



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS – PROFAGUA

JEAN FLÁVIO CAVALCANTE DE OLIVEIRA

TRAÇADO E EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE DO RIO CAUAMÉ EM BOA
VISTA – RR

BOA VISTA-RR

2020

JEAN FLÁVIO CAVALCANTE DE OLIVEIRA

**TRAÇADO E EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE DO RIO CAUAMÉ EM BOA
VISTA – RR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, na área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Sander
Co-orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Wankler

BOA VISTA-RR
2020

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

O48t Oliveira, Jean Flávio Cavalcante de.

Traçado e extrapolação de curva-chave do Rio Cauamé em Boa Vista – RR / Jean Flávio Cavalcante de Oliveira. – Boa Vista, 2020.
50 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Sander.

Co-orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Wankler.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

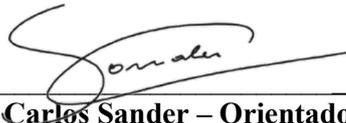
1 – Rio Cauamé. 2 – Curva chave. 3 – Dinâmica fluvial. 4 – Morfometria. I – Título. II – Sander, Carlos (orientador). III – Wankler, Fábio Luiz (coorientador).

CDU – 556.51(811.4)

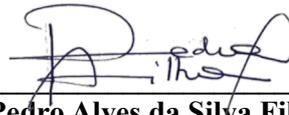
JEAN FLÁVIO CAVALCANTE DE OLIVEIRA

**TRAÇADO E EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE DO RIO CAUAMÉ EM BOA
VISTA - RR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos. Defendida em 25 de novembro de 2020 e avaliada pela seguinte banca:



Prof. Dr. Carlos Sander – Orientador (UFRR)



Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho (UFRR)



Prof. Dr. Silvestre Lopes da Nóbrega (UFRR)

A Antônio e Maria Edite (*in memoriam*)
Meu pai, minha mãe,
Que firmaram minha essência no caráter
Na dignidade
E no respeito ao próximo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha fortaleza espiritual.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001, e ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA (Projeto CAPES/ANA AUXPE N° 2717/2015), pelo apoio técnico científico aportado.

Aos professores do PROFÁGUA, todos representados na boníssima pessoa do Professor Antônio Tolrino Resende Veras, de saudosa memória.

Ao meu Orientador, Professor Dr. Carlos Sander, e Co-Orientador, Professor Dr. Fábio Wankler, de importância basilar na construção deste trabalho.

À minha esposa, Dr^a Priscila Azarak, pela paciência e compreensão nos momentos de minhas ausências, às vezes estando presente fisicamente, mas mergulhado nos livros e estudos para tentar entender a ciência; e ao meu filho Fred Augusto, pela dedicação e carinho.

Aos meus familiares, por estarem juntos nos obstáculos e vitórias.

A todos os que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho: Rogeano Gonçalves e Tadeu Junho (Fundação Estadual do Meio Ambiente); Daniel Garcia, José Henrique Leite, Luana Lisboa, Luna Gripp e Matias Pacheco de Oliveira (Serviço Geológico do Brasil); e a todos os colegas da turma 2018 do PROFÁGUA.

Muitíssimo obrigado!

*“Cada um de nós compõe a sua história,
E cada ser em si carrega o dom de ser capaz,
E ser feliz...”*

(Renato Teixeira, na música “Tocando em Frente”)

RESUMO

O rio Cauamé é um importante afluente da margem direita do rio Branco, e sua bacia hidrográfica estende-se nos municípios de Alto Alegre (51% da área total) e Boa Vista (49% da área total), ambos no estado de Roraima. Considerando a importância sócio econômica deste corpo hídrico, desde à sujeição aos impactos ambientais causados pela ocupação urbana, como também à demanda hídrica nas atividades rurais e de lazer, torna-se de extrema importância analisar o regime hidrológico deste rio para subsidiar diretrizes que norteiem a gestão dos recursos hídricos deste importante afluente do rio Branco. Este estudo estabeleceu a relação cota/vazão (curva chave) em ponto de monitoramento na bacia do Rio Cauamé, e caracterizou morfometricamente esta bacia, a partir de técnicas de sensoriamento remoto, como base para suporte na gestão de recursos hídricos. As características morfométricas da Bacia hidrográfica do Cauamé (BHC) indicam uma rede de drenagem de cerca de 115 km, mas com baixíssima declividade média (0,00276 m/m) e tempo de concentração relativamente elevado de 55,5 horas. A morfometria explica, em parte, a formação de remansos hidráulicos no rio Cauamé em períodos de chuvas intensas e em áreas próximas à foz. De acordo com a relação cota/vazão, observou-se que a seção controle apresentou vazões satisfatoriamente próximas do esperado em 85% dos níveis registrados, sendo este percentual de abrangência suficiente para subsidiar o cálculo de vazões de referência que permitam a adequada gestão da bacia hidrográfica.

Palavras-chave: rio Cauamé. Curva chave. Dinâmica fluvial. Morfometria.

ABSTRACT

The Cauamé river is an important tributary of the right bank of the Branco river, and its hydrographic basin extends in the municipalities of Alto Alegre (51% of the total area) and Boa Vista (49% of the total area), both in the Roraima state, Brazil. Considering the socio-economic importance of this water body, since it is subjected to the environmental impacts caused by urban occupation, as well as the water demand in rural and leisure activities, it is extremely important to analyze the hydrological regime of this river to support guidelines that guide the management of water resources of this important tributary of the Branco River. This study established the water level / rating-curve at a monitoring point in the Cauamé River basin, and morphometrically characterized this basin, using remote sensing techniques, as a basis for support in the management of water resources. The morphometric characteristics of the Cauamé River Basin (CRB) indicate a drainage net of about 115 km, but with a very low average slope (0.00276 m / m) and a relatively high concentration time of 55.5 hours. The morphometry explains, in part, the formation of hydraulic backwaters in the Cauamé River during periods of intense rain and in areas close to the mouth. According to the water level / rating-curve, it was observed that the control section showed flows satisfactorily close to the expected in 85% of the registered levels, this percentage being sufficient to support the calculation of reference flows that allow the adequate management of the hydrographic basin.

Keywords: Cauamé river. Key curve. River dynamics. Morphometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização no estado de Roraima e delimitação da Bacia do rio Caumé com a divisão entre os municípios de Boa Vista e Alto Alegre (RR)	22
Figura 2 –	Mapa altimétrico da bacia do rio Cauamé	23
Figura 3 –	Isoietas da bacia do rio Cauamé, região Centro Nordeste de Roraima	24
Figura 4 –	Fluxograma metodológico da pesquisa	25
Figura 5 –	Interface do programa Q-VER, do USGS, para análise qualitativa de medições de vazão	30
Figura 6 –	Altimetria e hierarquia da bacia hidrográfica do Cauamé. No destaque pontilhado, a área de nascentes compartilhadas	32
Figura 7 –	Perfil longitudinal do bacia do rio Cauamé	33
Figura 8 –	Representação gráfica do perfil transversal da seção	37
Figura 9 –	Imagem da seção controle, com ênfase na planície de inundação Na margem esquerda	41
Figura 10 –	Perfil transversal da área molhada da seção, traçado pela sonda River Ray	42
Figura 11 –	Gráfico da Curva Chave gerada	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cotas ajustadas da seção tendo como referência de nível as cotas da estação fluviométrica	37
Tabela 2 – Relações de distâncias entre a Fazenda Recreio, Sítio Jaraguá e foz do rio Cauamé	38
Tabela 3 – Valores de cota e vazão das medições efetuadas de Roraima	40
Tabela 4 – Velocidades médias da água em diferentes cotas	42

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1 – Relação entre a seção controle e comportamento da curva chave 19
- Quadro 2 – Resumo das características morfométricas da bacia do Cauamé ... 36
- Quadro 3 – Resumo das medições, ordenadas por ordem crescente de cotas.. 39
- Quadro 4 – Dados de algumas medições de vazão na antiga estação Sítio Jaraguá45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	BACIA HIDROGRÁFICA	15
2.2	CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS	16
2.3	VAZÃO EM CORPOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS	16
2.4	COTAS EM SEÇÕES DE MEDIÇÕES LINIMÉTRICAS	17
2.5	PONTOS DE MONITORAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA	18
3	OBJETIVOS	21
3.1	OBJETIVO GERAL	21
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4	METODOLOGIA	22
4.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
4.2	ETAPAS METODOLÓGICAS	25
4.3	COMPILAÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA CONSTRUÇÃO DO ARCABOUÇO TEÓRICO E METODOLÓGICO DA PESQUISA	26
4.4	ELABORAÇÃO DO MAPA GEORREFERENCIADO DA BACIA	26
4.5	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA DO CAUAMÉ	26
4.5.1	Declividade média da drenagem principal	27
4.5.2	Forma da bacia	27
4.5.3	Densidade de drenagem	28
4.5.4	Tempo de concentração	28
4.6	SELEÇÃO DE LOCAL PARA MONITORAMENTO	28
4.7	INSTALAÇÃO DE RÉGUAS, OBSERVAÇÕES E MEDIÇÕES DE VAZÃO	29
4.8	EQUAÇÃO DA CURVA CHAVE	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA	32
5.1.1	Área da bacia hidrográfica	32
5.1.2	Amplitude altimétrica	33
5.1.3	Perfil longitudinal	33
5.1.4	Comprimento da drenagem principal	34
5.1.5	Declividade média da drenagem principal	34

5.1.6	Forma da bacia	34
5.1.7	Densidade de drenagem	35
5.1.8	Ordem dos cursos d'água	35
5.1.9	Tempo de concentração	35
5.1.10	Resumo das características morfométricas da bacia	
	hidrográfica do rio Cauamé	35
5.2	SEÇÃO DO CONTROLE	36
5.3	MEDIÇÕES HIDROMÉTRICAS NO PONTO DE MONITORAMENTO	38
5.4	TRAÇADO DA CURVA CHAVE DA SEÇÃO CONTROLE	39
6	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A água é uma substância indispensável não só à manutenção da vida, mas também a todas as atividades desenvolvidas pelo ser humano (LEAL, 1998). Feitosa et al (2008) afirmam que a demanda da humanidade por água doce é de aproximadamente 6.000 km³/ano, distribuída entre irrigação (4,2 mil km³/ano), indústria (1,2 mil km³/ano) e consumo doméstico (0,6 mil km³/ano).

A partir da Conferência de Estocolmo em Dublin (Irlanda), em 1992, atribuiu-se valor econômico à água, considerando-a um elemento natural, frágil e cada vez mais raro (ANA, 2006). Em escala mundial, aumenta a incidência de conflitos pelo precioso líquido, em locais antes considerados abundantes em água doce, não se restringindo mais a palcos áridos ou desérticos. Espada (2017) conclui que os conflitos mundiais sobre a água são mais evidentes na forma que envolve o uso, distribuição e exploração, afetando muitos rios, tais como o Mekong, Ganges, Jordão, Colorado, Nilo, Paraná, etc.

É imprescindível a adoção de um sistema de informações para a adequada gestão de recursos hídricos. Leal (1998) cita algumas motivações para a existência de tal sistema: como elemento de apoio às ações de gerenciamento da oferta hídrica; fonte de informação aos usuários dos recursos hídricos sobre a situação da bacia; subsídios às ações diagnósticas, de plano diretor e acompanhamento de desempenho etc. Segundo a mesma autora, o sistema de informações é alimentado pelo monitoramento contínuo. Simedo, Martins e Lopes (2015) destacam que o conhecimento da disponibilidade hídrica é fundamental para uma gestão adequada; Barbosa et al (2009?) consideram imprescindível conhecer-se as vazões para se obter um balanço de disponibilidades e demandas ao longo do tempo.

Neste contexto, estabelecer mecanismos de monitoramento e controle das disponibilidades hídricas, ainda que em locais em que o recurso aparentemente está imune a conflitos pela baixa demanda em relação à oferta, é indispensável ao adequado gerenciamento da água.

Este estudo busca, a partir da análise do regime hidrológico do rio Cauamé, em que valores referenciais de descarga líquida (ou vazão) sejam equacionados com base em uma análise estatística dos dados apresentados, subsidiar diretrizes

que norteiem a gestão dos recursos hídricos deste importante afluente do rio Branco, seja para uso consuntivo ou não consuntivo.

Espera-se que o estudo ora apresentado, resultado de dados hidrológicos levantados, analisados e consistidos dentro de modernas técnicas e padrões, sirva de referência para a construção de séries históricas de vazões na área de estudo, uma vez que a curva chave é o elemento transformador das cotas monitoradas em vazões que serão ferramentas indispensáveis às políticas públicas de gestão dos recursos hídricos, principalmente à outorgas de captação de água no corpo hídrico, não somente as futuras, mas também na eventual revisão de pretéritas, ou mesmo de uma contribuição para validação de informações hidrológicas locais e ao planejamento de atividades de monitoramento da bacia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir, são referenciados e analisados os conceitos e definições relevantes que foram utilizados na pesquisa ora apresentada.

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Comumente, uma bacia hidrográfica pode ser definida por um curso d'água, informações do relevo em que se identifiquem os divisores de água (e cuja extensão define o perímetro da bacia) e uma seção transversal ao longo do curso d'água denominado de exutório (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Corresponde não somente à rede de canais, mas a toda a área de captação de águas pluviais, que escoam sob a forma de fluxo superficial acanalado ou não acanalado e subterrâneo (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017)

Carvalho (2015) define uma bacia hidrográfica (BH) como um sistema aberto, de fluxo contínuo de matéria (pela remoção de material sedimentar, nutrientes, água, etc) através das vertentes nos fluxos d'água, assim como de energia, pela modelagem da superfície; e, de uma maneira mais simplificada, Leal (1998) trata BH como a região no entorno de um curso d'água, em que o volume de escoamento em sua linha de drenagem é oriundo da precipitação. No Brasil, a bacia hidrográfica é a unidade territorial de gestão da água (BRASIL, 1997).

Tucci (2002) relaciona como variáveis explicativas das características físicas de uma bacia hidrográfica a área de drenagem, o comprimento do rio principal, a declividade média do rio principal, a densidade de drenagem e o desnível.

Assim, dentro desta perspectiva, podemos entender que a Bacia Hidrográfica do rio Cauamé (BHC) se insere no domínio do lavrado, e seu sistema de drenagem é o agente modelador da superfície de aplainamento. Este é um sistema que engloba uma extensa planície de aplainamento ao longo da planície fluvial do rio Branco, com aspectos geomorfológicos e ecológicos distintos em sua extensão (OLIVEIRA; CARVALHO, 2014).

A BHC apresenta uma área estimada de 3.150 km² e abrange os municípios de Alto Alegre e Boa Vista (OLIVEIRA; CARVALHO, 2014). No Sistema de Classificação e Codificação de Bacias Hidrográficas apresentado por Galvão e Meneses (2005), é uma bacia nível 4.

Reis Neto e Costa (2010) demarcaram seis unidades geomorfológicas na bacia hidrográfica em comento, a saber: planícies e terraços fluviais do rio Cauamé e igarapés maiores (Murupu, Au-Au); inselbergs e remanescentes residuais; áreas abaciadas inundáveis, veredas e lagos; colinas e morrotes do alto e médio Cauamé; patamar do interflúvio Cauamé-Uraricoera e Depressão de Boa Vista.

2.2 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica auxilia ao entendimento da movimentação hídrica através da bacia (COLLISCHONN; DORNELES, 2015). Os fatores morfométricos influenciam diretamente a infiltração, evapotranspiração e escoamentos superficial e subsuperficial na bacia (RODRIGUES et al, 2008). Sousa e Paula (2016) afirmam que as características físicas de uma bacia atua de maneira significativa nos processos hidrológicos e, por conseguinte, na compreensão de padrões de drenagem.

Assim, a análise das características morfométricas da bacia do rio Caumé possibilita o entendimento de fatores específicos, como a existência de remansos hidráulicos, por exemplo.

2.3 VAZÃO EM CORPOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

A vazão, descarga ou débito de um corpo hídrico superficial é dado pelo volume de água por unidade de tempo, sendo comumente adotada a unidade metro cúbico por segundo (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

ANA (2009) relaciona como principais métodos de medição de vazão em rios: Convencional com molinete hidrométrico; barco ancorado, utilizando-se teodolito, ecobatímetro e molinetes; barco não ancorado; barco em movimento; e acústico, com a utilização de equipamentos de medição de tecnologia acústica ou Doppler. A escolha do método adequado se dá em função de diversos fatores, desde o tamanho do rio até a existência de equipamentos adequados.

Gamaro (2012) tipifica as medições de vazão feitas com equipamentos acústicos em estáticas, dinâmicas e pontuais, e define tais aparelhos como ADCPs (Acoustic Doppler Current Profilers), nome usual a instrumentos que utilizam o efeito Doppler para calcular vazão. Cita, ainda, os equipamentos que representam a nova

geração Doppler: River Ray (TRDI), sondas M9 e M5 e Flow Tracker (YSI-SONTEK) e Q-Liner (OTT).

Valores de vazões são comumente obtidos através de curvas de descarga (TUCCI, 2002). A curva de descarga ou curva chave representa graficamente a relação entre a cota (nível) da água e a vazão, uma vez que a medição desta é um processo caro, demorado e impossível de ser feito constantemente, portanto, torna-se mais viável técnica e praticamente estabelecer-se a relação cota / vazão e a partir daí, estimar-se os valores (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Embora bastante utilizado como método indireto para determinar-se a vazão, a curva chave apresenta contestações. Oliveira et al (2016) citam o fato do método considerar o regime de escoamento permanente, com relação unívoca tanto para a ascensão quanto recessão do hidrograma do ponto; a interpolação de pontos dificulta a estimativa de vazões altas, em que dificilmente se consegue medições de campo, sendo as mesmas obtidas pela extrapolação da curva com base em uma equação exponencial.

Segundo ANA (2009), em determinadas condições do curso d'água, o afastamento dos pontos observados em relação à curva-chave de descarga é insignificante, permitindo-se considerar, para efeitos práticos, uma relação biunívoca entre o nível de água e vazão. A partir de modelos equacionais que consigam estabelecer uma relação entre o nível de determinado ponto de controle e a vazão correspondente, é possível se estimar as chamadas vazões de referência para aquele corpo hídrico (Santos et al, 2001). Para o rio Cauamé, dada sua importância, a utilização de modelos confiáveis é de extrema utilidade à correta gestão dos recursos hídricos.

2.4 COTAS EM SEÇÕES DE MEDIÇÕES LINIMÉTRICAS

Uma adequada gestão de recursos hídricos superficiais exige, dentre outros fatores, o conhecimento da disponibilidade hídrica nos ciclos de cheias e vazantes, ou seja, uma estimativa de vazão. No entanto, medições de vazão são caras e exigem técnicas e equipamentos especializados (COLLISCHONN; DORNELLES, 2014).

Uma das alternativas para viabilizar este conhecimento é a criação de modelos hidrológicos que vinculem a vazão a níveis específicos no ponto de

monitoramento. Assim, o registro dos níveis naquele ponto aliado a um modelo equacional que atribua uma vazão a cada nível – ou cota – permite que se estimem as vazões de referência.

Para obter-se uma série histórica do nível da água, doravante denominado cota, é preciso instalar seção de réguas linimétricas em número suficiente de lances que cubram a amplitude da variação do nível ao longo da seção monitorada (PIMENTEL, 2017). O nível é arbitrado e fixado em referências de nível (RN's) em uma das margens da seção. As réguas fluviométricas instaladas são, então, niveladas pelas RN's ao longo da seção, em sentido perpendicular ao fluxo d'água (CPRM, 2010).

Os pontos selecionados para o monitoramento da cota/vazão e posterior traçado de curvas chaves são denominados estações fluviométricas (CPRM, 2014).

De acordo com a CPRM (2014), a Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabelece como critério de registro de cotas fluviométricas a anotação desta em dois horários diários, às 07 e 17 horas.

Os registros de nível são feitos por observadores hidrológicos em cadernetas apropriadas, quando adotada a leitura manual; ou através de equipamentos automáticos, sendo os mais comuns: linígrafos de boia, linígrafos de bolha, linígrafos de pressão e os sensores de distância ultrassônicos (SANTOS et al, 2001). Modernamente, plataformas de coleta de dados (PCD) automáticas com sensores de pressão (submersos na água) ou de radar (afixados em locais elevados, como pontes, por exemplo, e com o radar apontado para o leito do rio) não só registram os dados como também podem transmitir as leituras feitas a cada hora. No Brasil, a maior rede de PCD's é de propriedade da Agência Nacional das Águas, e as informações delas transmitidas integram o sistema Hidroweb.

Na seção controle adotada para as medições, há uma estação fluviométrica (Fazenda Recreio) que consta no inventário da ANA (2020) como de propriedade da Fundação Estadual do Meio Ambiente, e cujas cotas são registradas por telemetria desde 01/04/2019. Não há observador no posto.

2.5 PONTOS DE MONITORAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA

O traçado da curva-chave exige abundantes medições de vazão no mesmo local, de maneira a registrar situações de baixas, médias e altas vazões

(COLLISCHONN; DORNELES, 2015). O número de estações de monitoramento é definido em função do tamanho da bacia hidrográfica, sendo que, para o caso da BHC, a recomendação da WMO (2008), seriam pelo menos duas estações.

A pouca série histórica de dados na bacia hidrográfica do Cauamé é um elemento limitador ao gerenciamento eficaz da bacia. Vespucci, Santos e Bayer (2016) atribuem três aspectos importantes à qualidade dos dados: periodicidade, continuidade e atualidade.

Santos et al (2001) apontam como desejáveis os seguintes requisitos na escolha do local para instalação da estação fluviométrica: trecho reto, com margens altas, bem definidas, estáveis e acessíveis nas cheias; leito regular e estável; próximo e a montante de controles hidráulicos; presença de um observador em potencial, etc. No entanto, os mesmos autores enfatizam que na maioria das vezes, a presença do observador em potencial e a facilidade de acesso são preponderantes para a escolha.

Jaccon e Cudo (1989) afirmam que o comportamento da curva chave em uma seção, no que diz respeito à dispersão dos pontos cota / vazão, pode ser em resumo o exposto no Quadro 1:

Quadro 1- Relação entre a seção controle e comportamento da curva chave

Seção	Comportamento da curva chave
Estável com somente um controle e leito regular	Não apresenta singularidade
Estável com somente um controle e leito irregular	Apresenta uma ou várias singularidades
Estável com mais de um controle	Apresenta singularidades que não aparecem nas relações de área molhada x cota e raio hidráulico x cota na seção de réguas
Pequena instabilidade	Apresenta superfície de calibragem em baixos níveis.
Grande instabilidade, mas descontínua.	Apresenta superfície de calibragem com várias curvas unívocas.
Com controle de jusante variável	Apresenta superfície de calibragem com curvas em laço, com vazões de cheia e vazante diferentes para a mesma cota.
Muito instável com rebaixamento / assoreamento do leito a cada cheia	Apresenta superfície de calibragem com várias curvas em laço e vazões de cheia < vazões de vazante para cotas idênticas
Diferente declividade hidráulica cheia / vazante e pseudo univocidade cheia / depleção	Apresenta superfície de calibragem formada por lações com ramificações laterais comuns.
Declividade hidráulica de cheias diferente da de vazante e pseudo univocidade somente nas cheias.	Superfície de calibragem com vários laços distintos de acordo com a cota máxima de cheia, mas com ramificações de cheias em comum
Declividade hidráulica diferente entre cheias.	Superfície de calibragem formada por laços múltiplos.
Inversão da declividade hidráulica (ex: marés)	Superfície de calibragem com duas curvas ou de feixes de curvas simples em laço.

Conforme as características da seção, portanto, o modelo equacional da curva chave gerado deve ser avaliado para melhor entendimento e corroboração – ou não – de suas predições. Alves (2018), ao analisar a relação cota / vazão indicada pela curva chave da estação fluviométrica Manacapuru (AM), no rio Solimões, demonstrou que o modelo gerado não era satisfatório, devido a fatores hidrodinâmicos de represamento. Pinheiro e Badia (2008) ressaltam que pode-se empregar diferentes funções matemáticas no ajuste de modelos gerados de curva chave, a fim de reduzir-se as incertezas.

3 OBJETIVOS

A pesquisa teve como objetivos geral e específicos o que se segue.

3.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer a relação cota/vazão (curva chave) em ponto de monitoramento na bacia do Rio Cauamé, base para suporte na gestão de recursos hídricos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar morfometricamente a Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, a partir de técnicas de sensoriamento remoto;
- Disponibilizar série de dados de vazões do Rio Cauamé no ponto de monitoramento selecionado, assim como sua relação com as cotas (níveis) arbitradas ao local, e de maneira a cobrir níveis de vazante e cheias;
- Monitorar o nível do Rio Cauamé na estação instalada;
- Efetuar medições sistemáticas de vazões correlacionadas com cotas arbitradas no ponto de monitoramento.

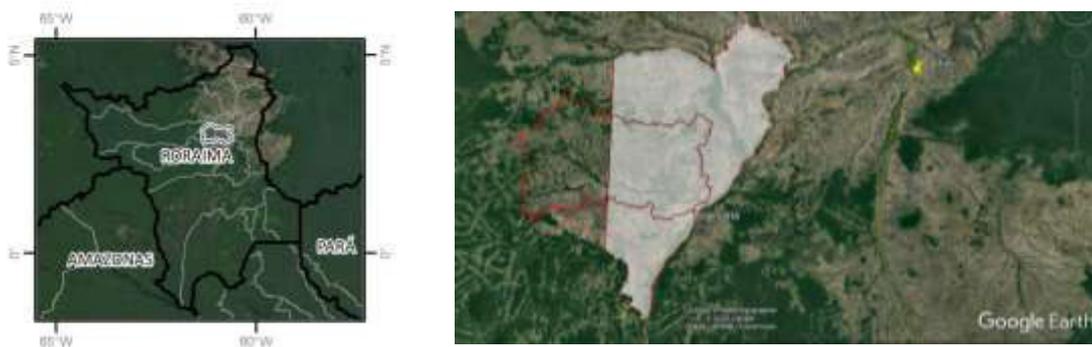
4 METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a bacia do rio Cauamé, na região centro-Leste do Estado de Roraima, entre as coordenadas de longitude 60°30'00" a 61°30'00" e latitude de 2°45'00" a 3°30'00", drenando uma área aproximada de 3200 km².

O rio Cauamé deságua na margem direita do rio Branco, à altura da cidade de Boa Vista, capital do estado de Roraima. Sua bacia hidrográfica é praticamente dividida ao meio entre os municípios de Alto Alegre (51% da área total) e Boa Vista (49% da área total), e, embora a bacia seja ligeiramente maior no município de Alto Alegre, é a parte que compreende o Médio e Baixo Cauamé localizada no município de Boa Vista que traz maior importância sócio econômica ao corpo hídrico: desde a sujeição aos impactos ambientais causados pela ocupação urbana em seu trecho que corta a cidade de Boa Vista, como também a demanda hídrica nas atividades rurais e de lazer ser mais intensa neste município (OLIVEIRA; CARVALHO, 2014). A Figura 1 ilustra a superfície do município de Boa Vista sobre a delimitação geográfica da bacia, e percebe-se claramente a quase paridade territorial da bacia (perímetro em vermelho, na imagem Google Earth) entre os dois municípios.

Figura 1 – Localização no estado de Roraima e delimitação da Bacia do rio Cauamé com a divisão entre os municípios de Boa Vista e Alto Alegre (RR).



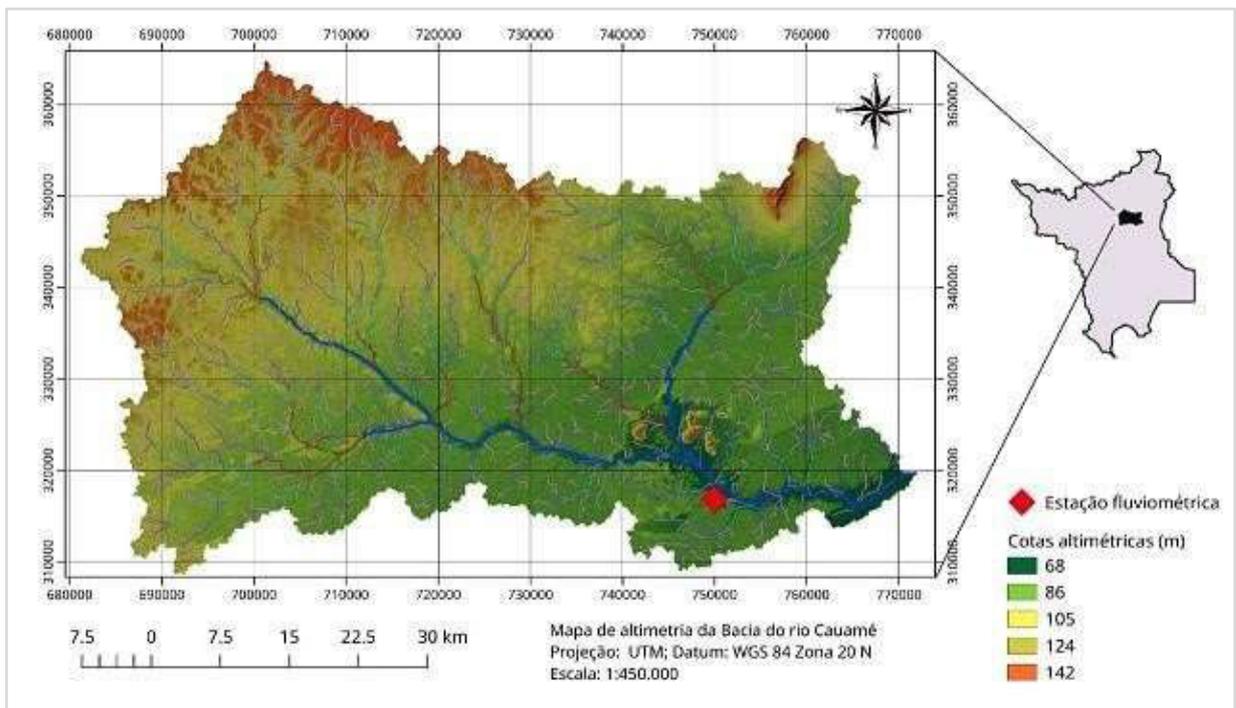
Fonte: Autor / Google Earth (2020).

Seus afluentes principais são os igarapés do Au-Au e Caranã pela margem direita e Murupu pela esquerda. Dentre as atividades econômicas desenvolvidas e

que demandam recursos hídricos da bacia, destacam-se a criação de peixes, cultivo de grãos e pecuária.

Oliveira e Carvalho (2014) afirmam que a vegetação representa 9,4% da bacia, a massa d'água composta do canal principal de drenagem e sistema lacustre apenas 0,6%, e os campos secos e úmidos 73%, sendo 48% campos secos e 25% úmidos, distribuídos principalmente ao longo do médio e baixo Cauamé; o agrupamento urbano da cidade de Boa Vista representa 14% da bacia e os 3% restantes são as fazendas com atividades agrícolas irrigadas. Os mesmos autores compartimentalizam esta bacia hidrográfica em três segmentos: a Alta Bacia, com altitudes entre 75 e 100 m e extensão de canal de segunda ordem de 22,4 km; Média Bacia, com altimetria entre 62 e 75 m e extensão de canal de terceira ordem de 35,5 km; e Baixa Bacia, com cota altimétrica média de 62 m, mas com morros e serras na região central com altitudes que chegam a 400 m, e afirmam que a divisão, em percentuais da área total, é assim formada: Alta Bacia, 24%; Média, 39%; e a Baixa, 37%. A Figura 2 ilustra a altimetria da bacia.

Figura 2 - Mapa altimétrico da bacia do rio Cauamé.



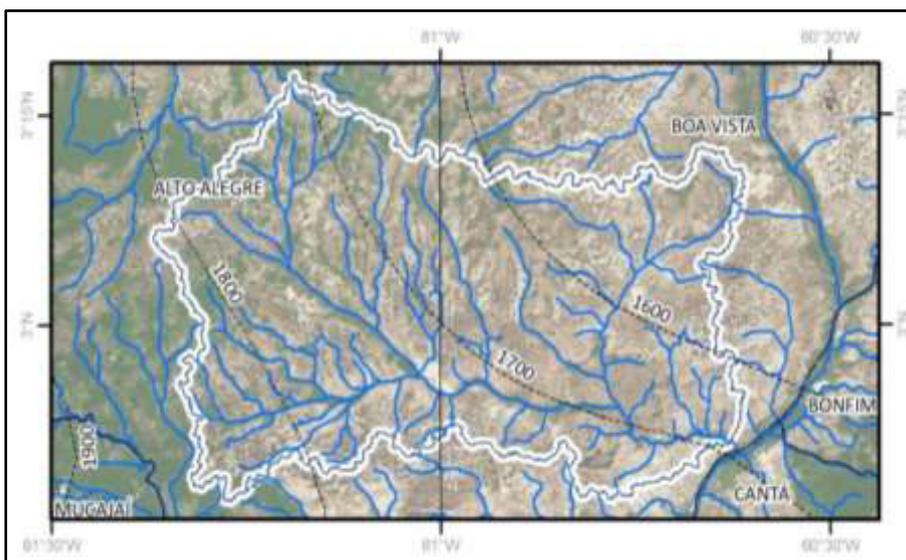
Fonte: Autor

A geologia compreende sua maior parte sedimentos inconsolidados ligados às formações Boa Vista e Areias Brancas, e basaltos incrustados associados à formação Apoteri. A parcela ocidental, junto as cabeceiras compreende uma variedade litológica relativa à formação Urupi / Complexo Uraricoera, aluviões holocênicos do grupo Cauarane (CPRM, 2014)

CPRM (2014) identifica duas unidades morfoestruturais em Roraima: Terrenos Proterozóicos do Escudo das Guianas e Domínio das Coberturas Sedimentares Fanerozoicas, esta subdividida em duas unidades morfo esculturais, a Depressão Boa Vista e Pantanal Setentrional. A bacia do rio Cauamé tem sua geomorfologia associada à Depressão Boa Vista, uma grande área plana resultado do fenômeno da pediplanação plio-pleistocênica que atuou sobre a bacia sedimentar de Boa Vista, regionalmente, e sobre a bacia sedimentar do Tacutu (IBGE, 2005)

Os climas da região , segundo a classificação de Koppen, compreendem os tipos Aw e Am. O tipo Aw cobre a maior parte da bacia, com pluviosidade que varia de 1500 a 1800 mm/ano e estiagens com duração média entre 4 e 5 meses. A parcela extremo oeste da bacia, associado ao clima Am apresenta médias anuais entre 1800 a 2000 mm/ano, com estiagens médias com duração de 1 a 3 meses (EVANGELISTA; SANDER; WANKLER, 2008). A Figura 3 demonstra as isoietas que cruzam a bacia, e respectivas precipitações médias.

Figura 3- Isoietas da bacia do rio Cauamé, região Centro Nordeste de Roraima

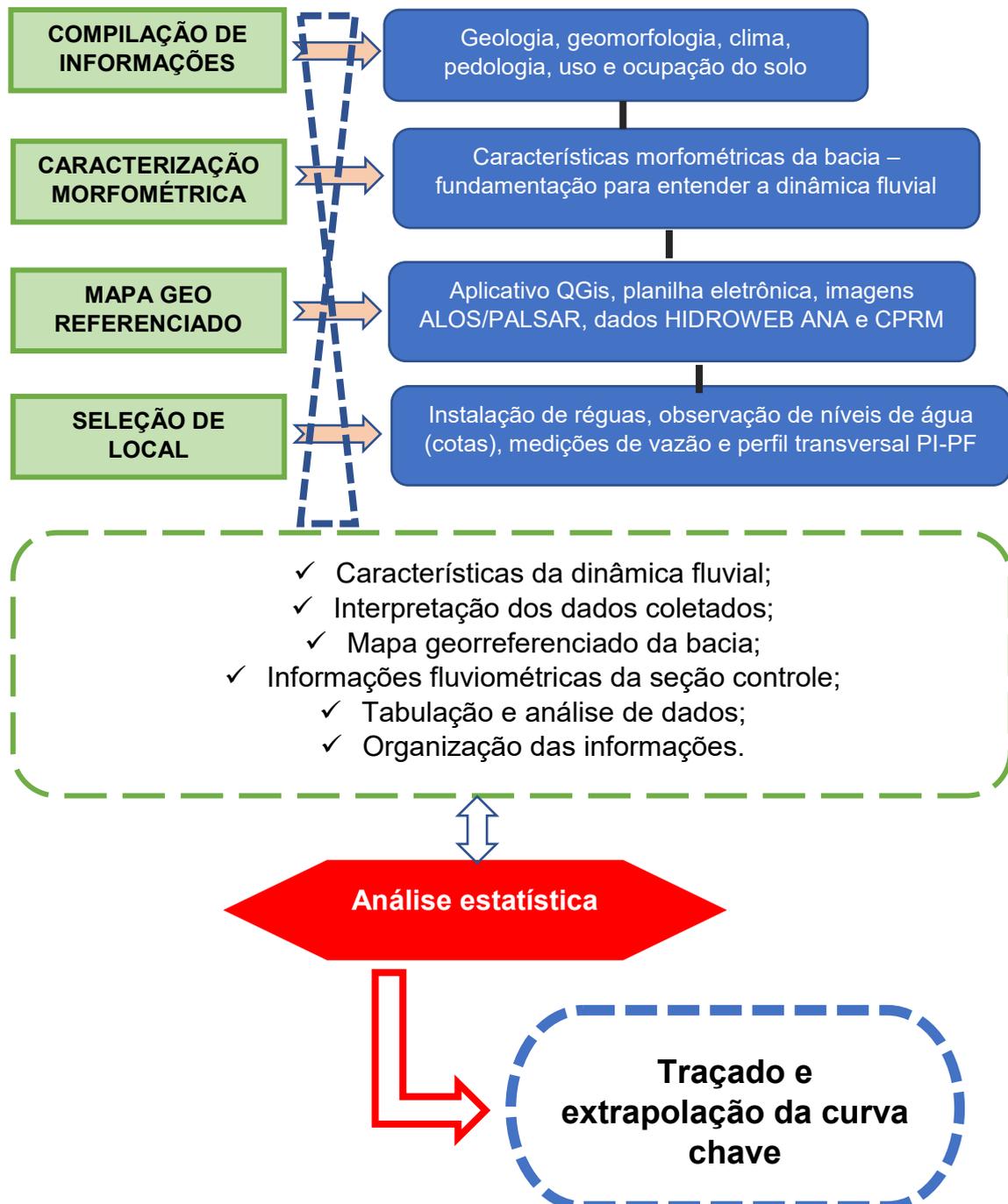


Fonte: Autor.

4.2 ETAPAS METODOLÓGICAS

A pesquisa foi desenvolvida em diferentes etapas, conforme a Figura 4, que fundamentaram a construção e testes da curva chave, levando-se sempre em conta que se trata de série de dados inédita e sujeita a constantes verificações a fim de calibrar a equação proposta.

Figura 4 – Fluxograma metodológico da pesquisa



4.3 COMPILAÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA CONSTRUÇÃO DO ARCABOUÇO TEÓRICO E METODOLÓGICO DA PESQUISA

Foi feita uma revisão bibliográfica que contemplou aspectos geomorfológicos, climatológicos, pedológicos, litológicos e uso/ocupação do solo na bacia, os quais foram utilizados na compreensão da dinâmica fluvial da área de estudo e na análise de dados coletados.

Apesar da complexidade e tamanho da bacia hidrográfica do rio Cauamé (BHC) a única estação de monitoramento da ANA/CPRM foi desativada em 2009 (ANA, 2019). Nesta, havia medições frequentes de vazões e registros diários de cotogramas, conforme o critério recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e citado em CPRM (2014). Os registros de dados da estação desativada constantes no banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional das Águas foram analisados, sistematizados e comparados com as medições feitas na estação implantada para monitoramento.

4.4 ELABORAÇÃO DO MAPA GEORREFERENCIADO DA BACIA

Confeccionou-se mapa georreferenciado da bacia do Cauamé, com o uso de imagens ALOS PALSAR em sistema de informações geográficas livre e de código fonte aberto QGis v. 3.4.5 (QGIS *Development Team*, 2019), e informações das estações fluviométricas retiradas da base cartográfica hidrológica do HIDROWEB/ANA (2020) e geológica / geomorfológica de CPRM (2019).

4.5 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA DO CAUAMÉ

A partir do processamento de imagem altimétrica de radar Alos - Palsar, resolução 12,5m em sistema de informações geográficas livre e de código fonte aberto QGis v. 3.4.5 (QGIS *Development Team*, 2019), foi feita a caracterização morfométrica da bacia, definindo-se os seguintes aspectos: área, amplitude altimétrica, perfil longitudinal do rio principal (Cauamé), comprimento da drenagem

principal, declividade, forma da bacia, densidade de drenagem, ordem dos cursos d'água, tempo de concentração, representação digital e balanço hídrico.

Todos os cálculos foram feitos com o auxílio de planilhas eletrônicas Excel (MICROSOFT, 2010) formuladas adequadamente.

As equações utilizadas e os respectivos parâmetros calculados foram:

4.5.1 Declividade média da drenagem principal

A declividade média da bacia foi calculada pela Equação 1, proposta em Collischonn e Dornelles (2015)::

Equação 1

$$S_{85,10} = \frac{Z_{85} - Z_{10}}{0,75 \cdot L}$$

Onde:

S = Declividade Média da Bacia;

Z₈₅ = Altitude do ponto P₈₅, localizado a 85% do comprimento da rede de drenagem principal, a partir do exutório;

Z₁₀ = Altitude do ponto P₁₀, localizado a 10% do comprimento da rede de drenagem principal, a partir do exutório;

L = Comprimento total da drenagem principal.

4.5.2 Forma da bacia

O Fator de forma da BHC foi calculado conforme proposto por Horton (1932), na:

Equação 2

K_f = A/L², sendo

K_f = Fator de forma da bacia;

A = Área da bacia em km²;

L = Comprimento da bacia em km.

O Índice de Circularidade proposto por Miller (apud Christofolletti, 1974) foi calculado pela:

Equação 3

I_c = 12,57 * A / P², onde

I_c = Índice de Circularidade (< 1)

A = Área da bacia

P = Perímetro da bacia

O Coeficiente de Compacidade, que é a relação do perímetro da bacia (real) e o que ela teria se fosse circular, é expresso na:

Equação 4

Coeficiente de Compacidade (K_c) = $0,28 \cdot P/A^{1/2}$

Sendo:

P = Perímetro da bacia (em km);

A = Área da bacia (km²)

4.5.3 Densidade de drenagem

A densidade de drenagem, definida por HORTON (1932) é a relação entre o somatório de todos os cursos d'água no interior da bacia e a área desta, expressa na:

Equação 5 = $D_d = \sum C/A_d$

4.5.4 Tempo de concentração

Utilizou-se a Equação de Watt e Chow no cálculo do Tempo de Concentração (T_c) da bacia, assim definida:

Equação 6

$T_c = 7,68 \cdot (L/S^{0,5})^{0,79}$

T_c = Tempo de concentração em minutos;

L = Comprimento do curso d'água principal (em km);

S = Declividade do curso d'água principal (expressa em m/m).

Logo,

4.6 SELEÇÃO DE LOCAL PARA MONITORAMENTO

O ponto de monitoramento foi escolhido atendendo aos critérios citados por Santos et al (2001), porém, dadas as características peculiares da região, não foi possível instalar-se a seção em local livre de influência de remanso hidráulico em

épocas de cheias. Alves (2018) aponta que se trata de uma dificuldade intrínseca na instalação de seções em rios da bacia Amazônica. A seção de medições de vazão foi estabelecida cerca de 150 m a jusante de onde foi instalada a Estação Fazenda Recreio, código ANA 14235200, sendo aproveitados os referenciais de nível naquela construídos. O exutório foi definido levando em consideração o ponto mais a jusante possível da rede de drenagem principal, desde que não sujeito a vandalismos na seção de medição.

4.7 INSTALAÇÃO DE RÉGUAS, OBSERVAÇÕES E MEDIÇÕES DE VAZÃO

A seção de réguas no ponto selecionado foi instalada com suportes de estacas de madeira e réguas de alumínio anodizado, niveladas com base em referências de nível arbitrada para o local pela instituição instaladora da Estação Fazenda Recreio. Os lances instalados vão de 0/100 cm a 700/800 cm.

A seção transversal foi definida a partir de: levantamento topográfico das margens, com auxílio de nível topográfico digital FOIF e complementos (mira topográfica e trena); e seção batimétrica levantada com sonda marca SONTEK, modelo M9 e software *RiverSurveyor* (SONTEK, 2009). A ligação entre os dois levantamentos (batimetria/topografia) foi extrapolada e a geração do gráfico da seção se deu em ambiente Excel (MICROSOFT, 2010).

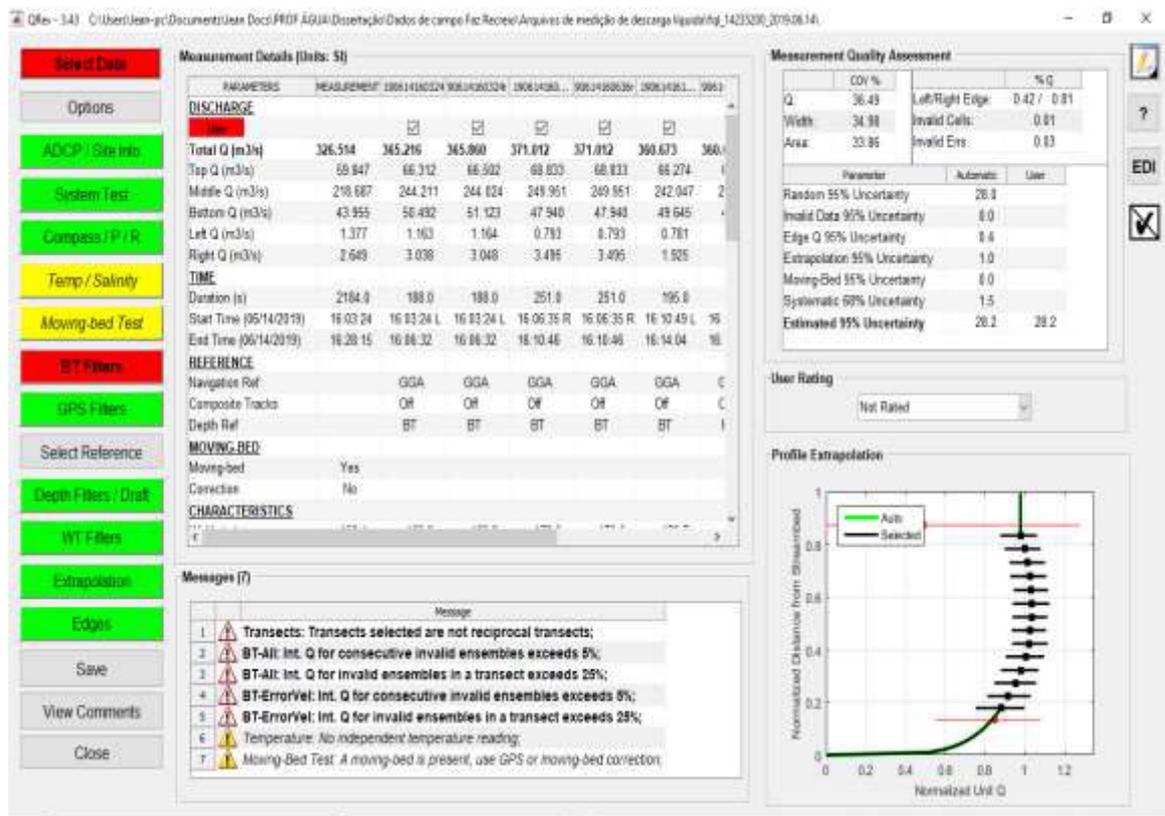
As medições de vazão foram feitas com equipamentos de efeito Doppler do fabricante SONTEK e RDI, com processamento feitos nos softwares Sontek (2009) *RiverSurveyor*, *RiverSurveyorStationary Live* (o primeiro para sondas M9 e o segundo, para sondas *FlowTracker*, ambas fabricadas pela SONTEK) e *WinRiver* (RD INSTRUMENTS, 2016).

Imediatamente antes de cada medição, fez-se nivelamento topográfico para aferição da cota com o registro da plataforma de coleta de dados da ANA instalada no local, sendo utilizados os referenciais de nível da estação Fazenda Recreio como pontos de partida. Não houve registro de diferença entre a cota registrada pela estação e aquela obtida no nivelamento correspondente. As cotas atribuídas a cada medição foram posteriormente convertidas para adequarem-se ao perfil transversal, sendo a cota 304 cm da estação correspondente à cota zero considerada para este estudo.

As cotas aferidas antes de cada medição foram cotejadas e consistidas com aquelas geradas e registradas por Plataforma de Coleta de Dados com uso de software AWS Client (VAISALA, 2014).

As medições foram precedidas das calibrações e ajustes recomendadas pelos fabricantes das sondas, e sucedidas por análises ainda em campo com o programa Q-REV (USGS, 2018), que permitiram a investigação de eventuais erros, distorções ou má qualidade dos dados obtidos, o que, a depender da situação, não implicava em perda da medição analisada. Os resultados obtidos nas medições que apresentaram avisos em parâmetros foram reavaliados em escritório e consistidos ou descartados. Das 12 medições feitas, uma não foi possível corrigir erros apontados pelo Q-REV, razão pela qual foi descartada por inteiro. A Fig. 5 ilustra uma tela de avaliação do Q-REV para uma medição

Figura 5 - interface do programa Q-REV, do USGS, para análise qualitativa de medições de vazão.



Fonte: Autor

4.8 EQUAÇÃO DA CURVA CHAVE

Os dados consistidos foram tabulados em planilha Excel (MICROSOFT, 2010), com a construção da equação da curva chave potencial da vazão da bacia para o exutório definido.

Uma vez que as cotas foram arbitradas tendo como base a batimetria da seção, com referências de nível diretamente relacionadas às RN's estabelecidas na estação fluviométrica Fazenda Recreio, o valor de H_0 (cota para a qual a vazão é igual a zero) foi definido inicialmente em zero cm, que seria a menor cota registrada no levantamento do perfil transversal. Utilizou-se, a seguir, o cálculo conforme Boiten (2008), onde a cota H_0 pode ser obtida identificando-se três vazões medidas que satisfaçam, aproximadamente, a equação $Q_2^2 = Q_1 \cdot Q_3$ e suas respectivas cotas; O cálculo de H_0 pode ser feito a partir da **Equação 7**:

$$H_0 = \frac{H_1 \cdot H_3 - H_2^2}{H_1 + H_3 - 2 \cdot H_2}$$

Onde:

H_1 = cota da vazão Q_1 ;

H_2 = Cota da vazão Q_2 ;

H_3 = Cota da vazão Q_3 .

A curva de descarga foi obtida pela **Equação 8** (potencial) $Q = a (H-H_0)^b$,

Onde:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \qquad b = \frac{(N \cdot \sum x_i y_i) - (\sum x_i \cdot \sum y_i)}{(N \sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

O gráfico da curva chave foi gerado com o auxílio do programa Excel (MICROSOFT, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

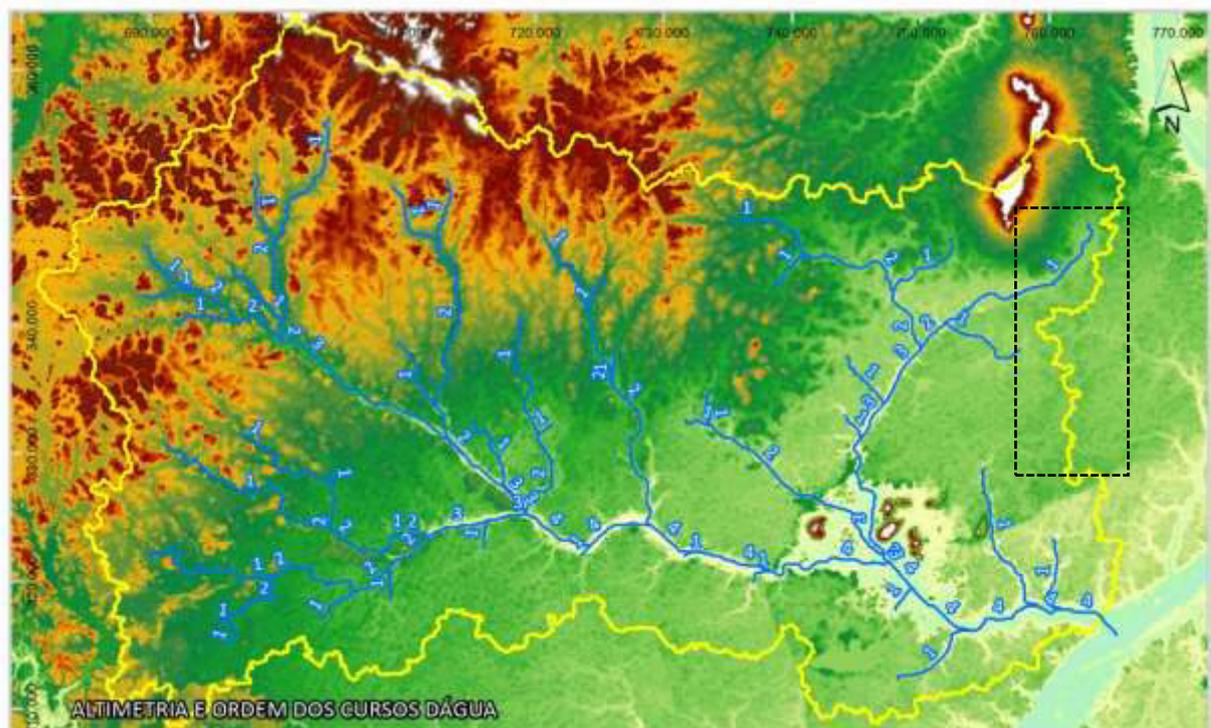
5.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

5.1.1 Área da bacia hidrográfica

Considerada a característica mais importante da bacia hidrográfica. A partir da delimitação da bacia, o software calculou a área total em 3.147,6 km², sendo observada, em parte da borda, a ocorrência de nascentes compartilhadas com o igarapé Água Boa de Cima (Fig. 6). A ocorrência de nascentes compartilhadas foram documentadas e se mostram muito frequentes junto a depressão Boa Vista (SANDER et al, 2012 e 2013; WANKLER et al, 2011).

A depender do quanto se considerar parte deste compartilhamento, poderá haver variação no tamanho da área da bacia.

Figura 6 – Altimetria e hierarquia da bacia hidrográfica do Cauamé. No destaque pontilhado, a área de nascentes compartilhadas.



Fonte: Autor

Na otocompartimentalização proposta por Lemos, Vieira e Ferraz (2017) com base no Sistema de Classificação e Codificação de Bacias Hidrográficas criado por Pfafstetter (1989) e adotado pelo Sistema Nacional de Recursos Hídricos, é uma bacia nível 4. Os mesmos autores afirmam que a área da Bacia é de 3.187,40 km².

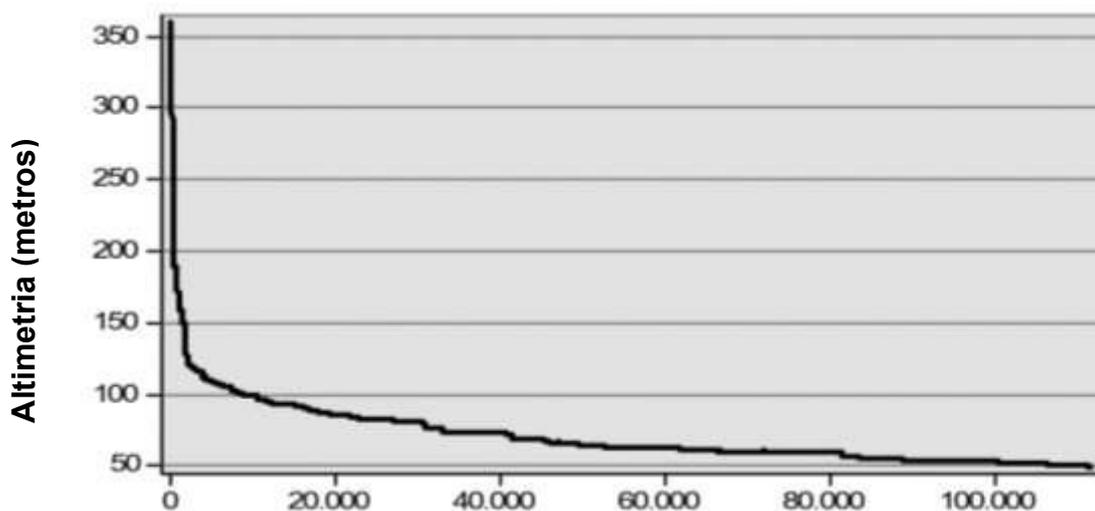
5.1.2 Amplitude altimétrica

A amplitude altimétrica – diferença entre a maior (364 m) e menor (49 m) altimetrias encontradas na bacia – para a BHC foi de 315 metros; porém, há relevos mais altos encontrados nas serras isoladas ao centro da bacia, com altitudes superiores a 400 metros (<https://pt-br.topographic-map.com/maps/gn43/Brasil/>, acesso em 08/09/2020). Em que pese tal amplitude, pode-se inferir através do perfil longitudinal (Figura 7) que a maior extensão da rede de drenagem principal da bacia está em cotas abaixo dos 68 m, constituindo-se, assim, uma grande planície.

5.1.3 Perfil longitudinal

O perfil longitudinal do Rio Cauamé, expresso na Fig. 7, descreve a forma como a altitude varia ao longo da distância (COLLISCHON E DORNELLES, 2015).

Figura 7 - Perfil longitudinal da bacia do rio Cauamé.



Fonte: Autor

Comprimento da rede de drenagem principal (metros)

5.1.4 Comprimento da drenagem principal

Pelo Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado, encontrou-se como comprimento da drenagem principal da bacia hidrográfica do Cauamé 114,17 km. Esta é a distância entre o exutório na foz do Rio Cauamé no Rio Branco até o ponto mais a montante daquele em que se pode identificar o início da rede de drenagem superficial.

5.1.5 Declividade média da drenagem principal

A declividade média afeta diretamente o tempo de deslocamento da água ao longo da bacia. As altitudes nos pontos P10 (11.418 metros de distância do exutório, isto é, 10% do comprimento da rede de drenagem principal) e P85 (97.045 m de distância a partir do exutório) foram de, respectivamente, 90 e 52 metros. Pela Equação 1, têm-se:

$$S = (90-52)/0,75 \times 114,17 \rightarrow S = 38/114,17 \rightarrow S = 0,0004443 \text{ m/m.}$$

Tal valor reflete a baixa declividade média da bacia e explica sua propensão à formação de remansos hidráulicos e planícies de inundação.

5.1.6 Forma da bacia

O Fator de forma expressa uma relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia, sendo tão próximo de 0,8 quanto mais arredondada for a bacia. Seu cálculo (Equação 2) resultou em $K_f = 3.147,6 / (114,17^2) \rightarrow K_f = 0,24$

O Índice de Circularidade (Equação 3) resultou em:

$$I_c = 12,57 * 3.147,6 / 435,64^2 \rightarrow I_c = 0,208477.$$

Quanto mais próximo de 1 este índice, mais a bacia se aproxima da forma circular.

O Coeficiente de Compacidade, cujo valor quanto maior que 1 mais alongada a bacia, foi calculado (Equação 4) em:

$$K_c = 0,28 * (435,64 / 3.147,6^{1/2}) \rightarrow K_c = 2,17$$

A forma pode explicar, em alguns casos, o comportamento da bacia em resposta às chuvas (COLLISCHON E DORNELLLES, 2015). Bacias mais alongadas

respondem mais lentamente às chuvas que aquelas de formatos mais circulares. Os três indicadores convergem para definir a bacia do rio Cauamé como alongada.

5.1.7 Densidade de drenagem

A D_d calculada para a bacia do Cauamé (Equação 5) foi de:

$$D_d = 500,29 / 3.147,6 = 0,16 \text{ km}^{-1}$$

A densidade de drenagem (D_d) é uma ferramenta útil para análise da vulnerabilidade do terreno à erosão, porém deve ser interpretada com precaução (STEUVAX; LATRUBESSE, 2017).

5.1.8 Ordem dos cursos d'água

Os cursos d'água foram ordenados conforme a Fig. 6. De acordo com os critérios de ordenamento de Strahler (1957), trata-se de uma bacia de quarta ordem de cursos d'água.

5.1.9 Tempo de concentração

Utilizou-se a Equação 6 (Watt e Chow), obtendo-se os seguintes resultados:

$$T_c = 7,68 \cdot (114,17 / 0,00276^{0,5})^{0,79} \rightarrow T_c = 3.325 \text{ min.}$$

Trata-se de um conceito relativamente abstrato (COLLISCHON E DORNELLES, 2015), e pode ser definido como o tempo que a gota de água que ingressa no ponto mais remoto da bacia levaria para ser transportada até o exutório.

5.1.10 Resumo das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Cauamé

O Quadro 3 resume as características morfométricas da BHC, conforme valores encontrados a partir do modelo digital de elevação gerado. É importante analisar a influência dos aspectos geométricos, de relevo e drenagem inerentes à bacia para que se possa entender e, assim, validar (ou não) a relação cota / vazão encontrada a partir das medições feitas.

A análise do conjunto das características morfométricas mostram uma bacia com baixa declividade média, rede de drenagem densa, tempo de concentração indicando um percurso de 55 horas da água na bacia, ou seja, o equivalente a aproximadamente 2,3 dias, e um formato alongado que influencia numa resposta mais lenta às chuvas (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Bacias circulares são mais suscetíveis a inundações (STEUVAX; LATRUBESSE, 2017). Tais características explicam a existência de remansos hidráulicos ao longo da bacia, inclusive com a presença de sistemas lacustres permanentes e temporários (OLIVEIRA; CARVALHO, 2014).

Quadro 2 - Resumo das características morfométricas da bacia do Cauamé.

Características Morfométricas		Valores
Geometria	Área de drenagem (A)	3.147,6 km ²
	Perímetro (P)	435,6 km
	Fator de forma (K_f)	0,24
	Índice de circularidade (I_c)	0,208477
	Coefficiente de compacidade (K_c)	2,17
Relevo	Altitude mínima	49 m
	Altitude máxima	364 m
	Amplitude altimétrica	315 m
	Declividade média da drenagem principal	0,00044 m/m
Drenagem	Comprimento da drenagem principal (L)	114,17 km
	Comprimento total da drenagem (Lt)	500,29 km
	Densidade de drenagem (Dd)	0,16 km ⁻¹
	Ordem	4ª Ordem
	Tempo de concentração (Watt & Chow)	3.325 min

Fonte: Autor, modelo classificatório adaptado de Sousa e Paula (2016).

5.2 SEÇÃO DO CONTROLE

A seção estudada é mostrada na Figura 8. As cotas foram ajustadas pela comparação entre o menor valor encontrado na batimetria, que seria a menor cota da seção, que foi 304 cm, portanto, o local mais profundo da seção, e a cota arbitrada e referenciada pelo instalador da estação fluviométrica existente no local. Para melhor representar a seção, fez-se o ajuste, subtraindo-se de cada cota

adotada o valor registrado como menor cota na batimetria (304 cm). Com tal ajuste, a relação passou a ser a exposta na Tabela 1.

Pela representação gráfica do perfil transversal da seção, percebe-se um leito bem definido, com margens trapezoidais, sendo o talvegue perfeitamente encaixado entre as margens, inobstante a margem esquerda apresentar a planície de inundação. Conjuntamente, a seção de medição está em local apropriado, onde todo o fluxo do rio se concentra, com a ressalva da formação do remanso hidráulico nas cheias em cotas superiores ao PI.

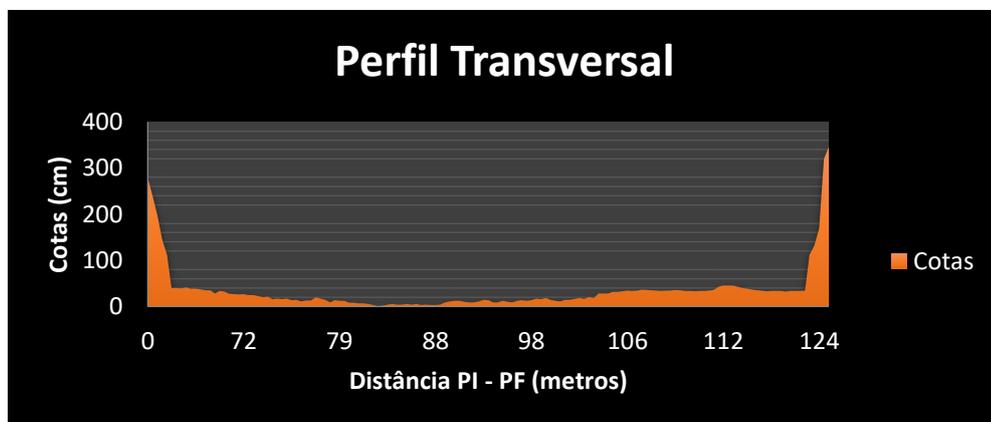
Tabela 1 - Cotas ajustadas da seção tendo como referência de nível as cotas da estação fluviométrica.

COTAS DAS MEDIÇÕES DE VAZÃO (cm)	
Estação Fluviométrica	Referenciada pela batimetria
336	32
416	112
460	156
509	205
530	226
580	276
587	283
599	295
612	308
627	323
728	424

Fonte: Autor

A seção transversal do controle, estabelecida com distância PI-PF em 131,0 metros, sendo a cota 279 cm o ponto inicial (PI) e 346 cm como ponto final. A representação gráfica encontra-se na Figura 8.

Figura 8 - Representação gráfica do perfil transversal da seção.



Fonte: Autor

As relações de distâncias entre o novo ponto de controle selecionado, a antiga estação desativada Sítio Jaraguá e a foz do rio Cauamé na margem direita do rio Branco, estão expostas na Tabela 2.

Tabela 2 - Relações de distâncias entre a Fazenda Recreio, Sítio Jaraguá e foz do rio Cauamé.

Ponto A-B	Distância linear (m)	Distância pela calha do rio (m)
Faz. Recreio – Sítio Jaraguá	1.184	2.983
Faz. Recreio – foz do Cauamé	13.940	17.785
S. Jaraguá – Foz do Cauamé	12.093	14.802

Fonte: Autor, a partir de imagens do Google Earth (2020)

A seção transversal apresentou cota no PI de 279 cm, embora tenha havido uma medição de vazão com cota máxima de 424 cm. Conforme se pode observar na imagem de satélite da Fig. 9 (adiante), a margem esquerda, após a cota do PI, é uma planície alagada, em que parte da água das cheias do rio extravasa o canal principal. Isto é uma ocorrência muito comum nos pontos de controle dos rios da Amazônia, e, por conseguinte, de Roraima (CPRM, 2014).

5.3 MEDIÇÕES HIDROMÉTRICAS NO PONTO DE MONITORAMENTO

Das 12 medições de vazão feitas com equipamentos acústicos (Doppler), uma delas foi descartada, pois a sonda M9 utilizada apresentou leituras com discrepâncias acima de 10% entre as travessias, o que poderia indicar defeito na bússola do equipamento e, portanto, dados não confiáveis de vazão.

Para uma melhor análise e interpretação dos resultados obtidos, as cotas do rio Branco em sua estação Boa Vista e a situação nas últimas 24 horas antes da medição foram incluídas.

O Quadro 3 traz um resumo das medições, ordenadas da menor para a maior cota, e o comportamento do regime hidrológico dos rios Cauamé e Branco nas 24 h antes de cada tomada de dados. Cotejar o comportamento dos rios é importante para identificar eventual efeito de represamento, com as águas do rio principal (Branco) subindo a calha do afluente (Cauamé). As medições elencadas estão em ordem cronológica, e a medição descartada não consta no quadro.

Quadro 3 - Resumo das medições, ordenadas por ordem crescente de cotas.

Medição		Cota (cm) (Estação / ajustada)		Vazão (m ³ /s)	Equipamento / modo	Cota (cm) Estação Boa Vista ⁽¹⁾	Situação nas últimas 24 h ⁽²⁾	
Data	Hora	E	A				Cauamé	Branco
16/04/19	12:01	336	32	1,3	Flow tracker	-27	Estável	Estável
11/10/19	11:04	416	112	33,9	River ray / BT	238	Estável	Subindo
30/05/19	11:45	460	156	80,5	M9 / GPS VTG	493	Subindo	Subindo
25/07/19	08:17	509	205	104	River ray / BT	482	Baixando	Subindo
09/06/20	13:39	530	226	128	River ray / BT	373	Subindo	Subindo
26/06/19	10:40	580	276	188,4	M9/B. Track	453	Subindo	Baixando
06/07/20	12:23	587	283	201	River ray / BT	498	Subindo	Baixando
22/06/20	11:47	599	295	161	River ray / BT	667	Subindo	Estável
30/06/20	13:06	612	308	161	River ray / BT	693	Baixando	Baixando
26/06/20	12:33	627	323	184	River ray / BT	680	Estável	Subindo
14/06/19	15:45	728	424	369,1	M9/ GPS GGA	651	Subindo	Estável

⁽¹⁾ Fonte: HIDROWEB ANA (2020)

⁽²⁾ Elaborado a partir da análise de dados do HIDROWEB ANA (2020).

5.4 TRAÇADO DA CURVA CHAVE DA SEÇÃO CONTROLE

5.4.1 Determinação da cota H_0

De acordo com a equação citada por Boiten (2008), as três vazões medidas que satisfazem a equação $Q_2^2 = Q_1 * Q_3$, pela análise da Tabela 3, foram as seguintes:

$$Q_1 = 33,9 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow h_1 = 112 \text{ cm};$$

$$Q_2^2 = 80,5 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow h_2 = 156 \text{ cm};$$

$$Q_3 = 188 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow h_3 = 276 \text{ cm}$$

$$Q_2^2 = Q_1 * Q_3 \rightarrow 80,5^2 \sim 33,9 * 188 \rightarrow 6.485 \sim 6.373$$

Então, o cálculo de H_0 pela Equação 7 = 87 cm.

Este valor de h_0 calculado está acima da cota de 32 cm, a menor em que houve registro de vazão não nula (1,3m³/s). Tomando como base a média de “ h_0 ’s” calculado / empírico (este, a menor cota levantada na seção, ou seja, o zero da régua efetivo), ainda assim teríamos 44 cm de cota, superior ainda à cota mínima citada. Optou-se por verificar a variância do modelo matemático considerando H_0 a

partir da cota 30 cm e diminuindo 5 cm em cada teste, até obter-se a menor variância nas diferenças entre as vazões calculadas / medidas. Isto ocorreu com o modelo considerando H_0 ajustado em 20 cm.

Tabela 3 - Valores de cota e vazão das medições efetuadas

Medição		Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)
Data	Hora		
16/04/2019	12:01	32	1,3
11/10/2019	11:04	112	33,9
30/05/2019	11:45	156	80,5
25/07/2019	08:17	205	104,0
09/06/2020	13:39	226	128
26/06/2019	10:40	276	188,4
06/07/2020	12:23	283	201
22/06/2020	11:47	295	161
30/06/2020	13:06	308	161
26/06/2020	12:33	323	184
14/06/2019	15:45	424	369,1

Para $H_0 = 20$ cm, os valores de a, LN(a) e b são:

$$\begin{aligned} b &= 1,62681 \\ \text{LN}(a) &= -3,77484 \\ a &= 0,022940682 \end{aligned}$$

5.4.2 Considerações sobre o comportamento hidrodinâmico da seção

Verifica-se no Quadro 3 que não há uma correspondência biunívoca na relação cota-vazão da seção, o que seria desejável a fim de se obter a eficácia do controle no monitoramento e estimativa das vazões. Contudo, percebe-se que esta correspondência biunívoca aconteceu quando o nível da água não extravasou o talvegue principal em sua margem esquerda (PI). Isto sugere que a seção controle, cuja margem esquerda apresenta uma planície de inundação em cotas superiores a cerca de 279 cm, gera um remanso hidráulico, modificando as velocidades do fluxo na seção estudada.

Outro aspecto é em decorrência do comportamento hidrológico do rio Branco, indicando a existência de um fenômeno de remanso causado por água represada e a partir da foz do rio Cauamé no rio Branco. Este fenômeno foi verificado por Alves (2018) no rio Solimões em Manacapuru, onde se constata que o efeito do remanso

causado pelo rio Negro se manifesta em todas as faixas de variação de níveis constantes na base de dados para aquela seção. Dois fatores permitem concluir que há este represamento:

- a) Cerca de 650 m à jusante do controle, o rio faz uma curva de 90° à esquerda, com a imagem de satélite mostrando que há uma possível ligação na diagonal (Figura 9). Tal configuração de escoamento pode contribuir com a diminuição do fluxo;

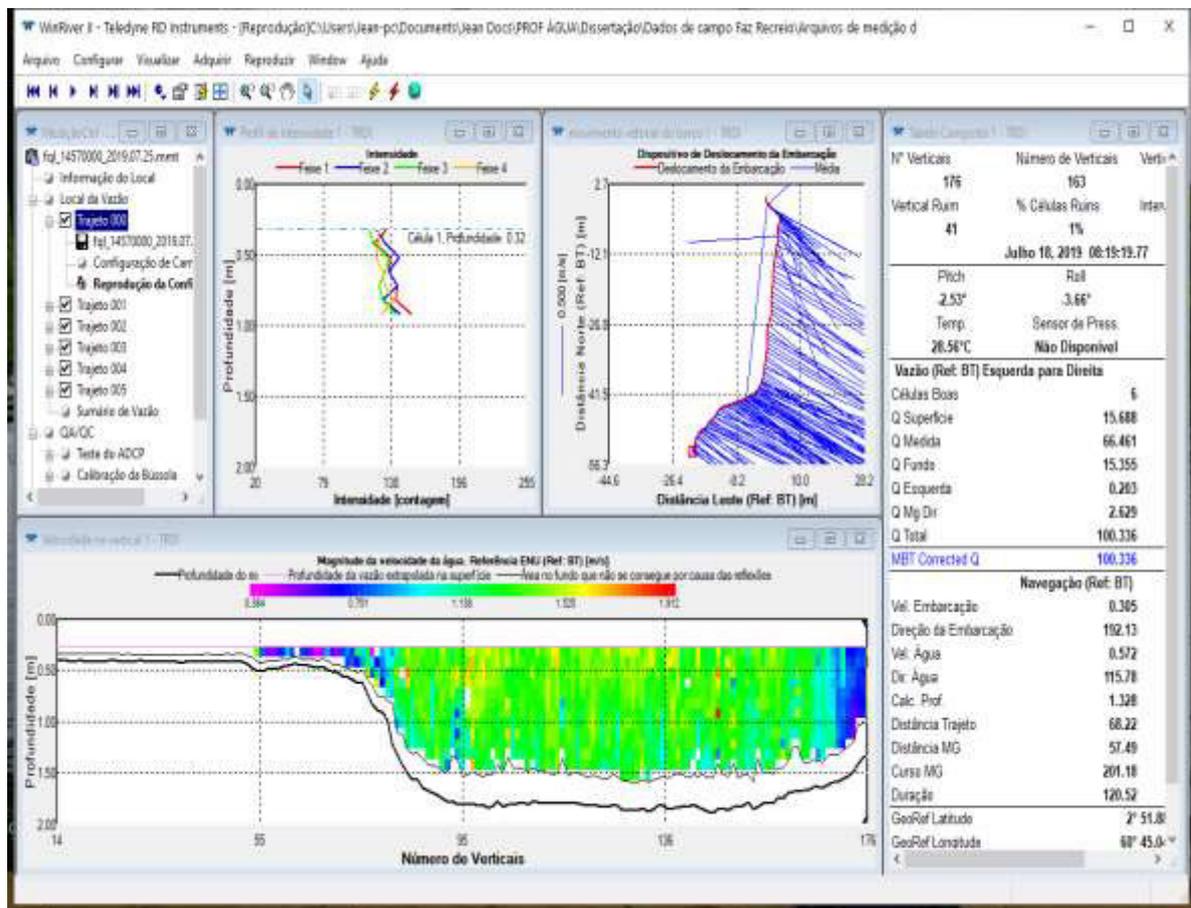
Figura 9 - Imagem da seção controle, com ênfase na planície de inundação na margem esquerda.



Fonte: Autor, em imagem do Google Earth (acesso em 20/09/2020)

- b) A diminuição das velocidades médias da água nas cotas de alagamento da margem esquerda. A Tabela 3 demonstra que, enquanto nas cotas inferiores à do PI a velocidade média da água durante períodos de cheia ficou em torno de 1,2 m/s, nas cotas superiores ficou em torno de 0,98 m/s. O perfil de uma das medições demonstra a maior velocidade no talvegue em relação à margem alagada (Fig. 10), sendo as cores em tons mais azuis as partes da seção de menores velocidades, e quanto mais em tons vermelhos, maiores as velocidades da água.

Figura 10 - perfil transversal da área molhada da seção, traçado pela sonda River Ray.



Fonte: Autor.

Pela Tabela 4, percebe-se que a velocidade média da água decai em cotas mais altas que extravasam o talvegue.

Tabela 4 - Velocidades médias da água em diferentes cotas.

Medição		Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Vel. média da água (m/s)
Data	Hora			
16/04/2019	12:01	32	1,3	0,11
11/10/2019	11:04	112	33,9	0,78
30/05/2019	11:45	156	80,5	0,61
25/07/2019	08:17	205	104,0	1,13
09/06/2020	13:39	226	128	1,18
26/06/2019	10:40	276	188,4	1,23
06/07/2020	12:23	283	201	1,21
22/06/2020	11:47	295	161	0,98
30/06/2020	13:06	308	161	0,92
26/06/2020	12:33	323	184	0,99
14/06/2019	15:45	424	369,1	1,03

Fonte: Autor

MEADE et al (1991) atribui o expressivo efeito de remanso hidráulico nas porções inferiores das bacias hidrográficas da Amazônia às baixas declividades das planícies amazônicas, combinadas com o armazenamento de água nas planícies de inundação.

Sobre a possibilidade do remanso hidráulico variável interferir na relação biunívoca cota-vazão, Alves (2018, p. 5, grifo nosso) afirmou:

“(…)
Para que essa aproximação seja válida, é importante que uma série de condições hidráulicas, como escoamento permanente e uniforme, sejam observadas, permitindo o estabelecimento de uma relação biunívoca entre cota e vazão (JACCON; CUDO, 1989; MUSTE et al., 2011). Essa relação biunívoca, porém, nem sempre é observada em cursos d’água naturais. **A não-univocidade pode ser gerada, por exemplo, quando o escoamento ocorre sob efeito de um remanso hidráulico variável causado por alterações das condições a jusante**, como flutuações nos níveis de uma confluência entre rios, marés ou pela manipulação das comportas de uma barragem (WMO, 2010; MANSANAREZ et al., 2016). Nesses casos, **a variação do nível de água a jusante altera a linha de energia do escoamento, que deixa de ser paralela ao fundo do canal**, e sua declividade deve ser então considerada como variável secundária na estimativa da vazão (JACCON; CUDO, 1989).
“(…)”

Sendo assim, a geração de um modelo de curva chave tendo com base vazões sob efeito de remanso hidráulico que se observou, pela análise dos dados, em cotas de inundação da margem esquerda, se mostra imprecisa, razão pela qual justifica-se a adoção de um modelo preliminar com as medições feitas em cotas inferiores a aproximadamente 279 cm. A única medição acima deste nível considerada foi na cota 283 cm, ou seja, cerca de 1% acima da cota de alagamento.

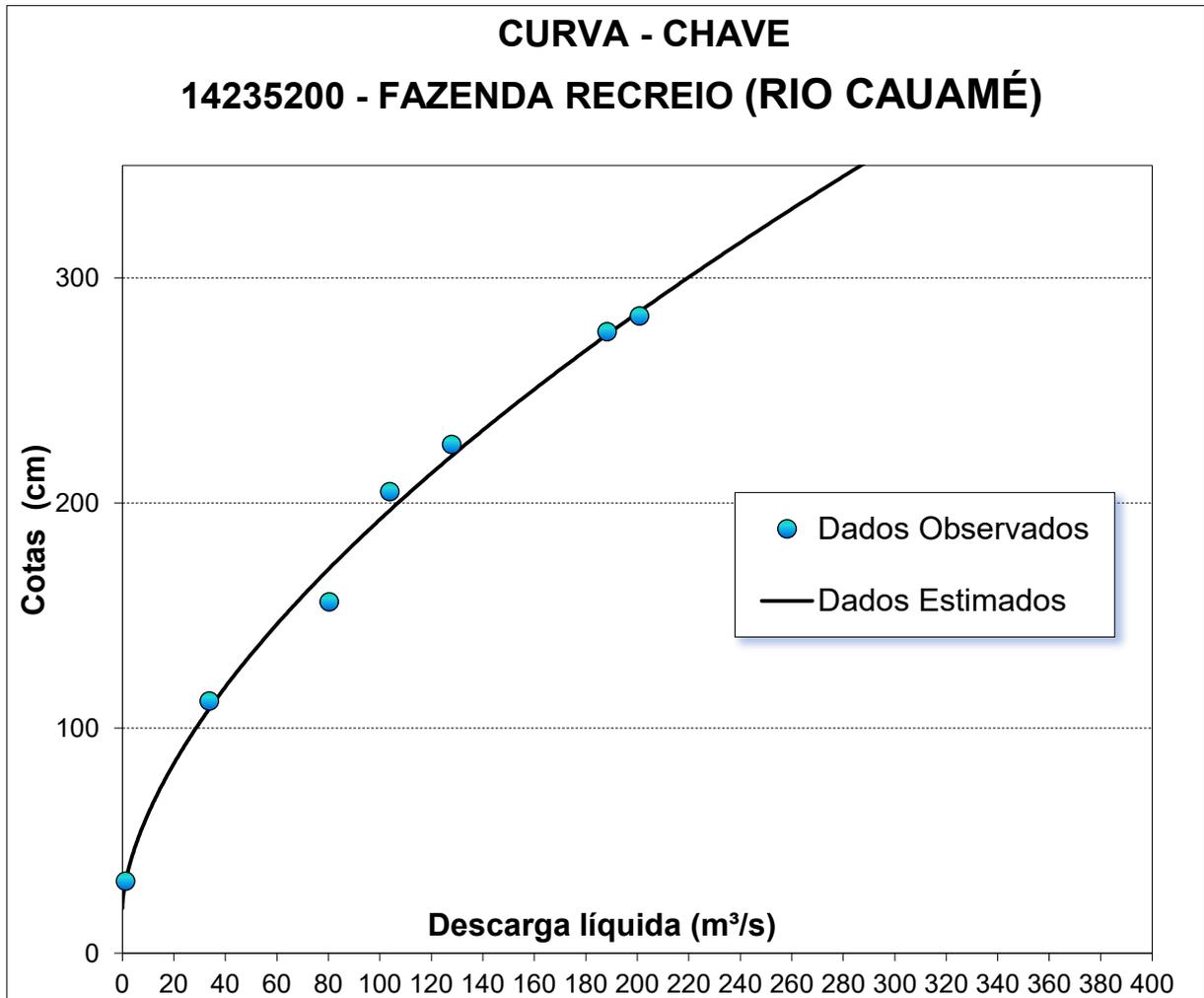
5.4.3 Cálculo da curva chave

A curva chave gerada, a partir da equação de potência:

$$Q = 0,022940682 (h - 20,0)^{1,62681}$$

Comportou-se de acordo com o gráfico da Figura 10.

Figura 11 - Gráfico da Curva Chave gerada



Fonte: Autor.

Verifica-se que há uma fraca dispersão dos valores de vazão obtidos em relação às vazões calculadas. Em que pese o número de medições não ser ainda suficiente para se afirmar a calibração do modelo, as variações entre as vazões calculadas e obtidas teve um máximo de 16%, o que demonstra a boa aplicabilidade da equação. Comparativamente, a curva chave da antiga estação Sítio Jaraguá apresenta valores com variação superiores a 25%, conforme demonstra dados realçados no Quadro 4.

A seção de medição da antiga estação (Sítio Jaraguá) também apresenta em sua margem esquerda uma planície de alagação, em contraste com uma margem direita bastante íngreme. Estes aspectos combinados põem em dúvida a relação biunívoca cota vazão, quando a primeira está em suas faixas mais altas, que extravasam o talvegue.

Quadro 4 - Dados de algumas medições de vazão na antiga estação Sítio Jaraguá.

Data	Hora	Número da medição	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Vazão da Curva de descarga (m³/s)
06/11/2003	09:10	10	501	81,5	78,9
02/07/2009	10:10	22	509	79,6	84,6
14/08/2004	11:30	11	714	323	268,0
17/07/2006	11:30	15	833	312	401,0

Fonte: Hidroweb ANA (2020).

Pela análise de dados registrados entre 2003 e 2009 da estação Sítio Jaraguá (Código 14570000), há indícios que também naquela estação ocorria o fenômeno, e a curva chave gerada não considerou tal fator, o que compromete os valores de vazões de referência gerados a partir dela.

Desses pares de comparações, o mais relevante é aquele formado pelas medições de número 11 e 15, em cotas altas e período de inverno. A vazão da cota 833 cm é menor que a da cota 714 cm, em um comportamento que sugere uma curva chave em laço (vazão da cota de cheia diferente da cota de vazante), ou efeito de remanso hidráulico.

6 CONCLUSÕES

As características morfométricas da Bacia hidrográfica do Cauamé (BHC) indicam uma extensa rede de drenagem, mas com baixíssima declividade e tempo de concentração relativamente elevado. A morfometria explica, em parte, a formação de remansos hidráulicos no rio Cauamé em períodos de chuvas intensas e em áreas próximas à foz. Conquanto haja este obstáculo à geração de modelos inteiramente eficazes que traduzam a relação cota/vazão, observou-se que a seção controle, quando o fluxo d'água está confinado no talvegue do rio, apresentou vazões satisfatoriamente próximas do esperado, sendo a máxima variação 16% a mais do que previa a curva.

Portanto, o modelo gerado mostrou-se eficiente nas vazões correspondentes a cotas inferiores ou ligeiramente superiores ao PI, isto é, 279 cm. Correlacionando esta eficiência com os registros de cotas da Estação Fazenda Recreio no período 01/04/2019 a 31/05/2020, no Hidroweb (ANA, 2020), verificou-se que em 85% do período as cotas médias diárias foram inferiores a este nível. Assim, a curva chave gerada, ainda que careça de testes com um maior número de medições, pode ser utilizada para parametrizar vazões de referência.

Para a determinação de vazões acima da cota de alagamento, representada pelo PI, outros modelos matemáticos que considerem os efeitos do represamento causado pelo rio Branco ou mesmo as características da seção controle devem ser avaliados, muito embora as vazões necessárias ao gerenciamento dos recursos hídricos da BHC estejam em sua quase totalidade passíveis de cálculo a partir do modelo apresentado. É necessário, também, adequar o número de estações fluviométricas ao recomendado, ou seja, pelo menos três postos, dada a dimensão da bacia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA); INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **A gestão dos recursos hídricos e a mineração**. Brasília: ANA, 2006. 334 P.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Medição de descarga líquida em grandes rios (Manual Técnico)**. Brasília: ANA, 2009. 88 p.

_____. **Portal HIDROWEB**. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/>> Acesso em: 18 mai.2020

ALVES, L. G. S. **Aprimoramentos de série de dados de vazão em regimes sob efeito de remanso hidráulico variável: impactos na modelagem hidrológica e hidrodinâmica da bacia Amazônica**. 2018. 90 f. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola). Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 2018.

BARBOSA, G.S. et al. **Determinação da curva-chave da vazão do Rio Manoel Alves Grande, Goiatins-TO**. [S. l.: s. n.]. [2009?]. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/57591582-Determinacao-da-curva-chave-da-vazao-do-rio-manoel-alves-grande-goiatins-to.html>> Acesso em: 15 jul.2019

BRASIL, 1997. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional 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, 08 jan.1997.

CARVALHO, T. M. Síntese dos aspectos hidrogeomorfológicos do Estado de Roraima, Brasil. In: GORAYEB, P.; MEIGUINS, A. (Org.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. V. 9 (9CGA), [S. l.]: Ed. SBG-Norte, 2015. p. 435-450. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/document/305758876/Hidrogeomorfologia-de-Roraima>> Acesso em: 08 jul.2019.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2ª Edição. Porto Alegre: ABRH, 2015. 336 p.

CPRM. **Geodiversidade do Estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. 275 p.

_____. **Geodiversidade do Estado de Roraima**. Manaus: CPRM, 2014. 252 p.

_____. **Geosgb**. Disponível em: < <http://geosgb.cprm.gov.br/>> Acesso em: 22 ago.2019.

ESPADA, G. M. **Guerras ou conflitos pela água a nível internacional: em busca de uma clarificação terminológica**. Revista da Faculdade de Direito da UFRGS. Porto Alegre, n. 36, p. 164-182, ago.2017. Disponível em:

<<https://seer.ufrgs.br/revfacdir/article/download/73393/43558>> Acesso em: 17 jul.2019.

EVANGELISTA, R. A. O.; SANDER, C.; WANKLER, F. L. **Estudo Preliminar da distribuição pluviométrica e do regime fluvial da bacia do rio Branco, estado de Roraima** In: Roraima 20 anos: as Geografias de um novo Estado. Boa Vista: Editora da Universidade Federal de Roraima, 2008, v.1, p. 142-167.

FEITOSA, F. A. C. et al (Org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 812 p.

GALVÃO, W. S.; MENESES, P. R. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. P. 2519-2526. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.01.34/doc/2519.pdf>> Acesso em 05/04/2019.

GAMARO, P. E. **Medidores acústicos Doppler de Vazão**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2012. 164 p.

GOOGLE: **Google Earth**. Google LLC, 2020. Acesso em: 18/10/2020.

HORTON, R. E. **Drainage-basin characteristics**. Porto Alegre: RBRH, vol.21, n. 4, P. 707-718, dez.2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312016000400707> Acesso em: 20/07/2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geomorfologia de Roraima**, 2005. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades_da_federacao/rr_geomorfologia.pdf> Acesso em: 11 abr.2020. 1 mapa. Escala 1:1.000.000

JACCON, G; CUDO, K. J. **Curva chave: análise e traçado**. Brasília: DNAEE, 1989. 273 p.

LEAL, M.S. **Gestão ambiental de recursos hídricos: princípios e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM, 1998. 176 p.

LEMONS, 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 da base hidrográfica ottocodificada**. Boa Vista (RR): Rev. Acta Geográfica, v. 11, n. 26, p. 35-53, mai./ago.2017.

MEADE, R. H. et al. **Backwater effects in the Amazon River basin of Brazil**. Environmental Geology and Water Sciences, v. 18, n. 2, p. 105-114, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01704664>. Acesso em: 19/05/2020.

MICROSOFT CORPORATION: **Excel 2010** – Versão 14.0.7232.5000. Microsoft Corporation, 2010. 01 CD-ROM.

OLIVEIRA, F. A. et al. **Uso de modelo hidrodinâmico para determinação da vazão a partir de medições de nível**. Porto Alegre: RBRH, vol.21, n. 4, P. 707-718, dez.2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312016000400707> Acesso em: 20/07/2019.

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**. Boa Vista: Rev. Geogr. Acadêmica, v. 8, n. 1, p. 61-80, jul.2014. Disponível em: <<http://ufrr.br/mepa/phocadownload/bacia%20cauame%20roraima.pdf>> Acesso em: 17 jul.2019.

PINHEIRO, A.; BADIA, S. B. **Efeitos da curva-chave sobre a curva de permanência dos escoamentos em uma bacia agrícola**. Blumenau: Rev. de Estudos Ambientais, v. 10, n. 2, p. 64-70, jul./dez. 2008.

PIMENTEL, L. **Hidrologia: Engenharia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2017. 352 p.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project, 2019. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 05 abr.2019.

RD INSTRUMENTS: **WinRiver II** Versão 2.19. Teledyne RD Instruments, 2016. 01 CD-ROM.

REIS NETO, R. A.; COSTA, J. A. V. **Mapeamento de unidades geomorfológicas da bacia do Rio Cauamé-RR**. [S. l.]: 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: 16 jul.2019.

SANDER, C. et al. **Cheias do rio Branco e eventos de inundação na cidade de Boa Vista, Roraima**. Boa Vista (RR): Rev. Acta Geográfica (UFRR). v. 6, n. 2, p.41 - 57, mai./ago. 2012

SANDER, C. et al. **Fenômenos de Cheias e Eventos de Inundação na cidade de Boa Vista, Roraima**. In: Fenômenos de cheias e eventos de inundação na cidade de Boa Vista, Roraima. Belém (PA): Rev. SGB - Núcleo Norte, v.8, p. 221-234, 2013,

SANTOS, I. et al. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372 p.

SIMEDO, M. B. L; MARTINS, A. L. M; LOPES, M. C. **O monitoramento da vazão como ferramenta para o plano de gestão ambiental em microbacias hidrográficas**. Periódico eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista [S. l.]. v. 11, n.

6, dez.2015. Disponível em: <https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/artic/e/view/1254> Acesso em: 16 jul.2019.

SOUSA, F. R. C. de; PAULA, D. P. de. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tapuio (Ceará – Brasil)**. Periódico eletrônico Revista de Geociências do Nordeste, v. 2, p. 555-564, 27 out. 2016. Disponível em: <<<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10499/7430>> Acesso em: 06 mai.2020.

STEVANUX, J. C; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 336 p.

SONTEK: **River surveyor 2010**. Versão 4.1. SONTEK/YSI Inc, 2018. 01 CD-ROM.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2002. 256 p.

VAISALA: **AWS Client**. Versão 8.04. Vaisala Oyj, 2014. 01 CD-ROM.

VESPUCCI, A. G.; SANTOS, J. G. R.; BAYER, M. Estações fluviométricas do estado de Goiás: qualificação dos dados hidrológicos disponíveis na base HIDROWEB/ANA. Goiânia: **Ateliê Geográfico**, v. 10, n. 3, p. 89-108, dez.2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE (USGS): **Q-Rev**. Versão 3.43. USGS, 2018. 01 CD-ROM.

WANKLER, F. L. et al. **Implicações da urbanização sobre a estrutura e funcionamento de bacias hidrográficas: uma avaliação sobre o igarapé Caraná, Boa Vista-RR**. In: contribuições à Geologia da Amazônia. Belém (PA): Rev. SBG - Núcleo Norte, v.7, p. 95-103. 2011.

WORD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Guide to Hydrological Practices**: Volume I Hydrology – From Measurement to Hydrological Information. 6^a. Edição. Genebra: WMO, 2008. Disponível em: <http://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_I_en.pdf> Acesso em: 05 abr.2019.