservados com sua vegetação original, mesmo apresentando uma estrutura geológica resistente. As áreas de mata ciliar também são muito frágeis, e na região da BHRC são, em geral, constituídas por solos mais arenosos, como os Neossolos Quartzarênicos. Caso a cobertura vegetal seja removida, pode ocorrer intensa erosão e carreamento de sedimentos para dentro dos corpos hídricos.

Considerações Finais

O maior conhecimento das características da região da BHRC e de como se dá seu uso e ocupação possibilita a predição de áreas passíveis de erosão e a prevenção da instalação de processos erosivos. O mapa de fragilidade à erosão elaborado a partir da metodologia do Processo Analítico Hierárquico aponta áreas mais frágeis quanto à erosão, tanto na área urbana quanto na parte rural.

A região BHRC apresenta áreas extensas de relevo plano a suavemente ondulado, recoberto por vegetação de savana em Latossolos Amarelos, que se estende por cerca de 76% de toda a região. Esses aspectos tendem a reduzir o risco de erosões. Em contrapartida, as áreas com alta fragilidade à erosão se restringem às vertentes das morfologias residuais e áreas de matas ciliares, em função da alta declividade e dos solos mais arenosos, respectivamente.

As atividades de uso do solo (agropecuárias, mineração, expansão urbana) na região da BHRC encontram-se na maior parte em áreas menos frágeis. Contudo, não se descarta uma rotina de monitoramento pelos órgãos competentes, visando ao menor impacto ambiental possível. Com relação às áreas mais frágeis à erosão, recomenda-se a criação ou manutenção, como Áreas de Preservação Permanentes (APPs).

A utilização de recursos geotecnológicos tem se tornado eficaz na realização de estudos de planejamento ambiental, especialmente aqueles que visam à gestão dos recursos hídricos. A aplicação de técnicas de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto permite a realização de análises eficientes da fisiografia, cujo conhecimento deve anteceder qualquer estudo em uma região de bacia hidrográfica, inclusive na aplicação dos instrumentos de gestão, como o enquadramento, que necessita de um diagnóstico ambiental e social, eventualmente até antes da outorga. Portanto, para se fazer um planejamento de uso da bacia, primeiro é preciso conhecer a paisagem da região.

Referências

BARROSO, J. **Diagnóstico ecológico da bacia do rio Cauamé no Estado de Roraima, com a utilização de Sistema de Informações Geográficas para o Desenvolvimento Sustentável**. 2009. 77p. Dissertação (Mestrado profissional interinstitucional em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Universidade Federal de Roraima, 2009.

- CALDERANO FILHO, B. et al. Estudo geoambiental do município de Bom Jardim –RJ, com suporte de Geotecnologias: Subsídios ao planejamento de paisagens rurais montanhosas. **Soci-idade & Natureza**, Uberlândia, v.22, n.1, p. 55-73, abr. 2010.
- COSTA, J. A.V; SCHAEFER, C. E; VALE JÚNIOR, J.F. Aspectos geológicos geomorfológicos do Estado de Roraima. **Ação Ambiental**, Viçosa, n. 32, p. 11-14, jul/ago. 2005
- CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 1995. p. 211-252.
- DE PAULA, E. M. S.; SOUZA, M. J. N. Lógica Fuzzy como Técnica de Apoio ao Zoneamento Ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IMPE, 2007. p. 2979-2984. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.11.57/doc/2979-2984.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula...Rio de Janeiro, 1979. 83p.
- FARIAS, J. F.; SILVA, E. V da. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Palmeira – Ceará: subsídios ao planejamento ambiental. **Geosaberes**, Fortaleza, v.5, n. 1, p. 149-163, 2015.
- GALET, P. A. **Práticas de controle à erosão**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola; Campinas, 1984.
- MENDONÇA, P. R. **Características hidrogeomorfológicas das bacias hidrográficas dos rios Santa maria do rio doce e Santa joana/ES**. 2013, 141p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2013.
- MINELLA, J. P. G. et al. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1637-1646, 2007.
- OLIVEIRA, J. da S. **Vulnerabilidades aos impactos ambientais da bacia hidrográfica do rio Cauamé em decorrência da expansão urbana e uso para lazer em suas praias**. Dissertação (Graduação) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2014. 65p.
- REIS NETO. R. A. **Geomorfologia e Neotectônica da Bacia do Rio Cauamé**. Boa Vista-RR. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2007, 95p.
- ROCHA, J. S. M. da; KURTS, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4 ed. Santa Maria: UFSM/CCR, 2001. 120 p.
- SILVA, D. A. da et al. Características geomorfológicas e a atuação antrópica na formação da atual paisagem em Boa vista, Bonfim e Pacaraima. **Revista Acta Geográfica**. v.3, n.6, p. 55-64, 2009.

Hidrogeologia da Bacia do Rio Cauamé, RR

Pedro Antônio Santiago Dória dos Santos
Fábio Luiz Wankler
Carlos Sander

Introdução

A Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé localiza-se em uma área pertencente a dois municípios de Roraima – Boa Vista e Alto Alegre –, tem uma das maiores concentrações de empreendimentos agropastoris e industriais do estado, sendo o local onde ocorre a maior expansão da malha urbana da capital. Tais aspectos são o reflexo do elevado ritmo de desenvolvimento nas duas últimas décadas, atribuído ao crescimento da população, especialmente de imigrantes (SCHAEFER, 1994; 1997; IBGE, 2021).

Em áreas urbanizadas ocorre impermeabilização do solo, e as fugas das redes públicas de distribuição de água potável, da coletora de esgotos e das galerias pluviais são representantes de uma parcela das zonas de recarga no aquífero, enquanto nas áreas rurais, com o avanço da expansão da fronteira agrícola, o intenso bombeamento das águas superficiais e subterrâneas é responsável pela superexploração, causando excessiva descarga no aquífero (FOSTER et al., 2013). Assim, o uso descontrolado dos recursos hídricos pode acarretar modificações nas condições naturais e, conseqüentemente, mudanças nas condições de fluxo e armazenamento das águas subterrâneas.

No caso da bacia do rio Cauamé, isso é agravado pela falta de compreensão da natureza do Aquífero Boa Vista (ABV, *sensu* RODRIGUES et al., 2019), do impacto causado pelo crescimento do processo de antropização e da falta de mecanismos de gestão das atividades presentes, pois carece-se de um comitê regulador para a bacia.

Para enfrentar esse desafio, os gestores públicos buscam formas de implementar as diretrizes da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Geren-

ciamento de Recursos Hídricos – SINGREH. A integração da legislação em vigor estabelece os instrumentos de gestão dos recursos hídricos e destaca que as águas subterrâneas estão sujeitas a outorga. Neste contexto, o Mestrado Profissional ProfÁgua, polo Roraima, tem o papel de aprofundar o conhecimento dos recursos hídricos do estado, a partir de projetos de pesquisa que possibilitem implementar políticas de gestão de recursos hídricos em Roraima.

Assim, o objetivo deste capítulo é caracterizar hidrogeologicamente o Aquífero Boa Vista (ABV) na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, a partir de estudos hidrodinâmicos e hidroquímicos, realizados com base nos resultados de Santos (2020), e de estudos anteriores do reservatório, organizados em um banco de dados no *Esri ArcGIS*, utilizando como apoio um conjunto de aplicativos (*Oasis Montaj*, *Golden Surfer* e *Blue Marble Geographics Global Mapper*). Utilizaram-se os dados georreferenciados disponíveis em plataforma de dados públicos com informações geológicas, geoquímicas, geofísicas e hidrogeológicas, preferencialmente nas escalas de 1:50.000 e 1:100.000, que permitiram melhor reconhecimento dos controles geológicos, geoquímicos e estruturais. Dentro de um universo de 1.694 poços disponíveis no cadastramento da base de dados da CPRM (SIAGAS), foram extraídas informações de nível estático (NE) de 322 poços e dos valores de vazão (Q) de 117 poços. Através dos dados de níveis estáticos reduzidos da topografia, foi gerado o mapa potenciométrico no software *Oasis Montaj*, que possibilitou observar as linhas equipotenciométricas e os padrões de fluxo do aquífero.

Nas campanhas de sondagens e coleta de água de nove poços tubulares, cujos perfis litológicos encontram-se em Santos (2020), foram feitas medidas físico-químicas através do Fotômetro Multiparâmetro *The eXact® Micro 20*. Os parâmetros físico-químicos avaliados foram: temperatura, pH, condutividade elétrica, alcalinidade, cloreto, alumínio, ferro total, manganês, nitrato, nitrito, fosfato, amônia quaternária e sulfato.

Ainda foram realizadas medições *in loco* de nível estático (NE), vazão (Q) e testes de bombeamento, cujos resultados foram descritos em Santos (2020). Os testes foram do tipo escalonado, com vazões constantes, crescentes a cada estágio. Adotaram-se quatro estágios de bombeamento de 1 (uma) hora cada um, conforme preceituam as bibliografias técnicas específicas consagradas. Para a determinação das vazões do teste de bombeamento escalonado, tomou-se por base, como vazão máxima, a capacidade de bombeamento das bombas submersas instaladas.

Os ensaios de permeabilidade, para determinação da condutividade hidráulica do aquífero, foram realizados em laboratório, utilizando-se os méto-

dos empíricos baseados nas curvas granulométricas de Hazen (FETTER, 1994), aplicáveis a areias que contenham o diâmetro com valores entre 0,1 e 3,0 mm.

Esperamos que os resultados contribuam para uma melhor gestão desse recurso natural e implementação de políticas de regulação, visando à sua proteção ambiental e sustentabilidade.

Caracterização da Área

A Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé localiza-se no setor centro-nordeste do Estado de Roraima, abrangendo os municípios de Boa Vista e Alto Alegre e englobando a Folha NA-20-X-D (Boa Vista), e bordeja a área urbana da Cidade de Boa Vista. Possui um clima do tipo Aw, tropical chuvoso, com predomínio de savanas, quente e úmido, com uma estação seca definida, geralmente com seis meses de estiagem e uma taxa pluviométrica anual entre 1.600 e 1.800 mm (EVANGELISTA et al., 2008; SILVA, 2015).

O relevo da área (Figura 1) é predominantemente aplainado, com a presença de *inselbergs* que se elevam na região.

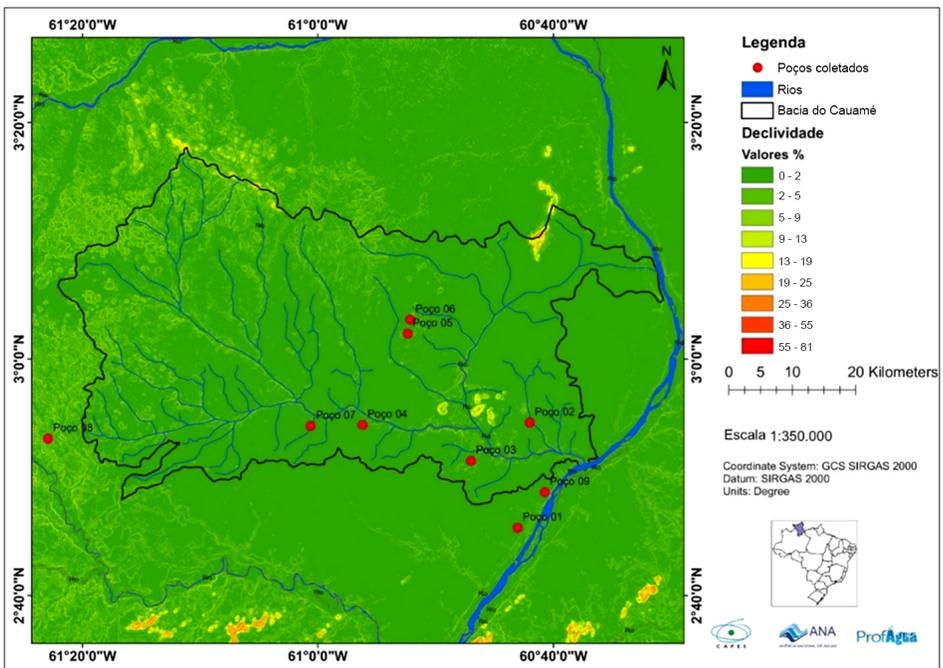


Figura 1 Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, gerado a partir do SRTM no aplicativo ArcGis, com a localização dos poços com coleta de campo. *Fonte:* Santos (2020).

A bacia apresenta colinas constituídas por afloramentos de rochas do embasamento cristalino estruturado, topos convexos que por vezes são sustentados pelos remanescentes de crostas ferruginosas de pequenas elevações em relação à base, em especial na porção noroeste da área, e, ainda, elevações a nordeste (Serra da Moça) constituídas por rochas metamórficas proterozoicas (Complexos Uraricoera e Rio Urubu, Grupos Cauarane e Surumu). Já a porção central da bacia (região do Monte Cristo) é constituída por um conjunto de elevações de rochas vulcânicas mesozoicas (Formação Apoteri).

As áreas planas, predominantes na região, correspondem ao nível mais baixo da área, com altitudes variando de 80 a 160 m, constituídas pelo pediplano da cobertura sedimentar neogeno-pleistocênica da Formação Boa Vista (BRASIL, 1975; HOLANDA et al., 2014).

Encontra-se inserido em domínio de savana na forma de mosaicos que entremeiam sistemas de baixa densidade arbórea, como também áreas florestais (ilhas de matas, mata de galeria), e as espécies arbóreas características desse ecossistema são a *Curatella americana* (caimbé), segmentada por indivíduos de *Byrsonima spp* (mirixi ou murici) e *Bowdichia virgilioides* (paricarana), e a cobertura gramínea, onde predominam os tipos *Aristida* e *Trachypogon*, que ficam secas no período de estiagem (BARBOSA et al., 2005). A drenagem predominante é do tipo dendrítica, de densidade média, e subdendrítica, de baixa densidade, de pouco entalhe e rede de drenagem constituída por igarapés, em sua maioria intermitentes, marcadas por veredas de *Mauritia flexuosa* (buriti), conforme classificação de Lima (1995).

Unidades Hidrogeológicas

O Aquífero Boa Vista (ABV) é predominantemente intergranular (Figura 2). Atualmente é dividido, em termos de vazão (V), transmissibilidade (T) e condutividade (K), em três unidades aquíferas granulares e uma fraturada (CPRM, 2006). O Quadro 1 mostra que a produtividade dos poços é maior na região do baixo rio Cauamé. Ao observarmos o mapa da Figura 2, veremos que a produtividade, assim como a condutividade e a vazão, diminui progressivamente em direção a oeste, no domínio dos aquíferos fraturados, onde a produtividade identificada por CPRM (2006) é considerada extremamente baixa. Isto é reflexo da diversidade geológica observada na Figura 3. A região onde predominam aquíferos granulares corresponde à área de ocorrência de uma ampla cobertura sedimentar, constituída por depósitos inconsolidados Neógeno-Pleistocênicos (Formação Boa Vista – Nbv) e Quaternários (Formação Areias Brancas). A pro-

fundidade dessa cobertura na cidade de Boa Vista é de 36 a 40 m (WANKLER et al., 2012), valores estes observados na bacia do Cauamé nos poços estudados por Santos (2020). Embora especule-se que em algumas áreas no sudeste da bacia ocorram depósitos Juro-Cretáceos do hemi-graben que podem contribuir para exploração hidrogeológica a partir de captações mais profundas, esses poços devem atingir rochas fraturadas vulcânicas da Formação Apoteri, como foi observado em Wankler et al. (2012).

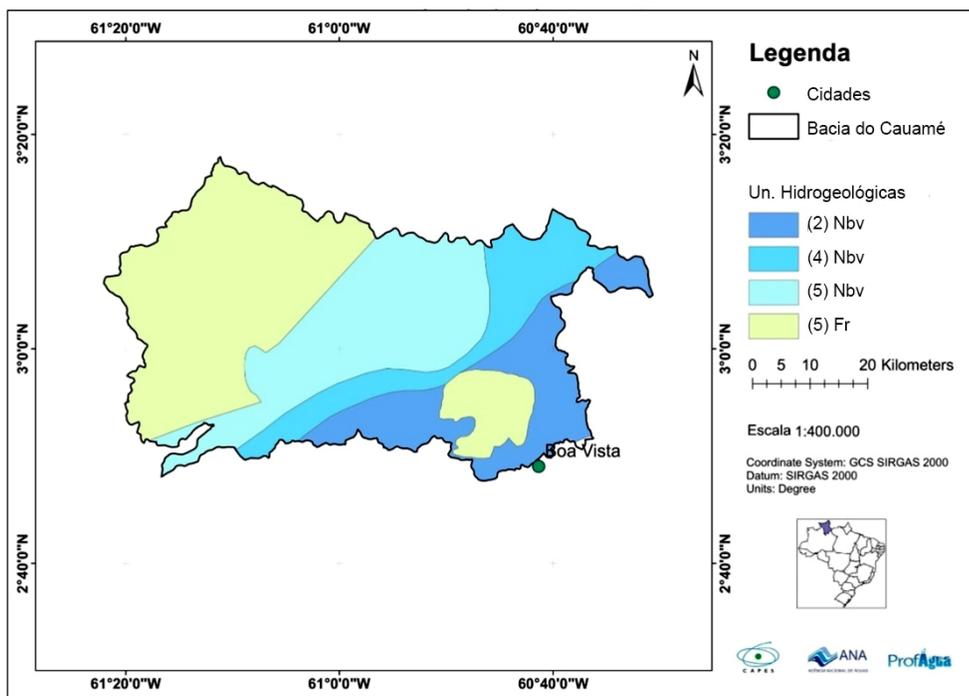


Figura 2 Mapa hidrogeológico da bacia do Cauamé. *Fonte:* CPRM (2006), adaptado por Santos (2020).

O aquífero granular é poroso, contínuo, livre e de caráter regional, e a despeito de sua pequena espessura é amplamente utilizado na região, tanto através de poços tubulares como amazonas ou cacimbas. Na cidade de Boa Vista, ele é responsável por 70% do abastecimento urbano, principalmente por meio de uma rede abastecida por 102 poços tubulares sob o controle da Companhia de Águas e Esgotos de Roraima – CAER (Secretaria de Planejamento de Roraima – SEPLAN, 2008).

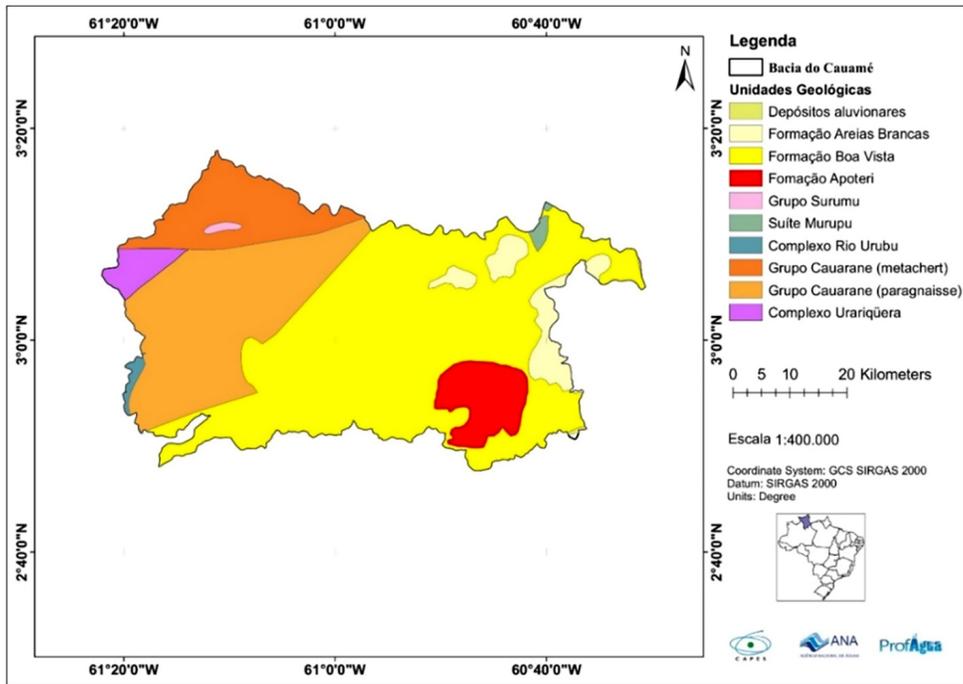


Figura 3 Mapa geológico da bacia do Cauamé. *Fonte:* CPRM (2006), adaptado por Santos (2020).

As áreas identificadas como aquíferos fraturados (Fr) compõem um conjunto de litotipos representados pelo embasamento cristalino, incluindo as unidades proterozoicas (Complexo Rio Urubu, Suíte Murupu, Grupos Cauarane e Surumu). Ele é caracterizado pela ocorrência de reservatórios aleatórios que, no conjunto, formam uma unidade hidrogeológica. As informações hidrogeológicas são escassas nessa região, e os aquíferos são fraturados, heterogêneos e anisotrópicos. Apresenta predominantemente uma produtividade muito baixa a baixa. As áreas mais elevadas do relevo são predominantemente áreas de recarga, sendo pouco produtiva ou não aquífera. Assim, a unidade hidrogeológica, excetuando as zonas de fraturas, apresenta características de aquíferos e aquícludes em toda a sua extensão, podendo formar apenas alguns reservatórios freáticos no regolito, cujo acesso seria por poços de pequena profundidade. Como veremos a seguir, os resultados deste estudo sugerem que ocorre uma heterogeneidade de seu comportamento hidrogeológico, o que nos leva a avaliar a sua potencialidade.

Quadro 1 Caracterização hidráulica das unidades hidroestratigráficas da bacia do rio Cauamé: q/s – vazão específica; T – transmissividade hidráulica; K – condutividade hidráulica; Q – vazão.

Classe	q/s (m ³ /h/m)	T (m ² /s)	K (m/s)	Q (m ² /h)	Produtividade
Nbv 2	2,0 ≤ q/s < 4,0	10 ⁻³ ≤ T < 10 ⁻²	10 ⁻⁵ ≤ T < 10 ⁻⁴	50 ≤ Q < 100	Situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.
Nbv 4	0,4 ≤ q/s < 1,0	10 ⁻⁵ ≤ T < 10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ ≤ T < 10 ⁻⁶	10 ≤ Q < 25	Fornecimento de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.
Nbv 5	0,04 ≤ q/s < 0,4	10 ⁻⁶ ≤ T < 10 ⁻⁵	10 ⁻⁸ ≤ T < 10 ⁻⁷	1 ≤ Q < 10	Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos
Fr 5	< 0,04	< 10 ⁻⁶	< 10 ⁻⁸	< 1	Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimento restrito ao uso de bombas manuais.

Fonte: CPRM (2006), adaptado por Santos (2020).

Potenciometria e Rede de Fluxo

O sentido do escoamento freático é uma informação fundamental para um plano de monitoramento e investigação da propagação de eventuais contaminações na bacia. Ele serve, dentre outras coisas, para locação dos poços de monitoramento (FETTER, 1994; FREEZE; CHERRY, 2017).

O mapa potenciométrico da bacia do rio Cauamé é mostrado nas Figuras 4 e 5. De modo geral, as linhas equipotenciais seguem a variação topográfica da bacia. Isso se deve à recarga a partir da superfície e à capilaridade dos solos, em que as duas superfícies tendem a apresentar morfologias semelhantes (FREEZE; CHERRY, 2017). Isso explica também por que os resultados mostram que o nível potenciométrico diminui em direção ao canal principal da bacia e em direção ao canal do rio Branco, que representa a zona de descarga do aquífero.

No Aquífero Boa Vista, as linhas equipotenciais mudam o espaçamento a partir de um ponto que coincide com o limite entre o aquífero granular e o fraturado (Figura 4). Este aspecto sugere que, embora a superfície seja concordante com a variação de declividade da bacia observada na Figura 1, ela é influenciada pela variação litológica da área. Na porção onde dominam os aquíferos granulares, a topografia é plana e a cobertura sedimentar é relativamente uniforme, refletindo os maiores espaçamentos das linhas equipotenciais.

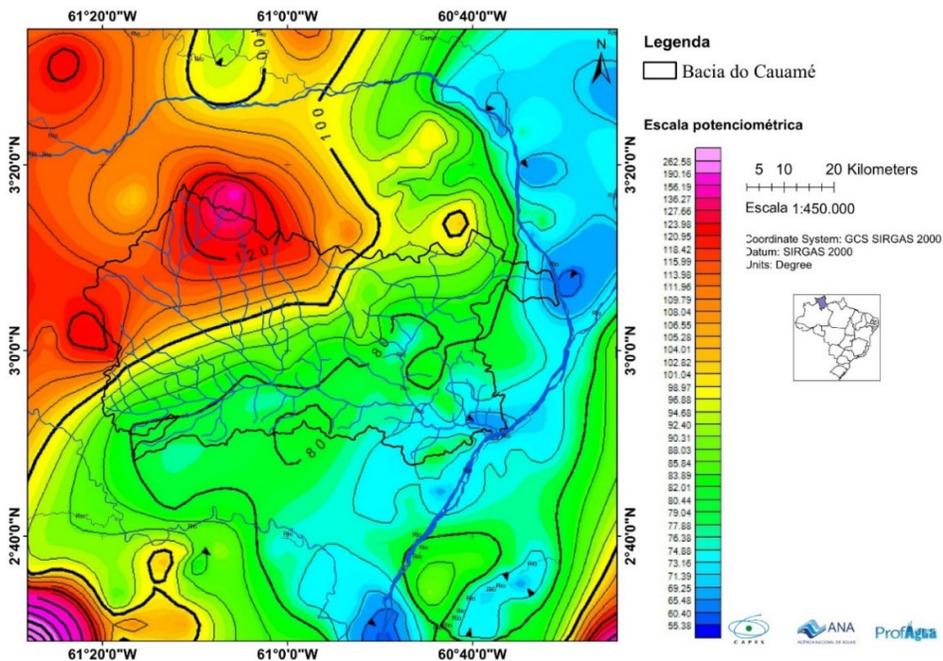


Figura 4 Mapa potiométrico da bacia do rio Cauamé. *Fonte:* Santos (2020).

O mapa da Figura 5 mostra que a direção de fluxo é de sentido noroeste (NW) para sudeste (SE), convergindo para o canal principal da bacia do Cauamé e do rio Branco. Águas superficiais e subterrâneas interagem dentro de uma bacia hidrográfica. Este aspecto é importante para considerarmos a influência do aquífero no nível de águas presentes nos rios da bacia durante a estação seca.

A interação entre água subterrânea e água superficial ocorre em quase todas as paisagens. Normalmente assumimos que áreas topograficamente altas são áreas de recarga de água subterrânea e áreas topograficamente baixas são áreas de descarga, mas a superposição de sistemas de fluxo locais associados a corpos d'água superficiais pode interferir nesse quadro regional (WINTER, 1999). Uma parcela do escoamento dos rios e igarapés pode ser proveniente da água subterrânea. Como observa Custódio e Lamas (1976), numa situação em que as unidades geológicas que compõem os terraços fluviais têm características permeáveis e a relação entre os níveis piezométricos da zona do aquífero contígua ao rio sugere a descarga do mesmo no canal, o aquífero pode assumir um papel importante durante a estação seca para perenidade e regularização da vazão da água subterrânea.

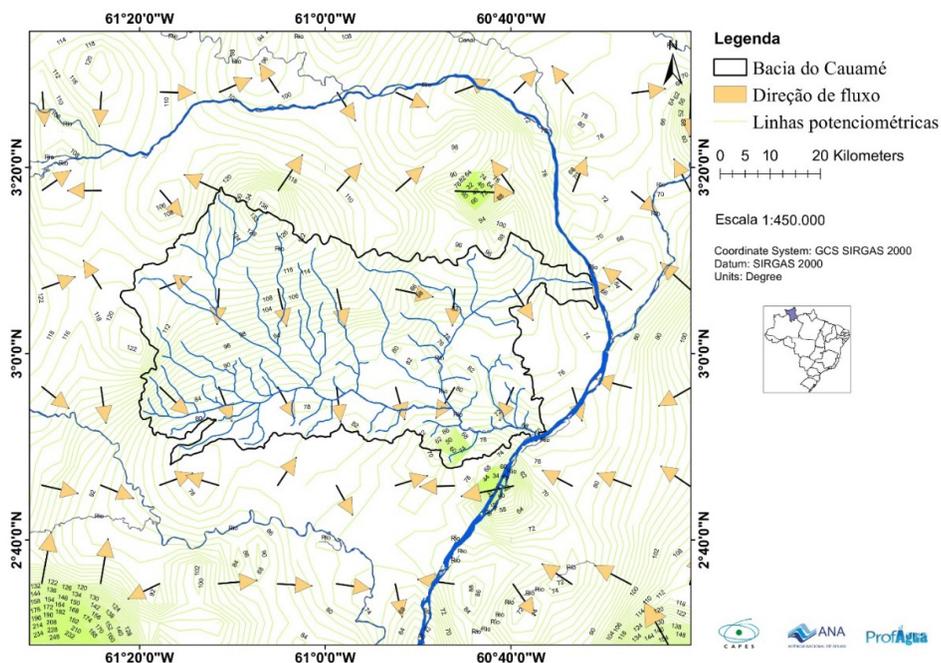


Figura 5 Direções gerais de fluxo subterrâneo da bacia do rio Cauamé. Fonte: Santos (2020).

Observou-se também que existem duas regiões de recarga do aquífero dentro do domínio da bacia do Cauamé. Uma ligada ao alto Cauamé, nas proximidades do vilarejo do Taiano, que possui regiões com declividades da ordem de até 80% e altitudes topográficas de até 600 m, e outra na região do rio Murupu, ligada às Serras da Moça e do Murupu, onde existem declividades da ordem de até 80% e altitudes topográficas de até 230 m.

A análise do mapa potenciométrico permitiu ainda identificar baixos potenciométricos localizados no centro da bacia. Anomalias potenciométricas podem ocorrer em razão da presença de zonas fraturadas ou condições particulares de carga e descarga, devido a zonas de diferentes permeabilidades (FEITOSA, 2008; FEITOSA et al., 2008). Considerando estas anomalias potenciométricas com valores baixos, sugere-se que o padrão de fluxo subterrâneo é uma interação entre o reservatório granular e o embasamento do substrato, causando zonas de descarga localizadas devido aos baixos estruturais.

Na Figura 6 utilizou-se o mapa de amplitude do sinal analítico (ASA) para comparação das estruturas regionais com o modelo potenciométrico, chegando-se à conclusão de que ocorrem baixos estruturais (grabens) dentro da região abrangida pela bacia do Cauamé.

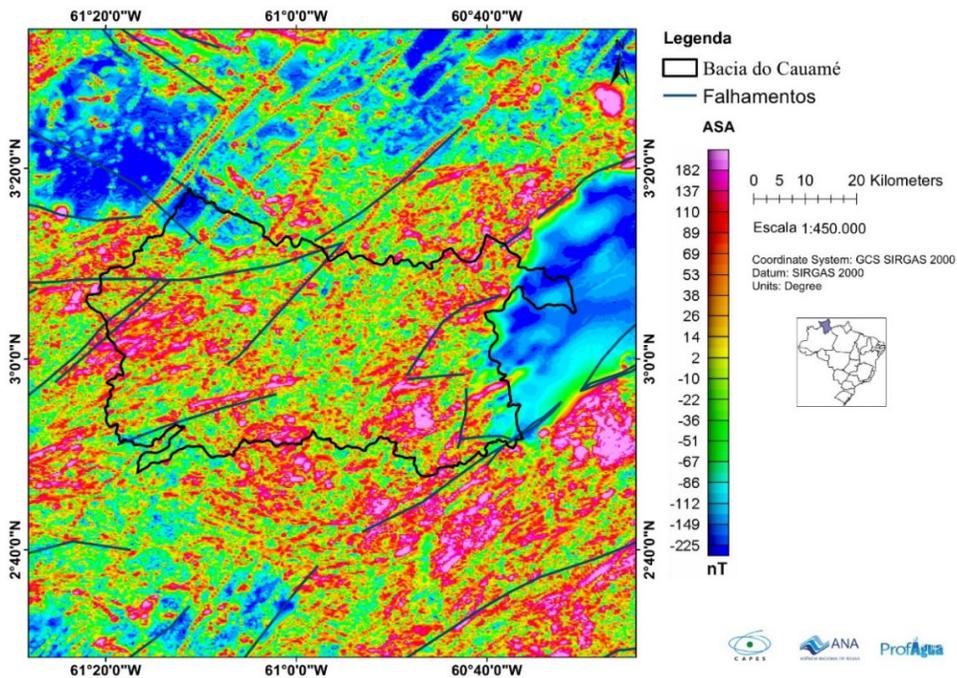


Figura 6 Mapa da amplitude do sinal analítico (ASA), contendo os falhamentos estruturais regionais. *Fonte: Santos (2020).*

Perfis Litológicos

Os perfis analisados mostraram uma variação de padrão de empilhamento como de frequência de grão em todos os perfis. Quando comparamos os perfis espacialmente, percebe-se que a heterogeneidade deposicional é também demonstrada lateralmente. Na Figura 7, ao observarmos os perfis litológicos e a seção topográfica da bacia do Cauamé no sentido W-E, percebe-se que o reservatório apresenta uma heterogeneidade deposicional, com o reservatório apresentando uma frequência maior de camadas de grão mais grosso a oeste e mais fino a Leste. Esta variabilidade é mais perceptível na porção média superior de todos os poços (Figura 7). Por outro lado, na metade inferior dos perfis litológicos dos poços, percebe-se que tanto o tamanho de grão das camadas como a frequência do padrão de empilhamento, arredondamento, esfericidade e grão de seleção aparentam ser bastante heterogêneos.

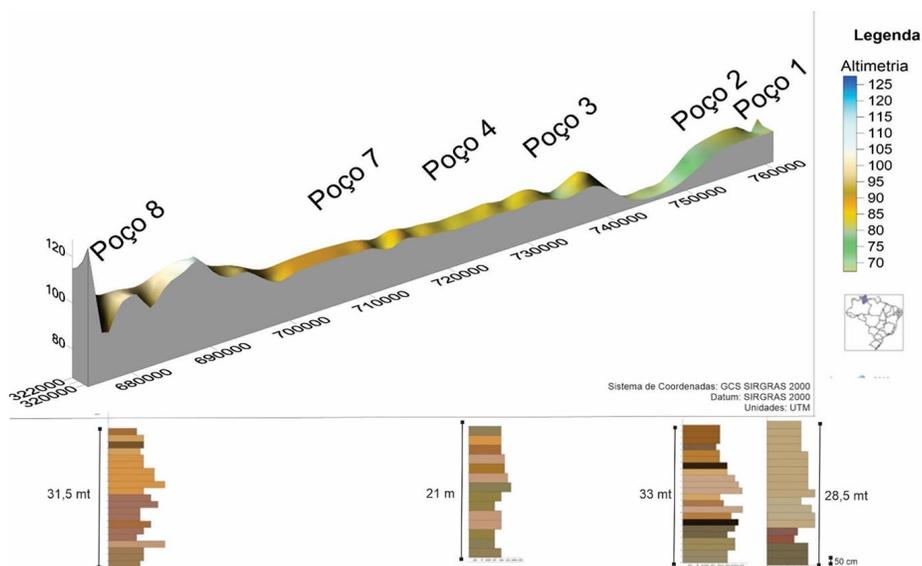


Figura 7 Perfil topográfico da área de estudo (Seção W-E) e perfis litológicos. *Fonte:* Os autores.

Aquíferos heterogêneos apresentam grande possibilidade de terem um profundo efeito no comportamento do fluxo subterrâneo, segundo Freeze e Cherry (1979). A modelagem computacional tem demonstrado o efeito da heterogeneidade espacial presente em reservatórios de água subterrânea no coeficiente de condutividade hidráulica (K). Hemi (2008) concluiu que a organização e distribuição de materiais no aquíferos causa um profundo efeito na distribuição das velocidades de percolação (fluxo) através dos mesmos. A análise sedimentológica mostrou que o Aquífero Boa Vista apresenta grande variabilidade vertical em termos sedimentológicos. Este resultado sugere que apresenta grande variabilidade dos valores de condutividade em toda a área de estudo, o que deve influenciar o comportamento dos valores de condutividade hidráulica do reservatório, podendo gerar condições locais anisotrópicas, com formação de aquícludes e aquípardos localizados.

Permeabilidade e Vazão do Aquífero

Os ensaios de permeabilidade aplicados aos perfis descritos dos nove poços estudados foram agrupados em classes definidas pelo valor de K (condutividade hidráulica). Os resultados dos valores de condutividade da área mostram conformidade com os resultados sedimentológicos e ainda sugerem que o reservatório, de modo geral, tem boa condutividade hidráulica (Quadro 2).

Quadro 2 Quadro comparativo entre as condutividades obtidas de Santos (2020) e CPRM (2016).

Nº poço	Condutividade hidráulica K (cm/s) medida	Condutividade hidráulica k (cm/s) CPRM (2016)
01	$1.2 \times 10^{-2} < K < 8 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-2} < K < 1 \times 10^{-1}$
02	$1.2 \times 10^{-2} < K < 3.2 \times 10^0$	1×10^{-5}
05	$5 \times 10^{-2} < K < 3.2 \times 10^0$	$1 \times 10^{-5} < K < 1 \times 10^{-4}$
06	$5 \times 10^{-2} < K < 3.2 \times 10^0$	$1 \times 10^{-5} < K < 1 \times 10^{-4}$
07	$1,17 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-4} < K < 1 \times 10^{-3}$

Fonte: Santos (2020).

Poços onde obtivemos valores K mais baixos, ($1,2 \times 10^{-2}$ cm/s) são associados às camadas superiores e os valores de condutividade hidráulica mais elevados são mais frequentes nas camadas inferiores.

No Quadro 2 também confrontaram-se os resultados alcançados a partir do modelamento realizado em laboratório com o obtido na literatura. Eles demonstram que o reservatório tem valores de condutividade hidráulica em uma variabilidade bem maior do que os que se conheciam. Os resultados deste estudo se devem à análise sedimentológica, que permitiu identificar sua variabilidade faciológica. Esta, por sua vez, é reflexo de uma sedimentação em ambiente fluvial da Formação Boa Vista (Nbv), a principal unidade litoestratigráfica que funciona com rocha reservatório na área de estudo. Esta interpretação é corroborada por estudos anteriores, que demonstraram que essa unidade tem variações faciológicas significativas tanto verticais como horizontais, sendo que a Formação Boa Vista (Nbv) tem uma história deposicional complexa (REIS et al., 2001; MENEZES et al., 2020).

Os valores calculados do Quadro 2, reflexos dessa heterogeneidade sedimentológica, sugerem que a variabilidade no reservatório do Aquífero Boa Vista encontrada em estudos anteriores subestimou a capacidade do reservatório. Tal aspecto é importante para a definição de parâmetros de gestão e regulação dos recursos hídricos, pois afetam diretamente a parametrização das variáveis hidrológicas desse reservatório subterrâneo.

O Quadro 3 apresenta o registro das medições realizadas *in loco*, diretamente na “boca do poço”, de dados de nível estático e vazão dos poços tubulares estudados. Tais medidas serviram de comparativo com o mapa de vazões gerado a partir do banco de dados do SIAGAS (CPRM, 2019).

Após a comparação dos valores medidos em campo e o mapa de vazões, chegou-se à conclusão de que o banco de dados não dispõe de informação suficiente para representação espacial em escala detalhada das vazões de produção, uma vez que apenas estão disponibilizadas informações de 117 poços tubulares dentro de uma região com 3.165 km², ou seja, o valor obtido é extrapolado a um diâmetro de 27 km. Os poços tubulares 05, 06 e 08 possuem dados de vazões medidas discordantes dos gerados no mapa de vazões (Figura 8).

Importante ressaltar que o limite de capacidade de bombeamento das bombas submersas instaladas nos poços tubulares medidos representa um fator limitador para a medição da máxima vazão de exploração.

Quadro 3 Valores obtidos da medição direta no poço tubular.

Nº poço	NE (m)	Q (m ³ /h)
Poço 01	- 4	8.0
Poço 02	- 7	8.0
Poço 03	- 5	8.0
Poço 04	- 3	8.0
Poço 05	- 14	4.0
Poço 06	- 8	2.0
Poço 07	- 4	10.0
Poço 08	-14	2.0
Poço 09	- 3	8.15

Fonte: Santos (2020).

No poço tubular 07 foi realizado, simultaneamente, o teste de bombeamento do tipo produção e o teste de aquífero. No instante em que se media o poço bombeado, foi medido também um poço tubular a uma distância de 20 m. Observa-se que, após a vazão máxima permitida pela bomba submersa de 10,0 m³/h, ocorre a estabilização do rebaixamento do nível dinâmico a uma profundidade de 4,94 m. Nesse instante, então, encerra-se o teste e realiza-se a medição da recuperação do nível estático. Os quadros referentes ao teste de bombeamento encontram-se em Santos (2020).

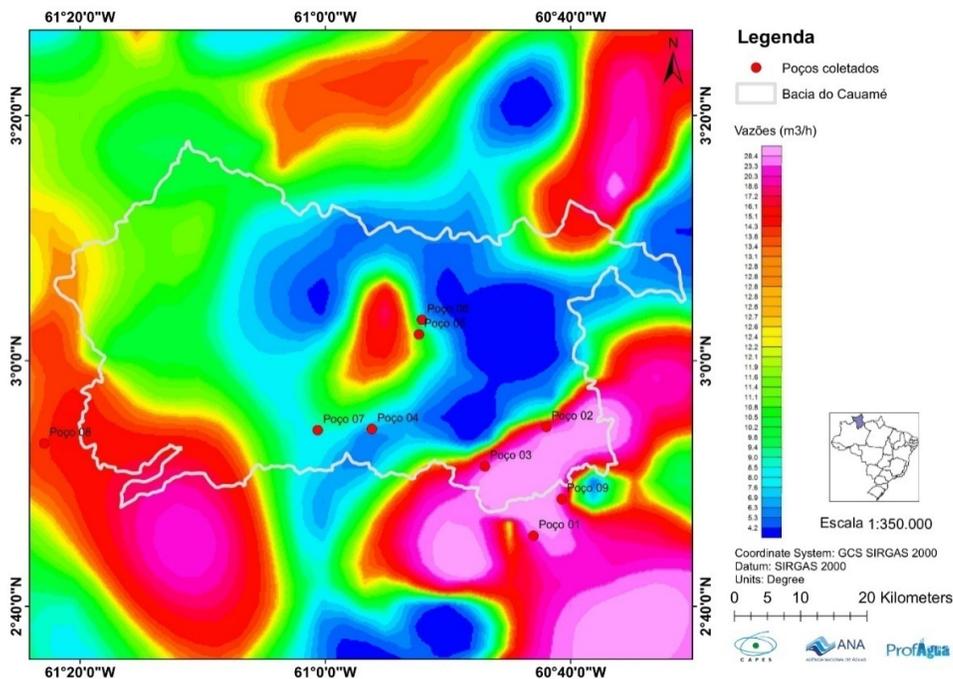


Figura 8 Mapa de vazões gerado a partir dos dados do SIAGAS (2020). Fonte: Santos (2020).

A vazão máxima para produção calculada a partir da equação característica do poço (poço 07) é de 21,45 m³/h, sendo o rebaixamento disponível o fator limitante. No poço tubular 09 foi realizado o teste de bombeamento do tipo produção escalonada. A vazão máxima obtida foi de 8,15 m³/h, e observou-se que, após 4 horas de bombeamento, ocorreu a estabilização completa do nível dinâmico em 8,18 m, encerrando-se o teste e realizando-se a recuperação. A equação característica do poço obteve vazão máxima de 34,43 m³/h, sendo o rebaixamento disponível o fator limitante.

O valor de condutividade hidráulica obtido no poço tubular 07, através do teste de aquífero, assemelha-se ao valor obtido em laboratório no poço tubular 01. Confirmou-se, então, que, mesmo utilizando diferentes metodologias, chegou-se a resultados semelhantes. Os valores de transmissividade e vazões assemelharam-se aos citados por CPRM (2006), sendo que ocorre uma anomalia com relação ao poço 03, onde se obtiveram vazões de até 8,0 m³/h. Assim, são necessários estudos aprofundados para confirmação do resultado obtido.

Quadro 4 Valores hidrodinâmicos obtidos a partir do teste de bombeamento.

Nº poço tubular	Produção (Q) (m ³ /h)	Transmissividade (T) (m ² /s)	Condutividade e hidráulica (K) (cm/s)	Vazão específica (q) (m ³ /h/m)	Coefficiente de armazenamento	Eficiência do poço (%)
Poço 07	27,77	0,002	0,0117	5,291	$2,7 \times 10^{-3}$	84%
Poço 09	34,43	0,009	-----	10,724	-----	97%

Fonte: Santos (2020).

Conclusões

O Aquífero Boa Vista (ABV) é um importante reservatório de água para a região da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, ocupando a área de 1.803,00 km² e representando 57% da extensão total da bacia. Ele é composto por areias de granulometria predominantemente média a grossa, nas bordas da bacia, e fina a média, nas regiões centrais, em um pacote sedimentar de 34 m de profundidade média, mas que se adelgaça em direção aos divisores de água, em especial na região onde afloram as rochas do embasamento cristalino e vulcânicas Apoteri, locais que, pelo substrato mais raso, tornam-se mais favoráveis à contaminações de superfície.

Constatou-se que o reservatório principal do Aquífero Boa Vista, na bacia do rio Cauamé, é granular, constituído pelas litologias da Formação Boa Vista, que apresenta heterogeneidades verticais ao longo do empilhamento estratigráfico, com os dados dos perfis litológicos sugerindo a presença de dois ciclos de deposição: o primeiro nas camadas superiores com granulometria granodrecrescente para o topo e o segundo nas camadas inferiores com granulometria granocrescente para o topo. Esta divisão, que segmenta o reservatório em dois intervalos texturalmente distintos, aparentemente se relaciona com a variabilidade dos valores de condutividade hidráulica medida, entre 1.2×10^{-2} cm/s e 3.2×10^0 cm/s. A identificação de altos e baixos estruturais observados no mapa integrado da amplitude do sinal analítico e falhamentos estruturais regionais sugere condições de rede de fluxos locais controladas pelos sistemas de falhamentos regionais, que influenciaram os padrões identificados nos mapas potenciométricos e de vazões, o que sugere grande variabilidade nas condições de favorabilidade à exploração hidrogeológica.

A recarga por precipitação ocorre em toda a extensão da bacia, visto que se trata de um aquífero livre, sendo que o período de maior recarga ocorre entre os meses de abril e setembro e os de menor recarga, entre os meses de

outubro e março. Contudo, deve ser considerado que essa recarga apresenta um controle estrutural local, pois o aquífero pode ser alimentado ainda pelo refluxo das águas subterrâneas oriundas do embasamento pertencente ao Domínio Guiana Central e pela Formação Apoteri, ou seja, pode haver interação entre o aquífero fraturado e o livre, o que pode ter implicações tanto regionais quanto locais nas suas características hidrogeoquímicas, como na disponibilidade explotável do reservatório.

A direção geral do seu fluxo subterrâneo é de noroeste (NW) para sudeste (SE) em direção à calha do rio Branco, sendo que localmente existem pequenas variações, possivelmente influenciadas pela presença de depressões estruturais formadas pelas reativações de falhas no Cenozoico, que foram identificadas a partir do mapa potenciométrico, do mapa integrado da amplitude do sinal analítico (ASA) e dos falhamentos estruturais regionais. Isso pode explicar valores de condutividade hidráulica da ordem de $1.2 \times 10^{-2} < K < 3.2 \times 10^0$ na região onde aflora a Formação Apoteri.

A hidroquímica do aquífero na bacia do Cauamé é diversificada, podendo-se dizer que suas águas subterrâneas podem ser separadas em dois grupos distintos: cloro-sulfatadas e sulfatadas, com predominância dos íons Cl^- , SO_4^{2-} , F^- e Fe^{+2} , Fe^{+3} . As águas possuem um potencial hidrogeniônico levemente ácido, de 5,5. O nitrato (NO^{+3}) e o nitrito (NO^{+2}) apresentam valores abaixo do limite de detecção do fotômetro. As fácies hidroquímicas das águas subterrâneas indicam trocas iônicas, tanto diretamente nos sedimentos como também com circulação reversa, águas de recarga de rochas ortoderivadas e outras, simples dissolução ou mistura durante o fluxo das águas subterrâneas. Assim, podemos concluir que existe correlação entre a composição química das águas subterrâneas, as condições de circulação, a litologia e o controle tectônico.

O Aquífero Boa Vista, em escala regional, aparenta sofrer pouca influência de atividades antrópicas. Contudo, o efeito pontual resultante das atividades agrícolas foi identificado na área do poço tubular 02, onde se encontrou amônia quaternária com valores de concentração acima do máximo permitido para o consumo humano pelas normas brasileiras, sendo interpretado como resultado do uso de fertilizantes. Assim, fazem-se necessários estudos que integrem informações do uso de água e ocupação do solo com dados hidroquímicos detalhados, o que permitirá melhor avaliação dos impactos ambientais causados pelas diversas formas de atividade produtivas e urbanização sobre esse recurso hídrico.

Contatou-se, ainda, que o relevo da bacia também pode influenciar a capacidade de exploração do reservatório. As vazões de bombeamento obtidas indicam que as regiões com valores de declividade altos possuem baixo potencial para a exploração das águas subterrâneas, apesar dos altos valores de condutividade hidráulica. Isso se deve ao fato de funcionarem como um corredor de passagem das águas subterrâneas. Em contrapartida, as regiões com baixa declividade possuem alto potencial para a exploração das águas subterrâneas.

Entendemos que os resultados permitiram reconhecer a complexidade geológica e hidrogeológica desse reservatório, sendo importante futuros estudos no Aquífero Boa Vista que busquem um melhor entendimento da sua hidrogeoquímica, evolução tectônica e estratigráfica, de modo a avaliar a favorabilidade exploratória dos aquíferos porosos e fraturados, estimar suas reservas e disponibilidade hídrica e zonestar a vulnerabilidade hidrogeológica.

Espera-se que este trabalho possa contribuir com o sistema de gestão dos recursos hídricos subterrâneos no Estado de Roraima e também possibilitar a organização de um Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Cauamé, algo extremamente necessário para o cumprimento das metas do programa nacional de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento do governo federal.

Referências

- BARBOSA, R. I.; NASCIMENTO, S. P. do; AMORIM, P. A. F. de; SILVA, R. F. da. Notas sobre a composição arbóreo-arbustiva de uma fisionomia das savanas de Roraima, Amazônia Brasileira. **Acta Bot. Bras.** v. 19, n2, jun. 2005. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000200015>> Acesso em: 20 junho de 2021.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília-DF, 29 set. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 20 agosto de 2019.
- COMPANHIA DE ABASTECIMENTO E ESGOTOS DE RORAIMA -CAER. **INFORMAÇÕES HISTÓRICAS**. Disponível em: <<http://www.caer.com.br/empresa/>> Acesso em: 20 de agosto de 2020.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Mapa geológico do Estado de Roraima**. –Brasília, DF, 2004. Mapa na escala de 1:1.000.000. CD-ROM.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas** Manaus: Serviço Geológico do Brasil CPRM. p. 7-16, 2006.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS (CPRM) – **Carta hidrogeológica. Folha NA. 20**. Boa Vista, RR, 2016. Escala 1:1.000.000.

- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS**. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layuot>. Acesso em: 20 de ago. 2019.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. Barcelona: Ediciones Omega S.A., v. 2. p. 1157, 1976.
- EVANGELISTA, R.O.; SANDER, C.; WANKLER, F.L. Estudo preliminar da distribuição pluviométrica e do regime fluvial da bacia do rio Branco, estado de Roraima. In: SILVA, P. R. F.; OLIVEIRA, R. S. (Orgs.). **Roraima 20 anos: As geografias de um novo estado**. Boa Vista: Editora da UFRR, p. 142-167, 2008.
- FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008.
- FETTER, C.W. **Applied Hydrogeology**. 3. ed. New York: Macmillan College Publishing Company 1994.
- FOSTER, S.; HIRATA, R; ANDREO, B. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection. **Hydrogeology Journal**, v. 7, p. 737-750, 2013.
- FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. **Água subterrânea**. São Paulo: Instituto Água Sustentável, 2017, 604 p. Disponível em: <https://gw-project.org/livros/groundwater/?lang=pt-br>. Acesso em 20 de nov. 2021.
- FREEZE, R.A; CHERRY, J.A. **Groundwater**. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1979.
- HOLANDA, J. L. R.; MARMOS, J. L.; MAIA, M. A. M. **Geodiversidade do estado de Roraima**. Manaus: CPRM, 2014. 252 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/309564399_Geologia_do_estado_de_roraima_brasil> Acesso em: 03 de jul. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Panorama populacional do Estado de Roraima/Portal Cidades**. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/panorama>> Acesso em 28 de novembro de 2021.
- LIMA, M.I.C. **Introdução à interpretação radargeológica**. Rio de Janeiro: IBGE. 1995. 124 p.
- MENEZES, F.; WANKLER, F.; VELOSO, R.; GAMA, C. Sistemas deposicionais fluviais: Análise Estratigráfica das unidades sedimentares da formação Boa Vista, nordeste da Bacia do Tacutu, RR. **Rev. Geogr. Acadêmica** v.14, n.1, p. 69-93, 2020.
- MONTALVÃO, R.; MUNIZ, M.C.; ISSLER, R.S.; DALL'AGNOL, R.; LIMA, M.I.C.; FERNANDES, P.E.C. A.; SILVA, G.G. Geologia da Folha NA. 20. Boa Vista e parte das Folhas NA. 21 Tumucumaque, NB. 20 Roraima e NB. 21. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL. Folha NA.20. Boa Vista e parte das folhas NA. 21 Tumucumaque, NB. 20 Roraima e NB. 21; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM. 1975. p. 137-180.
- SEPLAN. **Plano de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Roraima**. Plano Plurianual 2008 – 2011.Boa Vista: SEPLAN, v. I, 80 p. 2008.
- REIS, N.J.; FARIA, M.S.G. de; MAIA, M.A.M. O Quadro Cenozóico da Porção Norte-Oriental do Estado de Roraima. In: KLEIN, E.L.; VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L.T. da. (eds.). **Contribuição à Geologia da Amazônia**, v. 3, Manaus: SBG/Núcleo Norte, 2001.
- RODRIGUES, A.; SANDER, C.; WANKLER, F. L. Vulnerabilidade natural à contaminação do Aquífero Boa Vista (ABV) na área urbana de Boa Vista, Roraima. In: TEIXEIRA, S. G.; CHAVES, C. L. (Orgs.) **Contribuições à Geologia da Amazônia**, v. 11. Belém: SBG/Núcleo Norte pp.37-49, 2019.
- SCHAEFER, C. E. G. R. Landscape Ecology and Land Use Patterns in Northeast Roraima. Brazil. London: Royal Holloway, University of London – **CEDAR Research Papers**: v.11, p. 1-24, 1994.

SCHAEFER, C. E. G. R. Ecogeography and human scenario in Northeast Roraima, Brazil. **Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**, London, v.49, n.4, p.241-252, 1997.

SANTOS, P.A.D.S. dos. **Caracterização hidrodinâmica e hidroquímica do Aquífero Boa Vista na Bacia do rio Cauamé – RR**. Dissertação de Mestrado, Mestrado Profissional em Rede Nacional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Polo da Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, Roraima, p. 1-123, 2020.

SILVA, DA; SANDER, C.; ARAÚJO JÚNIOR, A.C.R.; FL WANKLER, F. L. Análise dos ciclos de precipitação na região de Boa Vista-RR nos anos de 1910 a 2014. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 34-49, 2015.

WANKLER, F. L.; R. A. O. EVANGELISTA; C. SANDER. Sistema Aquífero Boa Vista: “estado de arte” do conhecimento e perspectivas. **ACTA Geográfica**, v. 6, n. 12, p. 21-39, 2012.

WINTER, T. C. Relation of Streams, Lakes, and Wetlands to Groundwater Flow Systems. **Hydrogeology Journal**, v. 7, p. 28-45, 1999.

Hidrologia de Superfície da Bacia do Baixo Rio Cauamé, em Boa Vista, RR

Rômulo Ferreira de Magalhães
Fábio Luiz Wankler
Carlos Sander

Introdução

O escoamento superficial é um dos processos que envolvem o ciclo hidrológico e está intimamente ligado à precipitação média anual que cai na superfície terrestre. O monitoramento hidrológico em uma bacia hidrográfica, com base nos estudos das vazões e precipitação, auxilia os estudos de disponibilidade hídrica, além do balanço hídrico de uma região. Por este motivo, este estudo se propôs a demonstrar, por meio do monitoramento de uma estação fluviométrica no baixo rio Cauamé, o comportamento hidrológico desse manancial em um ano hidrológico, iniciado em maio de 2019 e finalizado em abril de 2020.

A estação utilizada como apoio ao estudo foi instalada no baixo curso do rio Cauamé em março de 2019; trata-se de um posto de monitoramento por telemetria, ou seja, utilizando transmissão via satélite dos dados de chuva e nível da água aferidos no local. Tais dados são enviados para a Agência Nacional de Águas (ANA), que pelo seu portal Hidroweb disponibiliza as informações para a sociedade civil.

Os dados acumulados na estação ficam também armazenados em um *datalogger*, que nada mais é do que uma CPU que os armazena para depois enviar via satélite. Os valores brutos são os iniciais, e sua consistência precisa ser mais bem avaliada no contexto geral da bacia. De posse das informações geradas pela estação, pôde-se definir o período crítico da estiagem do rio, além dos meses mais chuvosos na bacia, o que é importantíssimo para a agricultura local, além da vazão mínima, que serve de critério para outorga de direito para uso da água, ou seja, a quantidade de água que cada setor da sociedade que depende do recurso hídrico pode utilizar sem comprometer a integridade da bacia hidrográfica.

A contribuição que se pretende dar à sociedade com esta pesquisa baseia-se em um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9433/1997), que é auxiliar os órgãos gestores dos recursos hídricos do Estado de Roraima e demais usuários de água em relação à obtenção de informações sobre o monitoramento hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, que até então não contava com estudos específicos direcionados à sua fluviometria e pluviometria, que são de suma importância para o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.

Materiais e Métodos

Localização da Área de Estudo

Localizado entre as coordenadas de latitude 03°15'20,48"N e 02°48'7,61"N e longitude 61°22'48,01"W e 60°34'17,12"W (região central de Roraima), o rio Cauamé é afluente da margem direita do rio Branco. Com uma área de 3.190 km², ele nasce na região da Serra do Tabaió, no município de Alto Alegre, com altitudes variando de 240 m a 68 m e foz nas adjacências da cidade de Boa Vista. Sua extensão é de 114,6 km e seu nível apresenta uma variação média de 5 m no seu baixo curso ao longo do ano hidrológico (MAGALHÃES, et al., 2019; PINHEIRO, 2012; REIS NETO, 2007). O mapa da Figura 1 mostra a bacia do rio Cauamé, com detalhe em vermelho para a estação da pesquisa.

A geomorfologia da bacia, em sua maior parte, está relacionada à Depressão Boa Vista (trechos médio e inferior), com relevos de cotas que variam de 90 a 120 m. O trecho superior da bacia (porção ocidental), por sua vez, está inserido no Patamar do Médio Uraricoera. Este último é caracterizado por áreas dissecadas que superam em alguns pontos 2.000 m de altitude, onde se destacam as áreas do Planalto Dissecado de Roraima e o Planalto do Interflúvio Orinoco-Amazonas. O Patamar Dissecado de Roraima e o Patamar do Médio Uraricoera representam áreas de transição para os terrenos mais baixos da bacia, formados pela Depressão Boa Vista, onde se encontra o trecho estudado (SANDER, GASPARETTO & SANTOS, 2015).

A bacia do rio Cauamé, pelo fato de abranger grandes extensões de relevo plano, apresenta potencial natural para lavouras, mas atualmente são utilizadas para pecuária extensiva. Para lavouras de grãos também existe a possibilidade de implementação, desde que se utilizem procedimentos com estudos técnicos, que envolvam disponibilidade de água, insumos e capital.

Nas áreas abaciaadas existe potencial para lavouras, pelas deficiências de fertilidade natural e déficit hídrico sazonal (BARROSO, 2009).

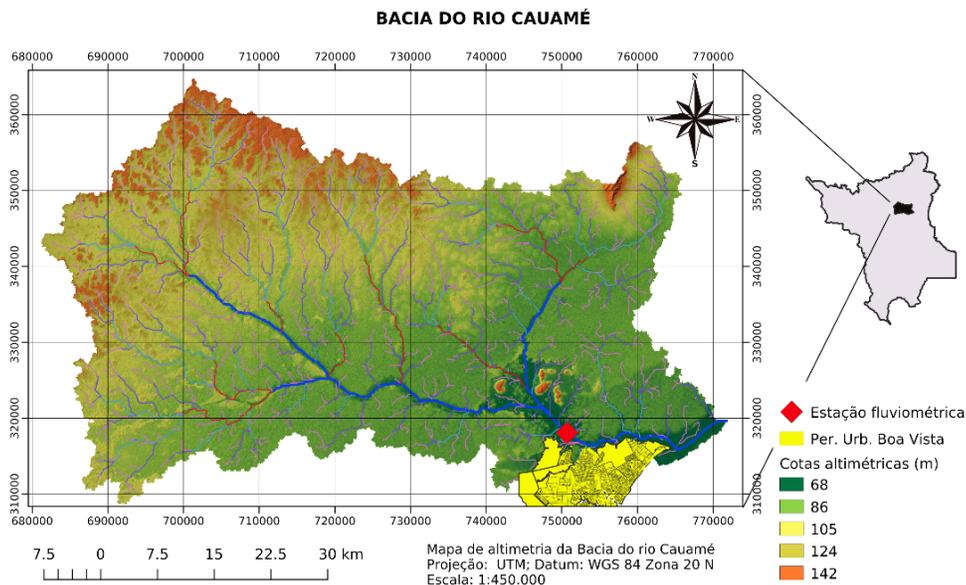


Figura 1 Mapa da bacia do rio Cauamé; em vermelho, a estação de pesquisa. *Fonte:* Os autores.

O trabalho de pesquisa foi desenvolvido na Fazenda Recreio, em Boa Vista, no Estado de Roraima. A área da estação de monitoramento fica no baixo rio Cauamé, nas coordenadas geográficas: 02°51'51,6"N e 60°45'06,2"W. A estação telemétrica utilizada nesta pesquisa foi instalada em um dos maiores bairros da capital, o bairro Cidade Satélite. O acesso à estação de monitoramento é feito via terrestre, pela rua Dom Aparecido José Dias. A estação foi instalada a partir de uma regressão linear nos dados de cota da antiga estação Sítio Jaraguá, que foi desativada pela ANA em 2009, devido à falta de observador hidrológico no local, o que impossibilitou a continuidade de operação da estação. Porém, seus dados continuam arquivados no portal Hidroweb. A extinta estação ficava a 2,2 km de distância a jusante de Fazenda Recreio, no bairro Cauamé.

As demais estações de monitoramento utilizadas na pesquisa foram: Boa Vista, localizada no município de Boa Vista, Fazenda Passarão, também em Boa Vista, Mucajaí, no município de Mucajaí, e Fé Esperança, no município de Alto Alegre.

Procedimentos Metodológicos

Aquisição de Dados

A partir do banco de dados fluviométricos e pluviométricos disponibilizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), mantido pela ANA, efetuou-se a aquisição de dados pelo *download* do inventário de cada uma das estações hidrometeorológicas na pesquisa.

Os dados da estação Fazenda Recreio, entre maio 2019 e julho 2019, foram adquiridos diretamente na estação telemétrica no campo, pois nesse período ainda não se tinha configuração de transmissão via satélite na estação, que foi disponibilizada pela equipe de telemetria da ANA em julho 2019. A partir daí, a estação passou a efetuar transmissão dos dados via satélite do baixo rio Cauamé, e a coleta passou a ser remota.

Coleta de Dados Hidrológicos

Na coleta de dados hidrológicos foi necessária a instalação de uma estação flúvio-pluviométrica para monitoramento dos valores horários de chuva e nível da água. O equipamento, uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) instalada na estação Fazenda Recreio, foi disponibilizado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Roraima (FEMARH), por meio da estruturação da Sala de Situação do Programa de Gestão de Recursos Hídricos (PROGESTÃO), um projeto desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA) em parceria com os estados brasileiros. Na PCD do projeto de pesquisa foram instalados um sensor de pressão para informar o valor das cotas horárias do rio e um pluviômetro automático para controle da precipitação pluviométrica do posto.

A cota do nível da água (NA), em Fazenda Recreio, foi obtida a partir das referências de nível da antiga estação Sítio Jaraguá no dia da instalação da nova estação, que foi de 338 cm, às 15 horas, do dia 23.03.2019. Foi esta a cota utilizada para configuração do sensor de pressão da PCD. Por meio de nivelamento topográfico definiram-se as novas referências de nível (RNs) no novo local.

A regressão linear utilizada na instalação em Fazenda Recreio, a partir da extinta estação Sítio Jaraguá, foi definida seguindo Naghettini e Pinto (2007), conforme fórmula abaixo, em que: **Y** = variável dependente do modelo; **a** e **b** = coeficientes de estimativa; e **X** = variável independente do modelo:

$$Y = a + b * X \tag{1}$$

Variáveis Hidrológicas

As principais variáveis hidrológicas utilizadas nesta pesquisa foram: cotas médias mensais (cm), chuvas acumuladas diárias (mm), chuvas acumuladas mensais (mm), chuva total anual (mm) e vazões mínimas de referência Q90, Q95, Q50 e Q7,10, adquiridas a partir das curvas de permanência das vazões e das vazões médias anuais. As vazões de referência Q90, Q95 e Q50 referem-se, respectivamente, às vazões igualadas ou superadas em 90%, 95% e 50% do tempo de monitoramento. A vazão Q7,10 refere-se à vazão mínima alcançada em sete dias consecutivos de cada ano para um período de retorno de dez anos.

Análise Estatística

Os dados brutos em extensão *Xls* adquiridos junto ao portal Hidroweb (ANA) e diretamente nas PCDs foram consistidos para correção de falhas e para que se utilizassem ferramentas estatísticas disponíveis no Microsoft Excel 2013, além do aplicativo Hidro 1.3, para consistência de informações hidrometeorológicas, na extensão Microsoft Access 2013. Além desses procedimentos preliminares, nas análises utilizaram-se, também, fórmulas matemáticas, tais como a de *Gumbel*, a da média aritmética, a do desvio-padrão, da mediana, dentre outras.

De posse dos valores de referência obtidos com as análises estatísticas buscou-se demonstrar o comportamento hidrológico e, também, comparar a bacia hidrográfica do baixo rio Cauamé com as outras bacias hidrográficas adjacentes.

Determinação de Variáveis Hidrológicas

A pesquisa neste trabalho baseou-se inicialmente na análise das precipitações diárias (mm), das cotas diárias (cm) e nas vazões das estações (m^3/s). Foram feitas análises estatísticas mais detalhadas, com o objetivo de definir o comportamento dos rios no período de cheia e no período de estiagem. Além disso, foi feita a correlação dos parâmetros entre as estações para verificar a congruência. Durante o ano, existem duas estações sazonais bem definidas na região: a que corresponde ao período seco, que vai de setembro a abril, e a que define o período de cheia, que vai de maio a agosto (LEMOS; VIEIRA; FERRAZ, 2017; MORAIS; CARVALHO, 2015).

Para comparação entre as variáveis hidrológicas encontradas nesta pesquisa foi utilizado o método duplo-acumulativo ou de dupla-massa. No método duplo-acumulativo de comparação entre as amostras **X** e **Y**, o coeficiente de determinação (**R**) utilizado é adimensional e varia de -1 a +1. Quando esse coeficiente é positivo, a amostra **Y** aumenta, com o crescente aumento de **X**. Se **R** = 1, tem-se uma relação positiva perfeita; se **R** = -1, temos uma relação negativa perfeita; e, se **R** = 0, não existe relação entre as amostras. Quanto maior o valor de **R**, mais explicativo e representativo é o modelo linear aplicado na amostragem (CHIERICE Jr., 2013).

Medidas de dispersão de um conjunto de variáveis, tais como média aritmética, mediana e desvio-padrão, também foram utilizadas nesta pesquisa. A média aritmética refere-se ao valor da soma de cada um dos elementos da amostra (**M**) dividida pelo número total de elementos (**N**). O desvio-padrão mostra o quanto de dispersão há em relação à média do conjunto. O coeficiente de variação (**CV**) expressa a variabilidade dos dados da amostra sem a influência da ordem de grandeza da variável; quanto menor for seu valor, mais homogêneo será o conjunto amostrado; e ele pode ser expresso pelo desvio-padrão (**DP**) em razão da média aritmética (**M**), como visto abaixo na fórmula, em que: **CV** = coeficiente de variação, **DP** = desvio-padrão e **M** = média aritmética (ANDRADE, 2014):

$$CV = 100 * (DP/M) \quad (2)$$

A mediana como um valor de tendência central, que separa a frequência total de um conjunto em duas metades iguais, é imune à presença de valores extremos e discordantes da amostra (NAGHETTINI; PINTO, 2007) e é de suma importância para a análise hidrológica em uma bacia hidrográfica, pois permite verificar qual o período mais cheio e qual o mais seco em relação ao nível da água dos rios durante o monitoramento.

Gráficos Analíticos

A elaboração das curvas de permanência de vazões das estações da pesquisa pode fornecer uma estimativa do escoamento hídrico ocorrido nas bacias hidrográficas, pois dá uma noção de quando determinada descarga pode ser alcançada ou superada durante o monitoramento. No caso da bacia do rio Cauamé, utilizaram-se dados da antiga estação convencional Sítio Jaraguá. Os resumos de descarga líquida de cada estação de monitoramento, que vieram junto com o inventário dos postos, se encontram no portal Hidroweb (ANA).

A análise do banco de dados da extinta estação fluviométrica Sítio Jaraguá, que ficava a 2,2 km a jusante da Fazenda Recreio, permitiu a elaboração

dos cotagramas mensais para o período entre 2002 e 2007. Isto ajudou na comparação com a estação fluviométrica da Fazenda Recreio por ano hidrológico, iniciando em maio e terminando em abril.

A análise fluviométrica dos meses com níveis de água mais baixos nos postos de monitoramento é de suma importância, pois geralmente é nesses meses que se encontram as vazões mínimas de referência, que servem de apoio aos estudos de outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Um exemplo claro do que foi dito anteriormente tem-se em Boa Vista durante a estiagem, ou seja, nas cotas mais baixas do rio Branco, que é onde começam os racionamentos de água em alguns bairros da cidade, pelo fato de a demanda por água ficar maior que a oferta.

A análise gráfica pelo método duplo-acumulativo para verificação da relação entre as estações foi utilizada na avaliação fluviométrica. Foi executado esse procedimento para se analisar a congruência entre os postos quanto ao comportamento do nível d'água durante o ano, ou seja, o quanto eles se assemelham na ocasião de eventos extremos.

A comparação entre os cotagramas das estações fluviométricas do rio Cauamé foi feita a partir dos dados de cota média mensal da Fazenda Recreio (maio/2019 a abril/2020) e a média das cotas mensais de Sítio Jaraguá, para os períodos de maio/2002 a abril/2003, maio/2003 a abril/2004, maio/2004 a abril/2005, maio/2005 a abril/2006 e maio/2006 a abril/2007.

A vazão média anual no baixo rio Cauamé foi calculada a partir dos valores existentes no inventário da estação fluviométrica Sítio Jaraguá, pois apresenta maior quantidade de medições já realizadas, que vão de 2003 até 2009. Calculou-se a média das vazões disponíveis e encontrou-se a vazão média anual. De posse dos valores da vazão do Sítio Jaraguá foi feito o cálculo da permanência Q50 para se comparar com a da Fazenda Recreio.

Para efeito de comparação com a vazão média anual encontrada no Sítio Jaraguá, utilizou-se o procedimento proposto em Chierice Jr. (2013), que consiste em calcular a vazão média anual do rio a partir da chuva acumulada no ano e da área da referida bacia hidrográfica. De posse desses parâmetros, determinou-se um valor para a vazão média anual. A equação utilizada foi a da fórmula 3 abaixo, após as devidas conversões de unidades matemáticas, em que **V** = vazão média anual na bacia, **A** = área da bacia hidrográfica e **P** = chuva total anual na bacia hidrográfica:

$$V = A * P * m^3/31536s \quad (3)$$

Vazões de Referência

De posse dos dados das curvas de permanência de vazões das estações fluviométricas, inclusive da extinta estação Sítio Jaraguá, montou-se uma tabela MS Excel 2013 com as vazões de referência Q50, Q90 e Q95. A vazão Q7,10 foi calculada a partir dos dados disponíveis de descarga líquida, utilizando-se o método de *Gumbel*. No caso da estação Fazenda Recreio não foi possível a definição dessa vazão mínima, pois ela tem pouco tempo de monitoramento e isso comprometeu a análise desse parâmetro, que necessita de uma série histórica de dados maior para se efetuar o cálculo da variável.

A vazão Q7,10 também é chamada de vazão ecológica da bacia hidrográfica e corresponde à vazão média de sete dias consecutivos para um tempo de retorno de dez anos. Ela é muito utilizada no monitoramento hidrológico direcionado à manutenção de ecossistemas aquáticos e, também, para a proteção da vida nesses ambientes. O cálculo para se definir a vazão Q7,10 pode ser feito a partir da fórmula de *Gumbel*, aplicada aos valores de vazão (m^3/s) das estações da pesquisa (NAGHETTINI; PINTO, 2007). A fórmula abaixo define tal equação, em que: **X** = vazão de referência (m^3/s); **u** = variável dependente da média e do desvio-padrão; **a** = variável dependente do desvio-padrão das vazões mínimas geradas; **TR** = tempo de retorno do evento em anos.

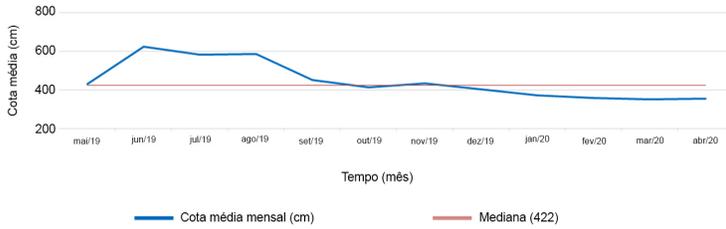
$$X = u - a * \log(-\log(1 - 1/TR)) \quad (4)$$

Resultados e Discussões

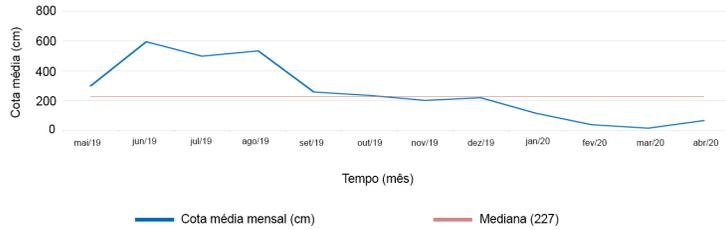
Dinâmica Flúvio-Pluviométrica Anual das Estações

No cotograma mostrado na Figura 2a, é possível observar, com base no valor da mediana de cotas médias mensais da Fazenda Recreio, que a cheia no baixo rio Cauamé ficou compreendida entre os meses de maio/2019 e setembro/2019, ocorrendo um período de transição entre os meses de outubro/2019 e dezembro/2019, que ficou em patamares próximos à mediana. Tal comportamento hidrológico foi semelhante ao observado no rio Branco, em Boa Vista (Figura 2b), e no rio Uraricoera, na Fazenda Passarão (Figura 2c), onde a análise gráfica demonstrou que a cheia dos rios se deu entre maio/2019 e setembro/2019, em relação à mediana das cotas mensais. Isto indica que a bacia do Cauamé, provavelmente, siga a mesma tendência hidrológica do sistema Branco-Uraricoera, corroborando quanto ao período sazonal com o sugerido em Morais e Carvalho (2015).

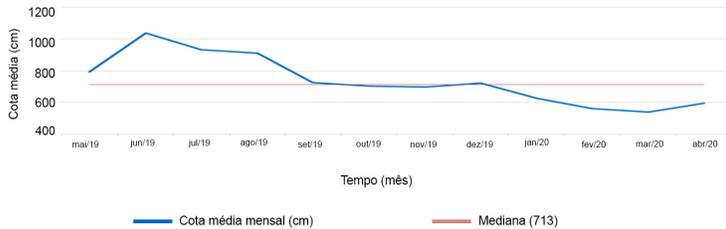
a) Cotograma mensal da Estação Fazenda Recreio (14235200)



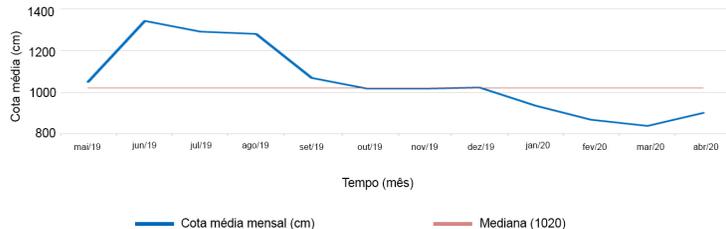
b) Cotograma mensal da Estação Boa Vista (14620000)



c) Cotograma mensal da Estação Fazenda Passarão (14515000)



d) Cotograma mensal da Estação Mucajai (14690000)



e) Cotograma mensal da Estação Fé Esperança (146800001)

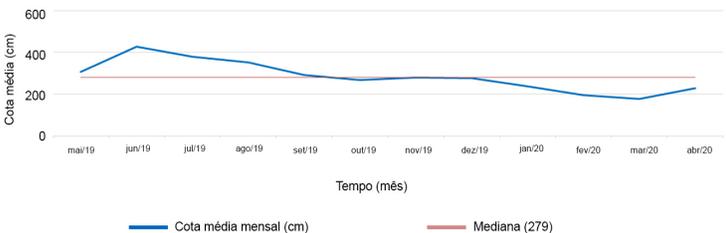


Figura 2 Cotograma mensal das estações com linha mediana. *Fonte:* Os autores.

Com base na análise estatística dos dados de precipitação das estações, verificou-se que o baixo rio Cauamé, na Fazenda Recreio, recebeu um total acumulado de chuva, entre maio/2019 e abril/2020, de 1410,4 mm (Figura 3). A chuva média diária nessa estação, no ano, foi de 3,8 mm/dia. A chuva média mensal foi de 117,5 mm/mês. O acumulado anual menor em comparação com as outras estações talvez seja pelo fato de a precipitação ser uma das principais variáveis hidrológicas e que apresenta uma alta variabilidade espacial e temporal, que produz aleatoriedade nas medidas de precipitação nos postos distribuídos no interior da bacia analisada, principalmente com o aumento da escala (SILVA, 2015; OLIVEIRA; CHAUDRH, 1995).

Na análise gráfica feita a partir da Figura 3, notou-se que Boa Vista teve um total acumulado de chuva anual de 1981,2 mm. Já em Fazenda Passarão foi de 1836,0 mm, em Mucajaí foi de 2489,0 mm e em Fé Esperança, de 2068,8 mm.

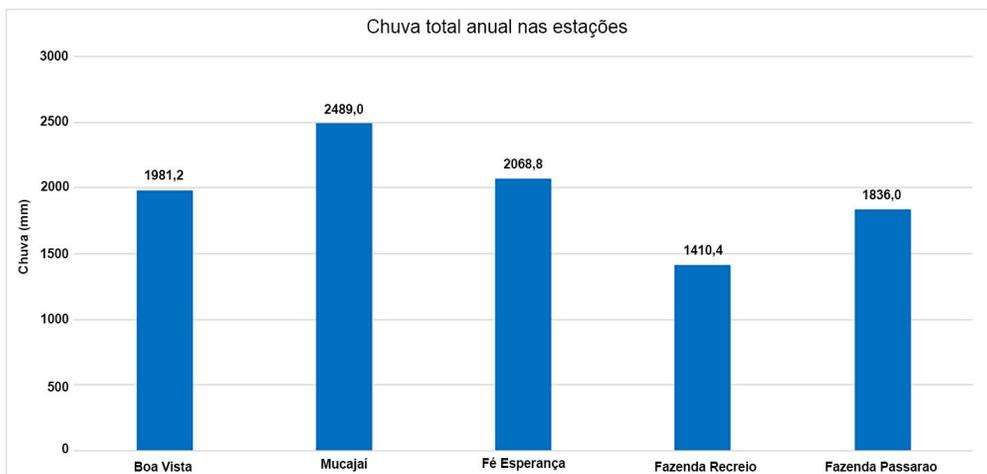


Figura 3 Gráfico comparativo da chuva acumulada para o período de maio/2019 a abril/2020 nas estações Boa Vista, Mucajaí, Fé Esperança, Fazenda Recreio e Fazenda Passarão. *Fonte:* Os autores.

Quanto às chuvas médias diárias no ano, a estação Boa Vista ficou em 5,4 mm/dia, a estação Fazenda Passarão ficou em 5,0 mm/dia, Mucajaí, em 6,8 mm/dia e Fé Esperança ficou em 5,6 mm/dia. As chuvas médias mensais ficaram assim: Boa Vista, 165,1 mm/mês; Fazenda Passarão, 153,0 mm/mês; Mucajaí, 207,4 mm/mês; e Fé Esperança, 172,4 mm/mês.

Segundo Sander (2018), os valores das séries históricas completas de chuva indicaram variações médias de 2.856,0 mm/ano na estação Terra Preta, no extremo sul de Roraima (região do baixo rio Branco), até 1.136,2 mm na estação Fazenda Altamira (município de Bonfim), região nordeste do estado, perfazendo uma amplitude de 1.719,8 mm. Os dados indicaram ainda uma pluviosidade média de 1.972,2 mm. Os valores mais elevados de pluviosidade foram verificados nas bordas norte, da bacia do rio Auaris até região da sede municipal de Pacaraima, além das parcelas oeste, sul e sudeste de Roraima, com valores superiores a 2.300 mm. Com base nessas informações, verificou-se que as estações da pesquisa estão dentro da faixa de amplitude pluviométrica para o estado de Roraima para o período de maio/2019 a abril/2020.

Com base na análise estatística da mediana das chuvas acumuladas mensais das estações, verificou-se que os seis meses mais chuvosos em Fazenda Recreio (Figura 4a) ocorreram entre maio/2019 e setembro/2019, juntamente com o mês de novembro/2019, corroborando a relação da mediana das cotas mensais (Figura 4a). Em vermelho observa-se o mês mais chuvoso do ano nas estações.

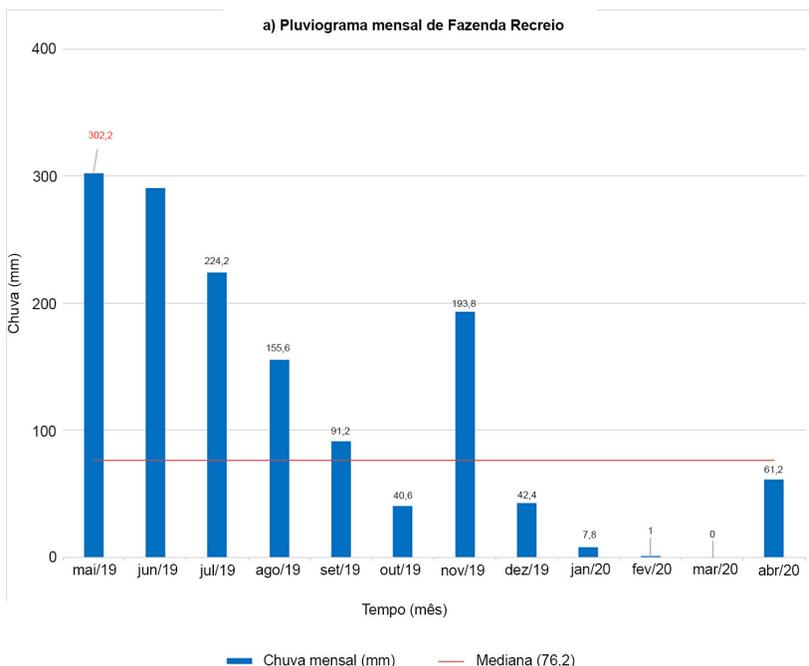


Figura 4 Pluviogramas mensais das estações com linha mediana. *Fonte:* Os autores.

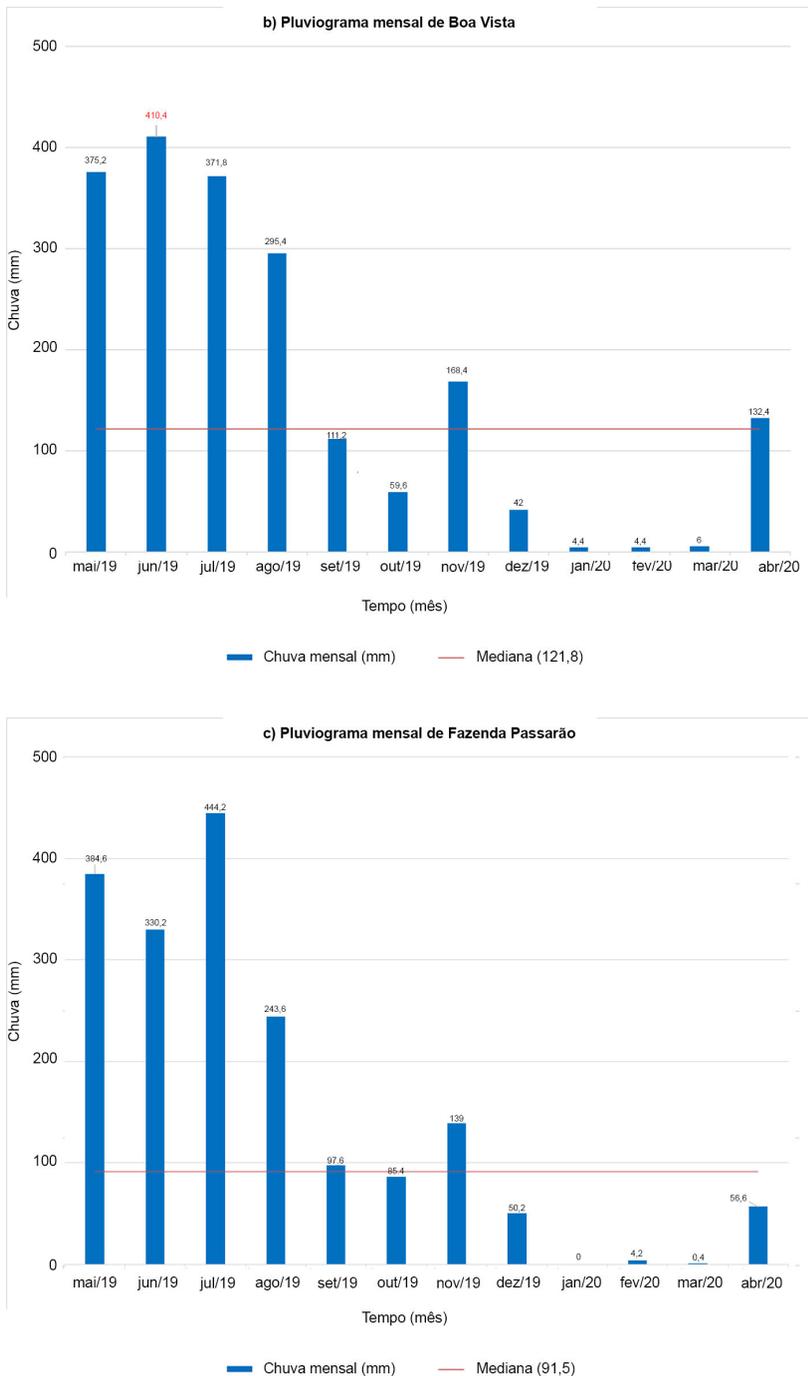


Figura 4 Pluviogramas mensais das estações com linha mediana. (Continuação).

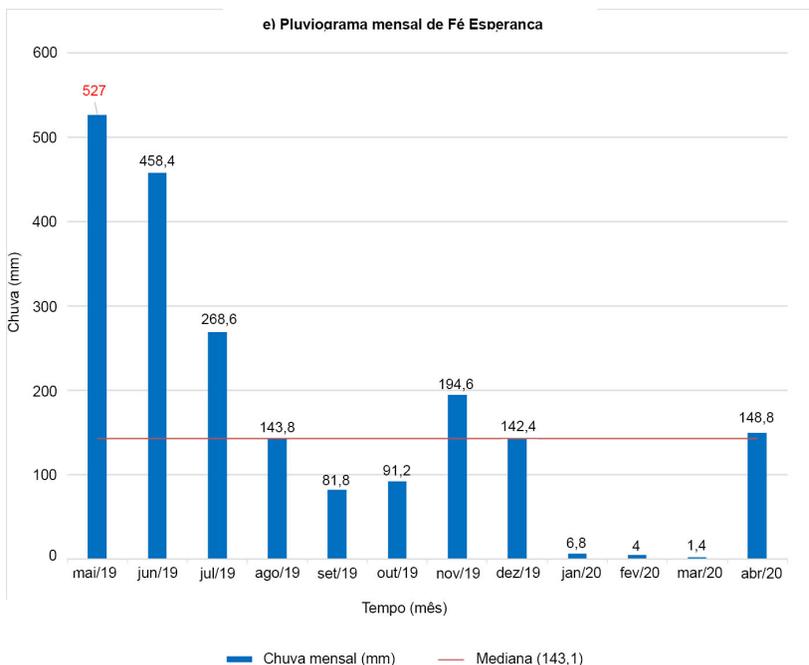


Figura 4 Pluviogramas mensais das estações com linha mediana. (Continuação).

O desvio-padrão para o acumulado do mês mais chuvoso das estações foi de 127,7 mm. Nota-se, por essas avaliações, que a precipitação é uma variável hidrológica que apresenta aleatoriedade nas bacias estudadas. Como afirma Oliveira (1995), a precipitação é uma variável hidrológica que apresenta alta variabilidade espacial e temporal.

Análise comparativa das estações

Com base nas análises dos dados da estação fluviométrica Sítio Jaraguá, de 2002 a 2007, notou-se que o período de cheia no baixo rio Cauamé ocorreu entre os meses de maio e setembro e o período de baixa, entre outubro e abril, corroborando a informação produzida pela estação Fazenda Recreio.

Pelo gráfico de cotogramas combinados da Figura 5, pôde-se verificar a congruência entre as estações Fazenda Recreio e Sítio Jaraguá, para os períodos de cheia e de seca do rio Cauamé, a partir de suas respectivas curvas de cotas médias mensais.

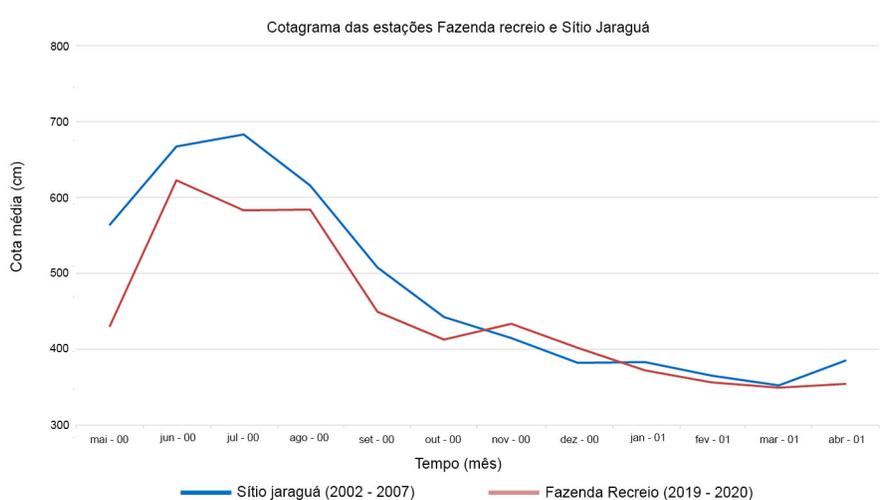


Figura 5 Relação entre os cotogramas das estações do rio Cauamé. *Fonte:* Os autores.

Pela análise gráfica notou-se um comportamento homogêneo, principalmente entre os meses de outubro e abril, que foi o período mais seco do rio Cauamé, na Fazenda Recreio. Como a série histórica do Sítio Jaraguá é maior (período entre 2002 e 2007), sua curva ficou mais suave devido aos vários ciclos anuais, em comparação com a da Fazenda Recreio, que ainda é recente (2019 a 2020).

Pelo método duplo-acumulativo foi possível verificar a relação de congruência entre o baixo rio Cauamé, em Fazenda Recreio (**FR**), e os outros sistemas fluviais adjacentes nas demais estações (**DE**), ou seja, Boa Vista, em Boa Vista, Fazenda Passarão, em Boa Vista, Mucajaí, em Mucajaí, e Fé Esperança, em Alto Alegre, quanto às cotas médias diárias dos postos durante o período da pesquisa. É o que se observa na representação gráfica da Figura 6, que mostra uma correspondência alta e positiva para essa variável hidrológica, evidenciada pelo coeficiente de determinação, $R^2 = 0,94$. Para as demais estações foi utilizada a média de suas cotas diárias.

A Figura 7 mostra a análise comparativa feita no período da pesquisa (2019 a 2020), a partir das chuvas diárias da Fazenda Recreio (**FR**), e a média das chuvas diárias das demais estações (**DE**), ou seja, Boa Vista, Fazenda Passarão, Mucajaí e Fé Esperança, utilizando-se o método duplo-acumulativo. Pelo comportamento do gráfico nota-se que ocorreu uma congruência entre as estações quanto a essa variável, que é evidenciada pelo coeficiente de determinação alto e positivo, $R^2 = 0,89$.

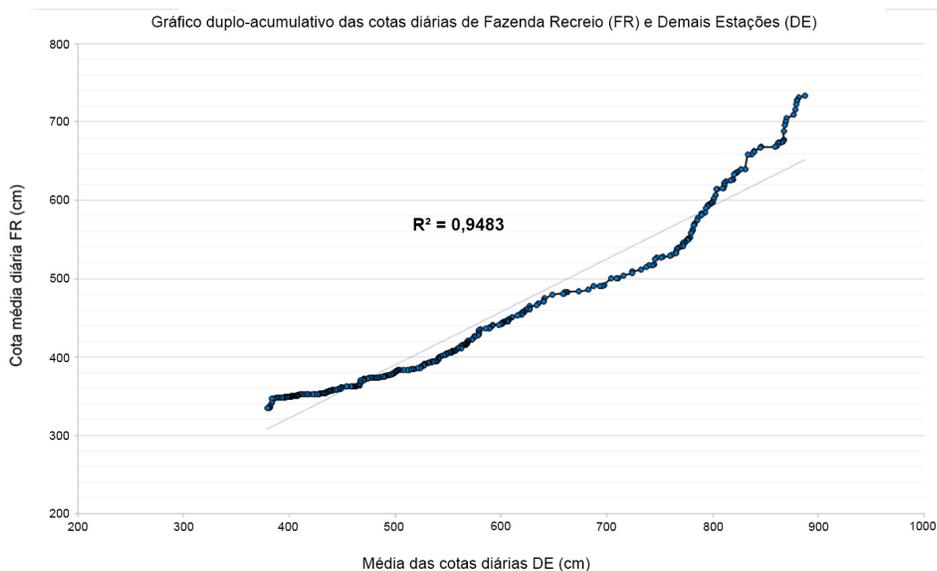


Figura 6 Gráfico duplo-acumulativo de cotas médias diárias da Fazenda Recreio (FR) e demais estações: Boa Vista, Fazenda Passarão, Mucajá e Fé Esperança (DE). *Fonte:* Os autores.

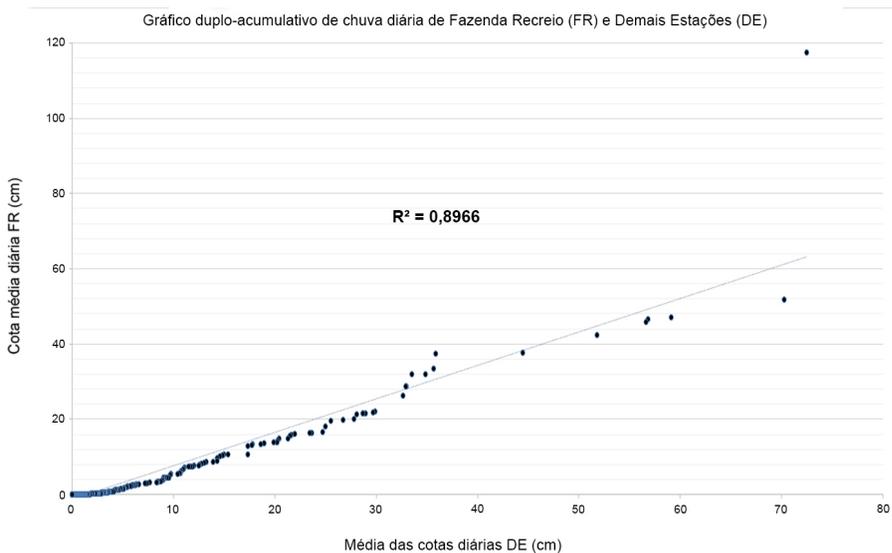


Figura 7 Gráfico duplo-acumulativo de chuva diária da Fazenda Recreio (FR) e a média diária das demais estações: Boa Vista, Fazenda Passarão, Mucajá e Fé Esperança (DE). *Fonte:* Os autores.

Curvas de permanência das estações

A partir dos valores de descarga líquida da estação Sítio Jaraguá, tomados entre 2003 e 2009, construiu-se a curva de permanência mostrada na Figura 8a, em que foi possível verificar, em destaque, que a vazão Q50 foi de 81,5 m³/s. Essa vazão ocorreu na cota de 501 cm. A vazão Q50 do Sítio Jaraguá foi 21,5 m³/s menor que a de Fazenda Recreio (103 m³/s), porém medida em cota inferior. A vazão refere-se à quantidade de água que passa através de determinada área transversal do rio (largura x profundidade) por unidade de tempo (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A vazão Q90 no Sítio Jaraguá foi tomada como 88% do tempo, e a Q95 como 94%, pois não havia parâmetros nesses valores de porcentagem nos dados analisados. A comparação com a Fazenda Recreio ficou comprometida, pois ainda não se tem série histórica suficiente para fazer uma analogia mais completa com o Sítio Jaraguá.

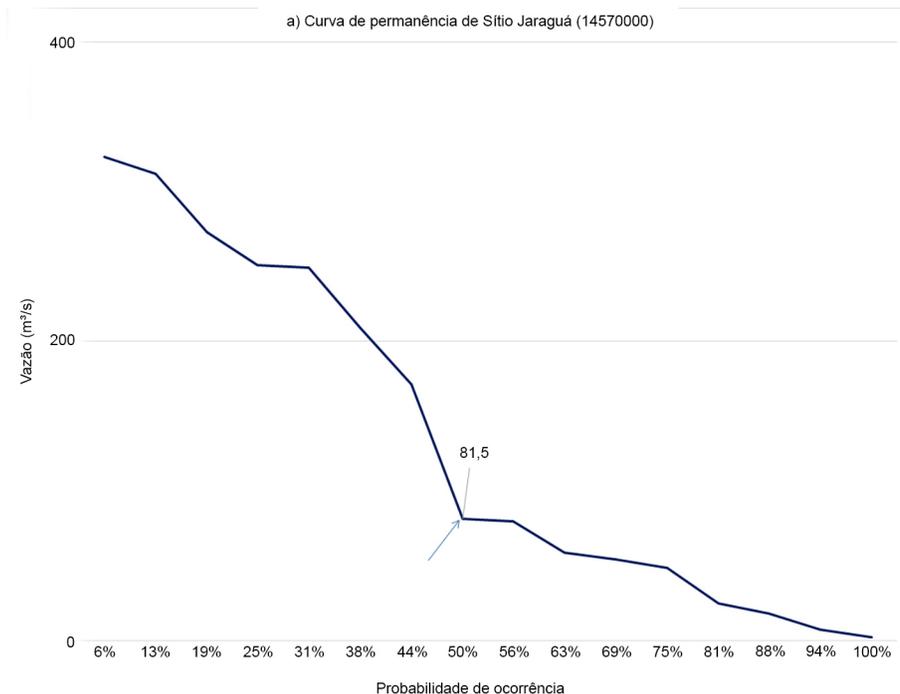


Figura 8 Curva de permanência das vazões nas estações. *Fonte:* Modificado de Oliveira (2018).

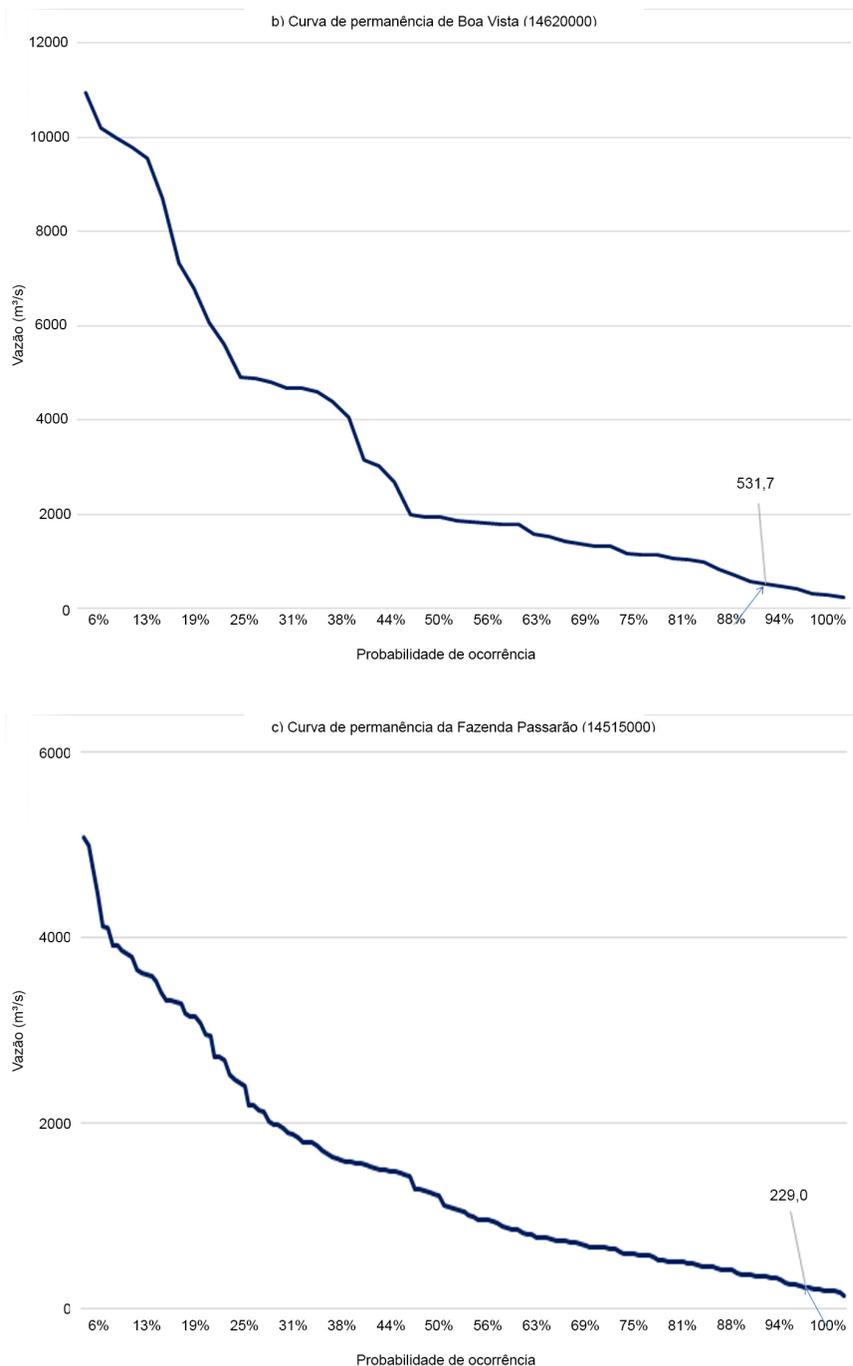


Figura 8 Curva de permanência das vazões nas estações. *(Continuação.)*

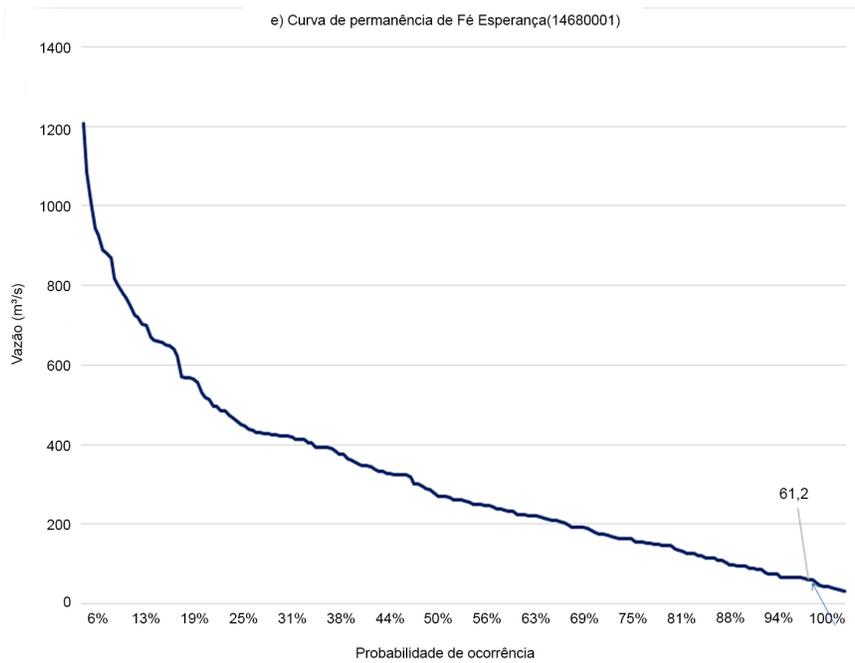
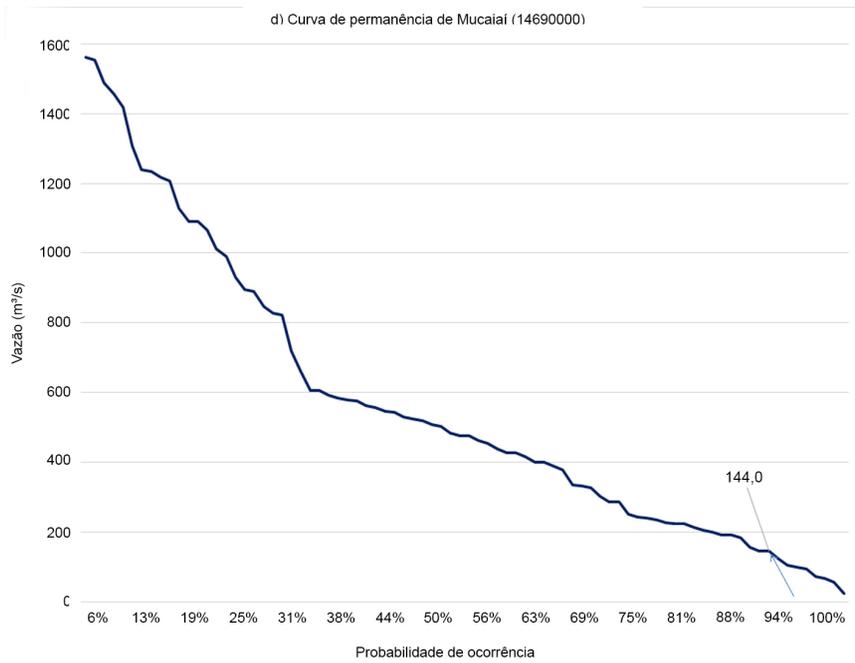


Figura 8 Curva de permanência das vazões nas estações. (Continuação.)

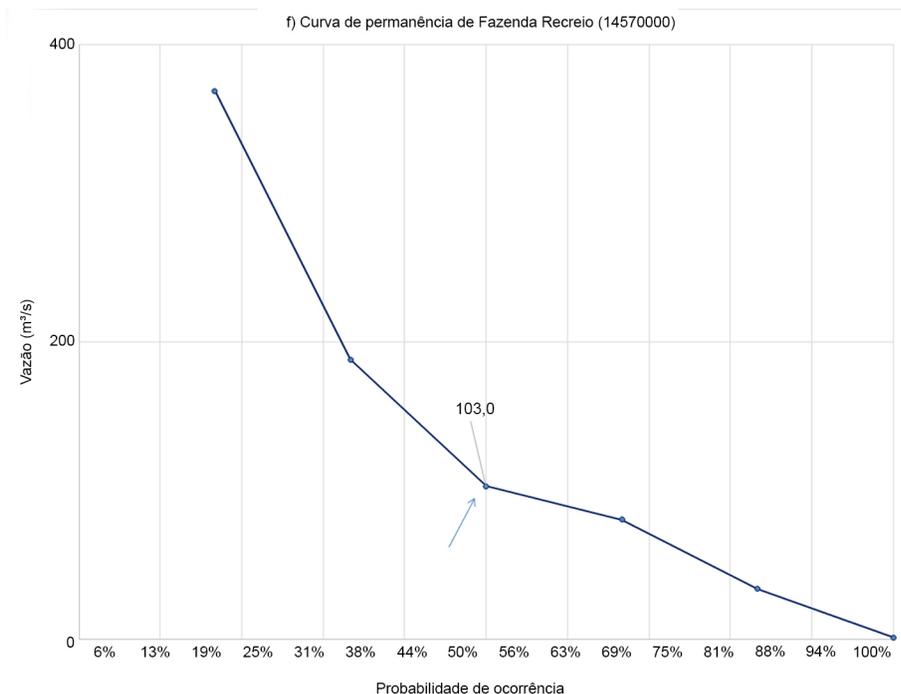


Figura 8 Curva de permanência das vazões nas estações. (Continuação.)

As análises do tempo de permanência de descarga líquida foram estendidas para as demais estações, para que se tivesse uma noção dos valores de vazão mínima de referência em cada posto de monitoramento.

Na curva de permanência do rio Branco, em Boa Vista (Figura 8b), foi possível observar que a vazão de referência Q90 foi de 531,719 m³/s, ocorrida na cota de 57 cm. Na curva de permanência do rio Uraricoera, na Fazenda Passarão (Figura 8c), pôde-se notar, em destaque, a vazão de referência Q95, de 229,0m³/s. Esta ocorreu na cota de 523 cm, corroborando com a Q95 da estação Sítio Jaraguá nas vazões mínimas de referência da estiagem em abril, que foi de 7,331 m³/s.

Na curva de permanência do rio Mucajaí, em Mucajaí (Figura 8d), verificou-se, em destaque, a vazão de referência Q90, de 144,0 m³/s, ocorrida na cota de 931 cm. Em Fé Esperança (Figura 8e), a curva de permanência mostrou que a vazão de referência Q95 foi de 61,25 m³/s, ocorrida na cota de 174 cm. Essas vazões mínimas de referência corroboraram com o que se observou no Sítio Jaraguá, quanto à ocorrência durante a estiagem entre março e abril.

A série histórica de cada estação utilizada para a construção das curvas de permanência acima foi: Sítio Jaraguá (14570000), de 2003 a 2009; Boa Vista (14620000), de 2012 a 2019; Fazenda Passarão (14515000), de 1977 a 2019; Mucajá (14690000), de 1995 a 2019; Fé Esperança (14680001), de 1973 a 2019; e, por fim, Fazenda Recreio (14235200), em 2019.

Vazões de referência das estações

A partir das curvas de permanência das estações foi possível definir as vazões de referência das estações (Tabela 1), ou seja, as vazões que os órgãos gestores de recursos hídricos podem utilizar nos estudos de outorga de uso da água.

Nota-se, pela tabela, que as vazões mais restritivas são a Q95 e a Q7,10, sendo que esta última se torna a mais restritiva de todas, podendo em alguns casos de escassez hídrica ser útil para os órgãos gestores como parâmetro de outorga de direito de uso pela sociedade.

A vazão média anual encontrada no Sítio Jaraguá, pela razão entre a área da bacia e a chuva acumulada anual (fórmula 3), foi de 130,593 m³/s. Tal valor corroborou com a vazão média anual encontrada a partir dos valores de descarga líquida medidos no Sítio Jaraguá, que foi de 135,186 m³/s, tomados entre 2003 e 2009. Esse valor também corroborou com a vazão média existente até o momento na Fazenda Recreio, que foi de 129,275 m³/s.

Tabela 1 Vazões de referência das estações fluviométricas.

Estação	Rio	Vazão Q50 (m ³ /s)	Vazão Q90 (m ³ /s)	Vazão Q95 (m ³ /s)	Vazão Q7,10 (m ³ /s)
Boa Vista	Branco	1864	531,72	330	182,973
Fazenda Passarão	Uraricoera	1048	329,18	229	167,9322395
Mucajá	Mucajá	477	144,0	94,5	36,08294495
Fé Esperança	Mucajá	261	75,9	61,25	64,07236327
Fazenda Recreio	Cauamé	103	~20	~10	N/D
Sítio Jaraguá	Cauamé	81,5	17,889	7,331	3,207

Fonte: Os autores.

Conclusões

As análises efetuadas a partir dos dados obtidos na estação de monitoramento na Fazenda Recreio mostraram que a bacia do baixo rio Cauamé, em parte do ano, segue a tendência do sistema fluvial Branco-Uraricoera. O ciclo que envolve o período das cheias no rio Cauamé se mostrou similar aos sistemas, seguindo a tendência da maior bacia. Essa condição ocorre durante o período de cheias e da transição para a vazante, onde o sistema sofre o efeito do represamento.

Pelas análises realizadas a partir de dados fluviométricos da Fazenda Recreio, Boa Vista e Fazenda Passarão, em relação à cota média mensal, observou-se uma oscilação recorrente da cheia dos rios, iniciada em meados de maio/2019, e declínio a partir de meados de agosto/2019. Isso leva a crer que o sistema hidrológico Branco-Uraricoera, possivelmente, desempenhe um controle nas bacias hidrográficas adjacentes, pois representa o nível de base dos tributários, que é o local de menor elevação em relação aos trechos de captação, do chamado alto rio Branco.

A análise gráfica a partir da mediana das cotas médias mensais, feita em Boa Vista e Fazenda Passarão, em relação à Fazenda Recreio, mostrou um mesmo comportamento hidrológico. Tal fato indicou que a bacia do rio Cauamé, na Fazenda Recreio, quanto a esta variável, seguiu a mesma tendência hidrológica do sistema Branco-Uraricoera.

A mesma análise comparativa, com base na mediana das cotas mensais, permitiu concluir ainda que os meses mais secos, na Fazenda Recreio e em todas as outras estações, ficaram entre outubro/2019 e abril/2020, juntamente com o período de transição entre outubro/2019 e dezembro/2019, ou seja, o comportamento hidrológico do baixo rio Cauamé foi congruente com as demais bacias no período da estiagem.

Pelo método duplo-acumulativo verificou-se a relação de congruência hidrológica entre a Fazenda Recreio e as demais estações, quanto às cotas médias diárias, que demonstrou correspondência positiva e alta entre as estações fluviométricas, evidenciada pelo coeficiente de determinação, $R^2 = 0,94$.

Com base na análise estatística da mediana das chuvas acumuladas mensais, verificou-se que os seis meses mais chuvosos no baixo rio Cauamé, na Fazenda Recreio, ocorreram no período entre maio/2019 e setembro/2019, juntamente com o mês de novembro/2019. Observou-se, ainda, que os meses menos chuvosos em todas as estações foram outubro/2019, dezembro/

2019, janeiro/2020, fevereiro/2020 e março/2020, sendo que o trimestre mais seco entre todas as estações foi o de janeiro/2020 a março/2020.

A análise comparativa feita a partir das chuvas diárias da Fazenda Recreio e da média das chuvas diárias das demais estações, utilizando o método duplo-acumulativo, permitiu concluir que houve congruência entre as estações quanto a essa variável, que foi evidenciada pelo coeficiente de determinação alto e positivo, $R^2 = 0,89$.

No que diz respeito a vazões de referência, as análises feitas a partir dos valores de descargas líquidas no baixo rio Cauamé, na estação Sítio Jaraguá, entre 2003 e 2009, possibilitaram determinar as vazões Q50, de 81,50 m³/s; Q90, de 17,90 m³/s; Q95, de 7,33 m³/s; e Q7,10, de 3,21 m³/s. Esses resultados, que ainda podem ser aprimorados pela manutenção da estação na Fazenda Recreio, podem auxiliar nos estudos de futuros projetos que necessitem de outorga de direito de uso da água no rio Cauamé.

Esta pesquisa poderá auxiliar os órgãos gestores de recursos hídricos do Estado de Roraima, no sentido de fornecer as informações necessárias que permitam avaliar a disponibilidade e o déficit hídricos, bem como o comportamento hidrológico da bacia do baixo rio Cauamé, permitindo, assim, que se tenha em mãos elementos técnico-científicos indispensáveis ao desenvolvimento do processo de gestão hídrica, que envolvem os vários usos da água, previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos.

Referências

ANDRADE, L.F. **Análise espaço-temporal do escoamento fluvial nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe, Oeste Paulista**. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, 2014.

BARROSO, J.A.V. **Diagnóstico ecológico-econômico da bacia do Rio Cauamé no estado de Roraima, com a utilização de sistema de informações geográficas para o desenvolvimento sustentável**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Roraima, 2009.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

CHIERICE JR, N. **Análise da chuva e vazão na bacia hidrográfica do rio Pardo**. Tese (doutorado), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. Volume 1. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

- LEMOS, C.E.F.; VIEIRA, M.I.S.; FERRAZ, R.R. **Compartimentação hidrográfica da bacia de drenagem do rio Branco, estado de Roraima, Brasil, por meio de base hidrográfica ottocodificada**. ACTA Geográfica, Boa Vista, volume 11, n. 26, maio/agosto 2017, pp 35-53.
- MAGALHÃES, R.M. et al. **Dinâmica fluvial na transição do ciclo de estiagem-cheia do rio Cauamé, em Boa Vista/RR, com base em dados de uma estação telemétrica hidrometeorológica**. VII Workshop Internacional sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas. 02 a 05 de outubro de 2019, Manaus/AM, Brasil.
- MORAIS, R.P.; CARVALHO, T.M. **Aspectos dinâmicos da paisagem do lavrado, nordeste de Roraima**. São Paulo, UNESP, Geociências, vol. 34, n. 1, pag. 55-68, 2015.
- NAGHETTINI, M.; ANDRADE PINTO, E.J. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2007.
- OLIVEIRA, J. F. de. **Traçado e Extrapolação de curva chave do Rio Cauamé em Boa Vista RR**. 2018. 132 p. Dissertação (Mestrado profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Roraima, Agência Nacional de Águas, 2018.
- OLIVEIRA, J.N.; CHAUDRH, F.H. **Métodos geoestatísticos na determinação de isoietas a partir de dados pluviométricos**. XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Recife, v.a, p.13 a 19, 1995.
- PINHEIRO, M.N.M. et al. O padrão urbano como determinante do grau de risco das áreas ocupadas nas proximidades do Rio Cauamé: praia da Ponte, do Curupira, da Polar e do Caçari. **Revista Geonorte, Edição Especial**, v. 1, n° 4, p. 880-889, 2012.
- REIS NETO, R.A. dos. **Geomorfologia e neotectônica da bacia do Rio Cauamé**. 2007, 86f: il. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2007.
- SANDER, C.; GASPARETTO, N.V.L.; SANTOS, M.L. Variações de carga sedimentar de fundo e morfologia dos perfis transversais batimétricos no trecho inferior da bacia do Alto Rio Branco, Roraima. **Rev. Geogr Acadêmica (RGA)**, v.9, n.1, vii, 2015.
- SILVA, D.A. et al. Análise dos ciclos de precipitação na região de Boa Vista-RR nos anos de 1910 a 2014. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.9, n.2, p. 34-49, xii, 2015.

Ocupação Urbana e Usos do Solo em um Trecho do Baixo Rio Cauamé, Zona Leste de Boa Vista, RR

Átyles Paiva Loura
Pedro Alves da Silva Filho

Introdução

A necessidade do homem em estabelecer seu território físico levou-o a interagir com o meio ambiente, transformando-o e adaptando-o. Essa relação tornou-se uma condição para fixar comunidades. Contudo, as transformações na organização espacial e o avanço das cidades vêm contribuindo para o avanço da vulnerabilidade ambiental, provocando o aumento dos impactos ambientais. Desta forma, faz-se necessário o ordenamento territorial para sanar os conflitos de ocupação e compatibilizar as atividades com suas vulnerabilidades (JOIA; ANUNCIAÇÃO; PAIXÃO, 2018).

Nesse contexto, a análise temporal do uso e ocupação do solo permite estudar as diversas relações estabelecidas entre o homem e o seu ambiente natural, fornecendo dados acerca da dinâmica do espaço. Isso porque a função primordial do mapeamento dessas áreas está pautada na indicação e distribuição espacial de um conjunto de características semelhantes das atividades humanas (ARAÚJO; VITAL, 2019).

Desde o final dos anos 1980, os espaços naturais que servem a cidade de Boa Vista vêm sofrendo acelerado processo de modificação antrópica. A Bacia Hidrográfica do Cauamé, importante rio que limita a área urbana da capital de Roraima, ao norte, é um desses notórios exemplos. Como resultado das transformações, observam-se crescentes pressões relacionadas com atividades ligadas a projetos agrícolas, irrigação, invasões urbanas, especulação imobiliária, uso intenso do turismo predatório de suas praias, lançamentos de lixos e esgotos (OLIVEIRA; CARVALHO, 2014; REIS NETO; COSTA, 2010).

De acordo com Flauzino et al. (2010), a utilização das geotecnologias tornou-se instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água. Com destaque para o uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) como ferramenta para mapear e

obter respostas às várias questões tanto no planejamento urbano e levantamento de mecanismos de alterações ambientais decorrentes do meio quanto no auxílio ao planejamento e manejo dos recursos hídricos.

Através da utilização de imagens de satélite, obtém-se a análise multitemporal, que permite explorar mudanças transcorridas entre um ou mais espaço de tempo na área analisada. Levando em consideração o critério de análise multitemporal, a pesquisa teve por proposta geral apresentar uma análise da evolução do uso e ocupação do solo entre o período de 1989 e 2019 e caracterizar os possíveis impactos ambientais em um trecho do baixo rio Cauamé, localizado na zona leste de Boa Vista, Roraima.

Acerca disso, Lopes et al. (2016) discorrem sobre a importância do estudo de uso e ocupação do solo como ferramenta para o planejamento dos recursos naturais, pois permite analisar a forma como determinado espaço está sendo ocupado, auxiliando para que planejadores e legisladores, munidos de informações, possam elaborar uma melhor política de uso do solo para o desenvolvimento de uma região.

Deste modo, o presente trabalho selecionou essa área de estudo por se tratar de uma região onde vem ocorrendo a expansão da malha urbana e alterações no uso e ocupação do solo em direção ao rio Cauamé, ocasionando, conseqüentemente, impactos ambientais decorrentes das ações antrópicas, ambientais e socioespaciais, que perpassam os dias atuais. Portanto, faz-se necessário um planejamento de ações para a preservação dos recursos hídricos nessa área.

Espera-se que este estudo possibilite compreender de forma mais detalhada as relações entre o processo de urbanização e as alterações da ocupação do solo nas últimas décadas, para subsídio a medidas de planejamento da cidade e redução dos impactos ambientais.

Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado no perímetro urbano de Boa Vista, capital de Roraima, no trecho localizado nos bairros Caçari e Parque Caçari, situados na Zona Leste, entre as coordenadas geográficas 2° 51' 23.77" N e 60° 38' 13.00" W. Criou-se a área de interesse utilizando como delimitadores a Rua Massaranduba, a Avenida Pitombeira e o rio Cauamé (Figura 1). A escolha da área se deu pela proximidade à foz do rio Cauamé. Atualmente, a Zona Leste constitui um espaço em constante crescimento, com novos loteamentos e investimentos públicos e privados que agregam valor à região.

Conforme descrito por Oliveira e Carvalho (2014), a cidade é drenada pelo baixo curso do rio Cauamé por cerca de 18,70 km de extensão ao longo do rio na faixa perimetral norte e pela margem direita do rio Branco a leste. O crescimento urbano da cidade se deu em grande parte em direção a esses rios, ocasionando bastante estresse ambiental.

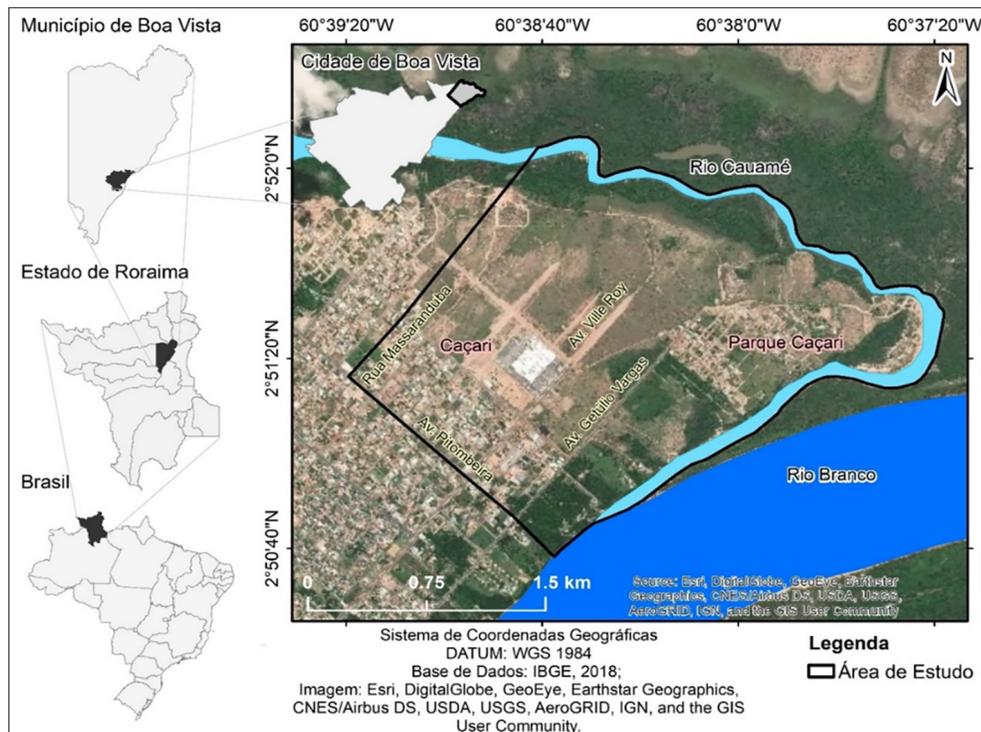


Figura 1 Localização da área de estudo; em destaque o limite urbano do bairro Parque Caçari e a foz do rio Cauamé. *Fonte:* Loura (2020).

A cidade está incluída na zona climática "A" (tropical chuvoso), do subtipo "Aw", segundo a classificação de *Koppen*. O tipo climático apresenta elevadas médias térmicas e pluviométricas. A temperatura mínima e máxima varia entre 26°C e 35°C. A precipitação pluviométrica média fica em torno de 1600 mm anuais. Há duas estações bem definidas, uma seca (outubro a março) e outra chuvosa (abril a setembro), com os maiores índices de precipitação ocorrendo entre os meses de maio e julho. Já a umidade relativa do ar alcança entre 70% e 80% (BARBOSA, 1997).

Convém ressaltar que a vegetação do município de Boa Vista é majoritariamente composta por savanas, popularmente conhecidas como lavrado, representadas por árvores e arbustos retorcidos em processo de adaptação, folhas grandes e coriáceas, podendo apresentar raízes profundas (BARBOSA; MIRANDA, 2005).

Materiais e Métodos

A elaboração deste estudo teve apoio, em sua fase inicial, em pesquisas realizadas em acervos bibliográficos, através do levantamento de tese, dissertações e artigos, além de documentos de domínio público.

A escolha metodológica consistiu em combinar procedimentos lógicos quantitativos, qualitativos, técnicos e operacionais. Dessa forma, para a concretização dos objetivos, procurou-se evidenciar uma abordagem teórica, interpretação de mapas, geoprocessamento, análise de dados e levantamento de campo na Área de Preservação Permanente, à margem direita do rio na área de estudo.

Aquisição e Processamento de Imagens

Foram utilizadas, neste trabalho, três imagens de satélites, sendo duas imagens *Landsat/TM 5* (19/04/1989 e 20/07/1999) e uma imagem *Landsat8/OLI* (13/09/2019), ambas com resolução espacial de 30 m x 30 m, referentes à órbita/ponto 232/058. As imagens foram obtidas diretamente do *United States Geological Survey* (USGS – <http://earthexplorer.usgs.gov>). Os planos de informações foram processados em projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM, Zona 20 Norte.

Para a escolha das cenas *Landsat/TM5* e *Landsat8/OLI*, levou-se em consideração o critério cobertura de nuvens e a disponibilidade dos dados fornecidos, submetendo as imagens a uma avaliação visual para averiguação da integridade dos dados.

Todas as imagens adquiridas foram processadas no software *ArcGis* 10.1, utilizando técnicas de processamento digital de imagens: aplicação de filtro RGB composição colorida falsa cor nas imagens *Landsat/TM 5* e *Landsat8/OLI*, utilizando as bandas 5 4 3 para as imagens do *Landsat 5* e bandas 6 5 4 para a imagem do *Landsat 8*.

Mapeamento e Caracterização das Classes Temáticas

A partir da análise visual e da interpretação das imagens, iniciou-se a etapa de mapeamento manual. O processo de vetorização e correlação das respectivas classes, referentes aos anos de 1989, 1999 e 2019, foi realizado através da ferramenta “edição de polígonos” do *software ArcGis 10.1*. A escala de representação dos mapeamentos foi na grandeza de 1:10.000. Para o cálculo das áreas utilizaram-se as ferramentas “Editor” e “XTools Pro” do *ArcGis 10.1*.

Para a classificação da vegetação estabeleceu-se um paralelo entre o sistema fisionômico-ecológico do IBGE (2012) e as denominações regionais utilizadas por Reis Neto (2007) e IBAM (2005). Dessa forma, possibilitou-se maior precisão ao mapeamento e, assim, foram caracterizadas seis classes temáticas: corpos d’água, mancha urbana, mata ciliar, savana arborizada/formação florestal, savana parque e solo exposto (Quadro 1).

A interpretação dos alvos nas imagens de satélite foi relacionada à associação das características definidas acima e de outros critérios de análise visual, como: textura, tonalidade, cor e forma das composições coloridas, além do reconhecimento prévio da área de estudo.

Quadro 1 Atributos utilizados na caracterização das classes temáticas de uso e ocupação do solo.

Classe Temática	Características Principais
Corpos d’água	Diz respeito ao corpo hídrico mais expressivo que constitui o rio Cauamé.
Mancha urbana	As áreas com presença de edificações e as principais vias pavimentadas.
Mata ciliar	Vegetação aluvial (arbórea, arbustiva, herbácea) ao longo dos flúvios (IBGE, 2012).
Savana arborizada/ formação florestal	Possui um estrato arbóreo descontínuo, com árvores espaçadas e tortuosas, com altura entre 6 e 10 metros, havendo arbustos, subarbustos e ervas, ocorrendo em manchas dispersas, terminando em savanas parque ou graminosa ou emendando com matas de galerias (IBGE, 2012; REIS NETO, 2007).
	Pequeno fragmento isolados de ilha de mata.
Savana parque	Constituída essencialmente por um estrato graminóide, apresenta-se como uma fisionomia campestre, com árvores isoladas e/ou grupos (IBGE, 2012; REIS NETO, 2007).
Solo exposto	Áreas desprovidas de vegetação e construção.

Fonte: Loura (2020).

Avaliação dos Impactos Ambientais

A avaliação ambiental ocorreu de forma única; para tanto, utilizou-se o método de matriz quali-quantitativa apontado por Sánchez (2013). A avaliação dos impactos abrangeu o meio físico, biótico e antrópico.

Os modelos de avaliação empregado na identificação e caracterização dos impactos ambientais foram: o método Listagem de Controle (*checklist*) Descritivo e Matriz de Avaliação de Impactos Ambientais, ambos adaptados das metodologias de Silva et al. (2018) e Sánchez (2013).

A matriz foi composta utilizando seis critérios qualitativos, caracterizados de acordo com a Resolução nº 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 1986), e dois critérios quantitativos, relativos à magnitude e frequência dos impactos, por meio do uso numérico e descrição de cada parâmetro analisado (Quadro 2).

Quadro 2 Matriz de Avaliação de Impactos Ambientais.

Crítérios	Parâmetros	P/S	Descrição do Parâmetro
Valor	Positivo	P	Alteração ambiental de caráter benéfico
	Negativo	N	Alteração ambiental de caráter adverso
Ordem	Direto	D	Quando é gerado por determinada ação, relação de causa e efeito
	Indireto	I	Quando a ação provoca indiretamente um impacto, resultante de uma reação secundária em relação à ação, ou quando é parte de uma cadeia de reações
Dinâmica	Temporária	T	Possui duração limitada
	Permanente	PE	Não cessa num período conhecido
	Cíclica	C	Quando o efeito se manifesta em intervalos de tempo determinados.
Tempo	Curto prazo	CP	A ação permanece num curto espaço de tempo
	Médio prazo	MP	A ação pode ser cessada após um tempo
	Longo prazo	LP	O impacto pode ser considerado irreversível
Plástica	Reversível	R	Retorna às condições originais depois de cessada a ação
	Irreversível	IR	Quando o fator ou parâmetro ambiental afetado não retorna às suas condições originais depois de cessada a ação

Quadro 2 Matriz de Avaliação de Impactos Ambientais. (Continuação.)

Crítérios	Parâmetros	P/S	Descrição do Parâmetro
Espaço/ Escala	Local	LO	Seus efeitos se fazem sentir apenas nas imediações do sítio onde se dá a ação
	Regional	RG	Quando seus efeitos se fazem sentir além das imediações do sítio onde se dá a ação, abrangendo determinada região
	Estratégico	E	Quando seus efeitos têm interesse coletivo ou se fazem sentir em nível estadual ou nacional
Magnitude	Baixa	1-3	O meio permanece inalterado
	Média	4-6	O meio apresenta média alteração quanto à sua paisagem
	Alta	7-10	A ação altera toda a paisagem
Frequência	Baixa	1	Sem danos ou com danos mínimos ao meio ambiente
	Média	2	O meio apresenta leve alteração quanto à sua paisagem
	Alta	3	Ação altera toda a paisagem

Legenda: P/S – pontuação/símbolo.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2018) e Sánchez (2013).

Resultados e Discussão

A partir de imagens de satélites, os mapas das classes de uso e ocupação do solo dos anos de 1989, 1999 e 2019 foram gerados, sendo possível analisar comparativamente as mudanças espaciais e temporais ocorridas nos últimos 30 anos, em que se destaca o crescimento do tecido urbano (Figuras 2, 3 e 4).

Foram observadas seis classes temáticas de uso e ocupação: corpos d'água, mancha urbana, mata ciliar, savana arborizada/formação florestal, savana parque e solo exposto. A área possui tendência à substituição da vegetação nativa por áreas de atividades antrópicas para lazer e urbanização. Os resultados obtidos por meio da análise multitemporal permitiram integrar as informações de forma a quantificar as mudanças ocorridas ao longo dos anos (Tabela 1).

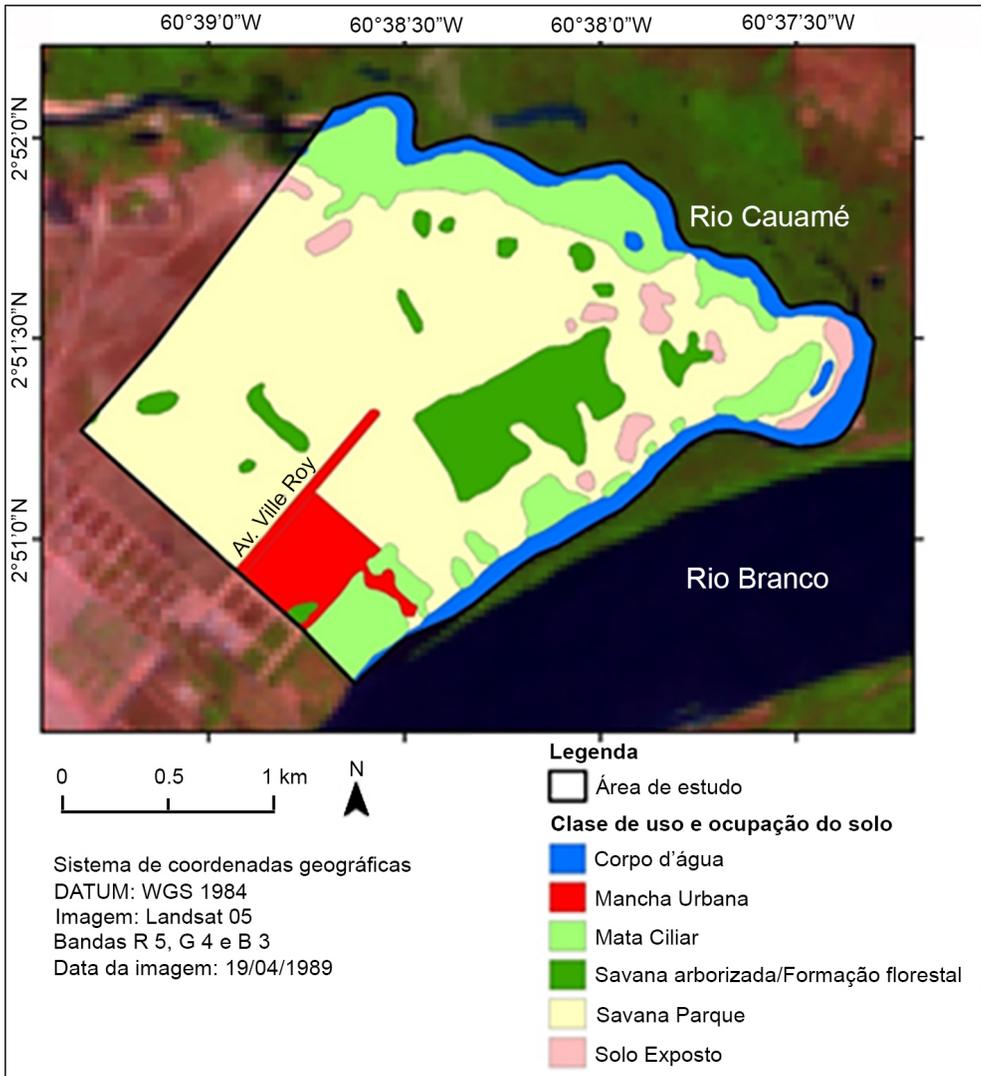


Figura 2 Mapa de evolução de uso e ocupação do solo em um trecho do baixo rio Cauamé, no ano de 1989. *Fonte:* Loura (2020).

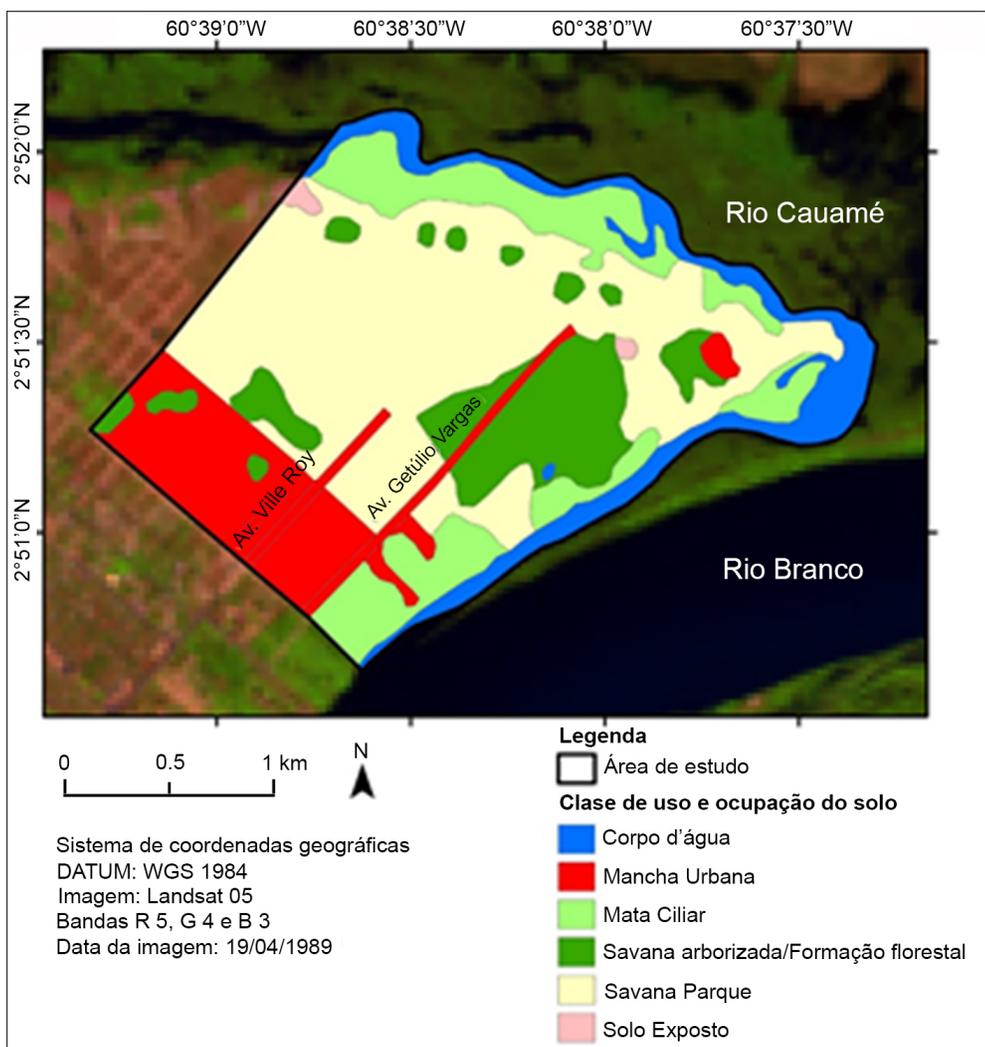


Figura 3 Mapa de evolução de uso e ocupação do solo em um trecho do baixo rio Cauamé, no ano de 1999. *Fonte:* Loura (2020).

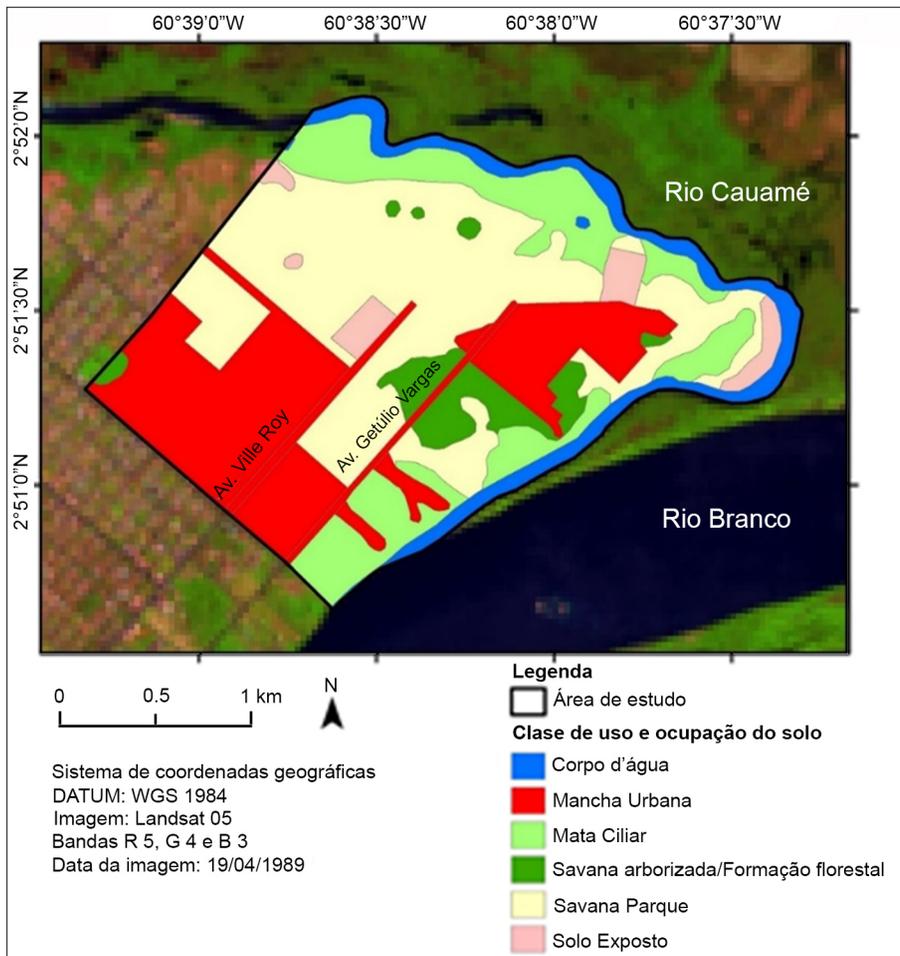


Figura 4 Mapa de evolução de uso e ocupação do solo em um trecho do baixo rio Cauamé, no ano de 2019. *Fonte:* Loura (2020).

No ano de 1989, ponto de partida da análise, verificou-se que a área de estudo já não apresentava uma característica tipicamente rural. O mapa de uso e ocupação do solo confirma a ocupação do solo por áreas urbanas.

No período de análise, a classe de Savana Parque foi identificada como majoritária, com 58,78%, seguida das classes Mata Ciliar, com 14,79%, Savana Arborizada/Formação Florestal, com 9,61%, Corpos D'água, com 9,06%, Mancha Urbana, com 4,99%, e Solo Exposto, com 2,77%.

Tabela 1 Quantificação das classes de uso e ocupação do solo nos anos de 1989, 1999 e 2019.

Classes	1989		1999		2019	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Corpos D'água	0,49	9,06	0,59	10,91	0,45	8,32
Mancha Urbana	0,27	4,99	0,84	15,53	1,56	28,83
Mata Ciliar	0,80	14,79	0,87	16,08	0,93	17,19
Savana Arborizada/ Formação Florestal	0,52	9,61	0,76	14,05	0,31	5,73
Savana Parque	3,18	58,78	2,32	42,88	1,96	36,23
Solo Exposto	0,15	2,77	0,03	0,55	0,20	3,70
Total	5,41	100,00	5,41	100,00	5,41	100,00

Fonte: Loura (2020).

Conforme os dados apresentados, o perímetro urbano, em 1989, era pouco representativo, assim como o solo exposto. Porém, verificou-se nessa década, como coloca Batista (2013), que a cidade de Boa Vista estava em processo de expansão, com várias construções, devido à migração inter e intrarregional, sendo intensificadas no início da década de 1990, período coincidente com a mudança de Território Federal para Estado de Roraima, promulgada pela Constituição Federal de 5 de outubro de 1988, que impulsionou um aumento do contingente populacional nessa direção.

Conforme explicam Ignácio et al. (2017), Boa Vista se desenvolveu às margens de rios e igarapés, mas o processo de urbanização não conseguiu seguir um bom planejamento da expansão urbana por parte do poder público, causando a deterioração de trechos de APPs, com a compactação do solo, construções irregulares, canalizações e alterações na biota em vários pontos da cidade.

A área de estudo, em 1999, evidenciou um crescimento urbano de 211% em relação a 1989, totalizando 15,53% da área total. O aumento gradativo dessa classe implicou, de modo geral, uma tendência de redução gradativa das áreas ocupadas por savana parque (de 58,78% em 1989 para 42,88% em 1999). Mas, para compreender esse processo, há a necessidade de relacioná-lo com o desenvolvimento econômico e a expansão do município de Boa Vista. Por exemplo, com o fechamento dos garimpos em 1991, Roraima perdeu a sua

grande atividade econômica da época, e uma massa de migrantes que se encontrava nos garimpos foi obrigada a se adaptar a outras funções econômicas, vindo a se instalar em Boa Vista (REIS NETO, 2020).

Vale salientar que houve uma ampliação da classe mata ciliar (de 14,79% em 1989 para 16,08% em 1999) e da savana arborizada/formação florestal (de 9,61% em 1989 para 14,05% em 1999).

A área da classe solo exposto, visível às margens do rio Cauamé em 1989, não foi percebida na imagem de 1999, devido ao desaparecimento da faixa de areia do rio no período de cheia sazonal. Desse modo, houve redução dessa classe (de 2,77% em 1989 para 0,55% em 1999). O aumento da classe corpos d'água (9,06% para 10,91%) se justifica pelo fato de a imagem de satélite ter sido obtida no período caracterizado como mais chuvoso na região, entre junho e julho.

A classificação feita para 2019 permitiu observar que a classe mancha urbana se manteve em crescimento, com aumento de 86% em comparação com 1999, passando a representar 28,83%. Conseqüentemente, houve diminuição de áreas de vegetação natural e aumento do solo exposto, de 0,55% em 1999 para 3,70% em 2019. Tal fato ocorreu, principalmente, junto às manchas de áreas urbanizadas produzidas pela abertura de novos lotes e loteamentos. O aumento do fluxo populacional, diante da necessidade de moradia, desconsiderou a vegetação típica do lavrado (savana) em favor da ocupação urbana. Portanto, pode-se afirmar que a área urbana identificada pela classe mancha urbana caracteriza uma contínua ocupação.

A savana arborizada/formação florestal apresentou diminuição quando se compara o ano de 1999 (14,05%) com 2019 (5,73%). Isso se deve também à expansão urbana observada nas imagens. Nessas áreas de contato florístico, a dinâmica e a movimentação da vegetação são muito complexas, o que exige estudos mais detalhados.

A savana parque, predominante na área, continuou em decréscimo, de 42,88% em 1999 para 36,23% em 2019, devido à expansão do setor imobiliário, com novos loteamentos e construção de um shopping center a partir de 2012. A mata ciliar manteve sua neutralidade, com um pequeno acréscimo, de 16,08% em 1999 para 17,19% em 2019. Os corpos d'água tiveram redução, de 10,91% em 1999 para 8,32% em 2019, em razão do regime de baixa precipitação e desaparecimento de pequenos lagos no período de estiagem.

Ao longo dos 30 anos analisados, a classe savana parque foi a que mais cedeu áreas para a urbanização. Já a classe mata ciliar apresentou balanço

positivo. Adicionalmente, foi possível observar que as supressões de mata ciliar registradas através de visitas de campo se deram em grande parte em anos anteriores ao de início da análise, sendo a ocorrência principalmente pela abertura de trilhas e vias de acesso ao rio Cauamé.

Como se pode perceber, a supressão da vegetação de savanas vem acontecendo principalmente devido à necessidade de novas áreas para a construção de empreendimentos e loteamentos que atendam ao crescimento da população. Amorim (2019) ressalta que as savanas apresentam características de relevo plano, de fácil manejo por conta de sua vegetação de pequeno e médio portes, o que pode favorecer a sua retirada.

Já Chaves e Pinto Silva (2020) apontam que a ocupação urbana deixa marcas paisagísticas significativas que ameaçam a estabilidade ambiental. Conforme a urbanização avança, as mudanças ambientais se processam, aumentando a instabilidade do complexo geoambiental, haja vista se processar, em seu entorno, um desmonte quase toda a cobertura vegetal.

As alterações ambientais, principalmente na foz do rio Cauamé, geradas em função da forma de crescimento e expansão urbana dispersa, apontam que o planejamento e a gestão territorial precisam ser repensados dentro de uma visão que garanta a sustentabilidade ambiental urbana e a segurança dos cidadãos.

Identificação e Avaliação dos Impactos Ambientais

Sabe-se que a análise dos impactos ambientais é parte indispensável na elaboração do planejamento e ordenamento das cidades. O diagnóstico ambiental contribui com informações atualizadas, de modo a obter um parâmetro sobre a condição ambiental local.

Nesse sentido, de acordo com a análise realizada à margem direita do rio Cauamé, foi possível identificar, inicialmente, por meio de listagem de controle (*Checklist*), seis tipos de impactos: supressão vegetal, deposição de resíduos sólidos, processos erosivos, edificações irregulares, poluição sonora e restos de fogueiras.

Após a classificação foi confeccionada a matriz de impactos (Quadro 2). Avaliou-se o grau dos impactos por área, definindo-se os trechos com maior degradação, assim como o tipo de fator que merece prioridade para realização de medidas mitigadoras.

Quadro 2 Matriz de Impactos Ambientais identificados na Área de Preservação Permanente (APPs).

Avaliação de aspectos e Impactos ambientais									
Ação impactante	Valor/efeito	Ordem	Dinâmica	Tempo	Plástica	Espaço/Escala	Magnitude	Frequência	Medidas mitigadoras
Supressão vegetal	N	D	PE	LP	IR	LO	7	3	Elaborar programa de reconstituição da vegetação com espécies nativas e condução da regeneração natural com manejo; realizar campanhas educativas a fim de sensibilizar a população para a importância de promover a manutenção das matas ciliares; intensificar a fiscalização dessas áreas pelo poder público; inserção da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé na pauta de reunião do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH/RR) para criação do Comitê de Bacia.
Edificação irregular	N	D	PE	LP	IR	LO	7	3	Avaliar e adequar o Plano Diretor no que se refere ao atual uso e ocupação do solo em APPs urbanas; coibir os processos de novas construções de edificações; inserção da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé na pauta de reunião do CERH/RR para criação do Comitê de Bacia.
Processo erosivo	N	I	PE	LP	R	LO	6	2	Mapear as áreas mais críticas e traçar metas de revegetação nas áreas erodidas; revitalizar as áreas degradadas próximas às matas ciliares.
Deposição de resíduos sólidos	N	D	PE	MP	R	LO	6	2	Dispor de lixeiras e coletar os resíduos sólidos periodicamente, evitando que as águas pluviais carreguem os resíduos para rio; intensificar campanhas de educação ambiental para sensibilização dos visitantes quanto ao descarte adequado dos resíduos sólidos.
Resto de fogueira	N	D	T	MP	R	LO	6	2	Sinalizar com placas a proibição de fogueiras; fiscalizar e evitar queimadas; orientar os visitantes sobre a proibição do uso de fogo.
Poluição sonora	N	D	T	CP	R	LO	4	2	Controlar a poluição sonora por meio da fiscalização dos atrativos turísticos naturais; realizar campanhas educativas e o cumprimento da legislação quanto à poluição sonora.

Legenda: Positivo (P), Negativo (N), Direto (D), Indireto (I), Temporário (T), Permanente (PE), Curto Prazo (CP), Médio Prazo (MP), Longo Prazo (LP), Reversível (R), Irreversível (IR) e Local (LO).

Fonte: Loura (2020).

A supressão da vegetação ciliar foi considerada uma ação impactante de ordem direta e valor negativo, que, conseqüentemente, gera diversos impactos de outras ordens e causa grandes danos ao ambiente degradado, pois seu efeito se propaga por uma área além das imediações do local.

Comparando os mapas de uso e ocupação do solo nos últimos 30 anos com a supressão da vegetação ciliar verificada *in loco*, percebe-se que esse processo aconteceu bem antes mesmo de o processo de urbanização tomar as proporções atuais.

A retirada da vegetação na área auxilia e realça o processo de erosão do solo, e são resultado de ações inadequadas decorrentes da abertura de vias, com intenso tráfego de automóveis e quadriciclos ou para fins de lazer (Figura 5A e 5B). A abertura de trilhas irregulares é outro problema identificado, aumentando a área do solo exposto.

Segundo Figueiredo, Ferreira e Diniz (2015), o impacto da retirada da vegetação ciliar em determinado local pode ultrapassar a área de desmate, com implicações para o clima de uma região, interferindo diretamente na precipitação, umidade do ar e qualidade das águas, além de diminuição da biodiversidade promovida pela alteração no curso natural dos rios e mananciais, alterando-se o fluxo migratório das aves, com ocorrência de fragmentação florestal.

Corroborando, Silva (2012) cita mecanismos de produção de áreas verdes para proteger os espaços naturais, sem afastá-los do complexo urbano, evitando que se tornem áreas sem sentido, isoladas e inacessíveis dentro da cidade, ou seja, a criação de parque linear poderia contribuir para a mudança do ponto de vista da sociedade em relação às condições ambientais, proporcionando condições de conforto e manutenção do meio ambiente com a ampliação das áreas verdes disponíveis no ambiente urbano.

Com relação à edificação irregular em APPs, foi classificada como impacto de valor negativo e ordem direta, ocasionando alterações em caráter local, além de ser uma ação da qual outros impactos são provenientes.

A magnitude dos impactos recebeu valor (7) e frequência (3), sendo considerada alta alteração. Foi atribuído impacto de longo prazo e plástica irreversível, pois as construções não são recentes e dificilmente serão demolidas.

A ocupação urbana leva ao aumento de áreas impermeabilizadas, dificultando a capacidade de infiltração da água no solo, contribuindo, assim, para eventos de inundações. Os impactos sociais decorrentes dessa ocupação em área de APP estão ligados diretamente à ocorrência de inundações das residências, muitas vezes causadas pelas cheias de um rio.

Conforme Araújo Júnior (2016), no seu trabalho sobre o uso do solo e risco de inundação de Boa Vista, Roraima, assinala que a Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, em sua área urbana situada na zona leste e norte da cidade, apresenta áreas de alto e médio riscos de inundação. Sendo assim, caracteriza-se como risco a possibilidade de ocorrência de um evento perigoso sobre determinada área, sendo esse evento resultante das diversas formas de uso e ocupação do solo.

As construções irregulares observadas *in loco* são do tipo residencial, com casas de médio e alto padrão, além de edificações de caráter comercial, erigidas próximas à faixa da praia do Caçari, comprovando o desrespeito não somente às delimitações impostas pela Lei nº 12.651/12 (Código Florestal), mas também à legislação municipal (Plano Diretor) sobre o ordenamento territorial, que preveem a defesa do meio ambiente (BOA VISTA, 2006) (Figura 5C).

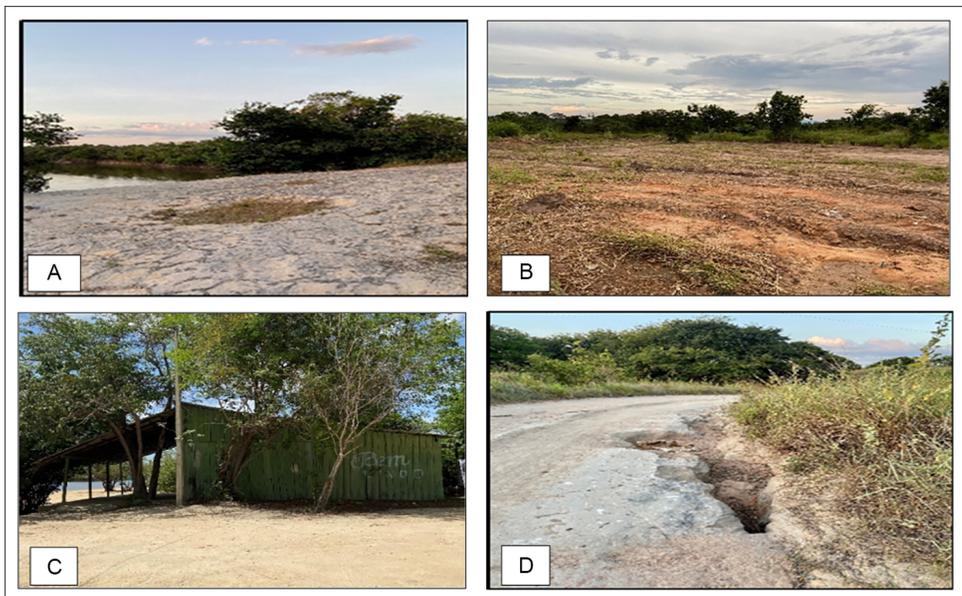


Figura 5 Áreas com supressão vegetal à margem direita do rio Cauamé (A e B); construção em APP na praia do Caçari (C); e erosão na via de acesso à praia (D). *Fonte:* Loura (2020).

Já os processos erosivos encontrados foram do tipo ravinamento, observados em locais próximos às margens do rio (praia do Caçari) e nas vias de acesso à praia com incisões em sulcos (Figura 5D). Estes impactos foram classificados de valor negativo, em caráter local, de ordem indireta, pois estão relacionados diretamente à retirada da vegetação ciliar que, conseqüentemente, dão origem à erosão, favorecendo o assoreamento do rio. Quanto à

magnitude e frequência, recebeu valor (6) e (2), respectivamente, por se considerar de leve alteração quanto à sua paisagem.

Os processos erosivos encontrados foram do tipo ravinamento, observados em locais próximos às margens do rio (praia do Caçari) e nas vias de acesso à praia, com incisões em sulcos (Figura 5D).

No tocante à poluição por resíduos sólidos encontrados na área, o impacto foi classificado como de ordem direta e valor negativo. Sua atuação é local, tendo uma dinâmica permanente. No entanto, as áreas suscetíveis ao impacto podem voltar a condições anteriores à ação, pois os resíduos observados são de pequeno porte (garrafas de vidros, latas de alumínio, sacolas, garrafas pets) e de fácil remoção, sendo assim, o impacto é classificado como de caráter reversível. Quanto à magnitude e frequência, recebeu valor (6) e (2), respectivamente.

No principal espaço de lazer, praia do Caçari, verificou-se apenas uma lixeira, portanto, os resíduos sólidos dos próprios frequentadores do local ficam expostos no solo e muitas vezes acabam sendo carregados para o rio (Figura 6E). Além da praia do Caçari, observou-se presença de lixo, menos frequente, nas proximidades (Figura 6F).

Com relação aos vestígios de fogueiras identificados, foram classificados como um impacto de valor negativo e ordem direta, com dinâmica temporária, médio prazo e plástica reversível, ocasionando alterações em caráter local. A magnitude recebeu valor (6), e a frequência, valor (2), sendo considerados de impacto moderado.

As fogueiras das atividades de lazer e preparação de alimentos (assar carnes e peixes) são feitas aleatoriamente, próximo a raízes de árvores e dos galhos mais baixos, destruindo espécies da flora e descaracterizando o ambiente. Além do impacto visual, as fogueiras podem representar riscos de incêndio na mata ciliar. Por mais inofensivo que possa parecer, o fogo, ao fugir do controle, pode ganhar força e se alastrar rapidamente, atingindo áreas de preservação permanente (APPs) (Figura 6G).

A poluição sonora, verificada *in loco*, foi classificada como impacto de valor negativo e ordem direta, dinâmica temporária, curto prazo e plástica reversível, ocasionando alterações em caráter local. A magnitude recebeu valor (4), e a frequência, valor (2), pois foram classificados como moderados. Esse tipo de poluição é originado principalmente de estabelecimentos comerciais (bares) na praia do Caçari e de sons automotivos, levantando preocupações a respeito dos potenciais impactos da poluição sonora, considerando que a fiscalização nem sempre está presente nos balneários (Figura 6H).



Figura 6 Descarte incorreto de resíduos sólidos na praia do Caçari (E, F), restos de fogueiras na mata ciliar (G) e aparelhagem de som instalada na praia do Caçari (H). *Fonte:* Loura 2020.

As atividades sonoras serão consideradas poluidoras por presunção legal, à medida que se situarem fora dos padrões admitidos em lei, nas resoluções do CONAMA e nas normas técnicas recomendadas. No entanto, apesar de existir legislação específica no município de Boa Vista, poucas pessoas têm conhecimento de seus efeitos. Da mesma forma, a falta de fiscalização de órgãos públicos e de projetos de sensibilização ambiental agrava ainda mais a questão.

Atualmente, o que se percebe na foz do rio Cauamé corrobora com o mencionado por Oliveira e Carvalho (2014). Para esses autores, vários impactos ambientais nesse rio tomaram proporções consideráveis nas últimas décadas, tornando-se cada vez mais visíveis em virtude da presença de resíduos sólidos, desmatamento da vegetação nativa, retirada da vegetação ciliar, invasão, ocupação irregular de áreas de preservação permanente e compactação do solo. Desse modo, atualmente, pode-se observar que as ações antrópicas estão causando algum impacto em diferentes níveis, gerando alterações com graus diversos de agressão.

Considerações Finais

A partir da análise multitemporal de uso e ocupação do solo em um trecho do baixo rio Cauamé, constataram-se algumas contribuições para auxiliar na conservação e manutenção da área de estudo e de alerta para o município, tornando-se um importante documento atualizado.

A principal alteração, ao longo dos trinta anos, foi quanto à redução da savana parque, que mais cedeu áreas para a urbanização. Certamente, o equilíbrio entre ocupação urbana e natureza ainda demanda um longo caminho.

Nota-se a relevância da implementação de um Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Cauamé, abrangendo toda a bacia, ou ao menos o compartimento de maior vulnerabilidade, pois qualquer ação, seja de educação ambiental, sensibilização ecológica ou recuperação de áreas degradadas, dependerá da interação e mobilização dos setores da sociedade organizada, unindo esforços para conseguir o manejo sustentável dos recursos hídricos.

No cenário atual dos impactos antrópicos, percebe-se que a ocupação urbana foi diretamente responsável pelas alterações sofridas na área. Dentre os impactos negativos descritos destacaram-se a supressão vegetal, edificação irregular na faixa de APP de 100 m e deposição inadequada de resíduos sólidos. Somente a recuperação dos danos ambientais, o controle das origens dos impactos no ambiente e um sistema de gestão consciente podem permitir que se chegue próximo da sustentabilidade ambiental local. Desse modo, as propostas de medidas mitigadoras elencadas na matriz de impactos devem ser avaliadas por gestores locais, em conjunto com a população, podendo ser reformuladas de acordo as necessidades pertinentes.

Conclui-se que é necessário fortalecer a criação de um sistema de concordância entre os interesses institucionais e privados que competem e participam ativamente no ponto de encontro entre os rios e a cidade, justificando-se, especialmente, pela grande abundância de recursos hídricos de que dispõe o Estado de Roraima e que ainda se encontram negligenciados pelos que o estão gerindo.

O rio Cauamé, em seu trecho urbano, deve ser visto não apenas como um espaço para o desenvolvimento das atividades de lazer e expansão urbanística, mas para ações de conservação e melhoria da qualidade ambiental do rio que almejamos para o futuro. As áreas turísticas e recreativas do rio se encontram em situação preocupante, não existindo, atualmente, harmonia entre o desenvolvimento das atividades turísticas e as características ecológicas presentes.

Referências

- AMORIM, J. E. L. de. **Análise ambiental integrada e os impactos decorrentes do uso e ocupação na microbacia do Igarapé Água Boa do Bom Intento, Boa Vista-RR**. 2019. 193 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/45603>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R. **Uso do solo e risco à inundação na cidade de Boa Vista-RR**. 140 f. 2016 Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufrb.br:8080/jspui/handle/prefix/124>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- ARAÚJO, J. Z; VITAL, S. R. O. Análise do uso e ocupação do solo como suporte ao mapeamento dos riscos geomorfológicos do município de Caicó (RN). **Revista de Geografia**, Recife, v. 37, n. 1, p.68 -84, 2020.
- BARBOSA, R. I. Distribuição de chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R.I., FERREIRA, E.J.G., CASTELLON, E.G. (eds.). **Homem, ambiente e ecologia em Roraima**. INPA, Manaus. p.325-335, 1997. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228118057_Distribuicao_das_chuvas_em_Roraima. Acesso em: 15 ago. 2020.
- BARBOSA, R. I.; MIRANDA, I. Fitofisionomias e diversidade vegetal das savanas de Roraima. In: BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A.; COSTA e SOUZA, J. M. **Savanas de Roraima: Etnoecologia, biodiversidade e potencialidades agrossilvipastoris**. Boa Vista: FEMACT, p. 61 -78, 2005. Disponível em: <http://agroeco.inpa.gov.br>. Acesso em: 20 de ago. 2020.
- BATISTA, A. N. **Políticas públicas e produção do espaço urbano de Boa Vista – Roraima (1988-2011)**. 2013. 167f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Boa Vista, 2013. Disponível em: <http://www.bdt.d.ufrr.br/tdebusca/arquivo.php?codArquivo=235>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- BOA VISTA. Lei nº 924, de 28 de novembro de 2006. **Dispõe sobre o plano diretor estratégico e participativo de Boa Vista e dá outras providências**. Diário Oficial do Município de Boa Vista, RR, 30 out. 2006a. Disponível em: https://www.boavista.rr.gov.br/site/arq/boavista_legislacao_06022014123941.pdf. Acesso em: 07 abr. 2020.
- _____. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da União (retificado), Brasília - DF, 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2020.
- CHAVES, J. I; PINTO FILHO, J. L. D. O. Ordenamento territorial no semiárido brasileiro: análise do uso e ocupação da sub-bacia hidrográfica do Riacho Encanto/RN. **REVISTA EQUADOR**, v. 9, n. 4, p. 253-274, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/11894/7028>. Acesso em: 18 set. 2020.
- FIGUEIREDO, T. D.; FERREIRA, E. G.; DINIZ, C. E. Avaliação do nível de degradação ambiental por processos erosivos na comunidade de Utinga – Santa Rita PB. **Revista Ambiental**, João Pessoa, v. 2, n. 1, p.76-85, dez. 2015.
- FLAUZINO, F. S. *et al.* Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no cerrado mineiro. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 1, p. 75-91, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3213/321327197006.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2019.

IBAM. Instituto Brasileiro de Administração Municipal - PRODUTO 7 - **Diagnóstico Municipal Integrado de Boa Vista (Relatório)**, 217-259p. 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.

IGNÁCIO, R. P. *et al.* Identificação das Áreas de Preservação Permanente de cursos d'água da cidade de Boa Vista (RR) e aspectos da legislação ambiental. **Revista Hipótese**, Itapetinga, v. 3, n. 1, p. 82-102, 2017. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B4VVtZy9vhzvV09zOEJBbF9PbUk/view>. Acesso em: 20 ago. 2020.

JOIA, P. R.; ANUNCIACÃO, V. S. D.; PAIXÃO, A. A. D. Implicações do uso e ocupação do solo para o planejamento e gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Aquidauana, Mato Grosso do Sul. **Interações**, Campo Grande, v. 19, n. 2, p.343-358, abr./jun. 2018.

LOPES, S. M. F. *et al.* Avaliação espaço-temporal do uso da terra nas Bacias Hidrográficas do Ribeirão Paraíso - GO e Córrego Cerrado/Cadunga - MG. **Geoambiente On-Line**. Jataí - GO, n. 27, p. 114-133, jul - dez/2016. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/44758/22319>. Acesso em: 10 set. 2019.

LOURA, Á. P. **Ocupação urbana e usos do solo em um trecho do baixo Rio Cauamé - Zona Leste de Boa Vista, RR**. 2020. 133 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos), Universidade Federal de Roraima. Boa Vista/RR, 2020.

OLIVEIRA, J. S; CARVALHO, T. M Vulnerabilidade aos impactos ambientais da Bacia Hidrográfica do rio Cauamé em decorrência da expansão urbana e uso para lazer em suas praias. **Revista Geográfica Acadêmica** v.8, n.1, p. 61-80, 2014. Disponível em: <https://revista.ufrb.br/index.php/rga/article/view/2984> Acesso em: 05 abr. 2020.

REIS NETO, R. A. **Geomorfologia e neotectônica da bacia do Rio Cauamé**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Roraima - UFRR. 2007. Disponível em: <http://localhost:8080/handle/prefix/294>. Acesso em: 15 ago. 2020.

_____. Estudo geográfico da expansão urbana da cidade de Boa Vista - RR: impactos causados aos lagos do setor oeste e sudoeste, Maringá, PR: **UNIEDUSUL**, 2020.

REIS NETO, R. A; COSTA, J. A. V. Mapeamento de unidades geomorfológicas da Bacia do Rio Cauamé – RR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.11, n.2, p.3-10, 2010. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/147/141>. Acesso em: 15 set. 2020.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 583 p.

SILVA, M. V. **As áreas de preservação permanente urbanas: usos sustentáveis e usos alternativos na lei n. 12.651/2012**. 2012. *In*: Direito ambiental II [Recurso eletrônico on-line] / organização CONPED/UFG; coordenadores: Maria Lirida Calou de Araújo e Mendonça, Alexandre Coutinho Paliarei, Sandro Marcelo Kozikoski. – Florianópolis: FUNJAB, 2012. Disponível em: www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=080c993fb3b58e26. Acesso em: 31 jul. 2020.

SILVA, T. G. N. *et al.* Diagnóstico ambiental de uma área de proteção permanente (APP), Formoso do Araguaia - TO. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 2, p. 1-10, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v16i2.4619>. Acesso em: 15 ago. 2020.

Qualidade e Usos da Água na Bacia do Rio Cauamé, no Estado de Roraima

Amanda Soares Cardoso
Marcos José Salgado Vital
Adriano Frutuoso da Silva

Introdução

O Estado de Roraima localiza-se no extremo norte do país. Sua extensão territorial é de 224.299 km² e conta com uma importante rede hidrográfica que corta seu território. Como principal corpo hídrico, o rio Branco percorre o estado de norte a sul, sendo subdividido em três trechos: alto, médio e baixo rio Branco. O rio Cauamé é um importante afluente da margem direita do alto rio Branco, com uma extensão de 3.159 km² (BARROS, 1995), e vem sofrendo uma crescente pressão com a expansão das áreas urbanas e implantação de uma gama diversificada de atividades de uso e ocupação do solo ao longo da sua bacia. Sabe-se que a diminuição na quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas é resultado da poluição e da má gestão dos recursos de água e solo (MUSTAPHA et al., 2012).

A Política Estadual de Recursos Hídricos de Roraima foi instituída pela Lei nº 547, em 23 junho de 2006, mas ainda há entraves em sua regulamentação. Apesar da mesma ter sido promulgada há mais de dez anos, vários de seus instrumentos de gestão ainda não foram regulamentados, tais como a cobrança, a compensação aos municípios e o enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes (RORAIMA, 2006). Acrescido a essas lacunas legais, vislumbramos um cenário em que há carência de estudos básicos voltados a conhecer a disponibilidade e qualidade da água e, em contrapartida, a crescente demanda hídrica em diversos setores e o comprometimento da qualidade das águas utilizadas.

O termo "qualidade da água" extrapola um estado de pureza; consiste nas características físicas, químicas e biológicas que, em conjunto, são utilizadas para estipular diversos usos possíveis para a água (MERTEN; MINELLA, 2002). As influências antrópicas sobre a qualidade da água estão fortemente associ-

adas ao crescimento da urbanização, da expansão das atividades agropecuárias e industriais. Desse modo, existe a necessidade de enquadrar os recursos hídricos em diferentes classes de qualidade, já que se designam a usos múltiplos (SÁ; CAMPOS, 2003).

O intuito de se enquadrar um corpo hídrico em classes é estabelecer uma meta de qualidade da água (classe) a ser alcançada ou mantida, ao longo do tempo, de acordo com os usos preponderantes atuais ou pretendidos, tendo por base a qualidade que o corpo hídrico deve possuir para atender aos usos mais restritivos. Além disso, é possível diminuir os custos com o controle da poluição, uma vez que o efluente despejado no corpo hídrico não pode alterar a classe já estabelecida ao trecho, e estabelecer prioridades no manejo dos corpos hídricos, na concessão das outorgas e no lançamento dos efluentes (RORAIMA, 2006).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade e usos das águas superficiais na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, em Roraima, utilizando parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, e, então, classificar os trechos amostrados do corpo hídrico de acordo com os requisitos da Resolução CONAMA nº 357/2005, estabelecendo relações entre os usos preponderantes da terra na bacia hidrográfica e a qualidade da água.

Desse modo, um levantamento de dados acerca da qualidade atual dos recursos na bacia do rio Cauamé e da contribuição dos diferentes usos do solo nessa qualidade é de extrema importância para a gestão desse corpo hídrico. Com tais resultados, será possível elaborar um mapa de situação em relação à qualidade da água nos trechos analisados, que irá subsidiar o órgão gestor nas tomadas de decisões, tornando mais específicas e direcionadas as medidas adotadas quanto à emissão das outorgas para captação e emissão de efluentes, ações de educação ambiental, de monitoramento da qualidade da água, dentre outras, assim como subsidiar novas pesquisas sobre o tema.

Materiais e Métodos

A pesquisa consistiu na caracterização da bacia do rio Cauamé quanto à qualidade da água, o enquadramento do corpo hídrico, além da análise de correlação entre os parâmetros de qualidade da água encontrados com os usos preponderantes da terra e precipitação média.

As etapas da pesquisa seguiram o esquema abaixo (Figura 1), sendo o detalhamento de cada etapa descrito nos itens seguintes.

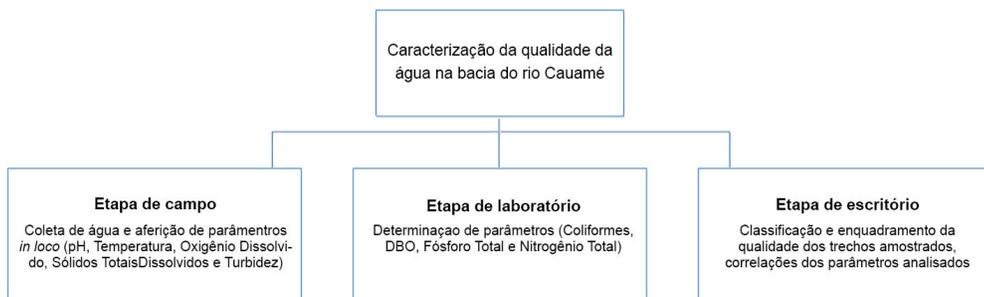


Figura 1 Esquema detalhado das etapas da metodologia aplicada. *Fonte:* Os autores.

Caracterização da Área Estudada

A bacia hidrográfica do rio Cauamé está situada na porção norte do Estado de Roraima. Possui uma área de drenagem de 3.159 km², representando cerca de 1,4% da área do estado. O rio Cauamé é um afluente da margem direita do rio Branco, sendo que este drena a capital do estado, Boa Vista, e a cidade de Alto Alegre nos seus perímetros urbanos e rurais (OLIVEIRA; CARVALHO, 2014). A bacia sofreu intensa colonização no período de formação do estado e atualmente ainda sofre pressão no espaço urbano, com o crescimento da cidade de Boa Vista no seu extremo sudeste, e na zona rural, com a implantação de projetos agrícolas no município de Boa Vista e com o uso intenso de locais de lazer popularmente conhecidos como “banhos” (NETO; COSTA, 2010).

Para analisar a qualidade da água na bacia do rio Cauamé, foram selecionados 12 pontos amostrais dentro dos limites da bacia, considerando os usos preponderantes da terra (Figura 2). A definição dos pontos foi realizada após a caracterização dos usos do solo determinados por levantamento das licenças de uso e ocupação emitidas pelo órgão estadual ambiental competente (Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – FEMARH), visitas às áreas e aplicação de ferramentas de geoprocessamento.

Dentre as atividades desenvolvidas na bacia, selecionamos como preponderantes os seguintes usos: recreação (pontos 1 e 2 – rio Cauamé), agricultura (pontos 3 e 4 – igarapé Curupira), bovinocultura (pontos 5 e 6 – igarapé Carrapato), piscicultura (pontos 8 e 9 – igarapé Murupu) e áreas com mata ciliar preservadas (pontos 7 e 10 – igarapé Murupu), além de pontos amostrais próximos à nascente (ponto 11) e foz do rio (ponto 12) (Figura 2). As coletas ocorreram a montante e a jusante de cada área de uso.

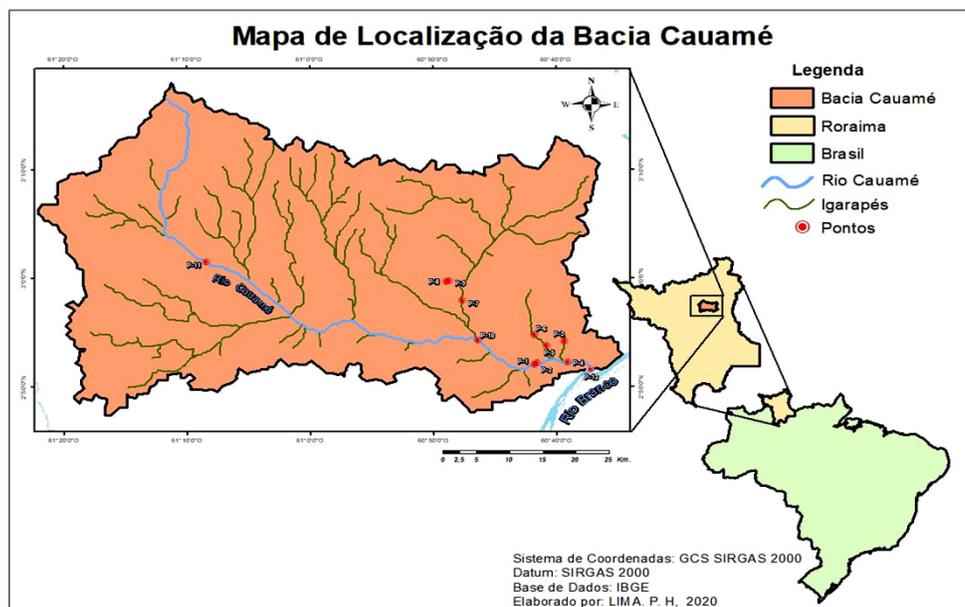


Figura 2 Bacia do rio Cauamé, RR, com a localização dos pontos de coleta de amostras de água. *Fonte:* Cardoso (2020).

Caracterização da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cauamé

Para a caracterização da qualidade da água foram realizadas seis campanhas de coletas entre os meses de outubro de 2019 e setembro de 2020. Foram aferidas *in loco*, utilizando um medidor multiparâmetros (*Hanna HI 9828*), as variáveis: oxigênio dissolvido, temperatura, sólidos totais dissolvidos e pH; a turbidez foi aferida com um turbidímetro portátil (*Hanna HI93703*), todos previamente calibrados.

Amostras foram coletadas na superfície da coluna d'água, acondicionadas em recipientes previamente esterilizados, seguindo a norma NBR 9898 (ABNT, 1987). Após a coleta, os fracos foram vedados, identificados, resfriados e encaminhados ao Laboratório de Microbiologia CBio, da Universidade Federal de Roraima, para a análise de coliformes.

Análise dos parâmetros biológicos

Nesta etapa foi utilizada a fermentação em tubos múltiplos, atrelada à tabela de Hoskins, que fornece a densidade das bactérias – número mais pro-

vel – expressa em NMP/100 ml, com confirmação para *E. coli*, conforme orientação constante em APHA (2017). Essa técnica divide-se em cinco etapas:

1. Diluição das amostras

Por se tratar de amostras de água bruta (sem qualquer tratamento), fez-se necessária a diluição em série das amostras até uma concentração de 10^{-3} em solução salina (SS – 0,85%). A diluição inicial foi com 1 ml da amostra em 9 ml de SS, obtendo-se, então, uma concentração de 10^{-1} . As concentrações seguintes, 10^{-2} e 10^{-3} , foram obtidas em diluições subseqüentes nas mesmas condições (Figura 3A).

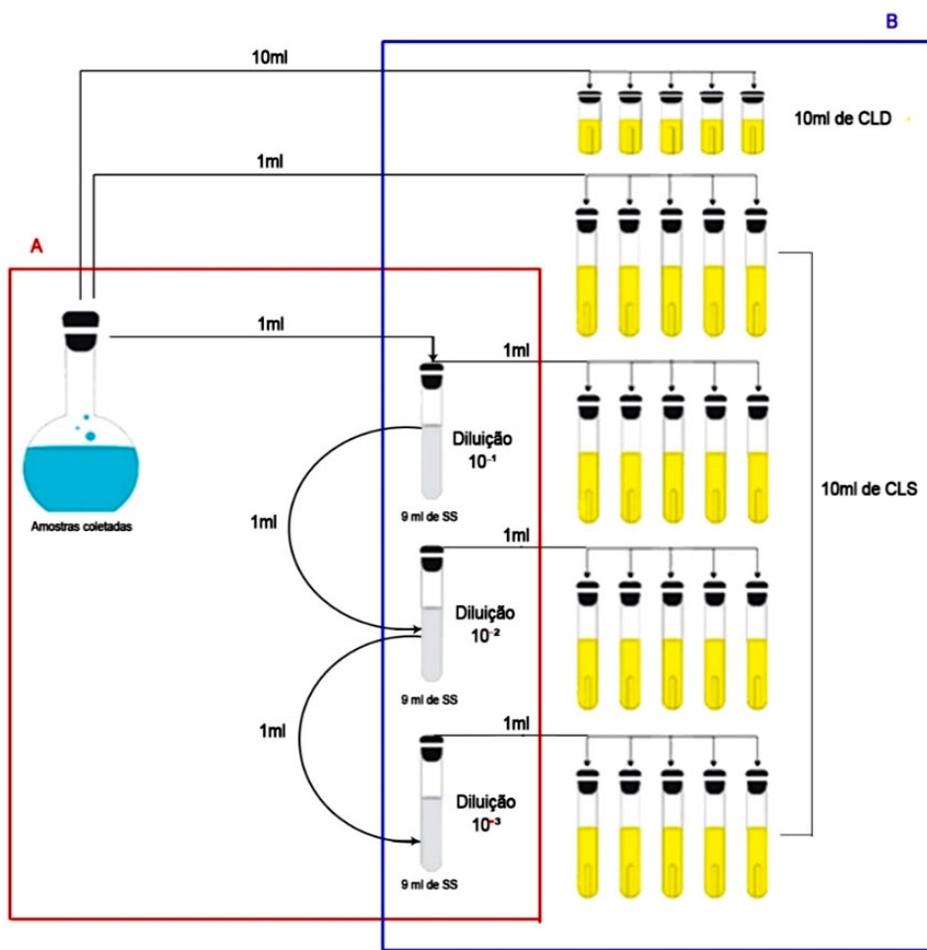


Figura 3 Esquema de diluição das amostras de água em solução salina e inoculação no caldo lactosado. Fonte: Os autores.

2. Teste presuntivo para coliformes

Para o teste presuntivo para bactérias do grupo coliformes, foram separados 25 tubos de ensaios contendo um tubo de Durhan invertido, distribuídos em cinco grupos de cinco tubos. No primeiro grupo contendo caldo lactosado (marca Acumedia) em concentração dupla (CLD), foram inoculados 10 ml da água bruta coletada. No segundo grupo, com caldo lactosado em concentração simples (CLS), foi inoculado 1 ml diretamente da amostra bruta. Nos demais grupos de tubos com CLS, foi feita a diluição seriada com 1 ml nas diluições 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} , respectivamente (Figura 3B).

Posteriormente, esses tubos foram incubados em estufa a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 48 horas, com leituras de 24h e 48h. Nos casos em que foi observada a formação de gás dentro do tubo de Durhan, indicando a fermentação do meio de cultura, o teste foi considerado positivo para coliformes e, a partir desses tubos, foi realizado o teste confirmativo para coliformes totais.

3. Teste confirmativo para coliformes totais

No teste confirmativo para coliformes totais, separaram-se os tubos positivos do teste presuntivo em cada diluição e transferiu-se 1 ml de seu conteúdo para tubos de igual número, contendo caldo verde brilhante – CVB (marca Kasvi). Posteriormente, esses tubos foram incubados em estufa durante 48h a $35^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Ao final, os tubos que apresentaram formação de gás foram considerados positivos para coliformes totais e seguiram para o teste confirmativo de coliformes termotolerantes.

4. Teste confirmativo para coliformes termotolerantes

Os tubos positivos no teste anterior foram separados e 1 ml de cada tubo foi então transferido para tubos contendo caldo A1 (marca Himedia) para o teste confirmativo de coliformes termotolerantes. Após a inoculação e identificação dos tubos, os mesmos foram incubados em banho-maria durante 24h a $45^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Os tubos que apresentaram formação de gás dentro dos tubos de Durhan foram considerados positivos para coliformes termotolerantes e seguiram, então, para o teste confirmativo para *E. coli*.

5. Teste confirmativo para *E. coli*

Por fim, para determinar a presença ou não de *E. coli*, transferiu-se 1 ml dos tubos positivos para coliformes termotolerantes para tubos contendo 5 ml do meio Rapid HiColiform Ágar-RHA (marca Himedia) solidificado de forma inclinada, os quais foram incubados em estufa durante 24h a $35^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Posteriormente, os tubos que apresentaram o crescimento de colônias na coloração verde foram expostos à luz UV 264-365 nm, e os tubos que apresentaram fluorescência foram considerados positivos para o teste, indicando a presença de *E. coli*. Com o auxílio da Tabela de Hoskins, foi determinada a densidade de bactérias em cada teste, expressando o Número Mais Provável (NMP/100 ml).

Análise dos Dados

Os dados gerados em campo e nas análises de laboratório foram organizados em matrizes de dados categóricos e contínuos para posterior análise. Em seguida foi realizada a estatística descritiva (média, mediana, mínimo, máximo e desvio-padrão) para obter o perfil das variáveis.

Utilizando o software Bioestat versão 5.0, foram realizadas comparações múltiplas entre os diferentes parâmetros de qualidade da água analisados quanto ao fator sazonal e espacial. Para avaliar a normalidade da distribuição das variáveis, utilizou-se o teste Shapiro-Wilk, com nível de significância de $\alpha < 0,05$. Para os dados não-paramétricos, utilizou-se o teste Kruskal-Wallis a fim de determinar a variância, com nível de significância de $\alpha < 0,05$. Nos resultados que obtiveram p-valor significativo, foi realizado o teste de Duun para comparação das médias.

Os resultados também foram comparados com os padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005), para então determinar a classe do corpo hídrico.

Resultado e Discussão

Após as coletas e determinação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, foi possível avaliar a qualidade da água dos corpos hídricos analisados na bacia do rio Cauamé e montar o mapa da situação da qualidade nos pontos amostrados, conforme resultados a seguir.

Análise da Qualidade da Água

O levantamento da série histórica deu-se a partir de dados disponibilizados na plataforma HIDROWEB – Sistema de Informações Hidrológicas, disponibilizada pela Agência Nacional de Água (ANA). Pelo sistema buscaram-se estações que estivessem localizadas na bacia do rio Cauamé e que dispusessem dos dados da precipitação no período da pesquisa. Nesse sentido, a única

encontrada foi a estação fluviométrica Fazenda Recreio, código 14235200 (N 02°51'51.12" e W 60°45'06.12"), localizada na zona rural do município de Boa Vista, RR.

De posse dos dados, considerando a precipitação acumulada em cada mês e o nível médio do corpo hídrico, notamos que o período chuvoso teve início no mês de maio, com 269,8 mm acumulados, e o volume foi crescente nos meses seguintes, em que o mês de julho obteve a maior precipitação acumulada (374,2 mm) e no mês de agosto houve diminuição no volume de chuvas, sendo considerado o final do período chuvoso. Classificamos os demais meses como período seco/estiagem, em que, no mês de março, a estação meteorológica não registrou precipitação (0 mm) (Figura 4).

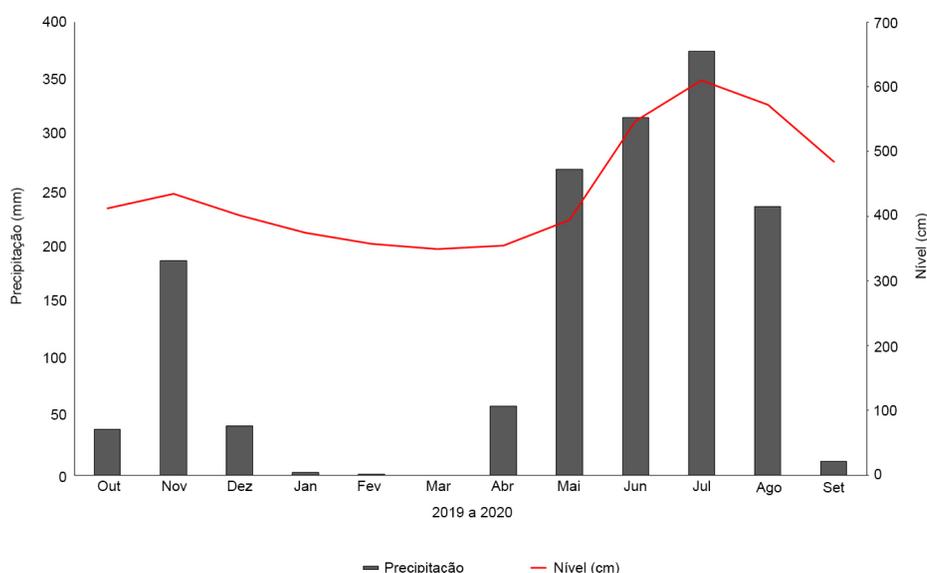


Figura 4 Precipitação mensal e nível médio aferidos pela Estação Fluviométrica Fazenda Recreio, em Roraima (código 14235200), no período de outubro de 2019 a setembro de 2020. Fonte: Os autores.

Análise físico-química da água

A Figura 5A apresenta a variação da concentração do oxigênio dissolvido no período seco e chuvoso. No período seco, a mediana foi de 4,27 mgO₂/l, com concentrações variando de 0,61 mgO₂/l a 11,54 mgO₂/l, e no período chuvoso apresentou mediana de 7,71 mgO₂/l, com valor mínimo de 2,65 mgO₂/l e máximo de 16,70 mgO₂/l. O teste de Kruskal-Wallis inferiu que houve

diferença estatística significativa entre os dois períodos ($H = 24,2047$ e $p < 0,0001$). A mediana encontrada nos meses de estiagem foi inferior à concentração mínima determinada pela Resolução CONAMA nº 357/05 para rios de classe 2 (5 mg/l), e o período chuvoso apresentou valores mais elevados e maior dispersão dos dados quando comparado com o período seco. Quanto aos pontos amostrados, as concentrações médias de OD se enquadraram nas classes 1, 3 e 4, sendo a última no ponto 6.

Nota-se que o ponto amostral que apresentou maior média na concentração de OD foi o ponto 11 (Figura 5B), localizado no rio Cauamé, na zona rural de Alto Alegre, onde chegou a apresentar 11,53 mg/l de OD no período chuvoso. Em geral, os pontos que apresentaram as maiores concentrações de OD (pontos 2, 7, 10, 11 e 12) são ambientes lóticos com maior vazão de água, o que proporciona o mecanismo de aeração e elevação dos valores de OD. Fato semelhante foi observado no rio Almada, onde os pontos com maiores índices de OD eram os que apresentavam maior fluxo de água (SOUZA et al., 2014). Já o ponto com menor média foi o que fica a montante das áreas de bovinocultura, onde chegou a apresentar a concentração de 0,61 mg/l de OD, resultado que pode ser motivado pela construção de uma estrada e ponte a montante no igarapé coletado. Quanto à distribuição espacial, a concentração de oxigênio dissolvido entre os locais amostrados não apresentou uma diferença significativa ($H = 10,5991$ e $p = 0,4774$).

A Figura 5C apresenta a variação da concentração da matéria orgânica em termos de DBO nos períodos seco e chuvoso. Para o período seco, a mediana foi de 3,5 mgO₂/l, com concentrações variando de 2 mgO₂/l a 9 mgO₂/l, e no período chuvoso apresentou mediana de 9,5 mgO₂/l, com valores mínimo de 6 mgO₂/l e máximo de 24 mgO₂/l. O teste Kruskal-Wallis inferiu que houve diferença estatística significativa na DBO entre os dois períodos ($H = 16,37$ e $p < 0,0001$). Medeiros, Silva e Lins (2018) observaram a mesma diferença na DBO entre os períodos analisados, com maiores valores no período chuvoso, fato justificado pela poluição difusa com a lixiviação ocasionada pelas chuvas e falta de sistemas de saneamento.

Nota-se que a mediana encontrada nos meses de estiagem foi inferior à concentração máxima determinada pela Resolução CONAMA nº 357/05 para rios de classe 2 (5 mgO₂/l), mas na época chuvosa a média foi superior, levando as águas à condição de classe 3 (até 10 mg/l) nesse período. Já as médias individuais obtidas para DBO nos pontos amostrados foram superiores ao limite estabelecido para classe 2 (Figura 5D), onde todos os pontos, com exceção do

11, se enquadraram na classe 3, com usos menos nobres. Ao utilizar a DBO como um dos parâmetros para a classificação dos corpos hídricos, o órgão responsável pode alterar os limites máximos das classes, desde que os estudos de autodepuração demonstrem que os corpos receptores apresentam ao menos as concentrações mínimas de OD.

Entre os locais monitorados, o que apresentou a menor média de DBO (ponto 7) se localiza numa área com trecho de mata ciliar ainda densa e de difícil acesso, o que deve auxiliar na menor interferência antrópica na qualidade da água. Já o ponto com maior DBO foi o 6, ponto que apresentou a menor concentração de OD, circunstância que pode ser justificada pela entrada de fontes pontuais de efluentes poluentes que, em função de sua alta carga orgânica, consomem o oxigênio disponível, como em esgotos domésticos. Quanto à distribuição espacial, a DBO não apresentou diferença significativa ($H = 5,8083$ e $p = 0,8858$) entre os locais monitorados.

A concentração de nitrogênio total apresentou maiores valores no período chuvoso, com mediana de 0,84 mg/l, enquanto no período seco foi de 0,13 mg/l (Figura 5E). Essa diferença na concentração nos períodos seco e chuvoso foi estatisticamente significativa ($H = 4,0603$ e $p = 0,0439$). Ao se estimarem os valores médios entre os pontos monitorados, não houve diferença estatística significativa ($H = 1,963$ e $p = 0,9986$). Observa-se que os pontos que apresentam maiores concentrações foram os do curso principal do rio Cauamé (Figura 5F).

As medianas encontradas nos dois períodos foram inferiores a 2,18 mg/l para ambientes lóticos, valor definido na Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 1 e 2 quando nitrogênio for um fator limitante. O mesmo ocorreu nos pontos monitorados, onde todos obtiveram médias de concentração inferiores às definidas pela resolução para rios de classe 1 e 2, estando os corpos d'água amostrados em conformidade com a dita legislação. No entanto, no período chuvoso, duas coletas apresentaram concentrações superiores às estabelecidas pela resolução, sendo elas no ponto 01 e 11.

Com relação aos resultados observados em períodos sazonais distintos, o fósforo total expressou medianas de 0,1 mg/l e 0,61 mg/l nos períodos seco e chuvoso, respectivamente (Figura 5G). Apesar de o intervalo interquartil no período chuvoso apresentar maior variação em relação ao período seco, esse parâmetro não mostrou diferença estatística significativa entre os dois períodos ($H = 0,6495$ e $p = 0,4203$). No período seco, a mediana para concentração de fósforo total ficou no limite exigido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para

águas de classe 2, de 0,1 mg/l, já no período chuvoso a média ficou muito acima do estabelecido. Considerando que as maiores concentrações de DBO, fósforo e nitrogênio total coincidiram com o período chuvoso, possivelmente suas origens podem ser a lixiviação do solo pelas águas das chuvas (fonte difusa).

Na Figura 5H observa-se que todos os pontos amostrais apresentaram média de concentração de fósforo acima da estabelecida pela resolução para ambientes lóticos, onde o ponto com a menor média foi o 4, com 0,26 mg/l, e a maior no ponto 11, com 0,84 mg/l, havendo uma diferença significativa entre eles ($H = 19,849$ e $p < 0,0001$).

Dentre os locais de coleta, o único que se enquadra como ambiente lântico é o ponto 9 (barragem de criação de peixes), em que o limite para a concentração de fósforo também foi superior ao permitido (0,03 mg/l). Tais valores encontrados levam a classificar todos os pontos amostrados como de classe 4, em que o uso permitido é somente a navegação e harmonia paisagística. Segundo o art. 10 da Resolução nº 357/05, os valores máximos admissíveis de fosforo, nas condições de vazão de referência, poderão ser alterados quando estudos ambientais específicos, que considerem a origem natural e a poluição difusa, comprovem que esses novos limites não acarretarão prejuízos para os usos previstos no enquadramento.

Segundo Vale Junior (2003), os solos predominantes na bacia do igarapé Carrapato (pontos 5 e 6) são bastantes ácidos e têm baixa fertilidade, com baixos teores de fósforo. No entanto, os dois pontos apresentaram altas concentrações de fósforo total, provavelmente decorrentes da adubação química nas práticas agropecuárias. A coleta com a maior concentração do fósforo, no ponto 11, foi obtida no mês com maior precipitação (1,62 mg/l), voltando a diminuir na coleta seguinte, em que a precipitação acumulada foi menor (0,82 mg/l).

O pH (Figura 6A) apresentou seus maiores valores (águas mais alcalinas) no período de estiagem, em que se obteve mediana de 6,06, e 8,50 e 5,26 de valores máximo e mínimo, respectivamente. Tal mediana do pH permitiu que as águas nesse período se enquadrassem na faixa (de 6 a 9) estabelecida pela Resolução CONAMA para águas doces, o que não aconteceu no período chuvoso, quando a mediana ficou abaixo do permitido, com água com teor pH ácido. A análise estatística demonstrou diferença significativa de pH entre os períodos avaliados ($H = 8,1472$ e $p = 0,0043$). No período com maior precipitação, as águas podem ser mais ácidas devido ao aumento do teor de ácidos orgânicos dissolvidos carregados para o corpo hídrico (DAMASCENO et al., 2015).

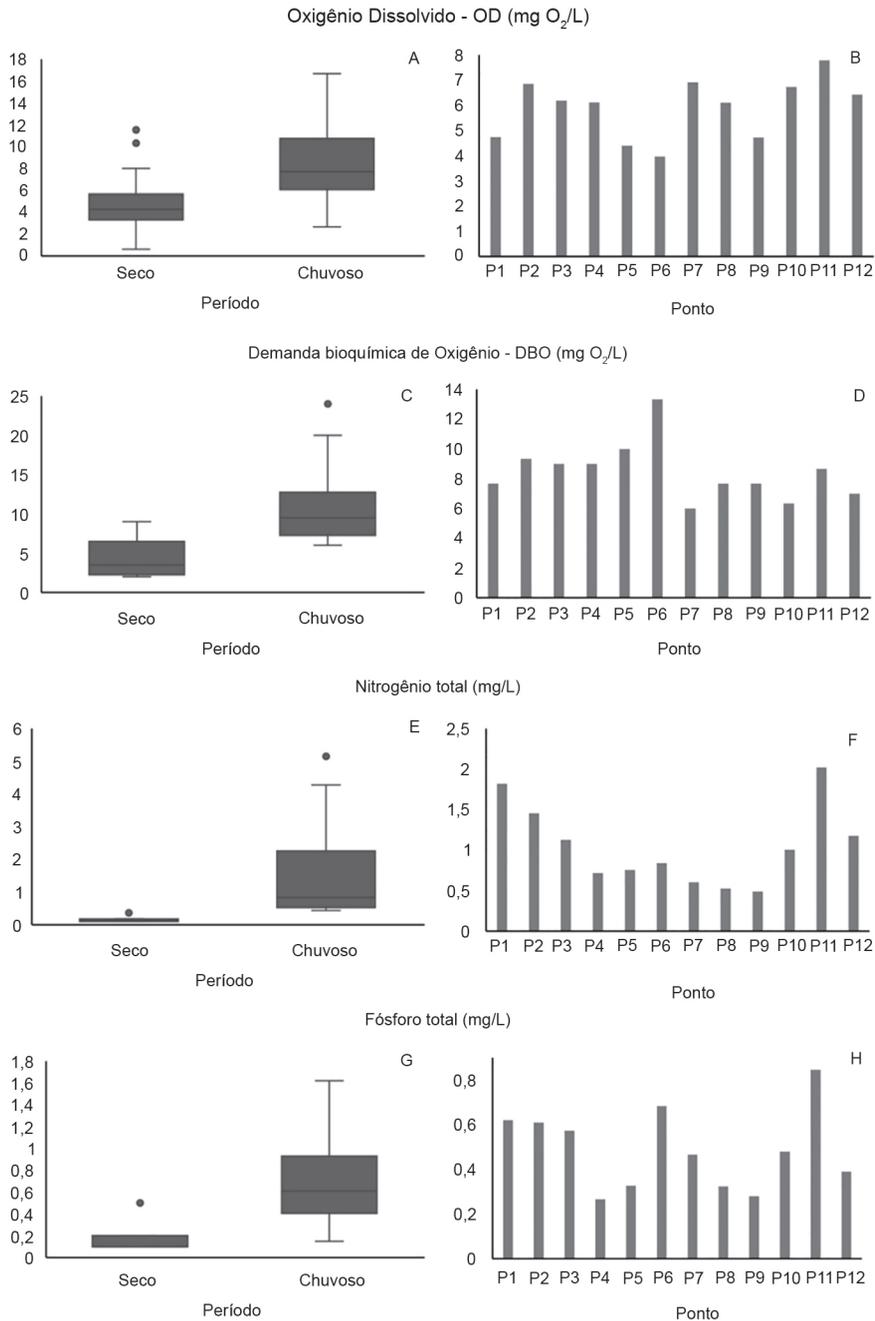


Figura 5 Variação sazonal e espacial dos parâmetros oxigênio dissolvido, DBO, nitrogênio total e fósforo total nos locais amostrados na bacia do rio Cauamé, RR. *Fonte:* Os autores.

Todos os pontos monitorados apresentaram o valor médio de pH inferior a 7 (água com teor ácido) e ao menos uma medida inferior ao valor mínimo estabelecido para pH em águas doces em alguma das coletas. É comum pH mais baixo (ácido) nas águas amazônicas, especialmente para as águas pretas e eventualmente para as águas claras (SIQUEIRA; APRILE; MIGUEIS, 2012), em consequência da decomposição da matéria orgânica, além da formação geológica (AMORIM et al., 2017).

Apenas a média geral de pH dos pontos 1, 2, 7, 10 e 12 ficou dentro da faixa descrita na legislação ambiental, com pH entre 6 e 9, havendo diferença significativa dos demais pontos ($H = 28,843$ e $p = 0,0024$ – Figura 6B). Todos esses pontos acima citados localizam-se no curso principal do rio Cauamé, classificado pela CPRM (2002), segundo Sioli (1968), como um rio de água branca, em decorrência de intensos processos erosivos nas regiões andinas e pré-andinas, com alta concentração de eletrólitos e pH próximo de 7. Fato semelhante foi observado por Sant’ana, Vital e Silva (2019), em que os pontos amostrados no curso principal do rio Cauamé apresentaram valores de pH tendendo ao neutro.

Os demais pontos amostrados estão localizados em igarapés, ou em suas derivações (pontos 8 e 9), que, segundo a CPRM (2002), podem possuir águas claras, assemelhando-se a igarapés de águas pretas, porém menos ácidas que os mesmos, como nos pontos amostrados. Arelada às condições geológicas, a entrada de matéria orgânica pode ser proveniente da contaminação dos corpos hídricos pela entrada de material orgânico.

A região onde se localizam os pontos 3 a 6, apesar de estarem na zona urbana de Boa Vista, não conta com sistema de saneamento básico nas propriedades, que utilizam sistemas de fossas. Fossas ou tanque sépticos podem contribuir para a acidificação da água, com a entrada/lixiviação de compostos orgânicos (GROTT et al., 2018).

Dentre os pontos nos igarapés, os pontos 8 e 9 apresentaram as maiores médias: 5,83 e 5,95, respectivamente. Tais pontos sofrem influência direta da prática piscícola, atividade que exige controle cuidadoso do pH para garantir o desenvolvimento dos peixes, sendo a faixa entre 7,0 e 8,3 considerada como ótima. Para trabalharem dentro dessa faixa, os produtores realizam a calagem dos tanques, que eleva o pH da água e do solo, e eleva também a alcalinidade total e a dureza total da água (SALARO, 2011). Essa prática pode ser a explicação para o fato de os teores de pH estarem acima dos demais pontos com as mesmas características.

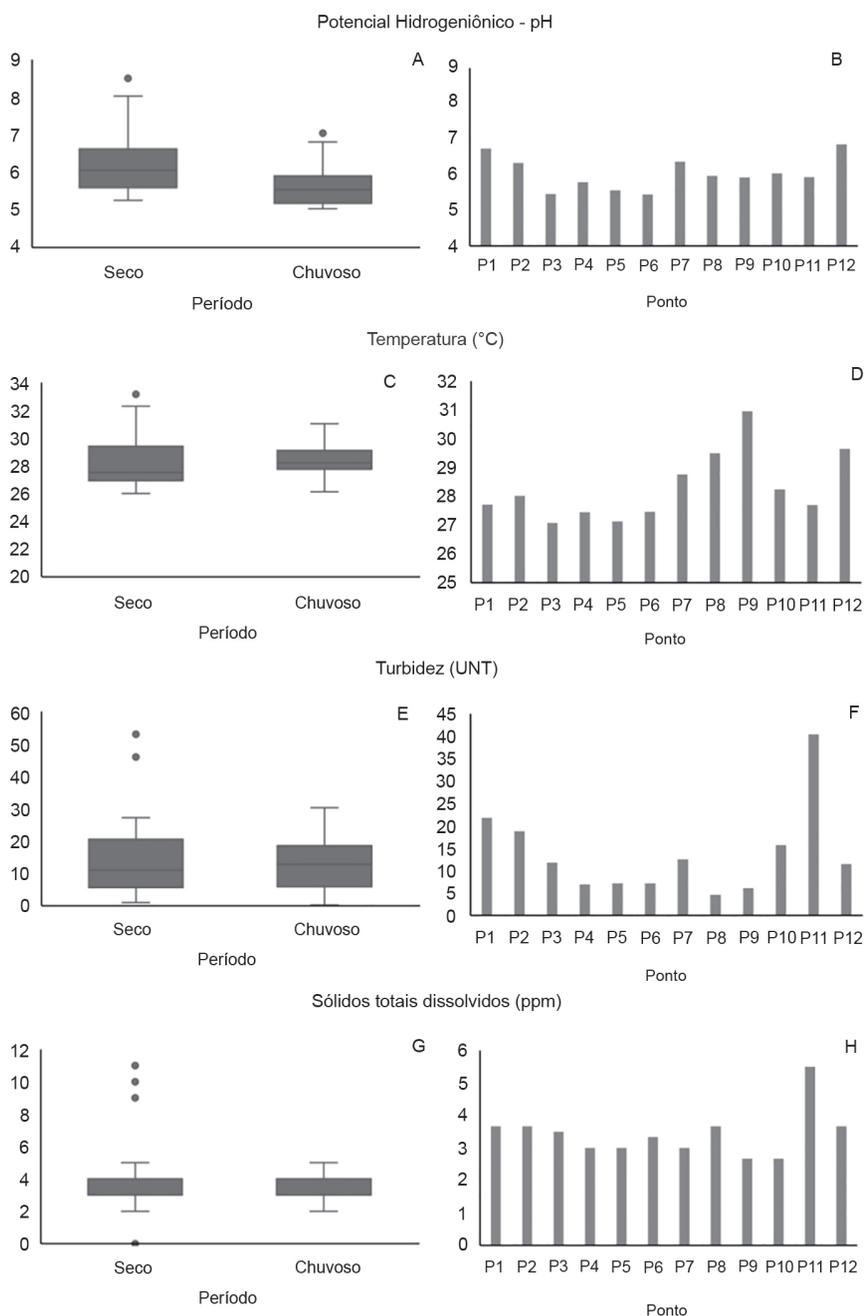


Figura 6 Variação sazonal e espacial dos parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, turbidez e sólidos totais dissolvidos nos locais amostrados na bacia do rio Cauamé, RR. Fonte: Os autores.

A Figura 6C ilustra a variação da temperatura da água nos pontos de amostragem durante os períodos seco e chuvoso, quando se obtiveram as medianas de 27,53°C e 28,21°C, respectivamente. A análise de variância indicou que não houve diferença estatística significativa entre os períodos ($H = 2,6473$ e $p = 0,1037$), oscilando com máximas de 33,16°C e 31,04°C e mínimas de 26,02°C e 26,14°C nas épocas seca e chuvosa, respectivamente. Ao comparar as médias da temperatura entre os pontos amostrados, houve diferença significativa ($H = 31,294$ e $p = 0,001$), em que o ponto 9 diferiu dos pontos 3, 4, 5, 6 e 11. O ponto 9 é um reservatório para cultivo de peixes (ambiente lêntico) que, se comparado com um corpo lótico, apresenta menor superfície relativa, proporcionando maior tempo na manutenção da temperatura (Figura 6D).

A turbidez apresentou mediana de 11,02 e 12,82 UNT nos períodos seco e chuvoso, respectivamente (Figura 6E). Apesar da maior mediana no período chuvoso, não houve diferença estatística significativa da turbidez entre os períodos seco e chuvoso ($H = 0,0825$ e $p = 0,9593$), mas se comportou de maneira diferente nos locais amostrados, diferindo significativamente entre os pontos ($H = 36,9292$ e $p = 0,0001$). Quanto à turbidez, o ponto 11 foi o único a se enquadrar na classe 2; todos os demais se enquadraram na classe 1, com valores médios inferiores a 40 UNT, conforme Resolução CONAMA nº 357/2005 (Figura 6F).

Nota-se que os maiores valores de turbidez estão presentes nos pontos do rio Cauamé que apresentam águas brancas (CPRM, 2002) e que, segundo Sioli (1968), são oriundas de intensos processos erosivos nas regiões andinas e pré-andinas, com alta concentração de eletrólitos e grande quantidade de sedimentos em suspensão. O ponto 11 apresentou a maior média para a turbidez, com valor aferido máximo de 54,70 UNT no período chuvoso; esse ponto diferiu significativamente ($p < 0,05$) dos pontos 4, 5, 6, 8, 9. Uma das causas possíveis para os altos valores de turbidez no ponto 11 é a falta de vegetação densa nas margens do corpo hídrico e o manejo inadequado do solo com a prática da bovinocultura (GUIMARÃES et al., 2018). Cunha, Sabogal-Paz e Dodds (2016) observaram, nos seus pontos amostrados, que a turbidez da água em rios com vegetação ripária preservada chega a ser cinco vezes menor que em rios em trechos urbanos. Ainda afirmam que se faz necessário um alto estado de conservação da mata ciliar para que gere efeitos na concentração de sólidos e turbidez.

O ponto 8 apresentou a menor média de concentração, com valor de 4,57 UNT, e diferiu significativamente do ponto 1. Os baixos valores apresentados

nos pontos 8 e 9 podem ser ocasionados pela prática de manejo na piscicultura, em que se realiza a aplicação de calcário na área de cultivo com o intuito de equilibrar o pH e a alcalinidade do solo e da água e precipitar partículas.

Os STD apresentaram medianas iguais para os períodos seco e chuvoso, de 3 TDS/ppm (Figura 6G), portanto não houve diferença estatística significativa entre os períodos ($H = 0,0026$ e $p = 0,9593$) e pontos amostrados ($H = 23,6045$ e $p = 0,0145$). Nos pontos monitorados, a maior concentração de sólidos dissolvidos foi observada no ponto 11, assim como para a turbidez, seguido dos pontos 1, 2, 8 e 12, que apresentaram a mesma média (Figura 6H). Esses valores podem ser explicados pela falta de vegetação ripária (GUIMARÃES et al., 2018) nos quatro pontos e pela formação geológica, com água brancas nos pontos 1, 2 e 12 (CPRM, 2002). A água em todos os pontos amostrados ficou dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces.

Determinação de Coliformes Termotolerantes e *Escherichia coli*

Cerca de 77% das amostras coletadas apresentaram valor acima do limite permitido de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros, assim como a média de CTT em todos os pontos amostrados. Vale ressaltar que nesta pesquisa não foi possível obedecer à frequência (bimestral) e número de amostras (seis) definidas pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para o parâmetro. No entanto, nenhum ponto de lançamento de efluente foi observado nos locais específicos das coletas, mas os altos valores encontrados indicam a contaminação de todos os corpos hídricos monitorados e a necessidade de medidas de saneamento e tratamento da água, principalmente para usos mais exigentes.

A concentração de coliformes termotolerantes apresentou medianas bem distintas, com 810 e 11.600 CTT/100 ml nos períodos seco e chuvoso, respectivamente ($H = 12,8058$ e $p = 0,0003$) (Figura 7A). No período de estiagem, a média obtida enquadraria os corpos hídricos na classe 2, mas no período chuvoso a mediana foi muito superior ao limite máximo estabelecido para o parâmetro em águas de classe 3 (2.500 CTT/100 ml). Apenas os pontos 8 e 9 se enquadraram na classe 3, os demais se enquadraram na classe 4 (Figura 7B), destinada apenas à navegação e harmonia paisagística. Não houve diferença significativa entre as médias de CTT nos pontos amostrados ($H = 11,1158$ e $p = 0,4336$).

A Resolução nº 357/2005 não estabelece limites para a presença de *E. coli* nos corpos hídricos, mas permite que esse parâmetro possa substituir os CTT de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente, já que é a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos. Em Roraima, não há normativa de substituição de parâmetros para análise da qualidade da água. Segundo ensaios realizados pela CETESB, há correlação entre os resultados de coliformes tolerantes e *E. coli*, e ao aplicar um fator de correção de 1,25 sobre o resultado de *E. coli*, pode-se utilizar o valor equivalente da curva de coliformes termotolerantes.

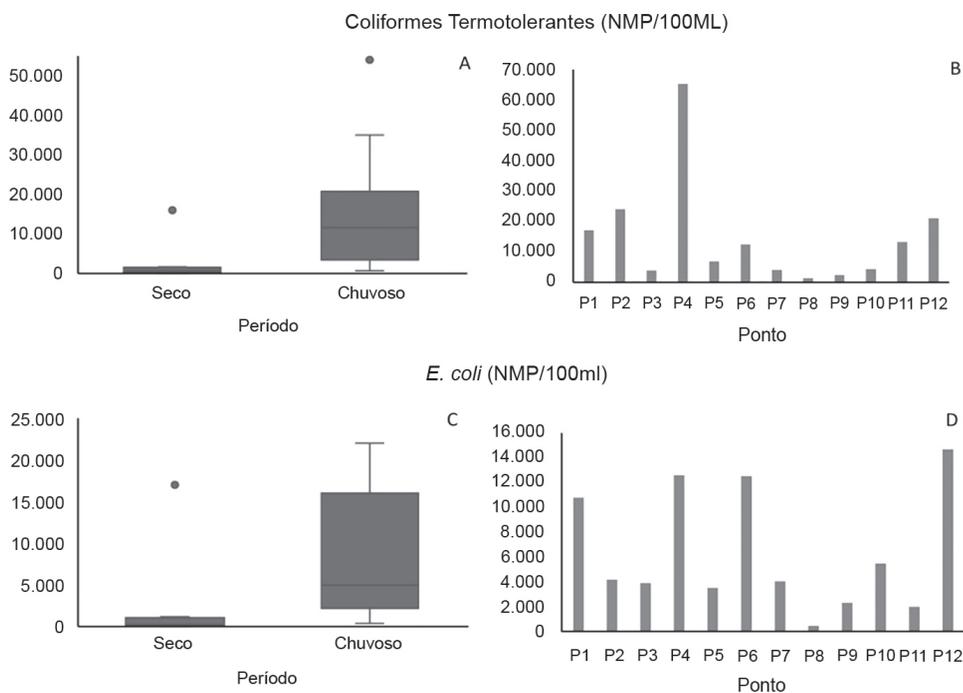


Figura 7 Variação sazonal e espacial dos parâmetros coliformes termotolerantes e *E. coli* nos locais amostrados na bacia do rio Cauamé, RR. Fonte: Os autores.

E. coli apresentou mediana de 260 e 5.000/100 ml nos períodos seco e chuvoso, respectivamente (Figura 7B). No período seco apresentou valor mínimo de 34 e máximo de 17.000 NMP/100 ml; já no período chuvoso foi de 400 a 22.000 NMP/100 ml. Assim como para o CTT, houve diferença significativa ($H = 5,6261$ e $p = 0,0177$) entre os períodos analisados, com maior mé-

dia no período chuvoso, mas não houve diferença significativa na média de *E. coli* nos pontos amostrados ($H = 13,0162$ e $p = 0,2923$). O alto valor médio encontrado no ponto 4 se deve à coleta no período chuvoso, em que se obteve o maior número de bactérias, muito superior às outras coletas realizadas no mesmo ponto. Esse fato pode ser decorrente de uma entrada pontual de efluente orgânico no corpo hídrico pelo processo de lixiviação, ocasionado pelo grande volume de chuvas no período amostrado.

Conclusões

Dos resultados obtidos no estudo da qualidade das águas da bacia do rio Cauamé, conclui-se que:

- ◆ A sazonalidade foi um fator determinante na concentração de parâmetros que interferem na qualidade dos corpos hídricos e que geralmente têm origem antrópica, como: coliformes termotolerantes, fósforo total e nitrogênio total. Esse fato demonstra a importância de sistemas de saneamento para controlar a entrada de efluentes domésticos e da vegetação ripária nos corpos hídricos, a fim de conter o processo de lixiviação e assoreamento.
- ◆ Um volume considerável de carga orgânica aporta na área de estudo, demonstrado pelas altas concentrações de fósforo total, coliformes e DBO em todos os pontos amostrados.
- ◆ O pH foi um fator limitante/excludente na classificação das águas analisadas nesta pesquisa, impossibilitando o enquadramento do corpo hídrico, dadas as características naturais da região amazônica e pontos amostrados e a ação antrópica. Sendo assim, faz-se necessário levar em consideração as características particulares das águas amazônicas para o uso desse parâmetro no enquadramento.
- ◆ Os valores de DBO e fósforo total levaram a grande maioria dos pontos analisados a serem enquadrados nas classes 3 e 4, contudo faz-se necessário estabelecer a vazão de referência e a capacidade de auto-depuração para permitir a adaptação dos seus limites máximos para o enquadramento desses corpos hídricos.
- ◆ Os pontos (7 e 10) com vegetação marginal densa e sem instalações habitacionais próximas às suas margens apresentaram águas com melhor qualidade, demonstrando a importância da mata ciliar na diminuição da entrada de contaminantes na água.

- ◆ Os corpos hídricos analisados, em especial o igarapé Carrapato (pontos 5 e 6), necessitam de ações dos órgãos competentes, a fim de reverter a situação atual da qualidade da água. Atualmente, o uso adequado à qualidade seria apenas a navegação e harmonia paisagística, no entanto a água vem sendo utilizada para irrigação de lavouras, dessedentação animal e abastecimento.

Referências

- AMORIM, D. G. et al. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 251-259, 2017.
- APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23 ed., Washington: American Public Health Association, 2017. 1496 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 22 p.
- BARROS, N. C. C. **Roraima, Paisagens e Tempo na Amazônia Setentrional**: estudo de ocupação pioneira na América do Sul. Recife: Editora Universitária – UFPE. 1995.
- BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 5 jan. 2019.
- CARDOSO, A. S. **Qualidade e usos da água da sub-bacia do rio Cauamé - RR**; 2018; Dissertação (Mestrado profissional em Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Roraima, 2018.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima**. Tomo III. Boa Vista: FEMACT, 2002. CD ROM.
- CUNHA, D. G. F.; SABOGAL-PAZ, L. P.; DODDS, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering**. Manhattan, v. 94, p. 516-524, 2016.
- DAMASCENO, M. C. S et al. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 598-613, jul/set. 2015.
- GROTT, S. L. et al. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 645-654, 2018.
- GUIMARÃES, A. G. et al. Qualidade Da Água e Potencial de Assoreamento em Represas com Influência de Diferentes Usos Do Solo. **Cientific@ Multidisciplinary Journal**, Goianésia, v. 5 n. 3, p. 125 – 139, 2018.
- MEDEIROS, W. M. V.; SILVA, C. E.; LINS, R. P. M. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 13, n. 2, ed. 2054, p. 1-17, 2018.

- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38, out./dez. 2002.
- MUSTAPHA, A. et al. Temporal aspects of surface water quality variation using robust statistical tools. **The Scientific World Journal**. Selangor, v. 2012, p. 1-9, 2012.
- NETO, R. A. R.; COSTA, J. A. V. Mapeamento de unidades geomorfológicas da bacia do rio Cauamé – RR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 11, n. 2, p. 3-10, 2010.
- OLIVEIRA, J. S.; CARVALHO, T. M. Vulnerabilidade aos impactos ambientais da bacia hidrográfica do rio Cauamé em decorrência da expansão urbana e uso para lazer em suas praias. **Revista Geografia Acadêmica**. Boa Vista-RR, v. 8, n. 1, p. 61-80, 2014. Disponível em: <<https://revista.ufrb.br/rga/article/view/2984>>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- RORAIMA. Lei nº 547 de 23 de junho de 2006. **Lei Das águas**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.tjrr.jus.br/legislacao/phocadownload/leisOrdinarias/2006/Lei%20Estadual%20547-2006.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2020.
- SÁ, J. A. C. A.; CAMPOS, L. R. O Direito e a Gestão das Águas. In: CAMPOS, N.; STUDART, T. M. C. (Eds.) **Gestão das Águas**: princípios e práticas. Porto Alegre 2 ed., 2003, p. 216-237.
- SALARO, A. L. (Org). **Manejo de Viveiros**. Brasília: SENAR, 2011.112P.
- SANT'ANA, A. C.; VITAL, M. J. S.; SILVA, H. E. B. Influência da urbanização na qualidade da água do Rio Branco e afluentes no município de Boa Vista, Roraima, Amazônia brasileira. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, 6 ed., p. 1-9, 2019. São Paulo, ago. 2004.
- SIOLI, H. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. **Amazoniana**, Manaus, v. 1, n. 3, p. 267-277, 1968.
- SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F.; MIGUEIS, A. M. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará - Brasil). **Acta Amazônica [online]**, Manaus, v. 42, p. 413-422, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S00449672012000300014&script=sci_abstract&tIng=pt>. Acesso em: 15 set. 2020.
- SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014.
- VALE JUNIOR, J. F. (Org). **Solos da Amazônia**: Características e Potencialidades. 2 ed. Boa Vista-RR, 2003.

Regulação e Governança de Recursos Hídricos



Política Estadual de Recursos Hídricos: Histórico e Tendências

Ana Cristina Mendes Ruiz Rolim
Indianara Gouveia de Sene Dias
Elizete Celestino Holanda
Vladimir de Souza

Introdução

Há no Brasil, em especial na Região Norte, uma falsa ideia de que a água é um recurso infinito e abundante. No entanto, esta realidade vem mudando e conflitos estão sendo instalados, de modo que fará toda a diferença, para o sucesso na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (BRASIL, 1997), e dos mecanismos de controle e uso racional da água, identificar os entraves encontrados na descentralização da gestão das águas no Estado de Roraima.

Aqui é apresentado um panorama dos elementos e dos instrumentos da Política de Recursos Hídricos do Estado de Roraima em paralelo com os demais estados da Região Norte, avaliando os marcos legais e as ferramentas de implementação dos instrumentos.

Gestão e Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil

A água doce é um recurso natural finito, cuja qualidade vem piorando devido ao aumento da população e à ausência de políticas públicas voltadas para a sua preservação (MERTEN; MINELLA, 2002). Desde o início do século XX, percebeu-se a necessidade de regulação do uso da água com base na convergência de fatores, como a urbanização acelerada e o impressionante crescimento populacional, assim como o início do aproveitamento hidrelétrico e o incremento da atividade industrial (MURTHA; CASTRO; HELLER, 2015).

O processo legislativo para o setor foi inicialmente marcado pela criação do Código de Águas de 1934, sendo a primeira lei brasileira a tratar de recursos hídricos, com o objetivo de harmonizar o uso das águas mesmo tendo por

foco a geração de energia elétrica, não esquecendo, porém, a agricultura e os demais usos (BRASIL, 1934). De qualquer forma, segundo Oliveira, Barbosa e Dantas Neto (2013), a preferência de derivação era concedida para o abastecimento das populações e dessedentação animal, o que se manteve mesmo com as legislações seguintes e prevalece até os dias atuais.

A partir da década de 1980, a descentralização se tornou palavra de ordem no cenário internacional de políticas públicas, referindo-se à transferência de poder decisório a agentes que prestem contas à população local (MESQUITA, 2018). No Brasil, a regulamentação vigente foi baseada na Constituição Federal de 1988 e apresenta um modelo de gestão integrada e descentralizada (BRASIL, 1997).

Para Costa e Perin (2004), foi a partir da criação da PNRH, pela Lei nº 9.433/1997, que começou o processo de descentralização da gestão, sinalizando que o assunto sairia da esfera técnica do governo e abrangeria outros segmentos interessados da sociedade, democratizando, assim, a gestão dos recursos hídricos no país. A referida lei criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), com o objetivo de implementar a gestão participativa, trazendo um modelo baseado em decisões regionais e colegiadas, com a participação do poder público, dos usuários e da sociedade civil organizada, adotando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, delimitação fundamental para a elaboração de planos e projetos com vistas à conservação ou preservação das águas (BRASIL, 1997).

O SINGREH é o conjunto de órgãos e colegiados que concebem e implementam a Política Nacional e Estadual das Águas. Integram o SINGREH o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a Agência Nacional de Águas (ANA), os Conselhos de Recursos Hídricos Estaduais e do Distrito Federal, os órgãos gestores de recursos hídricos federais, estaduais, do Distrito Federal e municipais, os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) de rios de domínio da União e dos estados e as Agências de Água (BRASIL, 1997).

Para possibilitar a execução da PNRH, foram instituídos instrumentos de gestão: os planos de recursos hídricos, o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, a outorga, o enquadramento, a cobrança pelo uso da água, dentre outros, o que foi replicado nas políticas estaduais (MESQUITA, 2018).

Nas próximas seções serão apresentados os marcos legais e o grau de implementação dos elementos que compõem o SINGREH e dos instrumentos das Políticas Estaduais de Recursos Hídricos (PERH) na Região Norte.

Elementos da Política de Recursos Hídricos na Região Norte

Segundo o Censo de 2010, a Região Norte do Brasil conta com uma população total de 15.864.454 habitantes, o que corresponde a 8,3% da população do país, e tem uma área total de 3.853.676,949 km² (IBGE, 2010). A região é drenada pela maior bacia hidrográfica do mundo, e dados da Agência Nacional de Águas apontam que 81% da água superficial disponível no Brasil está concentrada Região Amazônica (ANA, 2015). Segundo o relatório da OCDE (2015), a falsa sensação de abundância causada pelos números vultosos de quantidade de água existente no Brasil, em especial na Amazônia, em relação ao resto do mundo, causa uma baixa mobilização da população em torno da gestão e da fiscalização quanto ao uso desse recurso.

A PNRH visa implementar a gestão participativa de bacias hidrográficas, num modelo baseado em decisões regionais, embasando assim as leis estaduais (BRASIL, 1997). Na Região Norte, não foi diferente. Os estados da região começaram a ter suas Políticas Estaduais de Recursos Hídricos publicadas apenas quatro anos após a PNRH, sendo o Pará o pioneiro, com a Lei nº 6.831, de julho de 2001 (PARÁ, 2001), seguido pelo Estado do Amazonas, com a Lei nº 2.712, de 28 de dezembro de 2001 (AMAZONAS, 2001). Nos anos seguintes foram publicadas as Leis nº 255, de janeiro de 2002 (RONDÔNIA, 2002), a Lei nº 1.307, de março de 2002 (TOCANTINS, 2002), e a Lei nº 0.686, de junho de 2002 (AMAPÁ, 2002). A publicação da Lei nº 1.500, de julho de 2003 (ACRE, 2003), foi seguida pela Lei nº 547, de junho de 2006 (RORAIMA, 2006) (Quadro 1).

Passados quase 20 anos desde a promulgação da primeira política estadual (PARÁ, 2001) e 15 anos desde a última (RORAIMA, 2006), é importante avaliar a governança participativa, governança democrática por meio de controles democráticos, direito à informação e transparência (EMPINOTTI; JACOBI; FRACALANZA, 2016), apontando, assim, a efetividade de implementação dessas políticas, que têm nos instrumentos de gestão uma forma de garantir o desenvolvimento sustentável da Região Amazônica (COUCEIRO; HAMADA, 2011).

A Política Estadual de Recursos Hídricos de Roraima foi fundamentada na Constituição Estadual e na Lei Federal nº 9.433/1997 e estabelece os seguintes princípios:

- I – A água é um bem de domínio público;
- II – A água é um recurso natural limitado, dotado de função social, ecológica e de valor econômico;

III – Os usos prioritários da água são o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV – A adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial para implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos; e

V – O planejamento e a gestão dos recursos hídricos (RORAIMA, 2006).

Além das Políticas de Recursos Hídricos e dos Sistemas de Gerenciamento de Recursos Hídricos estaduais instituídos e regulamentados, todos os estados da Região Norte possuem Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (Quadro 1). O Fundo Estadual de Recursos Hídricos está previsto nas políticas estaduais, exceto para o Estado do Pará, e regulamentado na maioria deles, exceto em Roraima.

Quanto aos órgãos gestores estaduais, em alguns casos a função de gestão fica por conta da Secretaria Estadual do Meio Ambiente e a execução e/ou fiscalização da Política de Recursos Hídricos é realizada por outro órgão específico, como é o caso do Instituto do Meio Ambiente do Acre (IMAC) e o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM).

Somente os estados do Acre e Roraima não possuem Comitês de Bacia Hidrográfica (Quadro 1), sendo os CBH do Rio Araguari, no Amapá, e do Rio Marapanim, no Pará, recentemente criados e, por isso, não constam nos dados abertos disponíveis na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

Instrumentos de Gestão da Política Hídrica na Região Norte

A principal função dos instrumentos de gestão de recursos hídricos é organizar e definir o uso da água, resolvendo e/ou mitigando os efeitos dos possíveis conflitos de interesse sobre o uso desse bem de uso comum. Para os instrumentos da política hídrica nacional, eles são classificados em dois tipos ou grupos: os relativos ao planejamento e os dirigidos ao controle administrativo do uso (GRANZIERA, 2006).

Com os instrumentos implementados é de extrema importância verificar o grau de eficácia do sistema de gestão de recursos hídricos previstos na política, seja em nível federal ou estadual (PORTO; PORTO, 2008).

A principal inovação introduzida pela Lei nº 9.433/97 é a criação de instrumentos que viabilizem sua implementação (BRASIL, 1997). A Política Estadual de Roraima é uma transcrição dos instrumentos de gestão previstos na

PNRH – plano de recursos hídricos, enquadramento dos corpos de água, outorga dos direitos de uso, cobrança pelo uso e sistema estadual de informações –, com o acréscimo de dois instrumentos: a compensação aos municípios e a capacitação, desenvolvimento tecnológico e educação ambiental.

Roraima e Seus Instrumentos da PERH

Os planos de recursos hídricos são instrumentos de planejamento que servem para orientar a execução da política hídrica de um território (OLIVEIRA; BARBOSA; NETO, 2013). A Lei nº 547/2006 define os planos de recursos hídricos como planos diretores elaborados por bacia hidrográfica e para o estado que, além de fundamentar, orientam a implementação da política estadual de recursos hídricos e o seu gerenciamento (RORAIMA, 2006).

Em Roraima, o plano estadual de recursos hídricos foi concluído em 2008 e tem por objetivo obter o macrozoneamento do Estado de Roraima para sua inclusão no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, servindo assim de base para a definição de políticas públicas de gestão das águas (ANA, 2017).

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, define o enquadramento dos corpos d'água como sendo um instrumento através do qual se estabelece a meta de qualidade da água, classificando-a em classes, com base em um conjunto de parâmetros predeterminados, conforme o seu uso preponderante, classes essas que devem ser, obrigatoriamente, alcançadas e/ou mantidas em um segmento de corpo de água ao longo do tempo (BRASIL, 2005).

O enquadramento é referência para os demais instrumentos de gestão dos recursos hídricos e para os instrumentos de gestão ambiental, como licenciamento e monitoramento, sendo considerado um importante elo entre o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGERH) e o Sistema Nacional de Meio Ambiente (ANA, 2009).

Segundo Couceiro e Hamada (2011), o enquadramento dos cursos de água ainda segue uma resolução tida como problemática para a Região Amazônica, por não considerar os sistemas existentes na Região Norte. Além disso, pouquíssimos cursos de águas superficiais foram classificados quanto a seus usos preponderantes na região (COUCEIRO; HAMADA, 2011). No Estado de Roraima, o enquadramento dos corpos de água em classes é realizado segundo os usos preponderantes, conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Quadro 1 Marcos legais e órgãos gestores das políticas estaduais de recursos hídricos da Região Norte.

Elementos	PERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos	Órgão Gestor	Comitê de Bacias
Estados				
Acre	Lei nº 1.500, de 15 de julho de 2003	Lei nº 1.022, de 21 de janeiro de 1992	SEMA	---
Amapá	Lei nº 686, de 07 de junho de 2002	Decreto nº 4.509, de 29 de dezembro de 2009	SEMA	- CBH do rio Araguari (Decreto nº 0604, de 12 de fevereiro de 2019)
Amazonas	Lei nº 2.712, de 28 de dezembro de 2001, reformulada pela Lei nº 3.167, de 27 de agosto de 2007	Lei nº 2.712/2001, regulamentado pelo Decreto nº 25.037, de 01 de junho de 2005	SEMA	- CBH rio Tarumã (Decreto nº 29.249, de 19 de outubro de 2009) - CBH do rio Puraquequa (Decreto nº 37.412, de 25 de novembro de 2016)
Pará	Lei nº 6.381, de 25 de julho de 2001	Lei nº 6.381/2001, regulamentado pelo Decreto nº 276, de 02 de dezembro de 2011	SEMAs	- CBH do rio Marapanim (Decreto nº 288, de 3 de setembro de 2019)
Rondônia	Lei Complementar nº 255, de 25 de janeiro de 2002	Lei nº 255/2002, regulamentado pelo Decreto nº 10.114, de 20 de setembro de 2002	Sedam	- CBH do rio São Miguel – Vale do Guaporé (Decreto nº 19.057, de 31 de julho de 2014) - CBH do rio Alto e Médio Machado (Decreto nº 19.058, de 31 de julho de 2014) - CBH do rio Jaru – Baixo Machado (Decreto nº 19.059, de 31 de julho de 2014) - CBH do rio Jamari (Decreto nº 19.060, de 31 de julho de 2014) - CBH dos rios Branco e Colorado (Decreto nº 19.061, de 31 de julho de 2014)
Roraima	Lei nº 547, de 23 de junho de 2006	Lei nº 547/2006, regulamentado pelo Decreto nº 8.122-E, de 12 de junho de 2007	FEMARH	---
Tocantins	Lei nº 1.307, de 22 de março de 2002	Decreto nº 687, de 22 de julho de 1998, regulamentado pela Lei nº 2.097, de 13 de julho de 2009	SEMARH	- CBH do rio Manuel Alves da Natividade (Decreto nº 4.253, de 22 de março de 2011) - CBH do rio Formoso (Decreto nº 4.252, de 22 de março de 2011) - CBH do entorno do lago de Palmas (Decreto nº 4.434, de 08 de novembro de 2011) - CBH dos rios Lontra e Corda (Decreto nº 4.906, de 10 de outubro de 2013) - CBH dos rios Santo Antônio e Santa Tereza (Decreto nº 5.608, de 22 de março de 2017) - CBH do Rio Palma (não regulamentado)

Por sua vez, o regime de outorga de uso da água tem o objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo das águas superficiais e subterrâneas e o acesso à água de modo sustentável (COUCEIRO; HAMADA, 2011). Cabe ao órgão público avaliar o pedido de outorga, incluindo os impactos que podem ser gerados, aprovando ou não o pedido e, quando aprovado, é de responsabilidade desse órgão finalizar o seu uso.

A Lei nº 547/2006 aponta que a outorga é o ato pelo qual o gestor estadual defere: a implantação de quaisquer empreendimentos que possam demandar a utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, que possam alterar a quantidade e a qualidade da água, além de possíveis lançamentos de efluentes em corpos d'água (RORAIMA, 2006).

No art.10 do Decreto nº 8.123-E/2007, que regulamenta a outorga no Estado de Roraima, são previstas três modalidades de outorga: outorga prévia/preventiva, outorga com vazão fixa e outorga sazonal, enfatizando que essas modalidades de outorga poderão ser concedidas a um mesmo usuário, desde que respeitada a disponibilidade hídrica global da bacia (RORAIMA, 2007a).

Similar ao que acontece em outras partes da Região Norte, a outorga da água em Roraima segue um processo puramente burocrático, sem que haja fiscalização ou sem que esta evite os impactos antropogênicos sobre os recursos hídricos.

A cobrança pelo uso da água é outro importante instrumento de gestão e regulação do uso da água, a ser realizado tanto para a captação de recursos hídricos superficial quanto para o subterrâneo, com o objetivo de diminuir desperdícios, otimizando o uso e garantindo a quantidade e a qualidade, assim como o uso racional da água (RORAIMA, 2006).

Está previsto na PNRH que a cobrança visa financiar os programas de ações contemplados nos Planos de Bacias Hidrográficas, devendo ser aplicados os valores arrecadados na própria bacia. Mesmo estando prevista na Lei nº 547/2006, a cobrança pelo uso da água não está regulamentada em decreto (BRASIL, 1997).

Segundo Silva, Herreros e Borges (2015), no Brasil, o verdadeiro sentido da cobrança como instrumento de gestão ainda não foi entendido completamente e que, para serem fixados valores e implantada a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, precisam ser considerados o volume e a variação de utilização das águas superficiais e subterrâneas.

A Lei das Águas definiu o Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH), no seu art. 25, como sendo um “sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão”, reunindo e divulgando os dados e as informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). Para Couceiro e Hamada (2011), o SNIRH tem também importância intrínseca, com viés de monitoramento e de fiscalização, pois apresenta um histórico da bacia hidrográfica.

A Lei nº 547/2006 aponta o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos como tendo a finalidade de coletar, tratar, armazenar e disseminar informações sobre recursos hídricos no estado (RORAIMA, 2006). Para o Estado de Roraima, o art. 29 da Lei nº 547/2006 trata do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos e é regulamentado pelo Decreto nº 8.121-E, de 12 de julho de 2007, em que os princípios básicos para o funcionamento do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos estaduais vão desde a descentralização da obtenção e produção de dados e informações até a necessidade de coordenação unificada desse sistema, disponibilizando dados e informações a toda a sociedade (RORAIMA, 2007b).

Implementação da Política de Recursos Hídricos na Região Norte

Quantificar a implementação da Política de Recursos Hídricos e apresentá-la em números só foi possível com a adaptação de métodos já utilizados em outras regiões do país, dando assim visibilidade numérica às deficiências da gestão e comparando o que se tem previsto nas legislações existentes ao que realmente foi implementado nesses 23 anos de PNRH.

Foram levantados os elementos que compõem o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos de todos os estados da Região Norte, considerando apenas os itens comuns, tanto às políticas estaduais quanto à PNRH. São variáveis consideradas neste estudo: a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), o órgão público gestor dos recursos hídricos e os comitês de bacias (CB), além dos instrumentos de gestão previstos nas legislações estaduais: plano estadual de recursos hídricos, enquadramento dos corpos hídricos, sistema estadual de informação, outorga e cobrança pelo uso da água. Nesta etapa, foram considerados os dados disponíveis nos órgãos gestores oficiais, em nível federal e estadual, até julho de 2020.

Neste estágio, foi aplicado um modelo comparativo para avaliação da implementação de cada uma das políticas estaduais, tendo sido codificadas as condições em que se encontra a implementação de cada elemento avaliado, consolidando, assim, as informações levantadas por meio da legislação existente. Esse modelo comparativo seguiu o trabalho desenvolvido por Garcia Júnior (2007), em que a pontuação varia de 0 a 3 conforme o nível de implementação.

Dos elementos quantificados neste estudo, o Estado de Roraima não conta apenas com os comitês de bacia, mas ainda assim ficou à frente de estados com legislações anteriores à sua, como mostra o Quadro 2. Em nível regional, os estados de Tocantins e Rondônia encontram-se bem adiantados na implementação de suas políticas estaduais (Figura 1).

Quanto aos planos estaduais de recursos hídricos, o Estado de Roraima está à frente do Amapá e Pará, onde os planos estaduais de recursos hídricos ainda se encontram em fase de elaboração.

Quanto ao sistema estadual de informação sobre os recursos hídricos, ainda que os sites das secretarias estaduais contem com algumas informações relacionadas à gestão de recursos hídricos, não é nem de longe o que se espera de um sistema estadual de informação (ANA, 2017). As respectivas leis estaduais de recursos hídricos preveem que esse sistema deveria ser um mecanismo de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre a gestão de recursos hídricos em cada estado, porém a Lei das Águas (BRASIL, 1997) prevê que os dados gerados em nível estadual devem ser incorporados ao SNIRH e devem ser unificados e coordenados conjuntamente. Isso deixa margem para que os estados não invistam em um sistema estadual.

Nos estados de Rondônia e Tocantins, mesmo tendo pontuado para esse instrumento, o que se observou nos links de acesso aos sistemas é a falta de periodicidade de atualização e a precariedade dessas informações. Não raro foram feitas tentativas de acesso a links dentro desses sistemas, que não contam com informação alguma.

Mesmo sendo apontada por autores como Couceiro e Hamada (2011) como uma implementação meramente burocrática, sem conhecimento técnico de vazão e qualidade disponível, tão pouco contando com uma fiscalização que garanta a minimização dos impactos antropogênicos sobre esse recurso na Região Norte, a outorga está implementada em seis dos sete estados estudados, sendo que em Roraima sua regulamentação data de 2007, com a publicação do Decreto nº 8.123-E (RORAIMA, 2007a).

Quadro 2 Comparativo entre elementos e instrumentos das políticas estaduais de recursos hídricos da Região Norte.

Elementos	Pontuação										
	0	1	2	3	RR	PA	AM	TO	RO	AP	AC
PERH	N	S	-	-	1	1	1	1	1	1	1
CERH	N	S	-	-	1	1	1	1	1	1	0
Órgão Gestor	N	S	-	-	1	1	1	1	1	1	1
CBH*	= 0	> 0 < 0,5	0,5 < 1	≥ 1,0	0	0	1	3	2	0	0
Instrumentos											
Plano Estadual	-	EP	E	S	3	2	3	3	3	2	3
Enquadramento em Classes	N	S	S-LP	-	0	0	0	0	0	0	0
Sistema Estadual de Informação	N	I	S	-	0	0	0	2	2	0	0
Outorga	N	S	-	-	1	1	1	1	1	1	1
Cobrança	N	I	S	-	0	0	0	0	0	0	0
Total					7	6	8	12	11	6	6
Total %**					43,7	37,5	50	75	68,7	37,5	37,5

Legenda: *(RCB x PTERH) ÷ 100 ** (Total Obtido x Pontuação Máx.) ÷ 100 RCB = Relação entre o número de comitês que o estado possui e a área do estado em km²; N – Não possui; S – Sim, possui; S-LP – Sim, com legislação própria; I – Instalado.

Fonte: Os autores.

Em Roraima, mesmo contando com uma divisão específica dentro do órgão gestor estadual, a Fundação Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH), não há estudos técnicos publicados com informações quanto à disponibilidade hídrica em cada bacia que possa embasar os critérios para a emissão dessas outorgas.

Sobre o enquadramento dos corpos d'água em classes, mesmo sendo um instrumento que precisa de tempo para a sua implementação devido à complexidade do processo, o que se observou, depois de mais de duas décadas desde a criação da PNRH, é que os estados da Região Norte não contam com legislação e regulamentação de implementação desse instrumento. E, por ele estar diretamente ligado à questão de qualidade e quantidade da água, sen-

do vinculado à concessão de outorgas e conseqüentemente das licenças ambientais, é importante dar mais atenção à sua aplicação.

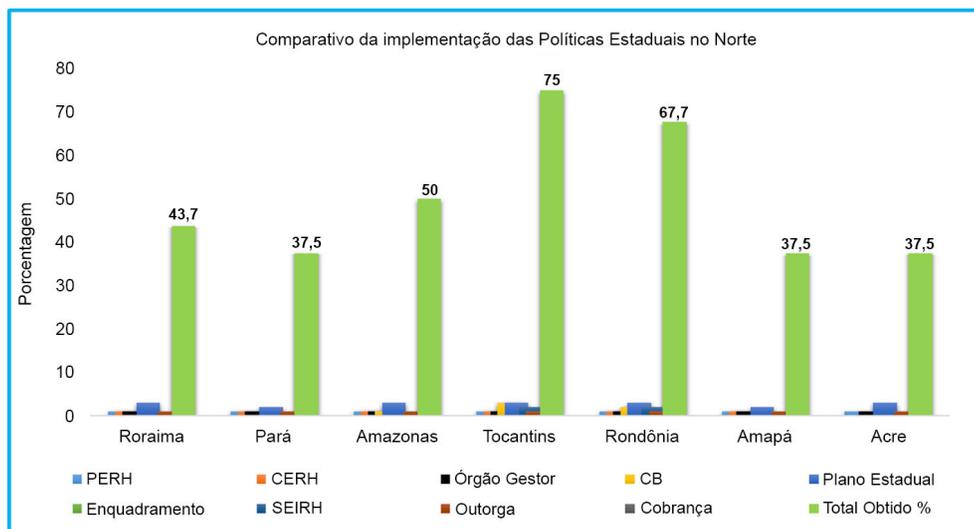


Figura 1 Resultado da implementação das políticas estaduais na Região Norte. *Fonte:* Os autores.

Reconhecer o valor econômico da água é um forte indutor para seu uso racional e deveria servir de base para instituir a cobrança pelo seu uso. Este instrumento não se encontra implementado em nenhum dos estados da Região Norte. Mesmo sendo considerado crucial para o equilíbrio entre a disponibilidade e a demanda, promovendo a harmonia entre os usuários e, conseqüentemente, minimizando possíveis conflitos, a cobrança também é um instrumento que viabiliza a redistribuição dos custos sociais, garantindo a melhora na qualidade dos efluentes lançados e possibilitando viabilizar a formação de fundos financeiros para as obras, programas e intervenções do setor.

Considerações Finais

Mesmo contando com um arcabouço legal regulamentado há mais de uma década, o Estado de Roraima apresenta um déficit na implementação do sistema estadual de gestão de recursos hídricos que condiz com o de outros estados da região. Não tendo pontuado apenas no item comitês de bacias, até mesmo por não contar historicamente com conflitos pelo uso da água, o estado pouco se articulou para a criação desse mecanismo de gestão.

O sistema estadual de informação sobre os recursos hídricos encontra-se regulamentado desde 2007, pelo Decreto nº 8.121-E (RORAIMA, 2007), mas não ficou evidenciada sua implementação, não estando concentradas em escala estadual as informações necessárias que caracterizam um sistema de informação.

O grande desafio é de credibilidade, pontuando a necessidade de acordos que possam garantir efetivamente a implementação dos princípios da política hídrica no estado, de forma que seja garantida a participação da sociedade no processo de gestão.

Referências

ACRE. Lei nº 1.022, de 21 de janeiro de 1992. Institui o Sistema Estadual de Meio Ambiente, Ciências e Tecnologia e o Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia e dá outras providências. **Leis Ordinárias da Assembleia Legislativa do Estado do Acre**, Rio Branco, AC.

ACRE. Lei nº 1.500, de 15 de julho de 2003. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Acre, dispõe sobre infrações e penalidades aplicáveis e dá outras providências. **Leis Ordinárias da Assembleia Legislativa do Estado do Acre**, Rio Branco, AC.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras**. ANA: Brasília, 2015. 163 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório Pleno**. ANA: Brasília, 2017. 169 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Implementação do enquadramento em bacias hidrográficas no Brasil; Sistema nacional de informações sobre recursos hídricos - SNIRH no Brasil: arquitetura computacional e sistêmica**. Brasília: ANA, 2009. 145 p.: il.

AMAPÁ. Decreto nº 0604, de 12 de fevereiro de 2019. Cria o Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Araguari, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Amapá**, Macapá, AP, 12 fev. 2019.

AMAPÁ. Decreto nº 4.509 de 29 de dezembro de 2009. Regulamenta o Título II, da Lei nº 0686, de 07 de junho de 2002, que institui a Política de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Amapá e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Amapá**, Macapá, AP, 05 jan. 2010.

AMAPÁ. Lei nº 0686, de 07 de junho de 2002. Dispõe sobre a Política de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Amapá e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Amapá**, Macapá, AP, nº 2800, 07 jun. 2002.

AMAZONAS. Decreto nº 2.712 de 01 de junho de 2005. Disciplina a composição do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH, instituído pelo Artigo 64, da Lei nº 2.712, de 28 de dezembro de 2001, com as modificações promovidas pela Lei nº 2.940, de 30 de dezembro de 2004, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Amazonas**, Manaus, Ano CXI, n. 30.628, 01 jun. 2005.

AMAZONAS. Decreto nº 29.249, de 19 de outubro de 2009. Dispõe sobre a criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, aprova o seu Regimento Interno, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Amazonas**, Manaus, 19 out. 2009.

AMAZONAS. Decreto nº 37.412, de 25 de novembro de 2016. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Amazonas**, Manaus, 28 nov. 2016.

AMAZONAS. Lei nº 2.712, de 28 de dezembro de 2001. Disciplina a Política Estadual de Recursos Hídricos, estabelece o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Amazonas**, Manaus, AM, 28 dez. 2001.

AMAZONAS. Lei nº 3.167, de 28 de agosto de 2007. Reformula as normas disciplinadoras da Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e estabelece outras providências. **Diário Oficial do Estado do Amazonas**, Manaus, Ano CXIII, n. 31.174. p. 1-7.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 27 jul. 1934.

BRASIL. Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Lei das águas. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

COSTA, T. P.; PERIN, A. C. M.; A Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. **Revista do Cursos de Direito** – Edição Especial. v. 1, n. 1 p. 344-380, 2004.

COUCEIRO, S. R. M.; HAMADA, N. Os Instrumentos Da Política Nacional De Recursos Hídricos Na Região Norte Do Brasil. **Oecol. Aust.**, v. 15 n. 4, p.762-774, 2011.

EMPINOTTI, V. L.; JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A.P. Transparência e a Governança das Águas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 30, n. 88, p. 63-75, 2016.

GARCIA JÚNIOR, L. T. **Política Nacional de Recursos Hídricos: Metodologia para Avaliação de sua Implantação nos Estados**. 2007. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

GRANZIERA, M. L. M. **Atlas Direito de águas: disciplina jurídica das águas doces**. 3. ed. São Paulo., 2006. 252p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Densidade Demográfica, nos Censos Demográficos, Segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=10&uf=00>> Acesso em: 27 ago. 2019.

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

MESQUITA, L. F. G. Os Comitês de Bacias Hidrográficas e o Gerenciamento Integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 45, p. 56-80, abr. 2018.

MURTHA, N. A.; CASTRO, J. E.; HELLER L. Uma Perspectiva Histórica das Primeiras Políticas Públicas de Saneamento e de Recursos Hídricos no Brasil. **Revista Ambiente & Sociedade**, São Paulo – SP, v. XVIII, n. 3, p. 193-210, jul./set. 2015.

OECD, 2015. **Governança dos Recursos Hídricos no Brasil**. OECD Publishing, Paris. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/9789264238169-pt>> Acesso em: 10 set. 2019.

OLIVEIRA, M. A.; BARBOSA, E.M.; DANTAS NETO, J. Gestão de Recursos Hídricos no Rio Grande do Norte: Uma Análise da Implementação da Política Hídrica. **HOLOS**, v. 1, p. 3-27, mar, 2013.

PARÁ. Decreto nº 276, de 02 de dezembro de 2011. Regulamenta o Conselho Estadual de Recursos Hídricos, substituindo o Decreto nº 2.070, de 25 de fevereiro de 2006. **Diário Oficial do Estado do Pará**, Belém, PA, 05 dez. 2011.

PARÁ. Decreto nº 288, de 3 de setembro de 2019. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim (CBHRM), e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Pará**, Belém, PA, 04 set. 2019.

PARÁ. Lei nº 6381, de 25 de julho de 2001. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Pará**, Belém, PA, 27 jul. 2001.

PORTO, M. F.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo -SP. v. 22, n. 63 p. 43-60, 2008.

RONDÔNIA. Decreto nº 10.114, de 20 de setembro de 2002. Regulamenta a Lei Complementar nº 255, de 25 de janeiro de 2002, que "Institui a Política, cria o Sistema de Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia e dá outras providências". **Diário Oficial do Estado de Rondônia**, Porto Velho, RO, 20 set. 2002.

RONDÔNIA. Decreto nº 19.057, de 31 de julho de 2014. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios São Miguel – Vale do Guaporé – CBH-RSMVG-RO e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Rondônia**, Porto Velho, RO, 31 jul. 2014.

RONDÔNIA. Decreto nº 19.058, de 31 de julho de 2014. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Alto e Médio Machado – CBH-AMMA-RO e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Rondônia**, Porto Velho, RO, 31 jul. 2014.

RONDÔNIA. Decreto nº 19.059, de 31 de julho de 2014. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Jaru – Baixo Machado – CBH-JBM-RO e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Rondônia**, Porto Velho, RO, 31 jul. 2014.

RONDÔNIA. Decreto nº 19.060, de 31 de julho de 2014. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Jamari – CBH-JAMAR-RO e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Rondônia**, Porto Velho, RO, 31 jul. 2014.

RONDÔNIA. Decreto nº 19.061, de 31 de julho de 2014. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Branco e Colorado – CBH-RBC-RO e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Rondônia**, Porto Velho, RO, 31 jul. 2014.

RONDÔNIA. Lei Complementar nº 255, de 25 de janeiro de 2002. Institui a Política, cria o Sistema de Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Rondônia**, Porto Velho, RO, 25 jan. 2002.

RORAIMA. Decreto nº 8.122-E, 12 de julho de 2007. Cria o Conselho Estadual de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, RR, ano XVI, n. 617, 12 jul. 2007.

RORAIMA. Decreto nº 8.123-E, 12 de julho de 2007. Regulamenta a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Território do Estado de Roraima. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, RR, ano XVI, n. 617. p. 4-9, 12 jul. 2007a.

RORAIMA. Decreto nº 8.121-E, 12 de julho de 2007. Regulamenta Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, RR, ano XVI, n. 617. p. 1-3, 12 jul. 2007b.

RORAIMA. Lei nº 0.547, de 23 de junho de 2006. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, RR, ano XVI, n. 362, 2006.

SILVA, M. B.; HERREROS, M. M. A. G.; BORGES, F. Q. Gestão Integrada dos Recursos Hídricos como Política de Gerenciamento das Águas no Brasil. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, RS, v. 10, n. 1, p. 101-115, jan.-mar. 2017.

TOCANTINS. Decreto nº 4.252, de 22 de março de 2011. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Palmas, TO, n. 3.345, 22 mar. 2011.

TOCANTINS. Decreto nº 4.253, de 22 de março de 2011. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Palmas, TO, n. 3.345, 22 mar. 2011.

TOCANTINS. Decreto nº 4.434, de 08 de novembro de 2011. Institui o Comitê das Bacias Hidrográficas do Entorno do Lago da UHE Luis Eduardo Magalhães. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Palmas, TO, n. 3.499, 08 nov. 2011

TOCANTINS. Decreto nº 4.906, de 10 de outubro de 2013. Institui o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Lontra e Corda, e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Palmas, TO, n. 3.980, 10 out. 2013.

TOCANTINS. Decreto nº 5.608, de 22 de março de 2017. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Santo Antônio e Santa Tereza, e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Palmas, TO, n. 4.831, 22 mar. 2017.

TOCANTINS. Lei nº 1.307, de 22 de março de 2002. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Palmas, TO, n. 1156, 22 mar. 2002.

TOCANTINS. Lei nº 2.097, de 13 de julho de 2009. Dispõe sobre o Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH/TO e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Palmas, TO, n. 2.932, 13 jul. 2009.

Qualidade de Águas Subterrâneas: Estudo de Caso no Projeto de Assentamento Nova Amazônia, Boa Vista, RR

Zacarias Cruz de Oliveira
Vladimir de Souza

Introdução

Atualmente, mais da metade da população mundial reside em áreas urbanas (54%), e esse número tende a aumentar. Estima-se que, em 2050, 66% da população mundial habitará áreas urbanas. Um dos maiores desafios, associados com a magnitude e a velocidade de mudança da paisagem urbana, será o de fornecer água (MAZZUCO et al., 2015). Em razão do crescimento natural da população e da contaminação das águas por substâncias químicas, o suprimento de água potável e de boa qualidade nas áreas mais desenvolvidas torna-se cada vez mais difícil e de maior custo (FILIZOLA et al., 2002).

Apesar da relevância da água subterrânea para o desenvolvimento socioeconômico, o Brasil ainda apresenta uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, seu estágio de exploração e a qualidade de suas águas. Os estudos regionais são poucos e encontram-se defasados (ZOBY, 2008).

Para avaliar a qualidade das águas subterrâneas é necessária a realização de análises físico-químicas que produzam resultados sobre diversas variáveis, apresentando característica multivariada, deixando clara a necessidade do tratamento multivariado dos dados (FRANCA et al., 2017). Assim, a presente pesquisa mostra uma visão pormenorizada da situação da água nos poços subterrâneos localizados no Projeto de Assentamento Nova Amazônia, Polo I (Figura 1).

Tendo em vista a carência de distribuição de água pela rede pública de abastecimento, principalmente na zona rural do município de Boa Vista (LACERDA, 2013), houve aumento considerável de solicitações de outorga de direito de uso de recursos hídricos para poços tubulares e amazonas nas pequenas propriedades rurais no Projeto de Assentamento Nova Amazônia. En-

tretanto, a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH), atualmente, emite tais outorgas, cartorialmente, sem qualquer análise ou monitoramento prévio dessas águas subterrâneas.

Diante desse quadro, pretende-se estabelecer os parâmetros físico-químicos básicos para caracterizar a qualidade das águas subterrâneas, bem como realizar a caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica do aquífero, no Polo I do PA Nova Amazônia, e com isso criar um modelo (protocolo) que sirva para o futuro enquadramento de águas subterrâneas para essa e outras localidades no Estado de Roraima, obedecendo ao disposto na Resolução CONAMA n° 396/2008.

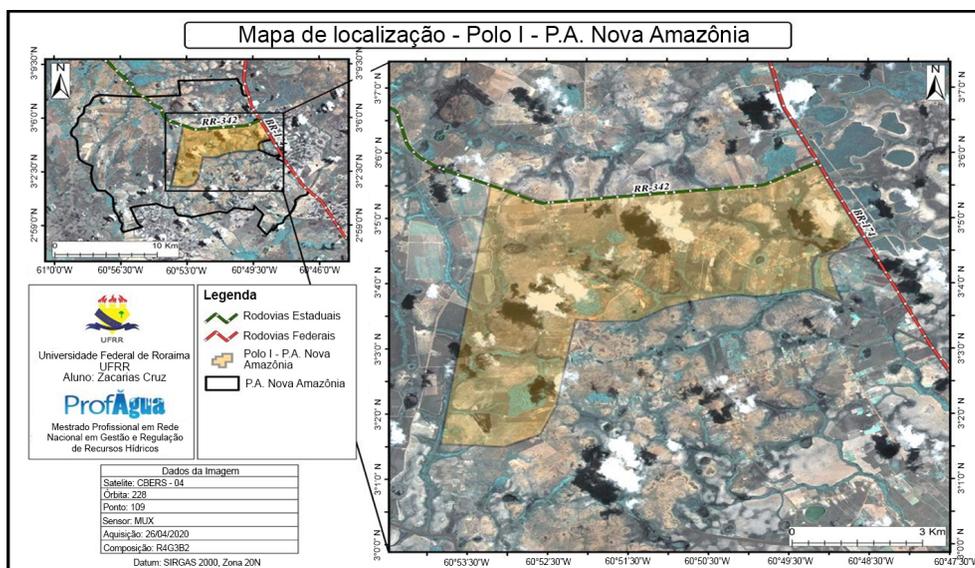


Figura 1 Mapa de localização do Polo I, PA Nova Amazônia. *Fonte:* Autores

Embasamento Legal

Neste trabalho foram considerados os parâmetros básicos de caracterização de águas subterrâneas descritos na Resolução CONAMA n° 396/2008 e os aspectos de vulnerabilidade, ambientais e fontes de poluição que possam contribuir para a contaminação do aquífero.

A Portaria de Consolidação n° 5/2017, do Ministério da Saúde, não estabelece parâmetros básicos para esse tipo de proposta aqui desenvolvida, a saber, caracterização e enquadramento em classes de água subterrânea, os

quais são estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008, pois a norma trata apenas de potabilidade de água para consumo humano, entretanto os Valores Máximos Permitidos (VPM) são iguais nas duas normas, para água subterrânea e para consumo humano.

Neste contexto, de forma a possibilitar o levantamento dos principais aspectos para a caracterização de águas subterrâneas através de poços tubulares, foi proposto este protocolo contendo os parâmetros básicos dispostos no art. 12 da Resolução CONAMA n° 396/2008, que servirá para caracterizar águas subterrâneas em outras localidades do Estado de Roraima. Considerando que é dever do órgão gestor de recursos hídricos estadual (FEMARH), conforme preconiza o art. 15 da Resolução CONAMA n° 396/2008, caracterizar e viabilizar o seu enquadramento em classes, as águas subterrâneas em sua jurisdição e que essa caracterização é essencial para estabelecer referência de qualidade, foi firmado o convênio entre a FEMARH e a CAER para analisar as amostras de águas subterrâneas no laboratório desta última.

O monitoramento das águas subterrâneas é instrumento fundamental para a avaliação das condições em que este meio natural se encontra e, posteriormente, poder tomar medidas preventivas e/ou proativas para o predomínio da qualidade e quantidade, buscando desenvolver o uso sustentável, junto a uma ação integrada de gerenciamento (MANZIONE, 2018). As acumulações de água em lençóis freáticos no Aquífero Boa Vista, principalmente nos acamamentos sedimentares das formações Areia Branca e Boa Vista, as quais possuem alta transmissividade (Quadro 1), e no manto de intemperismo de rochas cristalinas, estão susceptíveis à contaminação, pois esses mantos são rasos e pouco espessos, o que facilita a contaminação dos lençóis mais superficiais por ações antrópicas e/ou por elementos químicos da própria rocha (MAZZUCO et al., 2015).

Com base nas informações contidas no quadro acima, a faixa de transmissividade (T) para o Aquífero Boa Vista, no Polo I, pode ser calculada da seguinte maneira: $T = K.b$, em que K é a carga hidráulica e b, a espessura das camadas que compõem o aquífero. No Polo I, a espessura (b) é de 40 m, portanto, $T = 0,0001 \text{ m/s} \cdot 40 \text{ m} = 0,004 \text{ m}^2/\text{s}$ e $T = 0,00001 \text{ m/s} \cdot 40 \text{ m} = 0,0004 \text{ m}^2/\text{s}$, então a faixa de transmissividade (T) no Polo I do PA Nova Amazônia é de: $0,004 \text{ m}^2/\text{s}$ a $0,0004 \text{ m}^2/\text{s}$.

Deste modo, a utilização do Protocolo de Caracterização de Águas Subterrâneas proposto possibilitou a avaliação da água usada pelos assentados no Polo I do PA Nona Amazônia, bem como o seu enquadramento e sua classi-

ficação em classes. Isso irá influenciar, diretamente, na qualidade da outorga dos poços e contribuir para propor soluções de tratamentos dessa água, pelo órgão estadual gestor de recursos hídricos, aos assentados, além de subsidiar informações e, assim, melhorar a gestão desse importante recurso.

Quadro 1 Intervalos de K e T utilizados no mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo.

Produtividade	K (m/s)	T (m ² /s)	Exemplo de aquíferos
Muito Alta	$>10^{-4}$	$>10^{-2}$	Urucuaia, Alter do Chão, Parecis, São Sebastião, Cabeças confinado, Serra Grande confinado. Guarani confinado, Beberibe confinado
Alta	10^{-4} a 10^{-5}	10^{-2} a 10^{-3}	Boa Vista (localmente), Missão Velha (localmente). Barreiras (localmente), Parecis confinado, Serra Geral confinado
Moderada	10^{-5} a 10^{-6}	10^{-3} a 10^{-4}	Poti-Piauí, Cabeças, Içá, Sergi
Baixa	10^{-6} a 10^{-7}	10^{-4} a 10^{-5}	Ronuro, Beberibe Livre, Ilhas confinado
Muito Baixa	10^{-7} a 10^{-8}	10^{-5} a 10^{-6}	Serra Grande, Solimões, Fratura do Semiárido
Pouco Produtiva ou Não Aquífera	$<10^{-8}$	$<10^{-6}$	Aquitarde Longá, Aquitarde Ponta Grossa, Aquitarde Passa Dois, Aquitarde Pimenteiras

Fonte: CPRM (2016).

Caracterização Geológica

A caracterização geológica baseou-se em trabalhos feitos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e trabalhos realizados pela Universidade Federal de Roraima (UFRR), que deram subsídios para caracterizar a geologia do Polo I do PA Nova Amazônia. No Polo I do PA Nova Amazônia ocorrem 02 (duas) unidades geológicas, do topo para a base: a Formação Areias Brancas e a Formação Boa Vista.

Formação Boa Vista

A Formação Boa Vista, na área em destaque, é a unidade mais expressiva, compondo aproximadamente 85% da geologia da área. A unidade foi descrita pioneiramente como uma delgada sedimentação arenosa de cores claras, cimento argiloso, intercalando camadas seixosas com a ocorrência de concreções lateríticas (PINTO et al., 2012).

A Formação Boa Vista pode ser caracterizada por duas sucessões sedimentares separadas por uma discordância angular, e seu prolongamento em território guianense permite supor uma área total de sedimentação de aproximadamente 20 mil km² (REIS, 2003; WANKLER et al., 2012). Na região de Boa Vista ocorre a sucessão sedimentar inferior, onde são reconhecidos arenitos arcoseanos a levemente conglomeráticos, róseos a esbranquiçados. Cabe destacar a ocorrência de coberturas dentrito-lateríticas, especialmente no baixo curso do rio Cauamé até a foz do igarapé Murupu, intercaladas com rochas basálticas da Formação Apoteri, considerada por CPRM (1999) como anterior à deposição da Formação Boa Vista (provável idade Miocênica).

Formação Areias Brancas

Em Roraima, são reconhecidas várias áreas de sedimentação com características eólicas, constituindo depósitos arenosos estáveis ou com diferentes níveis de preservação, em quase sua totalidade, em resposta à influência de períodos muito secos que ocorreram durante o máximo da última glaciação de idade Pleistocênica (MELO et al., 1978; REIS et al., 2001; PINTO et al., 2012).

Na região de Boa Vista ocorrem amplos campos de dunas parabólicas nos rios Cauamé e Branco. Entre o baixo curso do rio Cauamé e serra do Murupu e nos igarapés Murupu, Aruanã, Carrapato e Água Boa de Cima, configura-se um padrão anelar e circundante aos citados bancos de dunas, sugestivo de pretérito alto topográfico (PINTO et al., 2012). A Formação Areia Brancas ocorre no nordeste da área de estudo (Figura 2), em uma pequena porção.

Caracterização Hidrogeológica

A caracterização hidrogeológica teve por base o trabalho realizado por Wankler et. al.,(2012) e dados da CPRM.

Sistema Aquífero Boa Vista (SABV)

Este sistema é predominantemente intergranular, e sua área de ocorrência abrange a maior parte do município de Boa Vista. O SABV é composto, no Polo I, pela Formação Boa Vista (Neógeno), Formação Areias Brancas (Quaternário), além de depósitos coluvionares e aluvionares do Quaternário (WANKLER et al., 2012). A Formação Boa Vista ocorre praticamente em toda a extensão do sistema. Considerada de idade neógena e de origem fluvio-aluvionar, é consti-

tuída por intercalações de sedimentos de argilosos, siltosos e arenosos de granulação fina a grossa. Sua espessura varia de 15 m até 120 m. Em função de sua continuidade lateral e vertical, é o principal reservatório do SABV na área do município de Boa Vista (WANKLER et. al., 2017).

Quanto à Formação Areias Brancas e Depósitos Coluvionares, sua distribuição esparsa e a pequena área e espessura desses reservatórios os tornam pouco relevantes como reservas hídricas (WANKLER et al., 2012). Entretanto, no Polo I, do PA Nova Amazônia, os poços na Vicinal 2A, coordenadas geográficas N:03°05'13"/W:-60°51'04", e na Vicinal 10, coordenadas geográficas N:03°04'46,03"/W:-60°49'59,95", cadastrados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS/CPRM, indicam que a espessura naquele local pode chegar a 35 m e apresenta vazão variando de 10 m³/h a 25 m³/h, enquanto a Formação Boa Vista apresenta vazão variando de 0,5 m³/h a 7,7 m³/h. Logo, a Formação Areias Brancas torna-se mais importante na zona leste do Polo I do que a Formação Boa Vista.

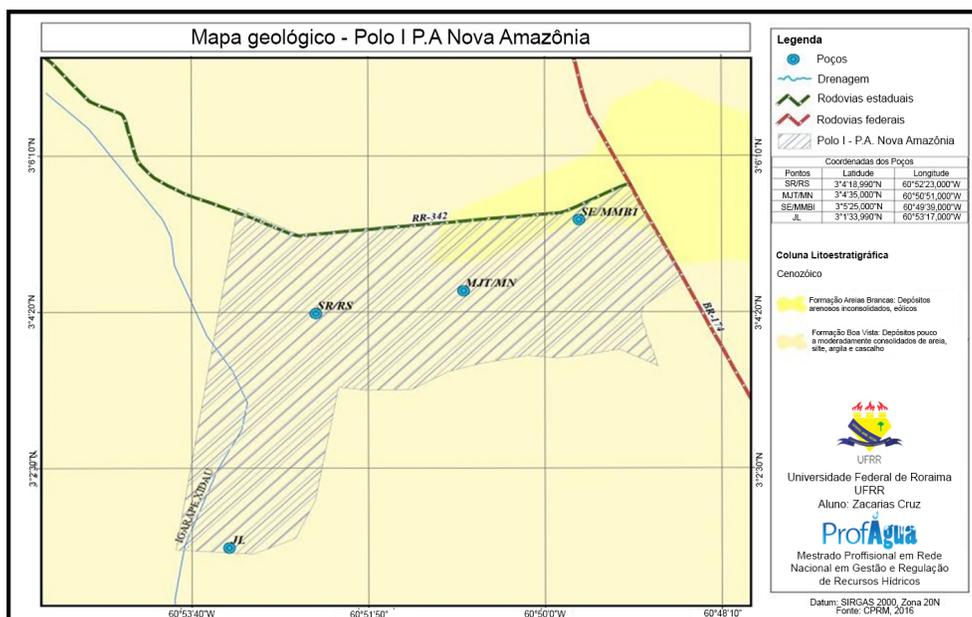


Figura 2 Mapa geológico do Polo I, PA Nova Amazônia. Fonte: Adaptado de CPRM (2014).

Com base nos quatro poços estudados para a localidade do Polo I, no PA Nova Amazônia, SABV (Figura 4) torna-se um aquífero de grande importância em termos hidrogeológicos, levando-se em consideração que os poços chegam a 43 m de profundidade e atravessam totalmente a Formação Areias Brancas, atingindo parcialmente a Formação Boa Vista, mas não atingindo o embasamento cristalino.

De acordo com observações em campo e dados colhidos nos poços, o lençol freático da região é raso, chega a 3 m de profundidade, e a vazão varia entre 0,56 m³/h (Formação Areias Brancas) e 7,76 m³/h (Formação Boa Vista), conforme dados hidrológicos dos poços estudados (Figura 4).

Descrição dos Usos de Recursos Hídricos no Polo 1

Em toda área do PA Nova Amazônia, não há distribuição de água pela rede pública, portanto, o principal uso da água captada em poço tubular e amazonas, no Polo I, é, prioritariamente, para consumo humano e, em seguida, para dessedentação animal, irrigação e piscicultura. Poucos são aqueles que desenvolvem piscicultura e grandes plantios, estando as médias e grandes plantações localizadas em outros polos.

Seleção dos Poços

Foram selecionados quatro poços tubulares, cujas distribuições geográficas são representativas da área de estudo. Os poços estudados possuem profundidade variando de 18 a 38 m e foram estabelecidos nas formações Boa Vista e Areias Brancas, ou seja, no Aquífero Boa Vista, de característica intergranular. Nenhum deles atingiu o embasamento cristalino e foram construídos sem o menor critério técnico, bem como não seguiram as normas vigentes para suas outorgas, a saber: a área de proteção do poço deve ter 10 m de raio, laje em local adequado, bem como a área de proteção sanitária conforme preconiza o Decreto Estadual nº 8.123-E, de 12 de julho de 2007, em seus arts. 27, 28, 29, 30 e 31 (RORAIMA, 2007).

As amostras de águas subterrâneas coletadas nos poços estudados foram analisadas no laboratório da Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAER). Os procedimentos de coleta de amostras de águas subterrâneas são aqueles adotados pelo laboratório da CAER (BRASIL, 2013), que segue as instruções do Guia de Orientações Técnicas para Coleta, Acondicionamento e Transporte de Amostra de Água para Consumo Humano do Ministério da Saúde – MS (BRASIL, 2013).

Na ocasião da amostragem de águas subterrâneas, foi realizada a sangria do poço pelo período de uma hora para obtenção de água da formação (água fresca) que fornecesse água com características mais próximas do ambiente natural. Apenas o trecho entre a superfície do poço e a chegada no reservatório é adequado para coleta. Essas recomendações foram feitas pelos técnicos do laboratório da CAER.

Primeiramente foi realizada a medição do nível estático, com o medidor de nível, antes de qualquer bombeamento. Posteriormente, foi realizada a sangria do poço por uma hora. Nesse momento, o medidor foi introduzido no poço para medição do nível dinâmico, bem como a vazão do poço, a qual foi determinada através de recipiente plástico de 20 L (balde plástico).

Parâmetros como coliformes, nitrato, nitrito e sólidos totais dissolvidos foram analisados em laboratório. Após realizar a sangria do poço por 1 hora, as amostras foram coletadas em frascos de vidro de 250 ml e, posteriormente, acondicionadas em recipiente com gelo e levadas para análise em laboratório. Os parâmetros mínimos descritos na Resolução CONAMA nº 396/2008 foram coletados conforme Guia (BRASIL, 2013). Vale salientar que os parâmetros físicos, como condutividade elétrica, turbidez, temperatura e pH, foram determinados em campo, por sonda multiparamétrica, no momento da coleta das amostras em balde plástico de 20 L. Não é aconselhável introduzir a sonda no poço, pois o suporte pode quebrar e a sonda cair, portanto é prudente que se colete água do poço por meio de balde plástico de 20 L. Ressalta-se que, para cada poço, um balde diferente deve ser utilizado, assim se evitam alterações nos resultados das análises. Caso o balde seja de inox, este deve ser lavado com detergente neutro antes de ser utilizado em outro poço.

Qualidade da Água Subterrânea no Polo I do PA Nova Amazônia

Condutividade elétrica

A análise da condutividade elétrica representa o grau de mineralização iônica de água que está relacionado ao grau de potabilidade para o consumo humano. Não há valores estipulados quanto à condutividade elétrica na Portaria de Consolidação nº 5/2017 do MS, porém valores que ultrapassem 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ estão relacionados a ambientes impactados negativamente (CRISPIM, 2017).

Todos os poços estudados apresentam-se dentro da normalidade descrita na Resolução CONAMA n° 396/2008, entretanto o poço Sítio MJT apresentou condutividade elétrica acima do normal: 101 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este aumento pode estar relacionado com um tanque escavado e abandonado que está localizado a 5 m do poço e que, provavelmente, deve estar impactando a área com águas contaminadas e contribuindo para este aumento.

Turbidez

A turbidez da água é decorrência da presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência. Pode ser provocada também pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias, como zinco, ferro, manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais (BRASIL, 2014).

A Portaria de Consolidação n° 5/2017 do Ministério da Saúde estabelece ainda o Valor Máximo Permitido de 1,0 UNT para água subterrânea e de 5,0 UNT em qualquer ponto da rede de distribuição, como padrão organoléptico de potabilidade (BRASIL, 2013). Dos quatro poços estudados, apenas dois estão dentro dos padrões estabelecidos: os poços JL (0,91 UNT) e SSR (0,43 UNT). Os outros dois poços – o MJT (29,26 UNT) e o MMB (57,04 UNT) – ficaram muito acima do recomendado. Os dois poços fora dos padrões da Resolução CONAMA n° 396/2008 e da Portaria de Consolidação n° 5/2017 do MS estão localizados próximos e/ou dentro de ambientes impactados por agentes antrópicos

Temperatura

A temperatura exerce influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias. Os ambientes aquáticos brasileiros apresentam, em geral, temperaturas na faixa de 20°C a 30°C (BRASIL, 2014). A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais (principalmente energia solar) ou antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas). As temperaturas das amostras de água coletadas estão dentro dos padrões aceitáveis para consumo, não há nenhuma alteração neste parâmetro que comprometa a sua potabilidade.

pH

Segundo Brasil (2014), o potencial hidrogênioônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido, detectada por

meio da medição da presença de íons hidrogênio (H^+), e é calculado em escala antilogarítmica, abrangendo a faixa de 0 a 14 (inferior a 7: condições ácidas; superior a 7: condições alcalinas). O intervalo de pH para águas para consumo humano, como é estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde e pela Resolução CONAMA nº 396/2008, fica entre 6,5 e 9,5. Portanto, apenas o poço MJT (pH 6,77) possui valor para potabilidade, os demais poços estudados exibiram valores de pH acima do recomendado por norma. Os poços MMB (pH 5,53), JL (pH 4,79) e SSR (pH 5,63) estão localizados em propriedades sem esgoto tratado e, provavelmente, o lançamento dos efluentes domésticos está influenciando o resultado do pH desses poços.

Coliformes termotolerantes e totais

A Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde e a Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelecem que águas destinadas ao consumo humano devem estar isentas de bactérias *Escherichia coli* (coliformes termotolerantes) e coliformes totais. Os lençóis freáticos são muito suscetíveis aos processos antrópicos devido ao posicionamento espacial no meio físico e acesso facilitado aos vetores químicos e microbiológicos, proporcionado pelo carreamento e lixiviação de águas superficiais, infiltradas e pluviais (SALES; LACERDA, 2017). Além desses fatores, poços mal construídos, sem a devida proteção recomendada e, ainda, próximos de fossas, de pocilgas ou qualquer outra estrutura que abrigue animais, podem contaminar a água do aquífero.

O nível do lençol freático no Polo I é muito raso, variando de 1 m a 5,5 m e já apresenta dados de contaminação por coliformes. Nos quatro poços analisados, todas as amostras de água apresentaram contaminação por coliformes (Quadro 2). Vale salientar que, para consumo humano, a Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do MS recomendam que não haja nenhum tipo de coliformes, principalmente termotolerantes (*E. coli*). Portanto, considerando-se as amostras analisadas dos poços, a qualidade da água para consumo humano no Polo I está comprometida, e isso requer intervenção do Poder Público, com urgência, pois trata-se de problema de saúde pública. Santos et al. (2018) constataram que as águas do Aquífero Boa Vista, no Polo I do PA Nova Amazônia, era inapropriadas para consumo humano, em função das mesmas estarem contaminadas por coliformes termotolerantes.

Nitrato

Em água subterrânea, teores acima de 5 mg/L podem ser indicativos de contaminação por atividades antrópicas, tais como: esgotos domésticos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais, etc. (CHRISPIM, 2016). O nitrato em águas subterrâneas origina-se principalmente de quatro fontes: aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos; e deposição atmosférica (BAIRD; CANN, 2011; FREDDO FILHO, 2018). O resultado da análise para nitrato na amostra do poço MMB (0,8) está de acordo com valores recomendados na Portaria de Consolidação nº 5/2017 do MS, bem como na Resolução CONAMA nº 396/2008.

Sólidos totais dissolvidos

A Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde e a Resolução do CONAMA nº 396/2008 estabelecem que o valor máximo permitido de STD para consumo humano seja de 1.000 mg.L⁻¹.

No único poço (BBM) que foi possível analisar esse parâmetro, o resultado foi de 28,83, portanto dentro da normalidade. Vale ressaltar que os parâmetros de nitrato, nitrito e sólidos totais dissolvidos não foram analisados nos outros poços em virtude da ausência de reagentes específicos para os mesmos. Os resultados das amostras analisadas no laboratório da CAER são dispostos no Quadro 2; as discussões a respeito dos resultados foram baseadas nos trabalhos de Crespim (2017), Chrispim (2016) e no Manual da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (2013).

Vulnerabilidade do aquífero

Baseado no trabalho de Chrispim (2016), utilizou-se o método GOD para verificar a vulnerabilidade do Aquífero Boa Vista no Polo I, do PA Nova Amazônia. O método é largamente empregado em estudos hidrogeológicos na América Latina, por apresentar praticidade (são apenas três parâmetros) e confiabilidade nos resultados (CHRISPIM, 2016). Seus parâmetros são:

G – Grau de confinamento hidráulico da água subterrânea (*groundwater occurrence*). Este parâmetro é responsável pelo quanto o horizonte não saturado pode se traduzir em camada que impede os fluxos descendentes de chegarem ao aquífero (aquífero livre, semiconfinado, confinado);

Quadro 2 Resultados de laboratório das análises de amostras de águas subterrâneas coletadas.

Parâmetro	RESULTADO				CONAMA n° 396/2008
	Poço MMB	Poço JL	Poço SSR	Poço MJT	Valores Máximos Permitidos – VMP
Condutividade elétrica	57,04	12,6	24,9	101,9	10-100
Turbidez	7,76	0,91	0,43	29,16	0,5-5,0 uT
pH	5,53	4,79	5,63	6,77	6,5-9,0
Temperatura	32°	30,54°	29,62	30,7°	30° C
Nitrato	0,8	-	-	-	10
Sólidos totais dissolvidos	28,83	-	-	-	1.000 mg/L
Coliformes totais	187	>2.419	>2.419	141	Ausente
Coliformes termotolerantes	9	<1	<1	<1	Ausente

Fonte: Autores.

O – Litologia da zona não saturada (*lithology of the overlying*). Em termos da característica hidrogeológica e do grau de consolidação, este parâmetro é que determina sua capacidade de atenuação do contaminante; e

D – Profundidade da água subterrânea (*depth of groundwater*). Considera-se a distância entre a superfície do solo e o topo do aquífero livre. Este parâmetro é de fundamental importância, pois pequenas mudanças no seu valor alteram significativamente o índice de vulnerabilidade. Os valores dos índices dos parâmetros GOD estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3 Valores dos índices dos parâmetros da metodologia GOD.

Parâmetros	Descrição	Índice
G	Aquífero surgente, confinado, semiconfinado, ausência de aquífero.	0,0 a 1,0
O	Natureza geológica e grau de consolidação	0,4 a 1,0
D	Profundidade do nível freático	0,6 a 1,0

Fonte: Adaptado de Foster e Hirata (1988) e Chrispim (2017).

De acordo com a característica do aquífero em estudo, cada um dos fatores hidrogeológicos recebe um valor. O resultado da multiplicação dos três valores representa o índice numérico para a vulnerabilidade natural do aquífero (Quadro 4), que pode ser definido em diferentes classes de vulnerabilidade (CHRISPIM, 2016).

Levando em consideração os dados hidrológicos dos poços estudados, o nível freático do aquífero é muito raso, de cerca de 3 m de profundidade, sendo um aquífero livre, intergranular, em sedimentos inconsolidados. Aplicando o método GOD para o Aquífero Boa Vista, no Polo I do PA Nova Amazônia, obtiveram-se os seguintes dados: $G = 1,0$; $O = 0,85$; e $D = 0,9$. Portanto, o resultado da multiplicação dos valores encontrados é **0,765**. Este resultado é o índice de vulnerabilidade do aquífero.

Quadro 4 Classificação de aquífero através do método GOD.

Intervalo	Classe	Características
0-0,1	Insignificante	Desconsidera as camadas confinantes com fluxos verticais descendentes não significativos.
0-0,3	Baixo	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançados.
0,3-0,5	Médio	Vulnerável a muitos poluentes, mas somente quando lançados continuamente.
0,5-0,7	Alto	Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles muito pouco móveis e pouco persistentes.
0,7-1,0	Extremo	Vulnerável a muitos poluentes com rápido impacto em muitos cenários de contaminação.

Fonte: Adaptado de Forster (2006) apud Crispim (2017).

De acordo com a tabela de classificação e com o índice de vulnerabilidade de 0,765, o aquífero apresenta vulnerabilidade extrema. Em observações de campo e resultados de laboratório, a vulnerabilidade do aquífero foi confirmada, em função da falta de saneamento básico no local; os assentados lançam seus esgotos domésticos em fossas sépticas ou até mesmo no solo, o que facilita a contaminação do aquífero. Também, as áreas onde se encontram os níveis mais rasos possibilitam que o contaminante chegue mais rápido à zona saturada, devido à menor distância que o contaminante deve percorrer desde a superfície do terreno até o limite superior do aquífero (CHRISPIM, 2016).

Riscos e fontes de contaminação

O risco potencial de determinado aquífero ser contaminado está relacionado ao tipo de contaminante e suas características, como: litologia (tipo de rocha), hidrogeologia, gradientes hidráulicos (diferença de pressão entre dois pontos), dentre outros. A maior ou menor susceptibilidade de um aquífero à contaminação e poluição é chamada de vulnerabilidade. A poluição/contaminação da água subterrânea pode ser direta ou indireta. Ambas podem estar relacionadas com as atividades humanas e/ou ser causadas por processos naturais (BRASIL, 2013).

No Polo I, as principais fontes de contaminação são: deposição de resíduos sólidos no solo, esgotos e fossas, atividades agrícolas, criação de pequenos animais, tanques de piscicultura abandonados e poços mal construídos, como é caso da maioria dos poços do Polo I. É interessante mais uma vez ressaltar que não há saneamento básico no PA Nova Amazônia, portanto cada assentado tem seu próprio sistema de esgoto sanitário, qual seja, fossa séptica e instalações como pocilgas mal construídas em locais inapropriados e próximos aos poços tubulares ou poços amazonas (cacimba). Todo esse cenário e a falta de recursos financeiros dos moradores, bem como a vulnerabilidade do aquífero, se somam, grandemente, para que haja uma situação de contaminação do aquífero no Polo I, de forma rápida, caso o Poder Público não intervenha com soluções capazes de melhorar a qualidade das águas subterrâneas no local.

Classificação para o enquadramento

A classificação das águas do Aquífero Boa Vista, no Polo I do PA Nova Amazônia, baseou-se em todas as informações obtidas em campo, laboratório e escritório. Os resultados das análises das amostras de água subterrânea no Polo I mostram uma situação preocupante, principalmente se for considerado o uso para consumo humano. Outra situação preocupante é a falta de saneamento básico naquela localidade, bem como a falta de recursos financeiros dos assentados para subsidiar as estruturas físicas de suas propriedades.

O fato de o Aquífero Boa Vista ser raso no Polo I, de as formações onde as águas do aquífero estão armazenadas terem suas sedimentações inconsolidadas e friáveis e de suas propriedades permo-porosa serem altas torna o aquífero vulnerável à contaminação, o que foi confirmado em campo, por diversos fatores já citados neste trabalho, principalmente o grau de vulnerabilidade do aquífero e a contaminação por coliformes. Portanto, para classificar

e enquadrar o Aquífero Boa Vista, no Polo I, PA Nova Amazônia, utilizou-se a classificação da Resolução CONAMA n° 396/2008 (Quadro 5).

Quadro 5 Classificação das águas subterrâneas para enquadramento.

Classe de água subterrânea	Condição para o enquadramento
Especial	As águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial.
Classe 1	As águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
Classe 2	As águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
Classe 3	As águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
Classe 4	As águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.
Classe 5	As águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Fonte: Resolução CONAMA n° 396/2008.

A classificação da Aquífero Boa Vista, no Polo I do PA Nova Amazônia, é a **classe 4**, o que é preocupante. Assim, o Poder Público, através da Fundação Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH), gestora dos recursos hídricos estaduais, deve intervir com soluções técnicas e ambientais viáveis para que não haja um problema de saúde pública no local.

Conclusões e Recomendações

As águas do Aquífero Boa Vista, no Polo I do PA Nova Amazônia, estão armazenadas nas formações Boa Vista e Areias Brancas, que, juntas, representam um pacote sedimentar, inconsolidado, de aproximadamente 43 m de es-

peSSura, constituindo-se em um excelente aquífero, em termos hidrogeológicos.

Os usos preponderantes das águas do Aquífero Boa Vista, no Polo I, são: consumo humano, irrigação, dessedentação de pequenos animais e piscicultura, com destaque para o consumo humano, por não haver rede pública de distribuição de água, tampouco rede de esgoto, naquele local. Os assentados construíram seus próprios sistemas de esgoto doméstico, os quais são lançados em fossas sépticas ou mesmo a céu aberto. Por ter o nível freático raso, em torno de 3 a 5 m de profundidade, o aquífero é altamente vulnerável à contaminação, o que foi constatado pelo método GOD. Vale ressaltar que as rochas das formações que compõem o Aquífero Boa Vista são inconsolidadas e com propriedades permo-porosas altas, o que facilita, sobremaneira, a infiltração e posterior contaminação.

A maioria dos poços amazonas e tubulares, no Polo I do PA Nova Amazônia, foi construída sem quaisquer critérios técnicos e em locais inapropriados, o que contribuiu, grandemente, para a contaminação do aquífero. É bom lembrar que o parâmetro de coliformes totais e termotolerantes, em todos os poços amostrados, evidenciou números preocupantes. Assim, há a necessidade de intervenção por parte do Poder Público Estadual, por meio do órgão gestor de recursos hídricos estadual, a FEMARH, em apresentar soluções técnicas e ambientais para melhorar a qualidade das águas usadas pelos assentados antes que se torne uma questão de saúde pública.

Os parâmetros básicos descritos na Resolução CONAMA nº 396/2008, ainda que alguns não tenham sido analisados, como no caso do nitrato e sólidos totais dissolvidos e os íons tóxicos e carcinógenos, em função da falta de reagentes, mostraram-se eficientes. Mesmo que apenas quatro poços tenham sido amostrados e analisados, o estudo contribuiu para o enquadramento, em classes, das águas do Aquífero Boa Vista, no Polo I do PA Nova Amazônia, que foram classificadas como de classe 4, o que é motivo de preocupação. Agora, antes de emitir qualquer outorga de direito de uso de recursos hídricos naquela localidade, a FEMARH deve instruir os assentados a tomar providências em relação à laje de proteção do poço, bem como à área de proteção do mesmo, e, ainda, construir suas fossas sépticas em locais afastados do poço. Dessa forma, a qualidade da outorga emitida será bem diferente da realizada hoje, bem como a água outorgada se cercará de todos os cuidados necessários, o que se trata de uma necessidade premente.

Recomendam-se, também, soluções técnicas por parte da FEMARH ou convênio entre a FEMARH e a FUNASA, para descontaminar as águas do Polo I do PA Nova Amazônia, como a fluoração e cloração nas caixas de água dos assentados, bem como a proteção dos poços construídos com a laje de proteção e a área de proteção do poço, descritos no Decreto nº 8.123-E/2007 (RORAIMA, 2007). Assim, com essas providências, a qualidade da água usada pelos assentados estará dentro dos padrões estabelecidos por normas. Vale lembrar que o processo de recuperação de aquíferos e de solos será custeado pelo empreendedor, o qual deve apresentar, ao órgão ambiental, todas as metodologias empregadas na descontaminação de águas subterrâneas e solos, conforme descrito na Resolução CONAMA nº 420/2009 e CETESB (2001b). O órgão ambiental deve realizar as coletas de águas subterrâneas e de solo para avaliação preliminar. No caso dos pequenos produtores do Polo I do PA Nova Amazônia, a FEMARH também deve procurar parcerias com instituições públicas e privadas, com *know-how* no assunto, a fim de realizar a descontaminação do solo e água subterrânea naquela localidade, visto que os assentados não dispõem de condições financeiras para custear tal trabalho.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.244**: construção de poço tubular para captação de água subterrânea. NBR 12.244. Rio de Janeiro, 2006. 10 p
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº. 5 de 25 de março de 2015. **Estabelece normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, seção I, supl. nº190, p. 360, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Orientações Técnicas para Coleta, Acondicionamento e Transporte de Amostras de Água para Consumo**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Ministério da Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador – DSAST. Brasília 2013.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água** / Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília: Funasa, 2013. 150 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014. 112 p
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 abril. 2008. Seção Resoluções, 71 p.,2008.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 420, de 30 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas**

- substâncias em decorrência de atividades antrópicas.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executiva, Brasília, DF, 30 dezembro. 2009. Seções Resoluções, p.81-84.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2001. b. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 2 fev. 2012.
- CRESPIM, R da C. e S. **Qualidade das águas subterrâneas rasa: estudo de caso no Distrito de Icoraci – PA.** 2017. 104p. Dissertação de Mestrado em Hidrogeologia. Universidade Federal do Pará. 2017.
- COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Geodiversidade do Estado de Roraima.** CPRM. Manaus. 2014. p. 30.
- COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. Projeto de Disponibilidade Hídrica do Brasil. **Carta Hidrogeológica: Folhas NA.20 Boa Vista.** Escala 1:1.000.000. 2016. Rio de Janeiro: 2016. CD-ROM.
- FRANCA, R. M. **Análise multivariada dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas em Juazeiro do Norte – CE (Brasil).** Revista de Água Subterrânea. 2017.
- FREDDO FILHO, V. J. **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero barreiras. Estudo de caso em Benevides – PA.** 2018. p.112. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos. Universidade Federal do Pará. 2018.
- FILIZOLA, H.F. et al. **Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guair.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.5, p.659-667, 2002.
- LACERDA, G. L. **Reforma Agrária no Lavrado de Roraima: o pioneirismo do Projeto de Assentamento Nova Amazônia - Boa Vista – RR.** 2013. p. 139. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista,2013.
- MANZIONE, R. L. **Águas Subterrâneas: Conceitos e Aplicações sob uma Visão Multidisciplinar.** Jundiá: Paco Editorial, 2015.
- MAZZUCO, G. G. et al. **Avaliação da efetividade das políticas públicas voltadas para a proteção das áreas de captação de água: estudo de caso no município de São Carlos-SP.** Revista de Água Subterrânea, 2015.
- PEREIRA, M. J. A. **Agricultura Familiar no Projeto de Assentamento Nova Amazônia: vida no Lavrado em Boa Vista – RR – Brasil.** 2017. p. 212. Tese de Doutorado (Doutorado em Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Amazonas.
- PINTO, V. M. et al. Contexto geológico no município de Boa Vista – RR. 2012. **ACTA Geográfico.** Boa Vista –RR, v. 6, n.12. 2012.
- RORAIMA. Decreto Estadual nº 8.123, de 12 de julho de 2007. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial do Estado de Roraima,** Poder Executivo, Boa Vista, RR, 12 de julho de 2008, 36 p., 2008.
- SALES, M. E. S.; LACERDA, M.C. de. **Análise de Coliformes Totais e Termotolerantes em Águas de Poço de Residências no município de Presidente Medici, Rondônia.** 2017. Revista Saberes UNIJIPA, Ji-Paraná, v.6, n.1. 2017.
- SANTOS, R.; ALENCAR, A.; PEREIRA, M.; VITAL, M. Aspectos Sanitários e de Qualidade da Água em Assentamento Rural em Roraima. **Anais do Seminário Internacional em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.** v.5. Manaus: EDUA. 2018

WANKLER, F. L.; R. A. O. EVANGELISTA; C. SANDER. Sistema Aquífero Boa Vista: "estado de arte" do conhecimento e perspectivas.. **ACTA Geográfica** 6(12): p. 21-39, 2012.

ZOBY, J. L. G. Panorama de Qualidade das Aguas Subterrâneas no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRÂNEAS, 20., 2008, Brasília. **Panoramade Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. Brasília, 2008. v. 0, p. 12 - 65.

Segurança de Barragens: Análise Evolutiva na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé

Andressa dos Santos Pereira
Adriano Frutuoso da Silva
Silvestre Lopes da Nobrega

Introdução

De acordo com a ANA (2021), segurança de barragem é uma condição que visa manter a sua integridade estrutural e operacional, de modo a minimizar o risco de incidentes ou acidentes, para o alcance de sua finalidade e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente.

Assim, durante a vida útil da barragem devem ser adotadas medidas de prevenção e controle que, se devidamente implementadas, asseguram reduzida probabilidade de ocorrência de acidentes, visando garantir as condições de segurança de barragens estabelecidas em leis e normativos aplicáveis. Contudo, deve-se observar também, de maneira complementar, as ações realizadas pela defesa civil para minorar as consequências de uma possível ocorrência de acidente, especialmente em casos em que se associam danos potenciais irreversíveis, como perda de vidas humanas (ANA, 2021).

Segundo Fontenelle et al. (2017), o aumento no número de barragens faz crescer também a preocupação com a segurança desse tipo de estrutura. Pelo fato de falhas nas estruturas das barragens culminarem em áreas inundadas, plantações dizimadas e causarem mortes de populações e animais, a segurança de barragens tem chamado mais a atenção.

Considerando o risco potencial de ruptura ou outro acidente grave, bem como sua área de impacto no âmbito humano, social, ambiental e econômico-financeiro, tratar sobre questões de segurança das barragens é essencial para redução de possibilidades de desastres e crimes ambientais (PEREIRA et al., 2021).

Deste modo, analisar a evolução da implementação dos instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) no Estado de Roraima, em

especial o sistema de classificação de barragens por Categoria de Risco (CRI) e por Dano Potencial Associado (DPA), foi o objetivo desta pesquisa exploratória, a partir de estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, utilizando procedimentos técnicos bibliográficos e documentais.

Para tanto, foi realizada pesquisa bibliográfica sobre classificação das barragens quanto ao DPA, que buscou evidenciar as faixas de classificação utilizadas quanto ao volume, potencial de perdas de vidas humanas, impacto ambiental e socioeconômico, bem como a metodologia de delimitação da área afetada a jusante em caso de possível ruptura da barragem.

O desenvolvimento do estudo baseou-se nas barragens cadastradas pelo órgão fiscalizador estadual, a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH), localizadas nos municípios de Alto Alegre, Boa Vista, Bonfim e Cantá, no Estado de Roraima (Figura 1).

Foram identificadas 11 barragens inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, sendo esta delimitada a partir da codificação de Otto Pfafstetter, de nível 4, utilizada pelo referido órgão.

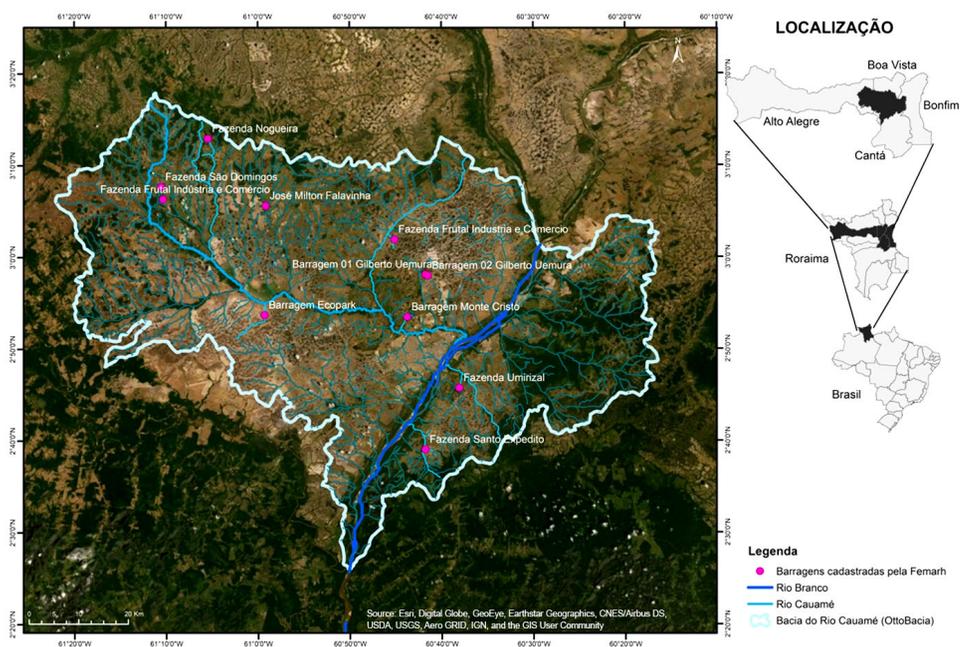


Figura 1 Barragens cadastradas e inseridas na bacia do rio Cauamé, localizada no Estado de Roraima. *Fonte:* Os autores.

Política Nacional de Segurança de Barragens no Brasil

Considerando eventos trágicos ocorridos no Brasil, como, por exemplo, o rompimento da Barragem do Córrego do Feijão, em Brumadinho, MG, foram propostas alterações na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e, em outubro de 2020, foi aprovada a Lei nº 14.066, que altera parcialmente a Lei nº 12.334/10 (COSTA E SILVA; FAIS; FREIRIA, 2020). Dentre as importantes mudanças, ressaltam-se aquelas relacionadas ao Plano de Ação Emergencial (PAE), além da inserção de um capítulo específico para as infrações e sanções a que estarão sujeitos os proprietários cujas barragens sofrerem rompimento, provocando danos ao meio e à população do entorno.

Nessa seara, com as devidas alterações na Lei nº 12.334/2010, a qual estabeleceu a PNSB destinada à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), os objetivos da PNSB passaram a ser (BRASIL, 2010):

Art. 3º São objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

- I - garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a fomentar a prevenção e a reduzir a possibilidade de acidente ou desastre e suas consequências;
- II - regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação, descaracterização e usos futuros de barragens;
- III - promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;
- IV - criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;
- V - coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;
- VI - estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;
- VII - fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos;
- VIII - definir procedimentos emergenciais e fomentar a atuação conjunta de empreendedores, fiscalizadores e órgãos de proteção e defesa civil em caso de incidente, acidente ou desastre.

A Lei nº 12.334/2010 estabelece ainda os instrumentos da PNSB, a saber: o sistema de classificação de barragens por Categoria de Risco (CRI) e por Dano Potencial Associado (DPA); o Plano de Segurança da Barragem (PSB), incluído o PAE; o SNISB; o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SINIMA); o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental; o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais; o Relatório de Segurança de Barragens; o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH); o monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência; e os guias de boas práticas em segurança de barragens (BRASIL, 2010).

A implantação dos instrumentos da PNSB, em especial do sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado, possibilita concluir para quais barragens as ações de acompanhamento, fiscalização e recuperação devem ser priorizadas, porquanto a CRI alto significa maior número de ameaças à segurança da barragem e, por sua vez, o DPA alto indica que, em caso de acidente, as consequências seriam graves (ANA, 2021).

Para Anderaós, Araújo e Nunes (2013), o mais importante dos sete instrumentos da PNSB, de certo modo, é o sistema de classificação de barragens por categoria de risco, por dano potencial associado e por volume. Os autores constataram ainda que tal sistema deverá ser o dosador das medidas e procedimentos de monitoramento a serem adotados, de forma a tornar mais seguras as barragens, determinando a periodicidade e o conteúdo mínimo das inspeções regulares e especiais, da revisão periódica, e a obrigatoriedade ou não de elaboração do PAE da barragem, segundo regulamentos a serem publicados pelos agentes fiscalizadores da segurança de barragens.

Destaca-se que a periodicidade mínima da Revisão Periódica de Segurança de Barragem, de acordo com a ANA (2017), será definida em função da matriz de CRI e DPA da barragem, evidenciando-se, assim, sua grande importância.

A Lei nº 12.334/2010 também definiu que as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por CRI, por DPA e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Tais critérios estão estabelecidos na Resolução CNRH nº 143/2012 (BRASIL, 2012).

Destaca-se que, conforme Brasil (2012), a Resolução CNRH nº 143/2012 define DPA como o dano que pode ocorrer devido ao rompimento, vazamen-

to, mau funcionamento de uma barragem ou à infiltração no solo, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais. Além disso, os critérios para classificação da barragem quanto ao DPA levam em consideração a área afetada (PEREIRA et al., 2021). Ressalta-se que a Resolução CNRH nº 143/2012 (BRASIL, 2012) define área afetada com a área a jusante ou a montante potencialmente comprometida por eventual ruptura da barragem, cuja metodologia de definição de seus limites deverá ser determinada pelo órgão fiscalizador.

Classificação de Barragens

De acordo com a Lei nº 12.334/2010, art. 1º, após alteração pela Lei nº 14.066/2020, para aplicação da PNSB, a barragem deverá apresentar pelo menos uma das seguintes características (BRASIL, 2010): I – altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 m (quinze metros); II – capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos); III – reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; IV – categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 7º desta Lei; V – categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador, conforme definido no art. 7º desta Lei.

Segundo a Lei nº 12.334/2010, a classificação por CRI em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, dos métodos construtivos, do estado de conservação e da idade do empreendimento e do atendimento ao PSB, bem como de outros critérios definidos pelo órgão fiscalizador, ressaltando que este deverá exigir do empreendedor a adoção de medidas que levem à redução da CRI da barragem. Já a classificação por DPA à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

Quanto à CRI, a Resolução CNRH nº 143/2012 dispõe que as barragens serão classificadas de acordo com seus aspectos que possam influenciar a possibilidade de ocorrência de acidente, levando-se em conta os seguintes critérios gerais (BRASIL, 2012):

a) Características técnicas:

- ◆ Altura do barramento;
- ◆ Comprimento do coroamento da barragem;
- ◆ Tipo de barragem quanto ao material de construção;
- ◆ Tipo de fundação da barragem;
- ◆ Idade da barragem;
- ◆ Tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro.

b) Estado de conservação da barragem:

- ◆ Confiabilidade das estruturas extravasoras;
- ◆ Confiabilidade das estruturas de adução;
- ◆ Eclusa;
- ◆ Percolação;
- ◆ Deformações e recalques;
- ◆ Deterioração dos taludes.

c) Plano de Segurança da Barragem:

- ◆ Existência de documentação de projeto da barragem;
- ◆ Estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem;
- ◆ Procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento;
- ◆ Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
- ◆ Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

Em suma, a CRI de uma barragem trata de aspectos da própria barragem que podem influenciar a probabilidade de um acidente, tais como: integridade da estrutura; aspectos de projeto; estado de conservação, operação e manutenção; atendimento ao Plano de Segurança; dentre outros (NEVES, 2018).

Ademais, destaca-se que, caso o empreendedor da barragem não apresente informações sobre determinados critérios explicitados acima, o órgão fiscalizador aplicará a pontuação máxima para o referido critério (BRASIL, 2012).

No que tange ao DPA de uma barragem, este é o dano que pode ocorrer devido a eventual rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado em consonância às perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais. Para se classificar o DPA, deve-se levar em consideração o uso e ocupação atual do solo (NEVES, 2018). Os critérios gerais a serem utilizados nessa classificação quanto à área afetada são (BRASIL, 2012):

- a) Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;
- b) Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;
- c) Existência de infraestrutura ou serviços;
- d) Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;
- e) Existência de áreas protegidas definidas em legislação;
- f) Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados;
- g) Volume.

A classificação quanto ao DPA, apresentada pela Resolução CNRH nº 143/2012, é feita por meio da atribuição de pontuação equivalente ao possível dano gerado a jusante (Quadro 1).

De acordo com Brasil (2012), a soma da pontuação alcançada a partir do Quadro 1 determinará a faixa de classificação do DPA, a qual se divide em três: alto, médio e baixo. Será considerado DPA alto caso a pontuação seja maior ou igual a 16; médio, caso esteja no intervalo entre 10 e 16; e baixo, se menor ou igual a 10.

O órgão fiscalizador poderá adotar critérios complementares tecnicamente justificados, devendo reavaliar, no máximo, a cada cinco anos a classificação aplicada, se assim considerar necessário. Ressalta-se que, caso o empreendedor da barragem não apresente informações sobre determinados critérios explicitados acima, o órgão fiscalizador aplicará a pontuação máxima para o referido critério (BRASIL, 2012).

No que tange às barragens fiscalizadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), foram definidos critérios complementares à Resolução CNRH nº 143/2012, inserindo classes intermediárias para os itens referentes aos impactos ambientais e socioeconômicos porque possuíam pontuações muito rigorosas, com poucas classes de escolhas, não permitindo correta associação com a realidade verificada em campo, buscando uma complementação e detalhamento dos critérios de classificação do CNRH (Quadro 2).

Quadro 1 Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo Resolução CNRH nº 143/2012.

DPA	Classes	Pontos
Volume total do reservatório	PEQUENO (≤ 5 milhões m^3)	1
	MÉDIO (5 milhões a 75 milhões m^3)	2
	GRANDE (75 milhões a 200 milhões m^3)	3
	MUITO GRANDE (> 200 milhões m^3)	5
Potencial de perdas de vidas humanas	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentemente / residentes ou temporários / transitando na área afetada a jusante da barragem)	0
	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	4
	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas)	8
	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto vidas humanas poderão ser atingidas)	12
Impacto ambiental	SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais)	3
	MUITO SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica)	5
Impacto socioeconômico	INEXISTENTE (Não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem)	0
	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviço de navegação)	4
	ALTO (Existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação)	8

Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

Quadro 2 Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo Resolução ANA nº 132/2016.

DPA	Classes	Pontos
Volume total do reservatório	PEQUENO (≤ 5 milhões m^3)	1
	MÉDIO (5 milhões a 75 milhões m^3)	2
	GRANDE (75 milhões a 200 milhões m^3)	3
	MUITO GRANDE (> 200 milhões m^3)	5
Potencial de perdas de vidas humanas	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentemente / residentes ou temporários / transitando na área afetada a jusante da barragem)	0
	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	4
	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas)	8
	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto vidas humanas poderão ser atingidas)	12
Impacto ambiental	POUCO SIGNIFICATIVO (quando área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais)	1
	SIGNIFICATIVO (quando a área afetada incluir áreas de proteção de uso sustentável – APA, FLONA, RESEX, etc. – ou quando for área de interesse ambiental e encontrar-se pouco descaracterizada de suas condições naturais).	2
	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a área afetada incluir áreas de proteção integral – ESEC, PARNA, REBIO, etc., inclusive Terras Indígenas – ou quando for de grande interesse ambiental em seu estado natural)	5
Impacto socioeconômico	INEXISTENTE (Não existe quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem)	0
	BAIXO (quando existem de 1 a 5 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou infraestrutura na área afetada da barragem).	1
	MÉDIO (quando existem mais de 5 até 30 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem)	3
	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação)	8

Fonte: Adaptado de ANA (2016).

Barragens no Estado de Roraima

No âmbito estadual, foi publicada a Instrução Normativa FEMARH nº 3/2017 (RORAIMA, 2017), a qual trata da classificação (Quadro 3), implantação e revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água, contenção de rejeitos e resíduos de domínio do Estado de Roraima. Essa instrução normativa foi elaborada de modo a regulamentar a Resolução CNRH nº 143/2012.

Quadro 3 Pontuação para classificação das barragens de acumulação de água quanto ao DPA, segundo a Instrução Normativa FEMARH nº 3/2017.

DPA	Classes	Pontos
Volume total do reservatório	PEQUENO (< 300 mil m ³)	1
	MÉDIO (300 mil a 3 milhões m ³)	2
	GRANDE (3 a 20 milhões m ³)	3
	MUITO GRANDE (> 20 milhões m ³)	5
Potencial de perdas de vidas humanas	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentemente / residentes ou temporários / transitando na área afetada a jusante da barragem)	0
	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	4
	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas)	8
	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto vidas humanas poderão ser atingidas)	12
Impacto ambiental	SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais)	3
	MUITO SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica)	5
Impacto socioeconômico	INEXISTENTE (Não existe quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem)	0
	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviço de navegação)	4
	ALTO (Existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação)	8

Fonte: Adaptado de Roraima (2017).

A referida IN define ainda quais barragens serão classificadas como DPA baixo, a saber (RORAIMA, 2017):

- a) Apresentem porte de reservatório menor que os valores estabelecidos para a classificação de pequeno porte;
- b) Não apresentem a jusante núcleos urbanos, empreendimentos ou áreas de interesse ambiental relevante a uma distância de quatro vezes o comprimento do reservatório formado.

A classificação feita em 2017 no estado de Roraima foi realizada em 16 barragens, sendo informado somente o uso principal de uma barragem (barragem de Jatapu) hidroelétrica. Ademais, somente 7 possuíam classificação quanto à CRI e ao DPA.

Já no ano de 2020, segundo a ANA (2021a), no que se refere à fiscalização da FEMARH, foram cadastradas 19 novas barragens, cujo uso principal de todas é aquicultura, num total de 35 barragens cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Assim, 29 barragens possuem como uso principal a aquicultura, 2 a recreação, 2 a regulação de vazão, 1 o abastecimento humano e 1 a irrigação. Mesmo considerando as alterações oriundas da Lei nº 14.066/2020, nenhuma barragem apresentou altura superior a 15 m.

A classificação obtida para o DPA e CRI, apresentada por ANA (2021a), está ilustrada nas Figuras 2 e 3 a seguir.

A identificação e o cadastro das barragens são essenciais para a classificação quanto ao DPA, a qual é realizada em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem. Se não há conhecimento sobre a existência de determinada barragem, não há classificação, o que implica dizer que nada se sabe acerca do dano potencial naquela área afetada (PEREIRA et al., 2021).

De acordo com ANA (2016a), os danos potenciais são os principais impactos associados à construção de pequenas barragens, bem como a sedimentação do reservatório, o crescimento de plantas aquáticas, a redução significativa dos escoamentos para jusante e a circulação de peixes. Deste modo, deverá haver avaliação quanto ao dano às pessoas, habitações ou propriedades afetadas pela onda de inundação devido ao eventual rompimento da barragem.

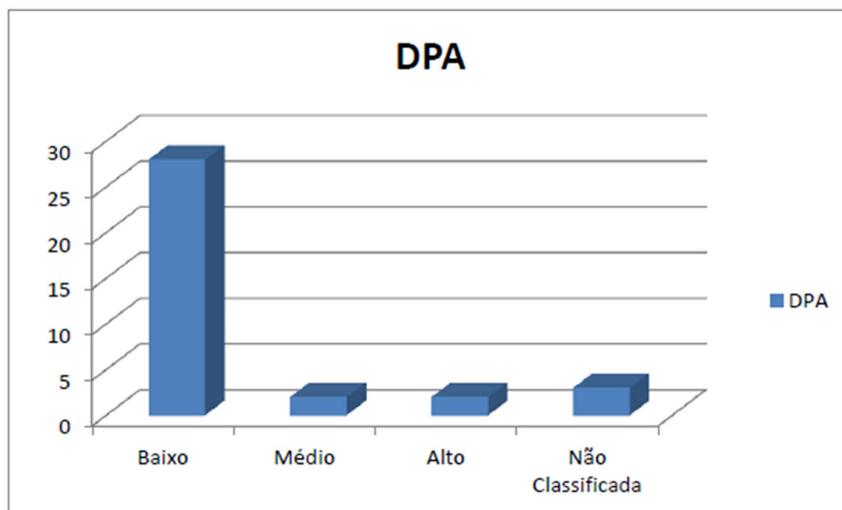


Figura 2 Classificação das barragens cadastradas no Estado de Roraima quanto ao DPA em 2020. Fonte: ANA (2021a).

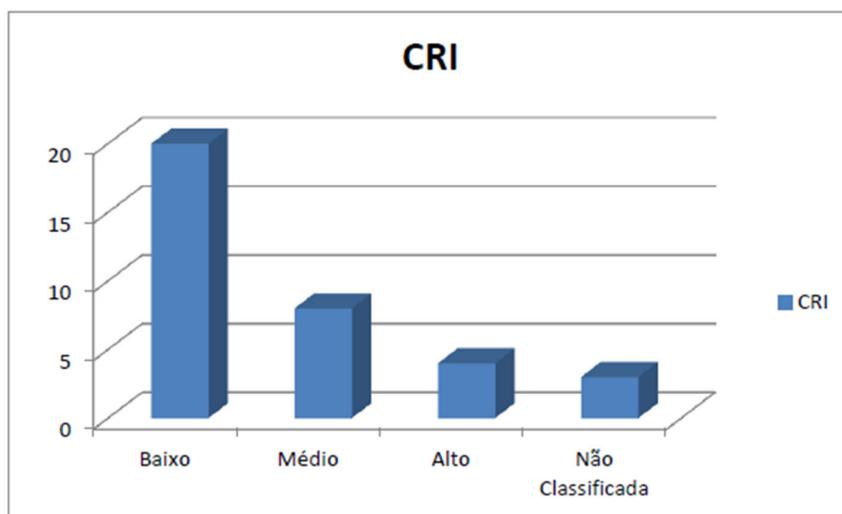


Figura 3 Classificação das barragens cadastradas no Estado de Roraima quanto à CRI em 2020. Fonte: ANA (2021a).

Há que se destacar que o Estado de Roraima também possui 11 barragens de uso principal hidroelétrico, fiscalizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), e todas possuem CRI médio e DPA alto, compondo o complexo de barragens do Alto Jatapu, conforme ANA (2021b).

Resultados

Considerando a carência de estudos quanto à implementação dos instrumentos da PNSB na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, em especial quanto ao sistema de classificação de barragens por CRI e por DPA, bem como o pioneirismo da pesquisa realizada por Pereira et al. (2021), este estudo foi centrado na pesquisa dos referidos autores.

A seguir são apresentados os resultados obtidos da evolução da implementação dos instrumentos da PNSB na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, em especial do sistema de classificação de barragens por CRI e por DPA, desde a primeira até a última classificação realizada pela FEMARH (2017 a 2021).

Evolução da Classificação das Barragens na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé

Desde a primeira classificação feita em 2017, a partir da publicação da IN FEMARH nº 3/2017, até a mais recente em 2020, houve variação quanto à CRI e ao DPA de algumas barragens, conforme apresentado no Quadro 4, quer seja devido à mudança do potencial de perdas de vidas humanas, impacto ambiental ou socioeconômico, quer seja pela ausência de informação pelo empreendedor, dentre outros. Ademais, de acordo com a ANA (2021), as condições de segurança das barragens devem ser periodicamente revisadas, levando em consideração eventuais alterações resultantes do envelhecimento e deterioração das estruturas ou de outros fatores, como o aumento da ocupação nos vales a jusante.

Segundo a ANA (2021b), nenhuma das barragens fiscalizadas pela FEMARH possui outorgas e Plano de Segurança de Barragem, mesmo aquelas que são obrigadas por força da Lei nº 12.334/2010. Assim, a ausência desses instrumentos propicia informações deficientes quanto aos impactos sociais e ambientais na região onde são instaladas, como, por exemplo, alteração do regime fluvial nos aspectos quantitativos e qualitativos, alteração de ecossistemas, deslocamento de populações, dentre outros, sendo essencial a obtenção de autorização que defina como as barragens devem ser construídas e operadas, minimizando os impactos de sua existência (ANA, 2021).

Ademais, o órgão fiscalizador estadual não possui metodologia clara, com a devida publicidade, quanto aos critérios adotados para delimitação da área afetada e posterior classificação quanto à CRI e ao DPA. Contudo, a fim de sanar tal questão, possibilitando aplicação de maneira isonômica e transparen-

te da classificação das barragens, para evolução da implementação da PNSB, Pereira et al. (2021) propõem um modelo de classificação das barragens quanto ao DPA, de modo a contribuir para elaboração do PSB, como possível instrumento a ser adotado pela FEMARH. Nele, analisou-se de maneira comparativa as classificações apresentadas pelas Resoluções CNRH nº 143/2012, ANA nº 132/2016 e IN FEMARH nº 3/2017, além das classificações adotadas em outros países, utilizando como procedimento para delimitação da área afetada o método simplificado de geração de mancha proposto por ANA (2017b).

Quadro 4 Análise temporal da classificação das barragens de acumulação de água inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé quanto ao DPA, segundo critérios da IN FEMARH nº 3/2017 (Datum e sistema de coordenadas: Sirgas 2000).

Barragem	Lat.	Long.	2017		2020			
			CRI	DPA	CRI	DPA	H (m)	V (hm ³)
Barragem 1 Gilberto Uemura	2,9685	-60,69606	-	-	Não classificada	Não classificada	4,00	0,11
Barragem 2 Gilberto Uemura	2,96617	-60,69222	-	-	Não classificada	Não classificada	4,00	0,17
Barragem Monte Cristo	2,89136	-60,7284	Médio	Médio	Alto	Alto	-	2,48
Barragem Ecopark	2,8955	-60,9875	Médio	Alto	Alto	Alto	11,80	8,60
Fazenda Frutal Indústria e Comércio	3,1056	-61,1722	Não classificada	Baixo	Médio	Baixo	-	-
Fazenda Frutal Indústria e Comércio	3,03275	-60,7522	Não classificada	Baixo	Médio	Baixo	-	0,82
Fazenda Nogueira	3,21553	-61,0892	Médio	Baixo	Alto	Médio	-	7,31
Fazenda Santo Expedito	2,651496	-60,6959	Médio	Médio	-	-	4,68	1,20
Fazenda São Domingos	3,12765	-61,176	Não classificada	Baixo	Médio	Baixo	-	3,32
Fazenda Umirizal	2,763	-60,6341	Não classificada	Baixo	Médio	Baixo	-	0,08
José Milton Falavinha	3,09281	-60,98542	-	-	Não classificada	Não classificada	9,00	20,61

Fonte: Adaptado de ANA (2017a, 2021b).

Proposta de Classificação de Barragens para Roraima

É notável a ausência de clareza na IN FEMARH nº 3/2017 (RORAIMA, 2017) no que tange à definição de qual metodologia deve ser adotada para delimitação da área afetada, a qual subsidia a classificação das barragens quanto ao Dano Potencial Associado (DPA), restando a subjetividade do órgão estadual para tanto. Ademais, de modo a refletir mais corretamente a realidade local, redistribuindo melhor o peso da pontuação atribuída inicialmente e criando nova faixa de classificação em acordo com a Resolução ANA nº 132/2016 (aplicável somente às barragens fiscalizadas pela ANA), foi proposta por Pereira et al. (2021) nova classificação (Quadro 5).

Segundo Pereira et al. (2021), ao se aplicar a proposta de classificação elaborada, a classificação obtida resultou que 42,9% das barragens foram classificadas com DPA “médio” e 42,9% com DPA “alto” (Figura 4). Logo, caso aplicada tal proposta, aproximadamente 86,0% das barragens analisadas estão sob a égide da Lei nº 12.334/2010, ou seja, é aplicável a PNSB e todas as Resoluções da ANA sobre segurança de barragens.

O estudo de Pereira et al. (2021) teve por base as barragens inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, contudo plenamente aplicável a todo o Estado de Roraima, quiçá a todo o território nacional. Para subsidiar essa classificação, os autores adotaram o método simplificado de geração de mancha de inundação, desenvolvido pela ANA e pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de Portugal. Segundo Petry et al. (2018), o método mostrou-se adequado em barragens de grande porte, contudo, nas de pequeno porte, a mancha gerada é conservadora quando comparada com modelos de cálculo hidráulico mais robustos, uma vez que possui extensão mínima de 6,7 km, culminando na definição de classes superiores de DPA.

Assim, o Banco Mundial (2014) sugere que sejam consideradas as distâncias inundadas a jusante até o ponto onde se presume que os efeitos incrementais da cheia do rompimento da barragem, em relação a uma cheia natural de referência, seriam relativamente pequenos.

Destaca-se que, com base no estudo de Graham (1999), o Banco Mundial propôs estimativas de distâncias a serem adotadas na metodologia simplificada (BANCO MUNDIAL, 2014). As distâncias sugeridas (Tabela 1) estão de acordo com a distribuição apresentada na Resolução ANA nº 132/2016.

Quadro 5 Proposta de classificação quanto ao DPA das barragens para o Estado de Roraima.

	Faixa de classificação	Pontos
Volume total do reservatório (I)	PEQUENO: quando apresenta volume $\leq 5 \text{ hm}^3$.	1
	MÉDIO: quando apresenta volume de 5 a 75 hm^3 .	2
	GRANDE: quando apresenta volume de 75 a 200 hm^3 .	3
	MUITO GRANDE: quando apresenta volume maior que 200 hm^3 .	5
Potencial de perdas de vidas humanas (II)	INEXISTENTE: quando não existem pessoas permanentemente / residentes ou temporários / transitando na área afetada a jusante da barragem.	0
	POUCO FREQUENTE: quando não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local.	4
	FREQUENTE: quando não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe atividade agrícola e/ou industrial, rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas.	8
	EXISTENTE: quando não há qualidade nas imagens de satélite, impossibilitando classificação, ou existam pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto vidas humanas poderão ser atingidas.	12
Impacto ambiental (III)	POUCO SIGNIFICATIVO: quando a área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais.	1
	SIGNIFICATIVO: quando a área afetada inclui áreas de proteção de uso sustentável (APA, FLONA, RESEX, etc.) ou quando se trata de área de interesse ambiental e encontra-se pouco descaracterizada de suas condições naturais.	2
	MUITO SIGNIFICATIVO: quando a área afetada incluir áreas de proteção integral (ESEC, PARNA, REBIO, etc.), inclusive Terras Indígenas, ou quando for de grande interesse ambiental em seu estado natural.	5
Impacto socioeconômico (IV)	INEXISTENTE: quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem.	0
	BAIXO: quando existem de 1 a 25 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem.	1
	MÉDIO: quando existem mais de 25 até 100 instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem.	3
	ALTO: quando não houver qualidade nas imagens de satélite, impossibilitando classificação, ou quando exista grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação, acima de 100.	8

Fonte: Pereira et al. (2021).

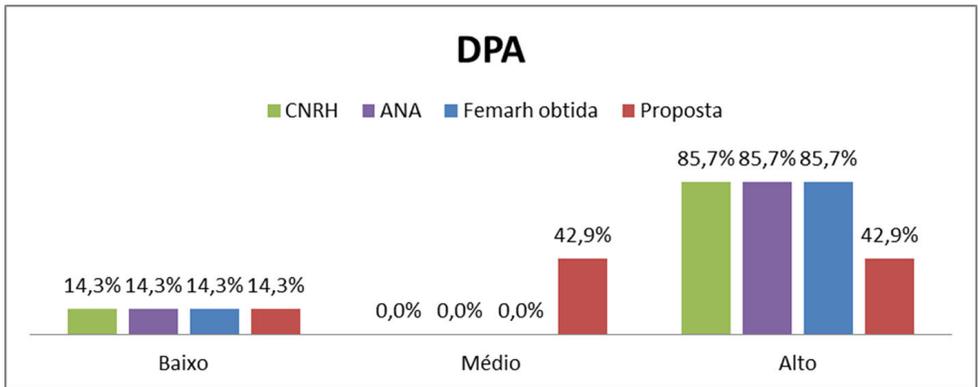


Figura 4 Análise gráfica das classes finais obtidas após aplicação da proposta de classificação quanto ao DPA. *Fonte:* Pereira et al. (2021).

Tabela 1 Capacidade de armazenamento recomendada x distância total a jusante.

Capacidade de Armazenamento (hm ³)	Distância Total a Jusante (km)
≤ 5	0-10
5-75	10-25
75-200	25-50
≥ 200	50-100

Fonte: Banco Mundial (2014).

A metodologia simplificada adotada permite, numa primeira fase, estimar os níveis de cheia máximos atingidos em seções de cálculo distribuídas perpendicularmente ao leito de cheia ao longo da extensão da área inundada para jusante, uma vez conhecidos o volume do reservatório e a altura da barragem em relação ao talvegu (BANCO MUNDIAL, 2014a).

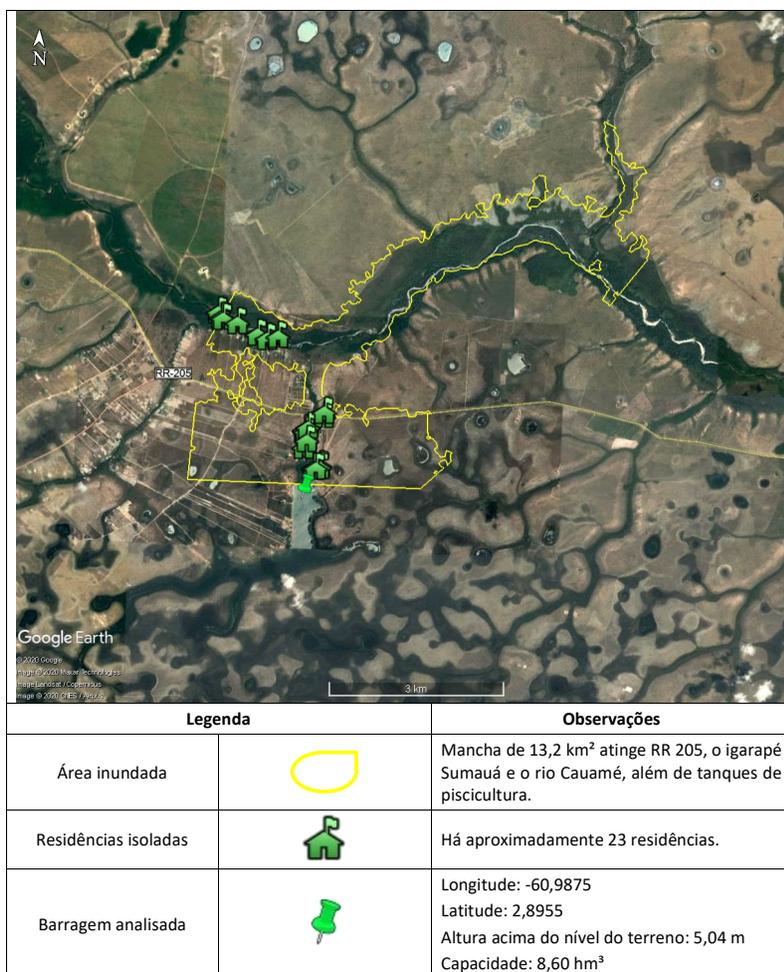
De acordo com o Banco Mundial (2014), essa metodologia simplificada para geração de mancha de inundação é recomendada para definir a área que seria inundada por eventual rompimento de barragem, a fim de identificar os danos potenciais a jusante e oferecer parâmetros que ajudem na seleção da classificação do DPA, não sendo adequada para utilização em mapas de inundação, pois não permite simular diversos aspectos hidrodinâmicos da onda de inundação.

Conquanto seja simplificada, a metodologia possui fundamentação técnica, de acordo com o Banco Mundial (2014a), pois se baseia em múltiplas fórmulas empíricas resultantes de casos de estudo reais e de modelos de si-

mulação de rupturas. Ademais, quando comparados os resultados de níveis máximos atingidos pela onda de ruptura com os obtidos através de métodos mais completos do ponto de vista hidráulico, por exemplo, o software *Hydrologic Engineers Corps – River Analysis System* (HEC-RAS), obtiveram-se resultados satisfatórios para efeitos de classificação do dano potencial associado.

Portanto, Pereira et al. (2021) sugerem a adoção de geração de mancha de inundação no intuito de auxiliar a subsidiar uma classificação eficiente, com parâmetros devidamente estabelecidos, facilitando a delimitação e análise da área afetada (Quadro 6).

Quadro 6 Mancha de inundação da barragem Ecopark, localizada no município de Boa Vista (RR).



Fonte: Pereira et al. (2021).

Considerações Finais

É evidente a crescente evolução do órgão fiscalizador no Estado de Roraima (Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídrico – FEMARH) quanto ao cadastramento e classificação das barragens sob sua competência, contudo ainda é necessária a implantação de mais instrumentos que subsidiem o cumprimento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

Nesta seara, por exemplo, foi possível concluir que, a partir dos dados fornecidos por ANA (2021b), a PNSB estabelecida por meio da Lei nº 12.334/2010 deve ser aplicada às barragens cadastradas e classificadas com Dano Potencial Associado (DPA) médio e alto, bem como com Categoria de Risco (CRI) alto. Contudo, constatou-se que nenhuma barragem cadastrada na FEMARH em 2020 possui PSB e/ou PAE como exigido pela PNSB. Ademais, nenhuma das barragens, com exceção das fiscalizadas pela ANEEL, possui outorga pela FEMARH, e, além disso, existem barragens cadastradas e não classificadas, o que dificulta ainda mais a análise quanto à segurança de barragens.

Aprimorar a IN FEMARH nº 3/2017, de modo a se utilizarem critérios mais transparentes e fundamentados na fase de delimitação da área afetada e classificação das barragens, pode culminar em mais eficiência, eficácia e segurança na atuação do órgão estadual fiscalizador para evolução da aplicação dos instrumentos da PNSB.

De fato, segundo Costa e Silva, Fais e Freiria (2020), o grande desafio da atualidade é conferir o máximo de efetividade para a PNSB, compreender e implementar da melhor forma seus principais instrumentos, incorporando e tirando lições de experiências no sentido de aperfeiçoar o atingimento dos objetivos da própria legislação especializada.

Portanto, a partir da implementação dos instrumentos trazidos pela PNSB, do eficaz licenciamento ambiental e outorga das barragens, e de metodologias devidamente fundamentadas, para delimitação da área afetada a jusante, que visem dar maior transparência e isonomia aos atos emanados pelos órgãos fiscalizadores, com ênfase no estado de Roraima, espera-se que haja planejamento, fiscalização e gestão de riscos eficientes.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Resolução n. 132, de 22 de fevereiro de 2016**. Estabelece critérios complementares de classificação de barragens reguladas pela ANA, quanto ao DPA. Brasília, 2016. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2016/132-2016.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

_____. **Resolução n. 236, de 30 de janeiro de 2017.** Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do PAE. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/236-2017.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

_____. **Cadastros de barragens realizados no Relatório de Segurança de Barragens.** 2017a. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2017/CadastroRSB2017_Portal_SNISB%28v4%29.xlsx>. Acesso em: 1 jul. 2021.

_____. **Curso sobre metodologia simplificada para definição da mancha de classificação do Dano Potencial Associado (DPA) da barragem.** 2017b. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/capacitacao/Arquivos_Cursos/treinamento-sobre-metodologia-simplificada-para-definicao-da-mancha-de-classificacao-do-dano-potencial-associado-dpa-da-baragem>. Acesso em: 1 jul. 2021.

_____. **Relatório de Segurança de Barragens 2020.** Brasília, DF: ANA, 2021.

_____. **Relatório Progestão 2020 – Estado de Roraima.** Brasília, DF: ANA, 2021a.

_____. **Cadastros de barragens realizados no Relatório de Segurança de Barragens.** 2021b. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2020/dados-rsb-2020-para-portal-snisb.xlsx>>. Acesso em: 1 jul. 2021.

ANDERÁOS, A.; ARAÚJO, L. M. N.; NUNES, C. M. Classificação de barragem quanto à categoria de risco e ao dano potencial associado - um exercício. *In*: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 10., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 1-8.

BANCO MUNDIAL. Classificação de barragens: **Avaliação dos critérios gerais atuais, metodologia simplificada para áreas inundadas a jusante e diretrizes para a classificação (Produto 4).** 2014. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/publicacoes/ArquivosPNSB_Docs_Estruturantes/produto-04-classificacao-de-barragens-avaliacao-dos-criterios-gerais-atuais-metodologia-simplificada-para-areas-inundadas-a-jusante-e-diretrizes-para-a-classificacao.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2021.

_____. **Classificação de barragens reguladas pela Agência nacional de águas (Produto 6).** 2014a. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/publicacoes/ArquivosPNSB_Docs_Estruturantes/produto-06-classificacao-de-barragens-reguladas-pela-ana.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2021.

BRASIL. **Lei Federal n. 12.334, de 20 de setembro de 2010.** Estabelece a PNSB destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o SNISB. Brasília, DF: Presidência da República, [2010]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 23 jun. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. **Resolução n. 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. Brasília, 2012. Disponível em: <<https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/1922-resolucao-n-143-de-10-de-julho-de-2012/file>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

COSTA E SILVA, D. C.; FAIS, L. M. C. F.; FREIRIA, R. C. Segurança de barragens: panorama histórico da legislação brasileira. **Revista de Direito, Política e Filosofia Athenas**, Belo Horizonte, v. 1, p. 1-20, jan./dez. 2020. Disponível em: <https://www.fdcl.com.br/revista/site/download/fdcl_athenas_ano9_vol1_2020_artigo06.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2021.

FONTENELLE, M. C. et al. Avaliações de risco em barragens: estudo de caso da barragem malcozinhado no nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil – Reec**, Goiânia, v. 14, n. 1, p. 25-42, 28 ago. 2017. Universidade Federal de Goiás. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/download/46356/pdf/203434>>. Acesso em 1 jul. 2021.

GRAHAM, P. E. W. J. **A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure**. 1999. Disponível em: <<https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/TechDev/DSOTechDev/DSO-99-06.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2021.

NEVES, L. P. **Segurança de Barragens**: Legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada. 2018. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/e-book-livre-legislacao-federal-brasileira-em-seguranca-de-barragens-autor-luiz-paniago-neves>> Acesso em: 20 maio 2019.

PEREIRA, A. S. et al. Proposta de classificação de barragens quanto ao dano potencial associado para o estado de Roraima. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, mar. 2021. (No prelo.)

PETRY, A. et al. **Classificação de barragens quanto ao dano potencial associado**: a experiência da agência nacional de águas. 2018. Disponível em: <<http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/outros/artigo-para-o-dam-world-2018/classificacao-de-barragens-quanto-ao-seu-dano-potencial-associado-2018.docx>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

RORAIMA. Secretaria de Estado de Gestão Estratégica e Administração. Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Femarh. **Instrução Normativa n. 3, de 20 de dezembro de 2017**. Aprova os critérios e os procedimentos para a classificação, implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água, contenção de rejeitos e resíduos de domínio do estado de Roraima. Boa Vista, 2018. Disponível em: <http://imprensaoficial.rr.gov.br/app/_edicoes/2018/01/doe-20180116.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2021.

Sobre os Autores

Organizadores

Fábio Luiz Wankler – Doutor e Mestre em Geologia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente é Professor Associado do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Roraima (UFRR) e Docente do quadro permanente do Mestrado Profissional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/ProfÁgua/UFRR, no qual atua na área de Instrumentos da Política de Recursos Hídricos. E-mail de contato: fabio.wankler@ufr.br

Marcos José Salgado Vital – Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Pernambuco, Mestre em Micologia pela Universidade Federal de Pernambuco e Doutor em Ciências (Microbiologia Ambiental) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é Professor Titular Livre do Centro de Estudos da Biodiversidade (CBio) e Docente do quadro permanente do Mestrado Profissional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/ProfÁgua/UFRR, no qual atua na área de Instrumentos da Política de Recursos Hídricos. E-mail de contato: marcos.vital@ufr.br

Elizete Celestino Holanda – Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Rondônia e Mestrado e Doutorado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é Professora Associada do Departamento de Geologia e Docente do quadro permanente do Mestrado Profissional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/ProfÁgua/UFRR, no qual atua na área de Regulação e Governança de Recursos Hídricos. E-mail de contato: elizete.holanda@ufr.br

Vladimir de Souza – Graduação em Geologia e Mestrado e Doutorado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é Professor Associado do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Roraima e Docente do quadro permanente do Mestrado Profissional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/ProfÁgua/UFRR, no qual atua na área de Regulação e Governança de Recursos Hídricos. E-mail de contato: vladimir.souza@ufr.br

Autores

Adriano Frutuoso da Silva – Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade Estadual da Paraíba, Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Mestrado e Doutorado em Geotecnia na Universidade de Brasília. Atualmente é Professor Adjunto IV do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Roraima e Docente do quadro permanente do Programa de Pós-Graduação ProfÁgua/UFRR, no qual atua na área de Regulação e Governança de Recursos Hídricos. E-mail de contato: adriano.silva@ufr.br

Amanda Soares Cardoso – Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Vale do São Francisco. Pós-Graduação com ênfase em Piscicultura: Sanidade e Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua – pela Universidade Federal de Roraima. Atua como projetista nas linhas de crédito rural (investimento e custeio) para os mais diversos bancos e agências de fomento, prestando assistência técnica a produtores rurais, com ênfase nos piscicultores. E-mail de contato: amanda.soaresc@hotmail.com

Ana Cristina Mendes Ruiz Rolim – Graduação em Geologia pela Universidade do Amazonas e Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Roraima. Atua como assessora técnica do Ministério Público do Estado de Roraima e na área de Educação Ambiental. E-mail de contato: anacristina9117@gmail.com

Andressa dos Santos Pereira – Possui Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Roraima (2010-2014), Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho (2018-2020) e Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo ProfÁgua da Universidade Federal de Roraima (2018-2020). Atua como Engenheira Civil no Instituto Federal de Roraima/IFRR. E-mail de contato: engcivilandressa@hotmail.com

Átyles Paiva Loura – Tecnólogo em Gerenciamento Ambiental, Faculdades Cathedral de Ensino Superior (2006). Graduação em Enfermagem, Universidade Estadual de Roraima (2013). Pós-Graduação em Docência do Ensino Superior, Centro Universitário Barão de Mauá (2016), e Gestão Ambiental de Empresas, ALFAMÉRICA (2018). Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo ProfÁgua na Universidade Federal de Roraima, UFRR (2020). Atua como analista ambiental na Assembleia Legislativa de Roraima, RR. E-mail de contato: atyles07@hotmail.com

Carlos Sander – Possui Graduação em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2000), Mestrado (2003) e Doutorado (2015) em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá. Atualmente é Professor Adjunto do

Departamento de Geografia da Universidade Federal de Roraima e Docente do quadro permanente do Mestrado Profissional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/ProfÁgua/UFRR, no qual atua na área de Instrumentos da Política de Recursos Hídricos. E-mail de contato: carlos.sander@ufrr.br

Débora Strucker – Graduada em Zootecnia pela Universidade Federal de Roraima e Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo ProfÁgua na Universidade Federal de Roraima. Atua como analista ambiental na Assembleia Legislativa do Estado de Roraima. E-mail de contato: deborastrucker@hotmail.com

Indianara Gouveia de Sene Dias – Graduação em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Roraima e Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo ProfÁgua da Universidade Federal de Roraima. E-mail de contato: indianara.gouveia@hotmail.com

Luiza Câmara Beserra Neta – Graduação em Licenciatura Plena em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1988), Bacharelado em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1991), Mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (1996) e Doutorado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (2008). Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de Roraima. Membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRR, no qual atua na área de Geografia Física, com ênfase em Geomorfologia e Geoturismo. E-mail de contato: luiza.camara@ufrr.br

Miguel Felipe de Souza Lima – Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2015), Especialização em Auditoria e Perícia Ambiental pelo Centro Universitário Internacional (2019), Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo ProfÁgua da Universidade Federal de Roraima (2021). E-mail de contato: Miguel_feliperr@hotmail.com

Pedro Alves da Silva Filho – Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Roraima (2000), Especialização em Engenharia de Saúde Pública pela FEAMIG/MG (2001), Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco de Mato Grosso do Sul (2003), Mestrado em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2007), Doutorado em Engenharia Civil e Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal do Ceará (2014) e Pós-Doutorado pelo Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFS (2018). Atualmente é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Roraima e Docente do quadro permanente do Mestrado Profissional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/ProfÁgua/UFRR, no qual atua na área de Instrumentos da Política de Recursos Hídricos. E-mail de contato: pedro.filho@ufrr.br

Pedro Antônio Santiago Dória dos Santos – Graduado em Geologia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2008). Desde 2010 é Especialista em Recursos Minerais pela Agência Nacional de Mineração, Gerência do Estado de Roraima. Em 2020, Mestre em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos pelo ProfÁgua da Universidade Federal de Roraima. Atua como Gerente Geral Regional em Roraima da Agência Nacional de Mineração (ANM). E-mail de contato: pedro.santiago@anm.gov.br

Rômulo Ferreira de Magalhães – Graduação em Geologia pela Universidade Federal do Amazonas (1997). Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo ProfÁgua na Universidade Federal de Roraima (2020). Atualmente é Pesquisador em Geociências do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Ministério de Minas e Energia – MME), atuando na área de Monitoramento Hidrológico e Hidrogeológico. E-mail de contato: romulo.magalhaes@cprm.gov.br

Silvestre Lopes da Nobrega – Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia, Rede Bionorte. Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (1998) e Mestrado em Engenharia Civil/Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Campina Grande (2000). Atualmente é Professor da Universidade Federal de Roraima. Atua nas seguintes linhas de pesquisa: Hidrologia; Conservação de solo e água; Engenharia de construções rurais; Planejamento integrado dos recursos hídricos; Engenharia hidráulica. E-mail de contato: silvestre.lopes@ufr.br

Stélio Soares Tavares Júnior – Bacharel em Geologia pela Universidade Federal do Pará (1988), Mestre em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (1992) e Doutor em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2004). Atualmente é Professor Associado IV da Universidade Federal de Roraima. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto, e é Docente do quadro permanente do Mestrado Profissional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/ProfÁgua/UFRR, no qual atua na área de Instrumentos da Política de Recursos Hídricos. E-mail de contato: stelio.tavares@ufr.br

Zacarias Cruz de Oliveira – Geólogo formado pela Universidade Federal do Amazonas em 1994, Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo ProfÁgua na Universidade Federal de Roraima em 2021. Atua como Chefe da Divisão de Licenciamento Ambiental – DLA/FEMARH, do Governo do Estado de Roraima. E-mail de contato: zcruzoliveira@hotmail.com

ProfÁgua

Mestrado Profissional em Rede Nacional
em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos



MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



ISBN 978-658481112-6



9

786584

811126