

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM
GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS -
PROFÁGUA**

THIAGO BARBOZA RIBEIRO

**ESTIMATIVA E REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA
PARA A BACIA DO RIO BRANCO-RR, COMO SUPORTE À GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS**

MANAUS – AM

2018

THIAGO BARBOZA RIBEIRO

**ESTIMATIVA E REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA
PARA A BACIA DO RIO BRANCO-RR, COMO SUPORTE À GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS**

MANAUS – AM

2018

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

R484e	<p>Ribeiro, Thiago Barboza Estimativa e regionalização das vazões mínimas de referência para a bacia do rio Branco-RR, como suporte à gestão dos recursos hídricos. / Thiago Barboza Ribeiro. Manaus : [s.n], 2018. 63 f.: color.; 30 cm.</p> <p>Dissertação - PGSS - Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (Mestrado) - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2018. Inclui bibliografia Orientador: Albuquerque, Carlossandro Carvalho de Coorientador: Moreira, Michel Castro</p> <p>1. outorga de uso . 2. disponibilidade hídrica. 3. sazonalidade hídrica. I. Albuquerque, Carlossandro Carvalho de (Orient.). II. Moreira, Michel Castro (Coorient.). III. Universidade do Estado do Amazonas. IV. Estimativa e regionalização das vazões mínimas de referência para a bacia do rio Branco-RR, como suporte à gestão dos recursos hídricos.</p>
-------	---

THIAGO BARBOZA RIBEIRO

**ESTIMATIVA E REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA
PARA A BACIA DO RIO BRANCO-RR, COMO SUPORTE À GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS**

Essa dissertação foi julgada e aprovada para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos, área de concentração Regulação e Governança dos Recursos Hídricos, linha de pesquisa Segurança hídrica e usos múltiplos da água, pelo Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade do Estado do Amazonas, pela Comissão Julgadora abaixo identificada.

Manaus, 17 de setembro de 2018.

Prof. Doutor Carlossandro Carvalho de Albuquerque (Orientador)
Universidade do Estado do Amazonas

Prof. Doutor Michel Castro Moreira (Coorientador)
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Doutora Joecila Santos da Silva
Universidade do Estado do Amazonas

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM
GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS -
PROFÁGUA

THIAGO BARBOZA RIBEIRO

Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM

ESTIMATIVA E REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA
PARA A BACIA DO RIO BRANCO-RR, COMO SUPORTE À GESTÃO DOS RECURSOS
HÍDRICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade do Estado do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Professor Doutor Carlossandro Carvalho de Albuquerque

Coorientador: Professor Doutor Michel Castro Moreira

MANAUS – AM

2018

AGRADECIMENTOS

Ao criador, Deus.

Aos meus pais, Lourdes Barboza Ribeiro e José da Silva Ribeiro, por toda compreensão, pelos ensinamentos e pelo constante estímulo e dedicação. A minha irmã Thais Ribeiro Borrin e sua família, em especial minha sobrinha Sara Ribeiro Borrin, luz nas nossas vidas.

À Pesquisadora e companheira Luana Lisboa, por todo conhecimento transmitido.

Ao Professor Carlossandro Carvalho de Albuquerque, pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa e pela orientação nesse trabalho.

Ao Professor Michel Castro Moreira, pelo apoio e coorientação, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

A Universidade Estadual do Amazonas (UEA) e ao programa ProfÁgua pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pelo auxílio financeiro concedido através da bolsa de estudo.

A todos muito obrigado.

RESUMO

A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), tem como objetivo garantir o controle quantitativo e qualitativo da água. Para uma efetiva aplicação deste instrumento de gestão e regulação, o órgão gestor precisa determinar a oferta natural do recurso água para equilibrar as demandas entre os usuários, numa bacia hidrográfica a unidade nacional de gestão. Considerando que o conhecimento das vazões mínimas de referência é de grande importância para a definição dos limites outorgáveis de uma bacia, o objetivo do estudo foi estimar e regionalizar as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} com periodicidade anual e semestral para a bacia do rio Branco, Roraima. Dentre os procedimentos utilizados se destacam-se: o levantamento das séries históricas de dados de vazões e precipitações existentes para a bacia, o que se deu no âmbito da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN); a definição do ano hidrológico bem como dos períodos sazonais com base nos dados hidrológicos levantados; estimativa das vazões mínimas de referência em estudo com periodicidade anual e semestral; regionalização das vazões mínimas de referência estimadas; e a avaliação do impacto da sazonalidade semestral das vazões mínimas de referência na concessão do instrumento de outorga para a gestão de recursos hídricos da bacia. Foram estimadas as vazões mínimas de referência para treze estações fluviométricas bem como foram determinadas as precipitações totais médias utilizando 25 estações pluviométricas na área de estudo. Já para o estudo de regionalização de vazões mínimas de referência foi feita a identificação das Regiões Hidrológicas Homogêneas (RHH), e posteriormente ajustou-se a regressão entre as vazões mínimas estimadas (variável dependente) e as características físicas, a citar a área de drenagem e as precipitações totais médias (variáveis independentes). Por fim, definiu-se as equações de regionalização para estimativa das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}). De acordo com os resultados obtidos, foram definidas duas regiões homogêneas para a bacia do rio Branco. Constataram-se aumentos significativos nas vazões mínimas de referência ao considerar o período chuvoso em comparação ao anual. Como verificado para a estação de Caracaraí, no rio Branco, onde a adoção das vazões de permanência anuais Q_{95} e Q_{90} , em substituição a $Q_{7,10}$, permite, respectivamente, um aumento de 75,1% e 123,3% na vazão passível de ser outorgada. Os resultados permitiram concluir que a estimativa e regionalização das vazões mínimas na bacia do rio Branco contribui para a análise dos processos de outorga, visto que o órgão gestor estadual não possui critério estabelecido para esse fim. O estudo fornece informações que permitem o conhecimento hidrológico da região bem como subsidiam a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos, considerando o instrumento de outorga de uso dos recursos hídricos. Conclui-se ainda que a flexibilidade dos critérios de outorga adotando a sazonalidade na disponibilidade hídrica permite aumentos consideráveis da vazão outorgável entre os diversos usuários da bacia do rio Branco, no semestre de cheia.

Palavras-chave: outorga de uso, disponibilidade hídrica, sazonalidade hídrica.

ABSTRACT

The granting of rights to use water resources, mentioned in the Water Resources National Policy (PNRH), aims to guarantee the quantitative and qualitative control of water. For an effective application of this management and regulation instrument, the water management state institution needs to determine the natural supply of the water resource to balance the demands among users, in a river basin, which is the management territorial unit. Considering that the knowledge of the minimum stream flows of reference is of great importance for the definition of the grantable water use limits of a basin, the purpose of this study was to estimate and regionalize the minimum stream flows of reference, $Q_{7,10}$, Q_{95} and Q_{90} with annual and semi-annual frequency for the Rio Branco water basin, in Roraima State. Among the study the procedures used were: Historical series of flows and precipitation data for the basin, which occurred within the framework of the National Hydrometeorological Network (RHN); The definition of the hydrological year as well as the seasonal periods based on the hydrological data collected; The estimation of minimum reference stream flows under annual and semiannual studies; The regionalization of estimated minimum stream flows of reference; And finally, the impact evaluation of the semiannual seasonality of the minimum stream reference flows in granting for the water resources management in the basin. The minimum reference stream flows rates for thirteen fluviometric stations were estimated as well as the mean total rainfall was determined using 25 rainfall stations. In the other hand, for the study of regionalization of minimum reference flows, the identification of the Homogeneous Hydrological Regions (RHH) was carried out, and the regression between the minimum estimated flows (dependent variable) and the physical characteristics of the RHH, which were the area of drainage and total precipitation average (independent variables). Lastly, the regionalization equations for the identified RHH were defined. According to the results obtained, two RHH were identified for the Branco River basin, considering the results of the regressions. Significant increases in minimum stream flows of reference were observed when considering the rainy season in comparison to the annual one. As verified for the Caracaraí station, in the Branco river, where the adoption of the annual Q_{95} and Q_{90} inlet flows, replacing $Q_{7,10}$, allows, respectively, an increase of 75.1% and 123.3% in the stream flow that could be granted. The results allowed to conclude that the estimation and regionalization of the minimum flows in the Branco river basin contribute to the analysis of the granting processes, since the water management state institution does not have established criteria for this purpose. This study provides information that allows the hydrological knowledge of the region as well as subsidize the decision making in the management of water resources, considering the instrument of granting the use of water resources. It was also concluded that the flexibility of the granting criteria adopting the water hydrological seasonality allows considerable increases in the grantable stream flows among the various users of the Branco river basin during the flood season.

Keywords: grant of use, water availability, water seasonality.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Instrumentos de gestão de recursos hídricos instituídos pela Lei Federal nº 9.433/1997	17
Tabela 2. Características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Branco, RR	27
Tabela 3. Estações fluviométricas utilizadas no estudo	28
Tabela 4. Estações pluviométricas da bacia do rio Branco utilizadas no estudo.....	30
Tabela 5. Regime hidrológico em tendências de disponibilidade hídrica	38
Tabela 6. Diferença percentual média da q7 sazonal em relação à anual	38
Tabela 7. Frequência de ocorrência da q7 anual nos períodos com tendências homogêneas ...	39
Tabela 8. Vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais e semestrais, em m^3s^{-1} , na bacia do rio Branco - RR	40
Tabela 9. Vazões específicas mínimas $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais, em m^3s^{-1}/km^2 , para bacia do rio Branco.....	41
Tabela 10. Diferença percentual média da vazão mínima de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} sazonal em relação anual	45
Tabela 11. Precipitações Totais Médias Anual, e dos períodos Chuvoso e Seco.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura de funcionamento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Fonte: MMA (2018).	16
Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Branco – RR.	26
Figura 3. Estações fluviométricas da bacia do rio Branco utilizadas no estudo.	29
Figura 4. Estações pluviométricas na bacia do rio Branco utilizadas no estudo.	31
Figura 5. Distribuição das vazões específicas mínimas mensais utilizadas no estudo.	37
Figura 6. Vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais em função da área de drenagem das estações fluviométricas existentes ao longo do rio Uraricoera (Branco).	43
Figura 7. Vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais em função da área de drenagem das estações fluviométricas existentes ao longo do rio Mucajaí.	44
Figura 8. Diferenças percentuais para as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais em relação ao semestre de cheia para as estações fluviométricas utilizadas no estudo.	46
Figura 9. Diferenças percentuais para as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais em relação ao semestre de vazante para as estações fluviométricas utilizadas no estudo.	46
Figura 10. Curvas das duplas massas para consistência das séries pluviométricas na bacia do rio Branco.	48
Figura 11. Precipitação total mensal média (mm) para as estações pluviométricas pertencentes à bacia do rio Branco.	49
Figura 12. Mapa de isoietas de precipitação média total anual para a bacia do rio Branco.	50
Figura 13. Mapa de isoietas de precipitação média total do semestre seco e chuvoso para a bacia do rio Branco.	50
Figura 14. Regiões hidrológicamente homogêneas e estações fluviométricas utilizadas na regionalização.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ad	Área de drenagem
ANA	Agência Nacional de Águas
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
FEMARH	Fundação Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
GPRH	Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos
Lat.	Latitude
Long.	Longitude
N	Norte
O	Oeste
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PRH	Plano de Recursos Hídricos
PROGESTÃO	Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas
PROFÁGUA	Programa de Pós-graduação Profissional em Gestão e Regulação de recursos hídricos
Pt	Precipitação total anual
Pts	Precipitação total semestral
RHH	Regiões Hidrológicas Homogêneas
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
SERH	Sistema Estadual de Recursos Hídricos
SIH/Hidroweb	Sistema de Informações Hidrológicas – Hidroweb
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SisCAH	Sistema Computacional para Análises Hidrológicas
SisCoRV	Sistema Computacional para Regionalização de Vazões
UEGRH	Unidade Estadual de Gestão dos Recursos Hídricos
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
UFV	Universidade Federal de Viçosa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Tema e marco teórico-conceitual	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. Gestão dos recursos hídricos no Brasil	15
2.2. Gestão dos recursos hídricos no Estado de Roraima.....	18
2.3. A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos	19
2.4. Vazões mínimas de referência no processo de outorga.....	20
2.5. Períodos sazonais na determinação de vazões mínimas de referência.....	23
2.6. Regionalização de vazões.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1. Caracterização da área de estudo	26
3.2. Séries históricas de vazão e precipitação	28
3.3. Definição do ano hidrológico e dos períodos sazonais	32
3.4. Estimativa das vazões mínimas de referência anuais e semestrais	33
3.5. Flexibilidade de vazões mínimas de referência.....	34
3.6. Regionalização das vazões mínimas de referência anuais e semestrais.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1. Ano hidrológico e períodos sazonais	37
4.2. Estimativa e flexibilidade das vazões mínimas de referência anuais e semestrais	40
4.3. Precipitações médias totais anuais e semestrais	47
4.4. Regionalização das vazões mínimas de referência anuais e semestrais.....	51
4.4.1. IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS (RHH)	51
4.4.2. EQUAÇÕES DE REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA ANUAIS E SEMESTRAIS	52
5. CONCLUSÕES	59
6. REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos, e a gama de serviços providos pelo uso da água, contribuem para a redução da pobreza, para o crescimento econômico e para a sustentabilidade ambiental. Desde a segurança alimentar e energética, até a saúde humana, a água contribui para a melhoria no bem-estar social e no crescimento inclusivo, afetando os meios de subsistência de bilhões de pessoas (WWAP, 2015).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006), a promoção do uso sustentável dos recursos hídricos no Brasil vem sendo pautada por discussões nos âmbitos local, regional e nacional, no intuito de estabelecer ações articuladas e integradas que garantam a manutenção da disponibilidade de água em condições adequadas para a presente e as futuras gerações.

Nesse sentido, a Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), apresenta instrumentos para a gestão e regulação da água, tratando-a como um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. Dentre esses instrumentos, cita-se o enquadramento dos cursos d'água em classes de uso, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso da água, entre outros.

De acordo com a Lei nº 9.433/1997, a outorga tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos, assim como garantir o efetivo direito de acesso à água. Através desse instrumento, é possível aos órgãos gestores dos recursos hídricos controlarem os volumes captados, o período em que as captações ocorrem e qual a sua finalidade, contemplando os usos prioritários e as determinações dos Planos de Recursos Hídricos (PRHs) e dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) (OLIVEIRA e FIOREZE, 2011).

Para que a implantação do instrumento da outorga possa ser realizada de maneira efetiva, é necessário o conhecimento do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, especialmente na determinação das vazões mínimas de referência ao processo de análise da outorga (FIOREZE e OLIVEIRA, 2010).

Geralmente, a vazão de referência utilizada nos processos de outorga é a vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial. A partir dessa condição crítica é que são realizados os cálculos de alocação da água, de modo que, quando da ocorrência da situação de escassez, todos os usuários, ou os prioritários, mantenham em operação os usos outorgados (MARQUES, 2010).

De acordo com Marques et al. (2009), no Brasil, muitos órgãos gestores têm adotado a vazão mínima com sete dias de duração e recorrência de dez anos ($Q_{7,10}$), ou as vazões associadas às permanências de 95% (Q_{95}) ou 90% (Q_{90}) no tempo, como valores de referência para o processo de outorga, disponibilizando apenas um percentual destas vazões mínimas de referência para os diversos usos.

Costa e Tybush (2015) explicam que cada Estado pode estabelecer critérios diferenciados para a determinação da vazão mínima de referência. No Estado de Roraima, onde o órgão gestor de recursos hídricos é a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH), a outorga de uso de água foi instituída pela Lei Estadual nº 547, de 23 de junho de 2006.

A Lei Estadual nº 547/2006 determina que toda outorga estará condicionada às prioridades de uso constantes no Plano de Recursos Hídricos (PRH), sendo que no caso da inexistência do PRH em uma bacia hidrográfica, a outorga obedecerá a critérios e normas estabelecidos pelo órgão gestor dos recursos hídricos, com a aprovação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH).

Na bacia do rio Branco, em que se encontra o principal curso d'água de domínio estadual em Roraima, já foram definidas as demandas para os usos das águas superficiais para essa unidade de gestão. De acordo com a FEMARH (2016), até o final do ano de 2015, o Estado possuía 717 usuários dos recursos hídricos, sendo a maioria referente a captações de águas superficiais.

Apesar do número considerável de usuários de água, verifica-se no Estado de Roraima ausência de critérios e estudos para aplicação do instrumento de outorga de direito de uso da água, ou que sustentem o estabelecimento dos valores das vazões mínimas de referência para o uso das águas superficiais.

Em suma, a Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), indica que a definição da outorga e da respectiva vazão outorgável (quantidade de água a ser disponibilizada para os diversos usos), para além de critérios meramente hidrológicos, deve levar em conta as opções e as metas de desenvolvimento social e econômico que o órgão gestor pretende atingir, considerando os múltiplos usos, a capacidade de suporte do ambiente e a busca do desenvolvimento sustentável.

Moreira e Silva (2014) enfatizam que a necessidade de se conhecer a vazão ao longo da rede hidrográfica e as limitadas séries de dados fluviométricos disponíveis, muitas vezes, impedem ou dificultam a realização de uma adequada gestão de recursos hídricos. Visando superar a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados, utiliza-se a técnica de regionalização de vazões (MOREIRA, 2006).

Deste modo, considerando o cenário de gestão e regulação dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Branco, buscou-se contribuir com o processo de outorga de direito de uso da água, a partir da determinação das vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} ao longo dos diversos cursos d'água da bacia, e assim fornecer subsídios técnico-científicos sobre a disponibilidade hídrica na região.

Pelo exposto, este trabalho teve como objetivo estimar e regionalizar as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais e semestrais para a bacia do rio Branco (RR), como suporte à gestão dos recursos hídricos. Para tanto, é proposto:

- Definir o ano hidrológico e os períodos sazonais da bacia;
- Estimar as vazões mínimas de referência com periodicidade anual e semestral;
- Regionalizar as vazões mínimas de referência com periodicidade anual e semestral; e
- Avaliar o impacto da sazonalidade das vazões mínimas de referência na concessão do instrumento de outorga para a gestão de recursos hídricos da bacia.

1.1.Tema e marco teórico-conceitual

Este trabalho apresenta o tema: vazões mínimas de referência como critério para a outorga de uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Branco/RR. Apresentado no contexto do Programa de Pós-Graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, com área de concentração: Regulação e governança de recursos hídricos e linha de pesquisa: Segurança hídrica e usos múltiplos da água.

A abordagem do tema se torna relevante, considerando a estimativa das vazões mínimas de referência para o órgão gestor estadual e CBH da bacia em estudo, onde foi constatado que a utilização do instrumento de outorga sem o estabelecimento das vazões mínimas de referência, critérios mínimos já utilizados em outros órgãos gestores dos estados no país.

Através das equações e valores estimados com base em séries históricas será possível se balizar no momento da tomada de decisão, no contexto do instrumento de outorga de uso dos recursos hídricos. Trata-se de uma pesquisa aplicada e exploratória que visa proporcionar uma visão geral sobre o tema proposto, buscando padrões quantitativos de forma anual e sazonal. Visando fornecer subsídios técnico-científicos sobre a disponibilidade hídrica na região, oferecendo valores mínimos outorgáveis.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Gestão dos recursos hídricos no Brasil

O Brasil dispõe de 12% da água doce mundial, entretanto, a distribuição deste enorme volume de água se dá de forma irregular, tanto no espaço como no tempo. Além das problemáticas espaciais e temporais, a diversidade econômica, social e cultural de nosso país traz também grande desafio na implementação de um sistema de gestão de água eficiente e eficaz (BRAGA e DOMINGUES, 2008).

Se por um lado o Brasil é, reconhecidamente, detentor de uma das maiores reservas hídricas do planeta, a magnitude desse patrimônio é revertida na medida da responsabilidade dos brasileiros quanto a sua conservação e uso sustentável. Aproveitando a oportunidade de desenvolvimento econômico confirmada pela meta das Nações Unidas sobre a segurança alimentar (UN, 2000), no Brasil, mais do que a distribuição irregular das águas, as demandas para agricultura, pecuária e a superexploração dos solos e dos recursos florestais, frequentemente têm resultado em conflitos entre usuários e ameaçam a disponibilidade hídrica para as futuras gerações (MARQUES, 2010).

O risco de crise hídrica e de conflitos entre os usuários, no entanto, como apontado por Villar (2013), não são causados geralmente pela escassez da água, mas, principalmente, por problemas relacionados à governança das águas. WWAP (2015) complementa esta observação e cita que o desenvolvimento insustentável e as falhas de governança têm afetado a disponibilidade dos recursos hídricos, comprometendo a geração de benefícios sociais e econômicos.

A primeira legislação elaborada para tratar da apropriação e uso das águas no Brasil foi o “Código de Águas”, instituído pelo Decreto Federal nº 24.643, de 1934. Ele foi promulgado em um contexto nacional de modernização e desenvolvimento econômico, no qual a água era tida como um bem em abundância. Em decorrência da industrialização e do crescimento populacional, após a década de 1970, a água disponível começou a tornar-se mais escassa em algumas regiões, o que levou à intensificação dos conflitos entre usuários e impôs a necessidade da elaboração de mecanismos de planejamento e coordenação para os usos, direcionados à sua otimização (ANA, 2018).

A atual gestão de recursos hídricos do Brasil está baseada na PNRH, definida na Lei nº 9.433, de 1997, a chamada “Lei das Águas”. A PNRH estruturou, orientou e modernizou a gestão dos recursos hídricos no Brasil, uma vez que a partir dessa lei a gestão de recursos hídricos obteve avanços significativos no país.

Esse importante marco legislativo, além de ter instituído a PNRH, criou o SINGREH. Através do SINGREH foi definida a relação entre os órgãos gestores e entes envolvidos com a água (Figura 1), sistematizando o funcionamento da gestão e regulação desse recurso para uma unidade de gestão, a bacia hidrográfica.

Os órgãos e entes envolvidos com a água devem atuar de forma integrada e articulada com os demais entes do Sistema, podendo ser estruturados de diversas maneiras, como entidades autônomas (ex. agência ou autarquia) e, em sua maioria, como administrações diretas dos Estados (ex. secretarias específicas ou órgãos dessas secretarias) (ANA, 2016).

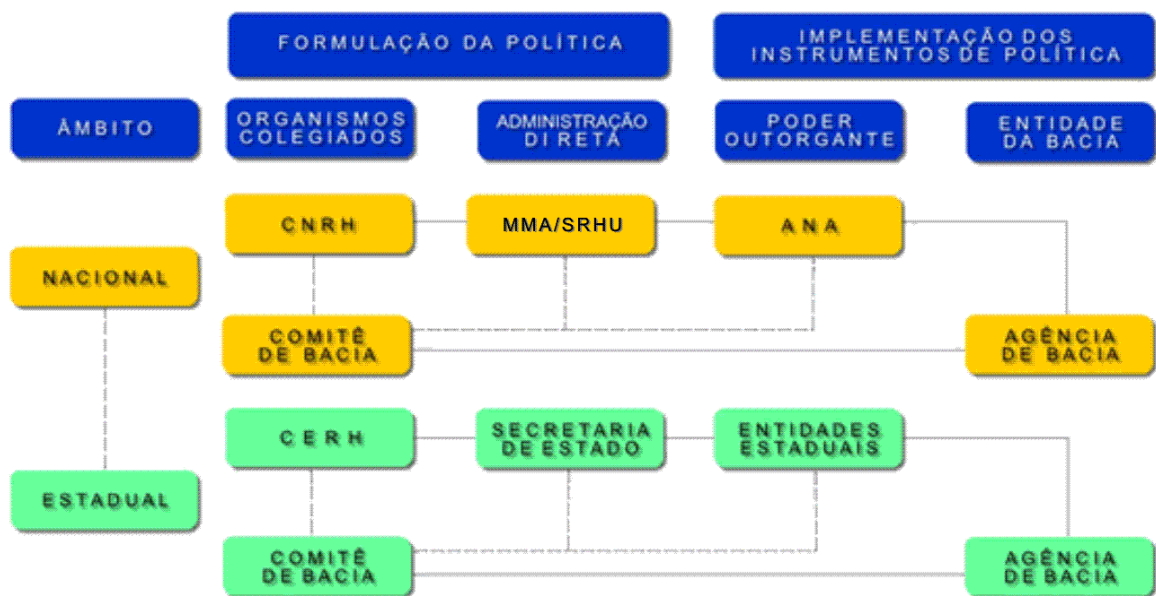


Figura 1. Estrutura e funcionamento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Fonte: MMA (2018).

Para intensificar a articulação e cooperação institucional no âmbito do SINGREH e fortalecer os sistemas estaduais de gestão, foi criado em 2013 o Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas (PROGESTÃO) (ANA, 2017). Esse programa prevê a aplicação de recursos para cada unidade da federação que cumprir metas institucionais referentes ao gerenciamento da água em esfera estadual. As metas do Progestão são pré-estabelecidas pela ANA, a fonte pagadora, exigindo-se que os recursos disponibilizados sejam

aplicados exclusivamente em ações de gerenciamento de recursos hídricos e de fortalecimento do Sistema Estadual de Recursos Hídricos (SERH).

Considerando ainda a Lei nº 9.433/1997, um destaque foi à definição da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos. De acordo com ANA (2002), a bacia hidrográfica corresponde ao espaço geográfico delimitado por um divisor de águas cujo escoamento superficial converge para seu interior, sendo captado por um curso d'água principal e seus afluentes.

Outro destaque da Lei nº 9.433/1997 foi à instituição dos instrumentos propostos para a gestão dos recursos hídricos no país (Tabela 1), os quais foram posteriormente incorporados na esfera estadual, constando na Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) da maioria dos Estados da Federação.

Tabela 1. Instrumentos de gestão de recursos hídricos instituídos pela Lei Federal nº 9.433/1997

Instrumento	Objetivos
Planos de recursos hídricos	Visam a fundamentar e orientar a implementação da PNRH e o gerenciamento dos recursos hídricos. Devem ser elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País, devendo conter, dentre outros, as prioridades para o uso da água.
Enquadramento dos corpos de água em classes de uso	Visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.
Outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos	Visa assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos usuários.
Cobrança pelo uso dos recursos hídricos	Visa reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; incentivar a racionalização do uso da água; e obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.
Sistema de informações sobre recursos hídricos	Visa reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil; atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em todo o território nacional; e fornecer subsídios para a elaboração dos PRH's.

Fonte: Adaptado de BRASIL (1997).

2.2. Gestão dos recursos hídricos no Estado de Roraima

No Estado de Roraima, o uso dos recursos hídricos são regulados pela Lei Estadual nº 547/2006, que estabelece a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) e cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, tendo ainda instituído o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), o qual foi posteriormente regulamentado pelo Decreto Estadual nº 8.122-E/2007.

Em se tratando dos instrumentos de gestão da água, conforme a Lei Estadual nº 547/2006, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos possui dentre seus objetivos o controle do uso dos recursos hídricos pelo Poder Público e o efetivo exercício do direito de acesso a água. Em seu artigo 12, a Lei determina que estão sujeitos a outorga os usos preconizados na legislação federal, enquanto que em seu artigo 13 estabelece-se que independem de outorga o abastecimento de pequenos núcleos populacionais distribuídos no meio rural, derivações, captações, acumulações e lançamentos considerados insignificantes por decisão fundamentada dos respectivos CBHs ou órgão gestor dos recursos hídricos, no caso de inexistência de Comitê, entre outros.

Essa legislação também instituiu que toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e respeitará a classe em que o corpo de água estiver enquadrado. Para os casos de não existir os Planos de Recursos Hídricos para determinada bacia hidrográfica, a outorga obedecerá a critérios e normas estabelecidos pelo órgão gestor dos recursos hídricos, com aprovação do CERH.

A Fundação Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH), órgão gestor dos recursos hídricos no Estado de Roraima, apresenta relatório periódico informando as atualizações no âmbito do Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas (Progestão). Nesse relatório observa-se que o Estado adere ao programa com termo de cooperação assinado no ano de 2014, celebrado entre a ANA e o Estado, representado pela FEMARH e com a interveniência do CERH.

Ainda no âmbito do Progestão, ANA (2017) define que a gestão e regulação da água no Estado de Roraima englobam seis Unidades Estaduais de Gestão de Recursos Hídricos (UEGRHs), sendo elas: Uraricoera, Tacutu, Branco Norte, Branco Sul, Anauá e Jauaperi. Vale ressaltar que a bacia hidrográfica do rio Branco engloba essas unidades de gestão, exceto a unidade do Jauaperi.

2.3. A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos

Os diversos usos da água (abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria, geração de energia elétrica, aquicultura, preservação ambiental, paisagismo, lazer, navegação, etc.) podem ser concorrentes, gerando conflitos entre setores usuários e impactos ambientais. Nesse sentido, gerir recursos hídricos é uma necessidade premente e que tem o objetivo de ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais por água em níveis sustentáveis, de modo a permitir a convivência dos usos atuais e futuros da água (SILVA e MONTEIRO, 2004).

A outorga de uso de água prevista na Lei nº 9.433/1997, é importante instrumento de gestão por constituir uma das formas de se evitar a escassez em termos quantitativos e qualitativos e os possíveis conflitos pelo uso da água, garantindo o efetivo direito de acesso dos usuários aos recursos hídricos. Conforme BRASIL (1997), estão sujeitos a outorga pelo poder Público os seguintes usos dos recursos hídricos:

- I. Derivação e captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- II. Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- III. Lançamento, em corpo de água, de esgotos e resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- IV. Aproveitamento de potenciais hidrelétricos; e
- V. Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Os usuários que captam um volume de água insignificante, conforme estabelecido nas legislações Federal, Estadual ou do Distrito Federal, não necessitam de outorga, mas devem se cadastrar junto ao respectivo órgão gestor de recursos hídricos. Os demais usuários devem solicitar a outorga junto ao respectivo órgão gestor de recursos hídricos. Após a emissão da outorga, o órgão gestor deve registrar os dados dos usuários regularizados no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) (ANA, 2018).

A ANA (2011) define ainda a outorga como o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante (União, estado ou Distrito Federal) faculta ao outorgado (requerente) o direito de uso de recursos hídricos, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato.

Como determinado pela Lei Federal nº 9.984/2000, a ANA é a instituição responsável pela análise técnica para a emissão da outorga em corpos hídricos de domínio da União. Em corpos hídricos de domínio dos Estados e do Distrito Federal, a solicitação de outorga deve ser

feita junto aos órgãos de recursos hídricos estaduais e do Distrito Federal, conforme estabelecido pelo SINGREH.

A análise criteriosa de um pedido de outorga requer o conhecimento da realidade hídrica da bacia. Para tanto, é necessário conhecer os dados das estações de monitoramento qualitativo, com séries históricas consistentes, de forma a permitir o cálculo da quantidade de água disponível com alto grau de certeza; calcular a demanda por água, não só em termos quantitativos, mas também os tipos de usos preponderantes, pois dependendo das características dos usos, pode ser necessária maior garantia do acesso à água; e estar de acordo com os instrumentos reguladores dos usos das águas na bacia, como enquadramento, áreas de restrição de uso e prioridades para outorga (ANA, 2011).

Segundo o autor, todas essas informações devem ser consideradas na determinação dos critérios para emissão das outorgas, pois estas devem garantir o acesso da água aos usuários, de acordo com os termos da outorga, inclusive em períodos de escassez hídrica. Os critérios adotados pelas instituições outorgantes permitem constatar que as vazões de referência utilizadas para avaliação dos pedidos de outorga, ou os percentuais considerados outorgáveis, são bastante diversificados no País.

2.4. Vazões mínimas de referência no processo de outorga

A ANA (2011) determina que para cursos d'água superficiais, considerando uma captação a fio d'água, quando o poder público (órgão gestor de recursos hídricos) analisar uma solicitação de outorga de dado usuário, ele deve considerar a vazão solicitada para o empreendimento junto à vazão outorgável. A vazão outorgável é a quantidade de água disponível para outorga, que no Brasil corresponde a uma vazão obtida com a aplicação de certo percentual sobre a vazão mínima de referência adotada.

Sendo assim, após o órgão gestor definir a vazão mínima de referência a ser adotada, deve ser determinado o percentual máximo a ser alocado para a divisão entre os diversos usos da bacia. A determinação desse percentual deve ser realizada em função da possibilidade de atendimento aos diversos usos na bacia e das vazões mínimas remanescentes que se deseja manter nos cursos d'água.

Marques et al. (2009) afirmam que a vazão de referência utilizada nos processos de outorga é a vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial, de modo que, quando da ocorrência dessa escassez, todos os usuários, ou os prioritários, mantenham em operação os usos outorgados.

Vazões mínimas são definidas como sendo “a vazão que escoar em uma determinada seção de um rio durante um período prolongado de seca”. Segundo Tucci (2002), a vazão mínima diária é pouco útil, por não ser representativa do período de estiagem. Sendo assim, usualmente utilizam-se vazões mínimas com durações médias entre 7 e 30 dias, associadas a um determinado período de retorno.

A principal justificativa da utilização de vazões mínimas anuais, tal como a $Q_{7,10}$, reside no fato destas serem as principais balizadoras no que se refere a licenças ambientais, avaliação de impacto ambiental de obras hidráulicas, além de ser um parâmetro de disponibilidade hídrica muito empregado (LUIZ et al., 2013).

Segundo Ribeiro et al. (2005), as vazões mínimas usualmente empregadas como referência na legislação brasileira, para fins de outorga, são as vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) e as vazões com 95% (Q_{95}) ou 90% (Q_{90}) de permanência no tempo. Assim, ANA (2011) define essas vazões mínimas como:

- a) Q_{90} é a vazão determinada a partir das observações em um posto fluviométrico em certo período de tempo, em que em 90% daquele período as vazões foram iguais ou superiores a ela. Em outras palavras, pode-se aceitar que existe um nível de 90% de garantia de que naquela seção do curso d'água as vazões sejam maiores do que o Q_{90} ;
- b) Q_{95} tem o mesmo significado que a Q_{90} , entretanto a garantia corresponde a 95% do tempo de observação. Isso significa que a vazão em determinado corpo d'água é igual ou superior àquele valor em 95% do tempo; e
- c) $Q_{7,10}$ é a menor vazão média consecutiva de sete dias que ocorreria com um período de retorno de uma vez em cada 10 anos. O cálculo da $Q_{7,10}$ é probabilístico, enquanto os da Q_{90} e da Q_{95} decorrem de uma análise de frequências.

Isso significa, que se a Q_{95} de determinado rio é $10 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, observa-se que em aproximadamente 347 dias ao ano, ou seja, 95% dos dias, a vazão naquele rio é maior ou igual a $10 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Se considerarmos Q_{90} , o tempo de permanência da vazão cai de 347 (95%) para 329 (90%) dias ao ano, assim o valor da vazão de referência aumenta, pois, a garantia de permanência daquela vazão diminui (ANA, 2011).

A vazão de referência $Q_{7,10}$ reflete uma situação de severa escassez, restrita aos sete dias mais críticos de um ano, cuja probabilidade de ocorrência é de pelo menos uma vez em dez anos. As desvantagens geralmente descritas ao se adotar essa vazão de referência apontam para uma limitação excessiva do uso dos recursos hídricos (LANNA et al., 1997).

A adoção da $Q_{7,10}$ para a concessão de outorga facilita o aspecto operacional do sistema de outorga e dá maior segurança ao gestor dos recursos hídricos, pois os limites outorgáveis são relativamente baixos e, portanto, facilmente alcançados, e assim obtêm-se maiores garantias de

que não haverá falhas de atendimento às demandas, porém, na maior parte do tempo, uma maior disponibilidade hídrica não será utilizada (BALTAR *et al.*, 2003).

Nas unidades da federação que possuem bacias com rios intermitentes, como é o caso do Nordeste brasileiro, não é possível adotar como referência a $Q_{7,10}$, uma vez que ela assumiria valor nulo, pois em determinadas épocas do ano não há vazão escoando pelas calhas dos rios (TUCCI, 2004). O autor acrescenta que dessa forma, a prática de referenciar a disponibilidade hídrica por uma vazão oriunda da curva de permanência de vazões, como é o caso da Q_{90} e a Q_{95} , é mais usual, uma vez que ela está associada a níveis de garantia historicamente observados nos cursos d'água, configurando-se, assim, um parâmetro bem utilizado para expressar a disponibilidade hídrica.

Vazões mínimas de referência disponíveis durante maior parte do ano conferem maior segurança à alocação de água, mas podem inibir os usos, enquanto a adoção de vazões de referência menos restritivas pode levar ao desabastecimento de usos outorgados em alguns períodos (SILVA e MONTEIRO, 2004).

Assim, a definição da vazão de referência a ser aplicada depende da garantia de atendimento que se deseja considerar para os usos a serem instalados em determinada bacia hidrográfica (ANA, 2005), a qual deve ser analisada e considerada pelos órgãos gestores de recursos hídricos e comitês de bacia, quando da escolha da vazão mínima de referência a ser adotada em uma bacia hidrográfica.

Granziera (2013) propõe que as legislações brasileiras estabelecem os percentuais sobre a vazão de referência adotada. E que considerando a diversidade geográfica, biótica e ecológica existente no País, seria lógico elaborar estudos específicos para definir critérios uniformes para a fixação da “vazão mínima de referência” em cada trecho de rio. Em face dessa dificuldade, os Estados adotam metodologias próprias, mais ou menos conservadoras para a vazão de referência.

No Estado de Mato Grosso, que para a análise de disponibilidade hídrica dos corpos d'água superficiais, adota como vazão de referência, a Q_{95} , e a vazão outorgável de 70% da vazão Q_{95} , para uma determinada secção do curso d'água numa bacia hidrográfica.

Outro exemplo é o Estado de Minas Gerais, que adota a vazão mínima de referência $Q_{7,10}$ para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado. Sendo a vazão outorgável estabelecida como 50% da $Q_{7,10}$, considerando condições naturais.

2.5. Períodos sazonais na determinação de vazões mínimas de referência

Marques *et al.* (2009) explicam que um limitante para a aplicação da PNRH é a adoção de vazões mínimas de referência que correspondam às condições de maior escassez hídrica anual. Da mesma maneira, Silva *et al.* (2011) afirmam que a adoção de uma vazão mínima anual nos critérios de outorga pode se tornar restritiva em períodos chuvosos, em bacias com elevada demanda do recurso, podendo ser, eventualmente, insuficiente para a manutenção do meio biótico nos períodos de escassez.

Dada à variabilidade da disponibilidade hídrica de uma bacia ao longo do ano, observa-se a possibilidade de flexibilização dos critérios de outorga, equilibrando a disponibilidade e demanda de água ao considerar a oferta natural do recurso. Sendo assim, o uso de critérios de outorga que levem em consideração a sazonalidade hídrica pode otimizar o uso da água na bacia.

Nessa perspectiva de sazonalidade hídrica, alguns estudos como Catalunha (2004), Lisboa *et al.* (2014), Pruski *et al.* (2014) e Silva *et al.* (2015), revelam que a determinação das vazões mínimas de referência considerando períodos sazonais de menor duração como semestrais, quadrimestrais ou trimestral apresenta-se mais flexibilidade ao processo de outorga, quando comparada com as vazões obtidas para o período anual.

Lisboa *et al.* (2014) desenvolveram a estimativa e regionalização das vazões mínimas anuais e quadrimestrais na bacia do rio Piracicaba, Minas Gerais, aplicando o conceito de períodos sazonais e concluiu que a consideração desses períodos permite maior flexibilidade ao instrumento de outorga naquela bacia hidrográfica.

Pruski *et al.* (2014) avaliaram o impacto da substituição das vazões de referência anuais pelas mensais no potencial de uso de água ao longo da hidrografia de uma sub-bacia do rio Paracatu. Os autores concluíram que a utilização das vazões mensais em substituição às anuais tem um alto potencial para a melhoria das condições de uso dos recursos hídricos na bacia analisada.

Os autores concluíram ainda que a utilização da vazão $Q_{7,10}$ mensal em substituição à $Q_{7,10}$ anual implicaria em aumentos no potencial de uso da água que variaram cerca de 10%, nos meses de menor disponibilidade, até valores que excedem os 200%, nos meses de maior abundância dos recursos hídricos. Já para as vazões de permanência, os autores concluíram que a utilização da vazão Q_{95} mensal em substituição à Q_{95} anual implica em variações do potencial que oscilam de reduções de até 37% nos meses de maior restrição hídrica até valores que

excedem os 100% nos meses de maior abundância, logo, seu uso possibilita uma utilização mais racional e segura dos recursos hídricos.

2.6. Regionalização de vazões

O estabelecimento da disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica é fundamental para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos. Para tanto, torna-se necessário quantificar as vazões, o que é feito a partir dos dados coletados nas estações fluviométricas localizadas em seções específicas da hidrografia (SOUSA, 2009).

Considerando a bacia hidrográfica, unidade de gestão determinada pela PNRH, e sua respectiva hidrografia, a soma de cada sessão específica de medição formam uma rede hidrométrica sobre a hidrografia, o que permite a estimativa de vazões através de suas respectivas séries históricas.

De acordo com Tucci (2002), a rede hidrométrica dificilmente cobrirá completamente a hidrografia de determinada bacia hidrográfica, deixando grande parte sem os dados necessários para a estimativa de vazões. O autor afirma ainda que devido aos altos custos de implantação, operação e manutenção de uma rede hidrométrica, torna-se importante a otimização das informações disponíveis em uma região.

Assim, devido à escassez de dados hidrometeorológicos em uma região, a técnica de regionalização de vazões tem sido bastante utilizada para a espacialização e otimização das informações existentes nas estações fluviométricas de determinada região. Sousa (2009) afirma que a técnica de regionalização de vazões envolve procedimentos matemáticos e estatísticos aplicados às séries de dados históricos de vazões e as características físicas e climáticas das bacias hidrográficas, tornando imprescindível a utilização de sistemas computacionais para a manipulação da grande quantidade de dados envolvidos.

Dentre as metodologias de regionalização de vazões existentes, pode-se considerar como mais relevantes as metodologias Tradicional, a baseada na Proporcionalidade de vazões específicas, e a proposta por Chaves et al. (2002).

A metodologia Tradicional, descrita por ELETROBRAS (1985a), é baseada na identificação de regiões hidrológicas homogêneas e no ajuste de equações de regressão entre as diferentes variáveis a serem regionalizadas e as características físicas das bacias de drenagem para cada região homogênea.

A metodologia baseada na proporcionalidade de vazões específicas, descrita por ELETROBRAS (1985b), utiliza vazões correspondentes às áreas de drenagem das seções fluviométricas mais próximas, considerando quatro casos possíveis de posicionamento da seção de interesse e as estações fluviométricas, com dados mais próximos.

A metodologia proposta por Chaves *et al.* (2002) utiliza técnicas de interpolação e extrapolação de vazões, com soluções que dependem da posição relativa da seção de interesse, em relação as estações fluviométricas mais próximas.

A fim de avaliar os diferentes métodos de regionalização de vazões, diversos estudos foram desenvolvidos comparando as metodologias. Novaes *et al.* (2007) avaliaram o desempenho de cinco métodos de regionalização para estimativa de vazões mínimas e médias de longa duração na bacia do rio Paracatu, Minas Gerais. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os métodos de regionalização de vazões: tradicional, interpolação linear; Chaves *et al.* (2002); sendo os outros dois métodos analisados advindos de modificações nas metodologias da interpolação linear e de Chaves *et al.* (2002). Avaliando as vazões estimadas pelos cinco métodos de regionalização de vazões estudados evidenciou-se que não ocorreram diferenças expressivas no desempenho destes na bacia do Paracatu.

Marques *et al.* (2009) avaliaram três metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência, aplicadas na bacia hidrográfica do rio Doce: a) ELETROBRÁS (1985a), b) Chaves *et al.* (2002) e c) interpolação linear. Os autores compararam os valores das vazões mínimas de referência, estimados utilizando-se as três metodologias, com os valores observados em cada uma das 57 estações fluviométricas usadas na regionalização, concluindo que o método que apresentou maior precisão foi o proposto pela ELETROBRÁS (1985a). Os autores ainda observaram que dentre as características físicas e climáticas usadas na regionalização, a área de drenagem foi a que melhor explicou o comportamento das vazões mínimas na bacia, estando presente na maioria das equações de regionalização obtidas.

Moreira e Silva (2014) analisaram métodos para estimativa da $Q_{7,10}$ e da vazão média de longa duração (Q_{mld}) na bacia do rio Paraopeba. Para isso consideraram o estudo Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais e os métodos de regionalização de vazões Tradicional, o de Proporcionalidade de vazões específicas e o de Conservação de massas. Os autores verificaram que os maiores erros nas estimativas das vazões ocorreram nas regiões de cabeceira, observando ainda que entre os métodos de regionalização utilizados no estudo, o método Tradicional é o que permite melhor estimativa dos valores de $Q_{7,10}$ e Q_{mld} para a bacia.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2011) afirma que a bacia hidrográfica do rio Branco se situa na região amazônica, no extremo norte do país, faz fronteira com a Venezuela e ocupa parte da Guiana. IBGE (2009) cita que a bacia do rio Branco não está inteiramente no Estado de Roraima, visto que a Guiana tem os seus limites políticos com o Brasil e acesso à bacia através do rio Tacutu e do rio Maú, e possui aproximadamente 5% de sua área pertencente à Guiana (Figura 2), possuindo ainda ínfima porção no Estado do Amazonas.

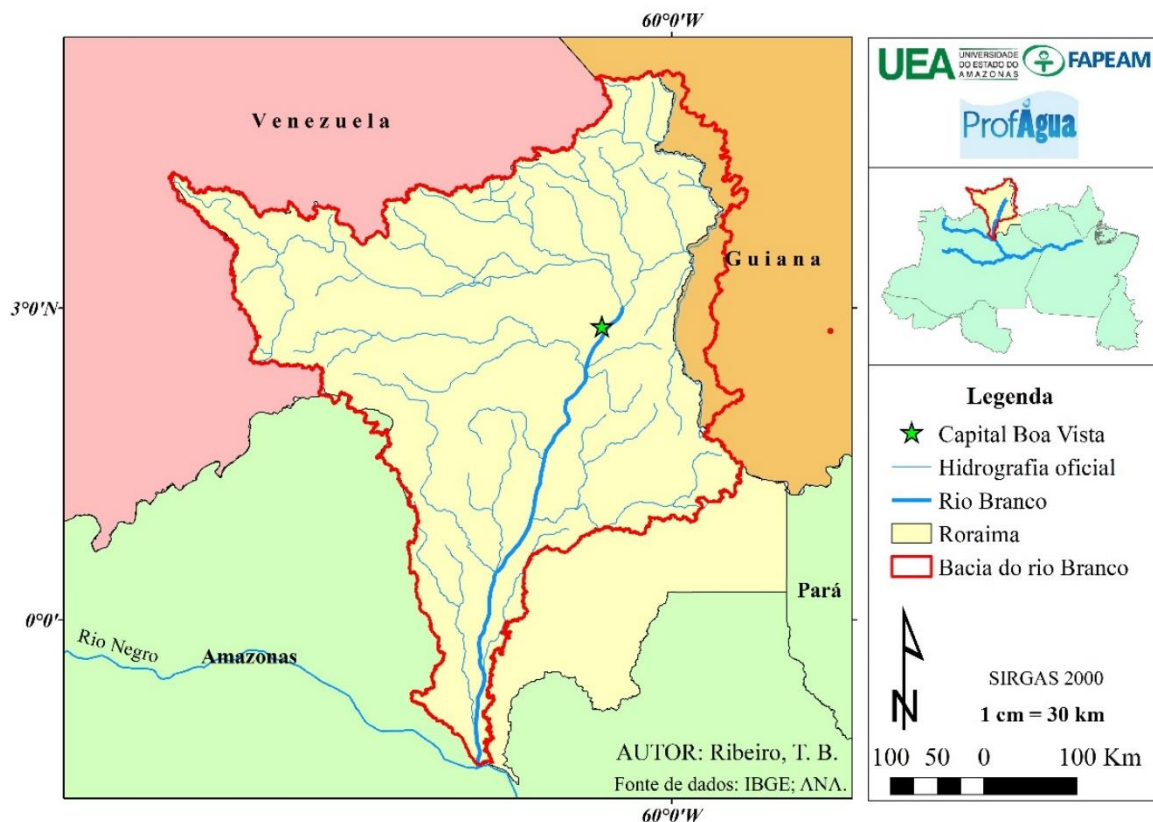


Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Branco – RR.

De acordo com Lisboa *et al.* (2015), a bacia do rio Branco possui área de drenagem de 192.392 km², com índice de circularidade de 0,12, indicando uma bacia mais alongada, o que favorece o escoamento superficial. Os autores determinaram as características morfométricas da bacia, conforme Tabela 2.

O rio Branco possui 1.257 km, desde sua nascente no rio Uraricoera até sua foz na margem esquerda do rio Negro, na divisa com o Estado do Amazonas. Percorre quase toda a extensão do Estado de Roraima, e a cerca de 30 km a montante da cidade de Boa Vista, recebe seu principal tributário o rio Tacutu. Cita-se entre outros afluentes os rios Mucajaí, Catrimani, Anauá, Água Boa do Univini, Cauamé, Surumu, Cotingo e Maú.

Tabela 2. Características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Branco, RR

Características morfométricas	Valor
Área de drenagem (km ²)	192.392,66
Perímetro (km)	4.403,06
Comprimento total dos cursos d'água (km)	43.289,06
Comprimento do rio principal (km)	1.257,56
Coefficiente de compacidade - k_c (adimensional)	2,81
Fator de forma - k_f (adimensional)	0,34
Índice de circularidade (adimensional)	0,12
Densidade de drenagem - D_d (adimensional)	0,23

Fonte: Lisboa et al. (2015).

Segundo o IBGE (2016) o rio Branco é o principal recurso hídrico do Estado de Roraima, e recebe impacto por ação antrópica, estando em sua margem direita a capital Boa Vista (com 326.419 habitantes), onde vive mais da metade da população do Estado, que possui 514.229 habitantes.

Os usos dos recursos hídricos na bacia do rio Branco estão concentrados no eixo noroeste-sudeste, em faixa que não há Terras Indígenas ou Unidades de Conservação. Os principais usos se caracterizam pelo abastecimento público, irrigação, dessedentação de animais, piscicultura, transporte, turismo e lazer (EPE, 2011).

O regime fluviométrico da bacia hidrográfica do rio Branco é baseado no verão do Hemisfério Norte, com cheias de maio a outubro e vazante de novembro a abril. O pico da cheia, em média, verifica-se no mês de julho, e os valores mínimos são observados, em média, em março (IBGE, 2009).

3.2. Séries históricas de vazão e precipitação

Para alcançar os objetivos propostos, foi necessário o levantamento da quantidade e qualidade dos dados de vazões e precipitações existentes na área de abrangência da bacia hidrográfica do rio Branco, por intermédio do inventário da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), disponível através do Sistema de Informações Hidrológicas Hidroweb (SIH/Hidroweb), da Agência Nacional de Águas (ANA).

Para a determinação das vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais e semestrais na bacia do rio Branco, foram utilizadas séries históricas de vazões diárias, com dados consistidos, de 13 estações fluviométricas pertencentes bacia do rio Branco (Tabela 3 e Figura 3).

Tabela 3. Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Nome	Coordenadas		Rio	Área (km ²)
		Lat. (N)	Long. (O)		
14485010	Missão Auaris - Jusante	4,00	64,44	Auaris	621
14488000	Uaicás	3,55	63,17	Uraricoera	16.100
14495000	Fazenda Cajupiranga	3,44	61,04	Uraricoera	36.900
14500000	Mocidade	3,46	60,91	Uraricoera	43.900
14515000	Fazenda Passarão	3,21	60,57	Uraricoera	50.200
14526000	Bonfim	3,38	59,81	Tacutu	9.860
14530000	Vila Surumu	4,20	60,79	Surumu	2.280
14540000	Fazenda Bandeira Branca	4,63	60,47	Cotingo	3.210
14550000	Maloca do Contão	4,17	60,53	Cotingo	5.780
14680001	Fé e Esperança	2,87	61,44	Mucajaí	12.200
14690000	Mucajaí	2,47	60,92	Mucajaí	19.800
14710000	Caracará	1,82	61,12	Branco	126.000
14750000	Missão Catrimani	1,75	62,28	Catrimani	6.180

Além das estações utilizadas no estudo, existem cinco outras estações presentes na área da bacia, a citar: Maracá (14489000), Ponte do Tacutu (14527000), Fazenda Paraíso (14528000), Fazenda Novo Destino (14529000) e Boa Vista (14620000), localizadas em importantes tributários da bacia hidrográfica como rio Uraricoera, Tacutu e Maú, e também no rio Branco. No entanto apresentam séries históricas com poucos dados, uma vez que são estações instaladas, a exemplo, no ano de 2010, ou que não possuem medições de descarga líquida, conseqüentemente dados de vazão diária.

Após os downloads dos dados do SIH/Hidroweb realizou-se o pré-processamento na série histórica de cada estação, a fim de identificar estações com problemas de falhas nas séries históricas.

Para a definição do período de dados em comum entre as estações fluviométricas, e, dessa forma, estabelecer o período base para a estimativa das vazões mínimas de referência, foram elaborados os diagramas de barras das séries históricas de cada estação. E assim, o período base selecionado foi de 1982 a 2014, caracterizando 32 anos de dados hidrológicos de vazões diárias.

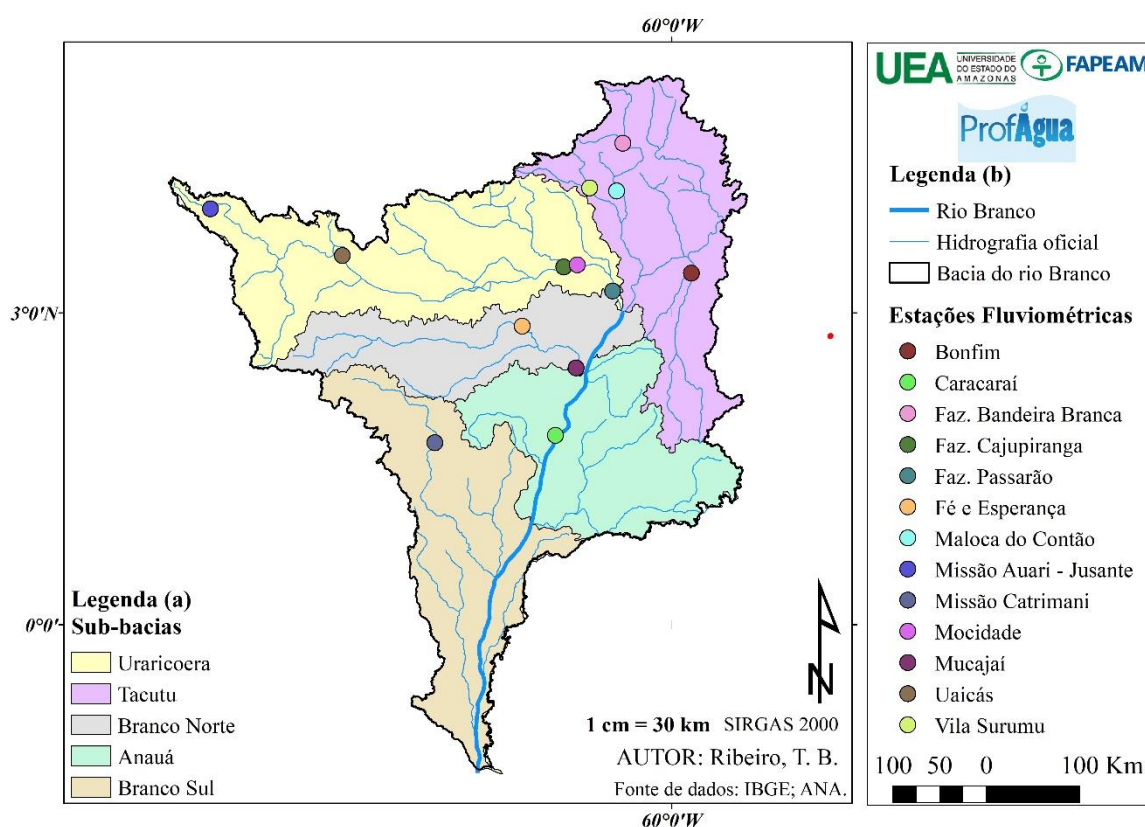


Figura 3. Estações fluviométricas da bacia do rio Branco utilizadas no estudo.

Além da estimativa de vazões mínimas de referência, propôs-se a regionalização dessas vazões, e assim, outra variável hidrológica estudada foram às precipitações totais anuais e mensais.

Para a determinação de totais precipitados anuais e semestrais, utilizou-se séries históricas de precipitações consistidos de 25 estações pluviométricas identificadas na bacia. Utilizou-se também, as séries históricas de duas estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (Tabela 4 e Figura 4).

O período base do estudo foi de 1984 a 2015, pois períodos anteriores a 1984 apresentaram muitas falhas na maioria das estações analisadas.

Para analisar e manipular as séries históricas de precipitação foi utilizado o software Sistema de Informações Hidrológicas (SIH/Hidro v. 1.3), disponibilizado através do site da ANA, no Hidroweb. Inicialmente foi elaborado para cada estação o diagrama de barras considerando o período anual para definir o período de dados utilizados, assim como a necessidade do preenchimento de falhas na série histórica das estações.

Tabela 4. Estações pluviométricas da bacia do rio Branco utilizadas no estudo

Código	Nome	Coordenadas		Sub bacia
		Lat.	Long. (O)	
00061000	Santa Maria do Boiaçu	0,51 S	61,79	Branco Sul
00061001	Terra Preta	0,87 S	61,93	Branco Sul
08059002	São João da Baliza	0,96 N	59,91	Anauá
08160001	Fazenda Paraná	1,13 N	60,40	Anauá
08160003	Agropecuária Boa Vista	1,46 N	60,77	Anauá
08161001	Caracarái	1,82 N	61,12	Anauá
08259000	Fazenda Verdum	2,42 N	59,92	Tacutu
08260000	Boa Vista	2,83 N	60,68	Branco Norte
08260003	Fazenda Castelão	2,76 N	60,33	Tacutu
08260004	Mucajái	2,47 N	60,92	Branco Norte
08261000	Fé e Esperança	2,87 N	61,44	Branco Norte
08263000	Missão Surucucu	2,84 N	63,64	Uraricoera
08359000	Bonfim	3,38 N	59,82	Tacutu
08360000	Maloca do Contão	4,17 N	60,53	Tacutu
08360002	Fazenda Passarão	3,21 N	60,57	Uraricoera
08361000	Fazenda São João	3,66 N	61,38	Uraricoera
08361001	Boqueirão	3,29 N	61,29	Uraricoera
08361004	Colônia do Taiano	3,29 N	61,09	Uraricoera
08361005	Tepequém	3,76 N	61,72	Uraricoera
08363000	Uaicás	3,55 N	63,17	Uraricoera
08459000	Mutum	4,45 N	59,86	Tacutu
08460001	Vila Surumu	4,20 N	60,79	Tacutu
08461000	Nova esperança/Marco BV-8	4,49 N	61,13	Tacutu
82024	Boa Vista (INMET)	2,82 N	60,65	Branco Norte
82042	Caracarái (INMET)	1,83 N	61,13	Anauá

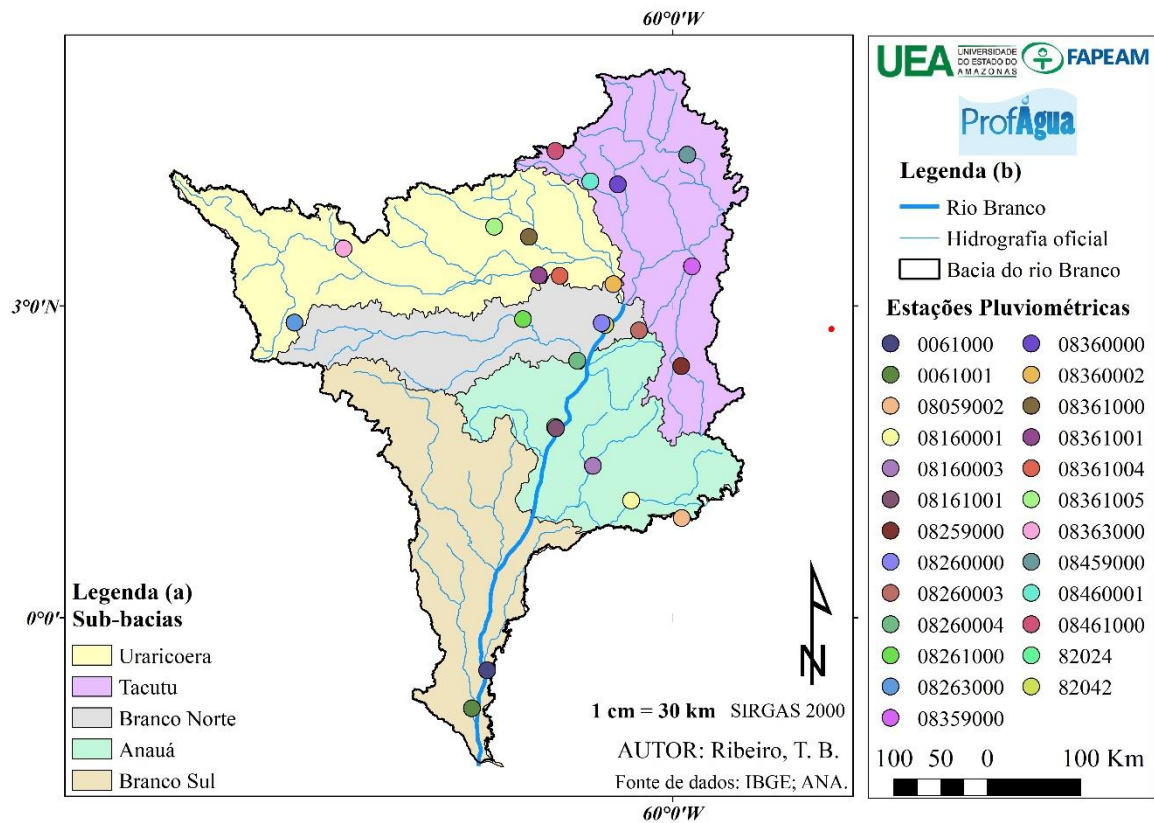


Figura 4. Estações pluviométricas na bacia do rio Branco utilizadas no estudo.

Segundo Zeilhofer *et al.* (2003), para o preenchimento de falhas nas séries temporais de precipitação, deve-se escolher pares de pontos com correlação máxima, definindo uma regressão linear entre os conjuntos de dados, permitindo assim, preencher a falha empregando-se o modelo ajustado.

Segundo Tucci (2002) e Bertoni & Tucci (2007), o método da ponderação regional com base em regressões lineares consiste em estabelecer regressões lineares entre os postos com dados a serem preenchidos, P_x , e cada um dos postos vizinhos, P_1, P_2, \dots, P_N . De cada uma das regressões lineares efetuadas obtém-se o coeficiente de correlação, sendo o preenchimento realizado com base na Equação (1):

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^{n} r_{P_x P_i} \cdot P_i}{\sum_{i=1}^{n} r_{P_x P_i}} \quad (\text{Equação 1})$$

em que: $r_{P_x P_i}$ corresponde ao coeficiente de correlação linear entre os postos vizinhos.

Com o intuito de fazer a consistência das séries históricas de precipitação e verificar a homogeneidade das séries anuais de precipitação, fez-se a análise para cada estação isoladamente, empregando-se a metodologia da dupla massa descrita por Bertoni & Tucci (2007).

Neste método uma estação de interesse é selecionada, cujos totais anuais acumulados são plotados em um gráfico nas ordenadas e nas abscissas os totais médios anuais das estações vizinhas. Haverá consistência dos totais anuais da estação analisada quando houver uma tendência linear em relação às estações vizinhas. A verificação da linearidade entre os totais anuais da estação analisada com relação às demais é avaliada pelo ajuste da equação da reta e do coeficiente de determinação, obtidos pela técnica da minimização da soma dos quadrados dos desvios (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

3.3. Definição do ano hidrológico e dos períodos sazonais

Além do período anual, o período semestral foi utilizado para fins de avaliação da sazonalidade na disponibilidade hídrica, de forma a permitir a flexibilidade dos critérios de outorga particularmente nos períodos chuvosos do ano. Desta maneira, as vazões evidenciadas no período seco não necessariamente se tornam limitantes para às outorgas em períodos chuvosos, pois conforme descrito por Marques *et al.* (2009), manter um valor fixo ao longo do ano, calculado considerando as condições de estiagem, restringe o maior uso do recurso hídrico no período chuvoso do ano.

O ano hidrológico foi determinado com a finalidade de servir de base temporal para a estimativa e regionalização, em substituição ao ano civil. A determinação do ano hidrológico foi executada com base na observação da variabilidade natural do regime hidrológico da bacia por meio da distribuição anual das vazões específicas mínimas.

Para determinação do ano hidrológico e dos períodos sazonais na bacia do rio Branco, foi necessária a identificação dos meses com regimes homogêneos de vazões, aplicando para isso a metodologia apresentada por Marques (2010), em que é proposta a definição de períodos sazonais a partir de estudo de vazões específicas mínimas. A metodologia é composta por seis princípios básicos a citar:

1º Princípio - As médias descontam tudo: Embora existam variações diárias na magnitude das vazões ao longo do ano e, ainda, variações interanuais, todos os registros do monitoramento são incorporados nas médias. Portanto, a distribuição anual das vazões médias mensais não basta para definir os intervalos com regime crítico homogêneo, pois as vazões críticas, mínimas de referência para a outorga, são amortecidas pela média.

2º Princípio - O regime hidrológico tem três tendências: Para esse estudo foram estabelecidas duas tendências na situação da disponibilidade hídrica ao longo do ano: mínima e máxima. Na tendência de mínima (período seco), as vazões observadas estão próximas da

vazão mínima anual, devido à estiagem. Já a tendência de máxima é consequência do período chuvoso, que implica vazões observadas muito superiores à vazão mínima de referência tradicionalmente estabelecida com base no período mais seco do ano.

3° Princípio - As tendências ocorrem em três fases: As tendências podem apresentar três fases distintas. Na fase de Movimento, a primeira de cada período, as vazões mínimas observadas movimentam-se no sentido da tendência (mínima ou máxima). Na fase de Estabilização não ocorrem grandes variações nas vazões mínimas observadas. Já na fase de Reversão o movimento se inverte e as vazões mínimas observadas retornam contra a tendência.

4° Princípio - As médias devem confirmar a tendência: As médias se caracterizam pelas médias das q_7 em cada período ou tendência. Em resumo, a tendência de máxima (período chuvoso) deve apresentar a vazão mínima mais elevada, enquanto a tendência de mínima (período seco) apresenta os menores valores de q_7 , com menor disponibilidade hídrica.

5° Princípio - Os riscos comprovam as tendências: Este princípio avalia a frequência de ocorrência de q_7 , estabelecendo que a frequência de ocorrência da q_7 no período regido por cada tendência confirma o agrupamento de meses com riscos homogêneos de disponibilidade hídrica.

6° Princípio - As tendências são confirmadas pela flexibilidade das vazões mínimas: Esse princípio concilia a identificação dos períodos sazonais com a finalidade de flexibilizar os critérios utilizados no processo de outorga, estabelecendo que a vazão mínima precisa confirmar a sazonalidade das tendências. Atendendo a este princípio, existe a garantia da flexibilidade ao adotar vazões mínimas de referência específicas para cada período estabelecido.

3.4. Estimativa das vazões mínimas de referência anuais e semestrais

Para a estimativa da $Q_{7,10}$ na bacia do rio Branco, foi calculada a série histórica das vazões mínimas com sete dias de duração (q_7) de cada estação. Sob as séries de q_7 foram aplicados modelos de distribuição de frequências probabilísticas, a fim de se determinar o período de retorno de 10 anos.

Foram ajustadas à série de q_7 as distribuições de probabilidade usualmente aplicadas em hidrologia para representar eventos mínimos, como as distribuições Weibull, log-normal III, log-Gumbel, Pearson tipo III e log-Pearson tipo III. A melhor distribuição foi então selecionada considerando a aderência dos dados da amostra (q_7) ao modelo de distribuição.

Já para a estimativa das vazões associadas às permanências de 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}) para as estações fluviométricas foi determinada a curva de permanência para todas as séries históricas utilizada no estudo. Assim, foram estimadas as vazões associadas a 90 e 95% de permanência no tempo.

Além das estimativas de vazão para o período anual, as vazões mínimas também foram estimadas considerando os períodos sazonais referentes aos semestres de cheia e de vazante. Na estimativa das vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} anuais e semestrais utilizou-se o Sistema Computacional para Análises Hidrológicas – SisCAH 1.0, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), disponível em www.ufv.br/dea/gprh.

3.5. Flexibilidade de vazões mínimas de referência

Segundo Silva *et al.* (2011), a outorga de uso de água utiliza vazões mínimas de referência, que correspondem às condições anuais de maior escassez hídrica, e esse valor anual pode se tornar restritivo, principalmente nos períodos chuvosos, quando é maior a disponibilidade hídrica.

Cruz e Tucci (2008) destacam a importância da implementação da sazonalidade, pois essa estratégia aprimora a informação para o gestor de recursos hídricos, permitindo a flexibilização e racionalização das liberações de uso das águas em função dos diferentes períodos de oferta de água.

Para esse estudo a flexibilidade sazonal da $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} foi avaliada comparando-se os valores estimados com base no período anual com os estimados com periodicidade semestral (cheia e vazante). Nessa comparação utilizou-se a diferença percentual (DP), considerando a estimativa das vazões mínimas de referência dos períodos semestrais com o período anual, conforme a Equação 2:

$$Dp (\%) = [(Q_{\text{sazonal}} - Q_{\text{anual}}) / Q_{\text{anual}}] \cdot 100 \quad (\text{Equação 2})$$

em que: Q_{sazonal} corresponde a vazão estimada em base sazonal; e Q_{anual} a vazão estimada em base anual, ambas em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

3.6. Regionalização das vazões mínimas de referência anuais e semestrais

Para obter as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) anuais e semestrais em diversas seções de interesse ao longo da hidrografia na bacia do rio Branco e que não possuem medições, foi utilizada a técnica de regionalização de vazões descrita por ELETROBRAS (1985a). O método Tradicional, proposto por ELETROBRAS (1985a), indica a utilização de equações de regressões regionais a serem aplicadas sob regiões hidrológicamente homogêneas, possibilitando a obtenção de vazões em qualquer posição da rede de drenagem em uma bacia hidrográfica.

Para isso, utilizou-se o programa computacional SisCoRV (Sistema Computacional para Regionalização de Vazões), desenvolvido pelo GPRH/UFV. Esse software possibilita a realização da regionalização de vazões mínimas, máximas e médias e das curvas de regularização e permanência. Os métodos de regionalização oferecidos são o Tradicional, o da Curva Adimensional e o da Conservação de Massas. A base hidrográfica otocodificada da ANA é integrada ao software, o que possibilita a obtenção automática das características físicas de bacias hidrográficas do Brasil. Além disso, através de *web services*, o software permite a importação automática de dados descritivos das bacias e das estações fluviométricas, das características climáticas associadas às bacias hidrográficas e das séries históricas de dados de vazões do SIH/Hidroweb (SOUSA, 2009).

Considerando uma das principais etapas da regionalização de vazões mínimas de referência, a definição de Regiões Hidrológicamente Homogêneas (RHH) dentro da bacia do rio Branco, utilizou-se processo iterativo que se caracteriza por escolher e definir uma região homogênea e após isso realizar a regionalização através do SisCoRV, a fim de analisar os resultados e ajustes.

Nesse processo, inicialmente considerou a bacia do rio Branco como única região, no entanto os resultados não foram satisfatórios apresentando baixos valores de coeficiente de correlação entre os dados das estações. Assim novas tentativas foram realizadas, com a divisão da área de estudo em outras regiões homogêneas de forma a obter resultados satisfatórios.

Optou-se também pela exclusão de algumas estações a citar, Bonfim (14526000), Vila Surumu (14530000) e Fazenda Bandeira Branca (14540000), que apresentaram valores baixos na estimativa das vazões mínimas. Uaicás (14489000) também foi excluída do processo de regionalização uma vez que os valores estimados foram superiores as estações de jusante.

Após a definição das regiões homogêneas fez-se o processamento dos dados e a determinação das equações matemáticas de regionalização para as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) anuais e semestrais, através de funções que relacionam cada vazão de referência com as variáveis hidrológicas a citar área de drenagem (Ad), precipitação total anual (Pt) e semestral (Pts). Sendo assim, os seguintes modelos de regressão foram utilizados com as respectivas variáveis independentes:

Modelo Linear

$$Q = \beta_0 + \beta_1.Ad + \beta_2.P \quad (\text{Equação 3})$$

Modelo Potencial

$$Q = \beta_0.Ad^{\beta_1}.P^{\beta_2} \quad (\text{Equação 4})$$

Modelo Exponencial

$$Q = e^{(\beta_0 + \beta_1.Ad + \beta_2.P)} \quad (\text{Equação 5})$$

Modelo logarítmico

$$Q = \beta_0 + \beta_1.\ln Ad + \beta_2.\ln P \quad (\text{Equação 6})$$

Modelo Recíproco

$$Q = (\beta_0 + \beta_1.Ad + \beta_2.P)^{-1} \quad (\text{Equação 7})$$

em que: a Q corresponde a vazão a ser estimada em m^3s^{-1} ; Ad a área de drenagem em Km^2 do trecho de rio onde se quer estimar a vazão; P a precipitação em mm no ponto onde se quer estimar a vazão; β_0 , β_1 e β_2 representam os coeficientes de regressão múltipla.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Ano hidrológico e períodos sazonais

No sentido de aplicar os princípios de identificação dos períodos sazonais (semestres) e o ano hidrológico para a bacia do rio Branco, foram determinadas as distribuições das vazões específicas mínimas mensais médias para as 13 estações fluviométricas utilizadas no estudo, conforme apresentado na Figura 5.

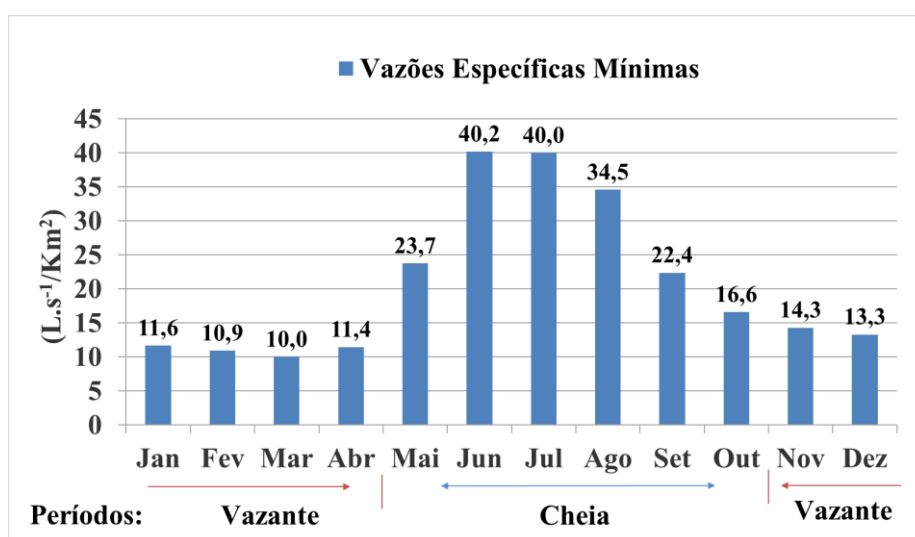


Figura 5. Distribuição das vazões específicas mínimas mensais médias utilizadas no estudo.

De acordo com a Figura 5, verifica-se que a amplitude das médias das vazões específicas mínimas foi de 10,0 a 40,2 L.s⁻¹/km², valores estes observados em março e junho, caracterizando assim os meses com disponibilidade hídrica mínima e máxima para a bacia, respectivamente.

Constata-se que o aumento dos valores das vazões mínimas ocorre a partir do mês de maio, assim definiu-se o início do ano hidrológico em maio e estendendo-se até abril do ano seguinte. Optou-se por considerar o ano hidrológico em substituição ao ano civil e evitar a descontinuidade dos eventos de cheia e vazante na bacia.

A Figura 5 ainda apresenta os dois períodos sazonais de disponibilidade hídrica para a bacia do rio Branco, o semestre de cheia, em que são observados os maiores valores para as vazões específicas mínimas, definido pelo período de maio a outubro, bem como o semestre de vazante, que se estende de novembro a abril do ano seguinte. A seguir são apresentadas as

análises das vazões através do conjunto de princípios definidos por Marques (2010), com o objetivo de confirmação dos semestres de cheia e vazante na bacia do rio Branco.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 5, o semestre de cheia está definido entre maio e outubro, no entanto, comparando a magnitude das vazões nos meses de abril ($11,4 \text{ L.s}^{-1}/\text{km}^2$) e outubro ($16,6 \text{ L.s}^{-1}/\text{km}^2$), observa-se que o período de cheia também pode estar compreendido entre abril e setembro, pois a partir de abril as vazões já começam a aumentar comparado ao mês anterior. Assim o primeiro princípio e a análise da média das vazões específicas mínimas não são suficientes para a confirmação dos períodos com tendências homogêneas de disponibilidade hídrica.

O segundo princípio estabelece que o regime hidrológico possui tendências de disponibilidade hídrica, e para a bacia do rio Branco foram estabelecidas duas tendências (máxima e mínima) bem definidas, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Regime hidrológico em tendências de disponibilidade hídrica

Tendência	Período	Meses
Máxima	Cheia	Maio, Junho, Julho, Agosto, Setembro e Outubro.
Mínima	Vazante	Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Março e Abril.

Conforme Marques (2010), as tendências podem apresentar as fases de movimento, reversão e estabilização. Através da Figura 5, nota-se a fase de movimento para o período chuvoso, que se caracteriza com o aumento dos valores observados nos meses de maio até junho, onde se estabiliza até o fim de julho. A fase de reversão nesse período é observada a partir do mês de agosto, se estendendo até outubro.

Para a tendência de mínima (período de vazante), as vazões mínimas observadas movimentam-se no sentido da tendência de mínima, do mês de novembro até janeiro, na sequência se estabilizando em fevereiro e março. A fase de reversão contra a tendência de mínima é notada no mês de abril, se estendendo até o mês de maio.

Na Tabela 6 é apresentada a diferença percentual média das vazões mínimas com sete dias de duração (q_7) sazonal, em relação a anual. Dessa maneira, as médias observadas em cada período confirmaram as tendências de disponibilidade hídrica mínima e máxima, considerando que ficou comprovada a variação das vazões entre os períodos de cheia e vazante na bacia.

Tabela 6. Diferença percentual média da q_7 sazonal em relação à anual

Variação Percentual	Períodos Sazonais (%)	
	Vazante	Cheia
q ₇	4,73	130,33

A variação da q₇ entre os períodos foi um indicativo da flexibilidade das vazões de referência, pretendida com a adoção dos períodos sazonais em alternativa ao período anual. Em média, as vazões mínimas com sete dias de duração no período de vazante são praticamente iguais à q₇ adotando-se o período anual. Existem pequenas variações devido aos raros anos em que os sete dias mais críticos não ocorrem no período de vazante. Conforme a Tabela 6, em média, as vazões mínimas dos períodos de vazante e cheia são 4,73% e 130,33% superiores ao período anual.

Na Tabela 7 são apresentadas as frequências de ocorrência dos sete dias consecutivos com menores vazões observadas (q₇) nos meses e nos períodos com tendências homogêneas de disponibilidade hídrica (cheia e vazante).

Tabela 7. Frequência de ocorrência da q₇ anual nos períodos com tendências homogêneas

Período	Meses	Nº ocorrências	%	% no Período
Cheia	Mai	23	8,65	9,78
	Jun	0	0,00	
	Jul	0	0,00	
	Ago	0	0,00	
	Set	0	0,00	
	Out	3	1,13	
Vazante	Nov	2	0,75	90,22
	Dez	16	6,01	
	Jan	23	8,65	
	Fev	39	14,66	
	Mar	88	33,08	
	Abr	72	27,07	
Total	12	266	100,0	100,0

A análise mensal da frequência de ocorrência da q₇ confirmou a classificação dos meses nas tendências de mínima ou máxima disponibilidade hídrica para o regime hidrológico da bacia hidrográfica do rio Branco, pois a frequência de ocorrência da q₇ concentra-se 90,22% nos meses de novembro a abril, e menos de 10% das vazões mínimas ocorrem entre os meses de maio a outubro, definido como semestre de cheia.

4.2. Estimativa e flexibilidade das vazões mínimas de referência anuais e semestrais

Na Tabela 8 são apresentadas as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais e semestrais (cheia e vazante) para as estações fluviométricas pertencentes a bacia do rio Branco - RR.

Através da análise da Tabela 8, observa-se que os valores das vazões mínimas de permanência (Q_{95} e Q_{90}) apresentam valores consideravelmente superiores a $Q_{7,10}$, vazão esta mais restritiva, e portanto, de menor magnitude.

Tabela 8. Vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais e semestrais, em m^3s^{-1} , na bacia do rio Branco - RR

Código	Ad*	Anual			Semestre de Vazante			Semestre de Cheia		
		$Q_{7,10}$	Q_{95}	Q_{90}	$Q_{7,10}$	Q_{95}	Q_{90}	$Q_{7,10}$	Q_{95}	Q_{90}
14485010	621	7,99	12,15	15,65	8,46	9,66	11,60	13,59	19,46	22,21
14488000	16.100	146,17	208,00	234,00	143,44	182,00	202,00	219,79	294,12	356,00
14495000	36.900	97,20	227,31	299,15	96,40	168,56	231,13	287,90	484,13	625,03
14500000	43.900	102,81	256,00	356,00	102,81	184,00	256,00	365,69	540,00	689,50
14515000	50.200	149,06	282,13	358,83	152,97	232,33	285,81	367,44	614,51	779,83
14526000	9.860	0,94	1,50	1,75	1,00	1,38	1,56	1,25	6,74	15,78
14530000	2.280	2,54	4,53	6,63	2,68	4,42	4,53	5,03	12,57	15,66
14540000	3.210	5,09	13,00	17,00	5,56	9,80	13,40	11,46	25,40	34,10
14550000	5.780	9,48	17,39	21,73	9,13	14,52	17,39	23,23	36,50	47,04
14680001	12.200	30,55	62,60	80,60	30,13	50,60	63,80	91,08	146,00	184,40
14690000	19.800	35,72	85,53	134,87	33,47	56,32	82,81	188,38	252,28	333,69
14710000	126.000	252,67	443,26	564,94	261,70	367,11	448,54	627,95	1025,24	1342,64
14750000	6.180	8,59	21,26	27,64	9,04	16,36	21,60	36,34	69,00	85,72

* Ad – Área de drenagem.

De acordo com as estimativas das vazões mínimas anuais, pode-se observar que a $Q_{7,10}$ variou de $0,94 m^3s^{-1}$ na estação de Bonfim (14526000) a $252,67 m^3s^{-1}$ na estação de Caracarái (14710000), enquanto a Q_{95} e Q_{90} variaram de $1,5$ a $443,23 m^3s^{-1}$, e $1,75$ a $564,95 m^3s^{-1}$,

respectivamente. Atenta-se para o fato de que a área de drenagem na estação de Bonfim é igual a 9.860 km² e a de Caracará 126.000 km². Assim a principal variável explicativa para aumento das vazões mínimas é o aumento da área de drenagem, e expressa em termos hidrológicos como continuidade das vazões.

Vazões mínimas de referência anuais ($Q_{7,10}$) inferiores a 10 m³.s⁻¹ também foram constatadas nas estações 14485010 (Missão Auaris – Jusante), 14540000 (Fazenda Bandeira Branca), 14550000 (Maloca do Contão), 14750000 (Missão Catrimani) e Vila Surumu (14530000), que possuem áreas de drenagem inferiores a 10.000 km².

Foram observados valores muito baixos de vazão estimada (0,94 m³.s⁻¹) na estação de Bonfim, pois se compararmos sua magnitude com a vazão da estação 1453000 (Vila Surumu) que é de 2,54 m³.s⁻¹ (170% superior) e com área de drenagem inferior (2.280 km²), e correspondente a aproximadamente três vezes a área de drenagem de Bom Fim. Outro exemplo é a vazão de 8,59 m³.s⁻¹ apresentada na estação 14750000 (Missão Catrimani), que possui área de drenagem de 6.100 km², valor este que corresponde a mais de 50% da área de Bonfim, e mesmo assim possui vazão quase 10 vezes superior.

Para confirmar a magnitude das vazões mínimas anuais na estação de Bonfim, analisou-se o resumo de medições de descargas líquidas disponibilizadas no Hidroweb, onde foi possível encontrar vazões medidas iguais a 1,04 m³.s⁻¹, para cota de 238 cm na data de 09/03/2003, assim como valores medidos iguais a 1,17 e 1,13 m³.s⁻¹, entre outros. A velocidade da água para a vazão de 1,04 m³.s⁻¹ foi igual a 0,015 m.s⁻¹. No entanto, atenta-se para o fato que esse valor pode estar relacionado a dificuldades de medição de vazão em cotas baixas, devido a pequena velocidade do fluxo no rio medida na seção. Dessa forma, se o equipamento de medição não for adequado pode-se medir e estimar valores incoerentes fisicamente.

Na Tabela 9 é apresentada as vazões específicas mínimas anuais ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) para as estações fluviométricas na bacia do rio Branco. Verifica-se pela Tabela 9, que a vazão específica mínima ($Q_{7,10}/Ad$) foi superior a 0,001 m³.s⁻¹ para todas as estações analisadas, exceto para estação de Bom Fim, que apresentou valor dez vezes menor. Fato este verificado também para as vazões específicas mínimas associadas às permanências de 90 e 95%.

Vazões específicas mínimas mais altas foram verificadas nas estações de Missão Auari – Jusante e Uaicás, com valores bem superiores as demais estações. Observa-se que ambas as estações localizam-se próximas as nascentes do rio Uraricoera, em região totalmente preservada (área indígena).

Tabela 9. Vazões específicas mínimas $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais, em m³.s⁻¹/km², para bacia do rio Branco

Código	Estação	Rio	Ad*	Q_{7,10}/Ad	Q₉₅/Ad	Q₉₀/Ad
14485010	Missão Auari - Jusante	Auaris	621	0,0129	0,020	0,0252
14530000	Vila Surumu	Surumu	2280	0,0011	0,002	0,0029
14540000	Fazenda Bandeira Branca	Cotingo	3210	0,0016	0,004	0,0053
14550000	Maloca Do Contão	Cotingo	5780	0,0016	0,003	0,0038
14750000	Missão Catrimani	Catrimani	6180	0,0014	0,003	0,0045
14526000	Bonfim	Tacutu	9860	0,0001	0,0002	0,0002
14680001	Fé e Esperança	Mucajaí	12200	0,0025	0,005	0,0066
14488000	Uaicás	Uraricoera	16100	0,0091	0,013	0,0145
14690000	Mucajaí	Mucajaí	19800	0,0018	0,004	0,0068
14495000	Fazenda Cajupiranga	Uraricoera	36900	0,0026	0,006	0,0081
14500000	Mocidade	Uraricoera	43900	0,0023	0,006	0,0081
14515000	Fazenda Passarão	Uraricoera	50.200	0,0030	0,006	0,0071
14710000	Caracaráí	Branco	126000	0,0020	0,004	0,0045

* Ad – Área de drenagem.

As vazões específicas retratam a produção de água na bacia e observa-se pela Tabela 9 que ao longo do rio Uraricoera, com exceção da estação de Uaicás, as vazões específicas mínimas ficaram muito próximas, variando de 0,002 a 0,003 m³.s⁻¹/km⁻² para a Q_{7,10}. No rio Cotingo, as estações de Maloca do Contão e Fazenda Bandeira Branca apresentaram valores coincidentes para vazão específica mínima (Q_{7,10}). No rio Mucajaí, representado pelas estações de Fé Esperança e Mucajaí, as vazões específicas mínimas apresentaram valores similares.

Para melhor interpretação dos resultados da estimativa das vazões, na Figura 6 são apresentadas as vazões mínimas de referência (Q_{7,10}, Q₉₅ e Q₉₀) anuais, de acordo com a área de drenagem das estações fluviométricas existentes ao longo do rio Uraricoera (Branco).

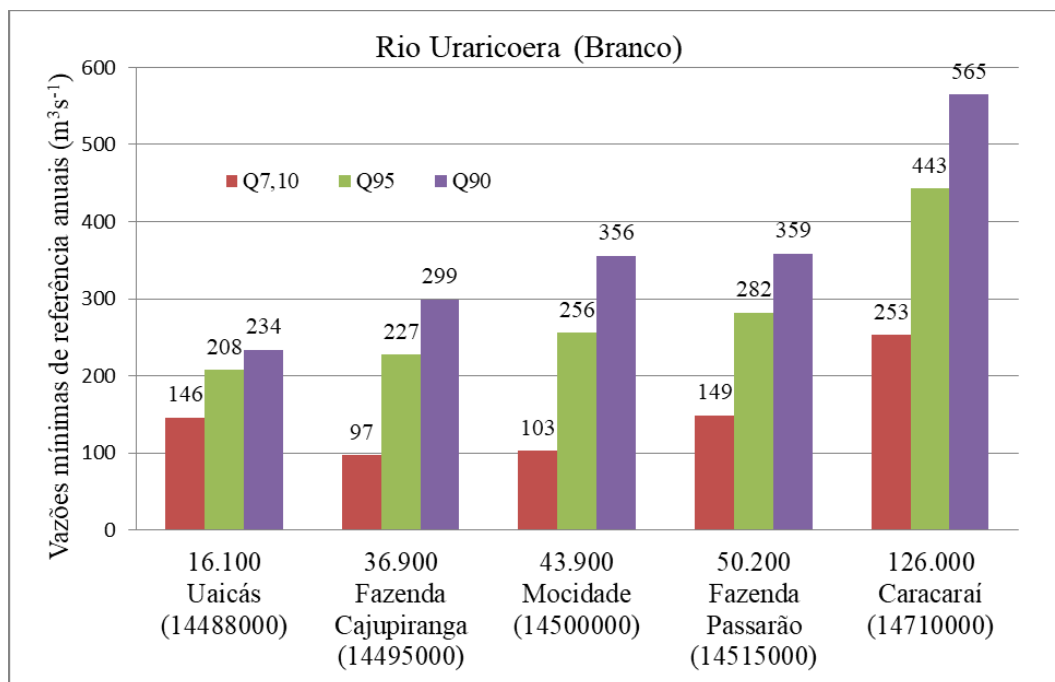


Figura 6. Vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais em função da área de drenagem das estações fluviométricas existentes ao longo do rio Uraricoera (Branco).

De acordo com a Figura 6 constata-se que as vazões mínimas de permanência (Q_{95} e Q_{90}) aumentaram seus valores de acordo com o aumento da área de drenagem, caracterizando assim, a continuidade das vazões ao longo do rio Uraricoera (Branco). Porém a diferença é de apenas $3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, para variação da área de drenagem de 43.900 a 50.200 km^2 , nas estações de Mocidade e Fazenda Passarão.

Esse comportamento não foi observado para $Q_{7,10}$, na estação Uaicás (14488000), pois a vazão mínima de referência estimada ($146 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) foi superior as vazões das estações localizadas a jusante, como Fazenda Cajupiranga (14459000) e Mocidade (14500000), e iguais a 97 e $103 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, respectivamente. A $Q_{7,10}$ de Uaicás é superada na estação Fazenda Passarão (14515000), com área de drenagem de 50.200 km^2 .

De forma a analisar a magnitude das vazões mínimas estimadas para adoção pelo órgão gestor de recursos hídricos do estado, observa-se que as vazões de permanência anuais Q_{95} e Q_{90} como vazão de referência, em substituição a $Q_{7,10}$, aumenta em $75,1\%$ e $123,3\%$ respectivamente, a vazão passível de ser outorgada pelos usuários de água, considerando a estação de Caracaraí (14710000) no rio Branco. No mesmo curso d'água, para a estação Fazenda Passarão, a vazão passível de ser outorgada pode aumentar $89,2\%$ e $140,9\%$, adotando as vazões de permanência Q_{95} e Q_{90} , em substituição à $Q_{7,10}$.

Para a estação de Caracaraí (14710000), a adoção das vazões mínimas de referência no período chuvoso $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} , em substituição às vazões mínimas de referência considerando

periodicidade anual, permite aumentos percentuais de 148,2%; 131,3%; e 137,6% respectivamente, na vazão disponível para as outorgas nos meses de maio a outubro (semestre de cheia).

Na Figura 7 são apresentadas as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) anuais, de acordo com a área de drenagem das estações fluviométricas existentes ao longo do rio Mucajaí, afluente do rio Branco, a montante da estação de Caracará.

Observa-se aumento das vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e da Q_{90} anuais no sentido da foz do rio Mucajaí, a partir da estação Fé Esperança (14680001), com área de drenagem igual a 12.200 km², e Mucajaí (14690000), localizada a jusante e com área de drenagem igual a 19.800 km².

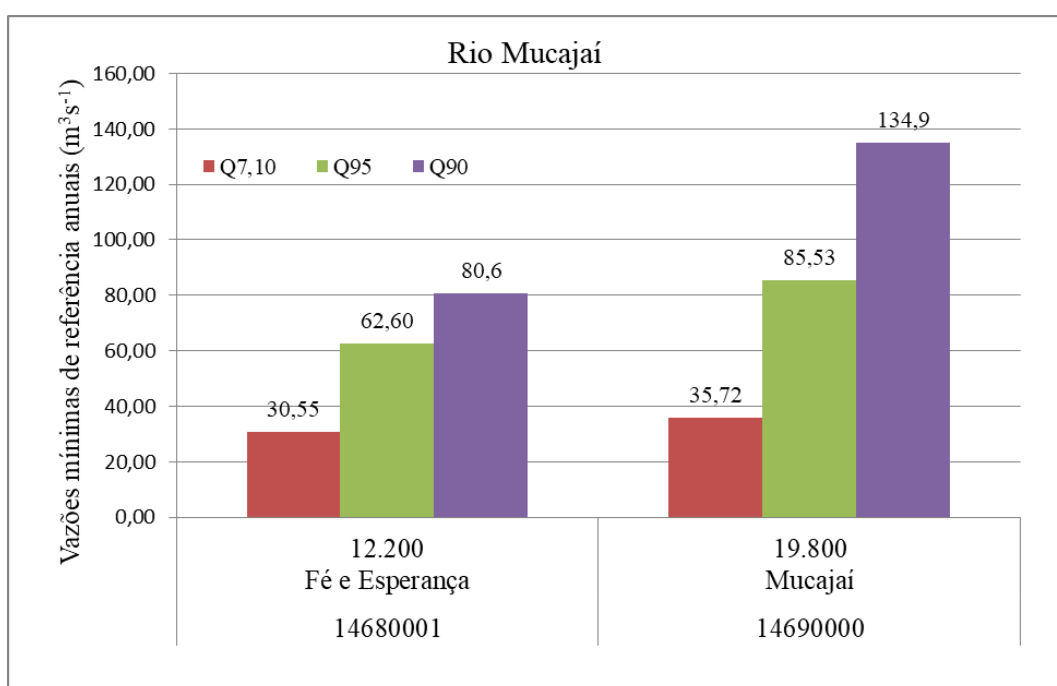


Figura 7. Vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais em função da área de drenagem das estações fluviométricas existentes ao longo do rio Mucajaí.

Na estação Mucajaí (14690000), a flexibilidade da vazão de referência considerando a periodicidade anual da Q_{90} (85,5 m³s⁻¹) e Q_{95} (134,8 m³s⁻¹), em comparação com a $Q_{7,10}$ (35,7 m³s⁻¹), permite aumento de 49,8 m³s⁻¹ (139%) e 115 m³s⁻¹ (262%) na disponibilidade hídrica passível de ser outorgada nessa seção.

No rio Cotingo, observa-se pelos dados da Tabela 9 aumento das vazões mínimas, tanto da $Q_{7,10}$ como das vazões de permanência, com aumento da área de drenagem, visto serem os valores apresentados para a estação Fazenda Bandeira Branca (14540000) inferiores aos observados na estação Maloca do Contão (14550000), localizada a jusante no curso d'água.

Considerando um aumento de disponibilidade, pelo fato de as vazões de permanência apresentarem valores consideravelmente superiores a $Q_{7,10}$, e assim possibilitarem o aumento significativo da vazão passível de outorga pelos usuários na bacia do rio Branco, recomenda-se a utilização destas vazões como referência, nas análises dos pedidos de outorga avaliados pelo órgão gestor de recursos hídricos. Associado ao fato da $Q_{7,10}$ não ter apresentado continuidade das vazões, na região próximo da nascente (Uaicás) do rio Uraricoera, ou seja, a vazão nesta estação foi superior as demais estações localizadas a jusante da seção. Outro fato que justifica a utilização das vazões de permanência está relacionado com os baixos valores da $Q_{7,10}$ estimadas em algumas estações na bacia do rio Branco, o que torna as vazões outorgadas muito restritivas para os diversos usuários, a exemplo, a estação de Bonfim, entre outras.

Ao adotar a sazonalidade das tendências de vazante e cheia identificadas na bacia, deve ser confirmada através da comparação entre as médias das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) nas estações fluviométricas utilizadas no estudo, considerando os períodos sazonais e anual. Nesse sentido, confirmando a flexibilidade, é apresentada na Tabela 10 a diferença percentual média das vazões mínimas de referência sazonais em relação à vazão anual.

Tabela 10. Diferença percentual média da vazão mínima de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} sazonal em relação anual

Vazão de Referência	Flexibilidade Média Sazonal (%)	
	Semestre de Vazante	Semestre de Cheia
$Q_{7,10}$	0,94	163,80
Q_{95}	-20,65	115,70
Q_{90}	-22,59	113,88

Considerando a $Q_{7,10}$ do período seco, não houve uma flexibilidade significativa, pois foram raros os casos em que a q_7 anual ocorreu fora deste período. Devido a estes casos, houve situações em que a $Q_{7,10}$ referente ao período seco foi maior que a $Q_{7,10}$ do período anual.

Expondo a flexibilidade ao se adotar os períodos sazonais na determinação das vazões mínimas de referência para outorga de uso da água na bacia hidrográfica do rio Branco, nas Figuras 8 e 9 são apresentados gráficos das diferenças percentuais das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) nos períodos sazonais estudados para cada estação fluviométrica utilizada no estudo.

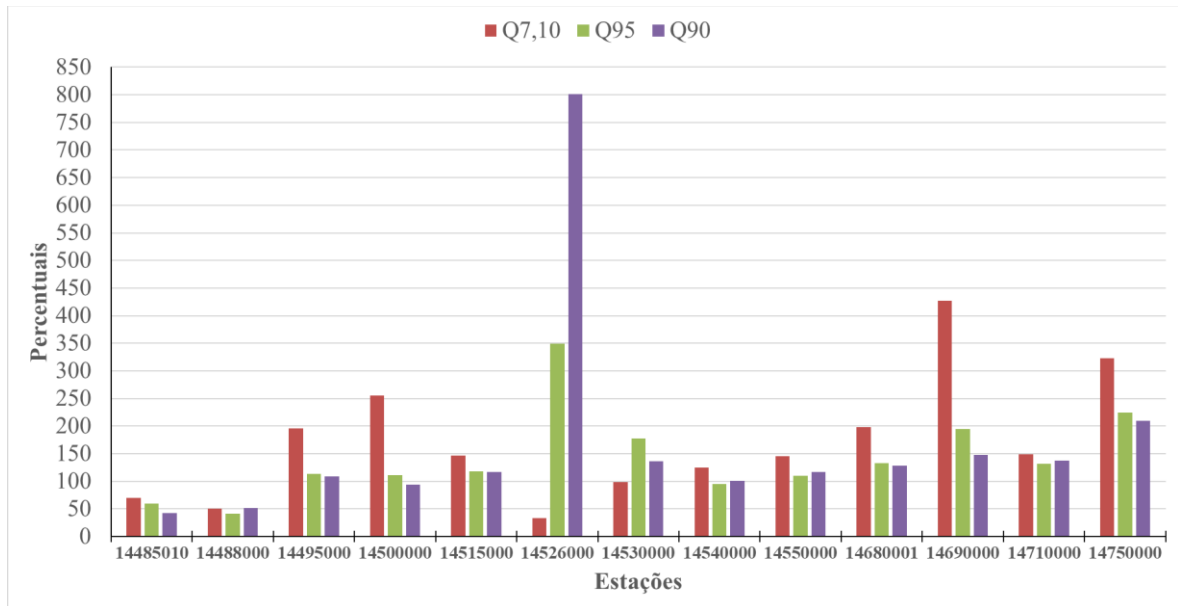


Figura 8. Diferenças percentuais para as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais em relação ao semestre de cheia para as estações fluviométricas utilizadas no estudo.

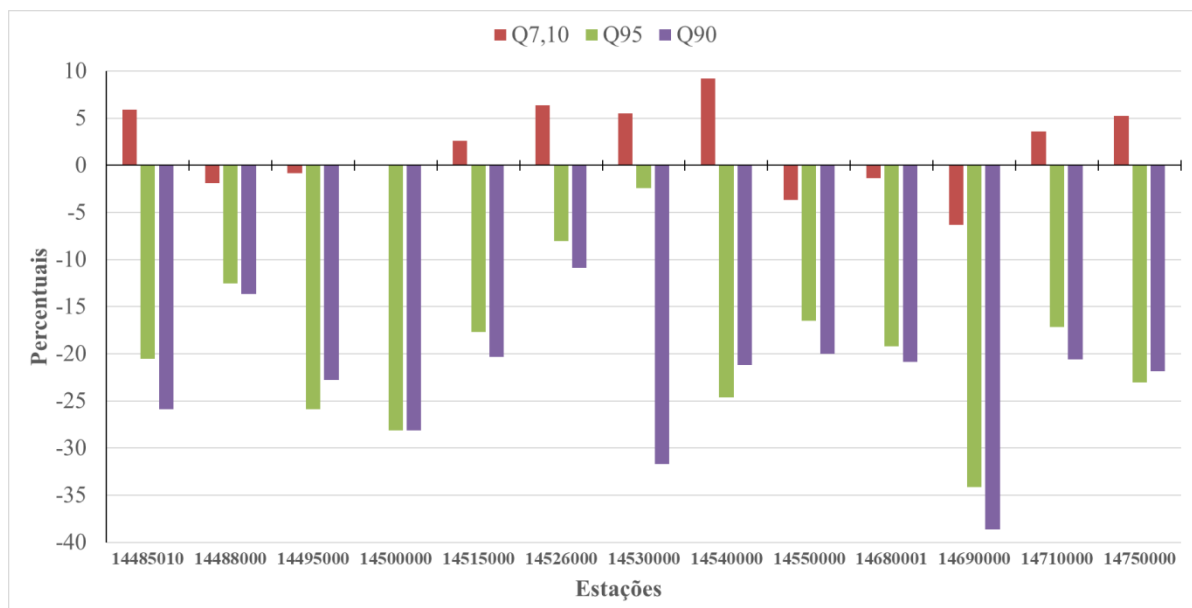


Figura 9. Diferenças percentuais para as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais em relação ao semestre de vazante para as estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Considerando as vazões de permanência Q_{95} e Q_{90} , a flexibilidade negativa expressa no período semestral de vazante uma vez que ao considerar a periodicidade anual nas curvas de permanência estão inclusos os valores de vazões do período chuvoso, o que aumenta os valores para esse período. Assim, essas vazões de referência do período seco diminuem quando é adotado o semestre e não o período anual.

É possível observar pela análise da Tabela 8, bem como das Figuras 8 e 9, que a utilização de períodos sazonais para a determinação de vazões de referência para a bacia hidrográfica do rio Branco aumenta a flexibilidade da disponibilidade hídrica para outorga.

Os resultados obtidos corroboram com resultados obtidos por diversos autores que aplicaram o mesmo conceito a citar: SILVA *et al.* (2015); LISBOA *et al.* (2014); SILVA *et al.* (2011); MARQUES (2010). Cada qual com a adoção de um período sazonal (semestral, quadrimestral ou trimestral), os autores afirmam o aumento percentual no uso da vazão sazonal de períodos de maior oferta de água (chuvoso/cheia) em comparação com a correspondente vazão anual.

4.3. Precipitações médias totais anuais e semestrais

Na Figura 10 são apresentadas as curvas de dupla massa de algumas estações pluviométricas utilizadas no estudo, através das quais, foi analisada a homogeneidade das séries históricas de cada uma, considerando a média das estações vizinhas.

Para todas as estações foi constatado que as séries históricas possuem comportamento linear e os coeficientes de determinação próximos de 1. De acordo com Buriol *et al.* (2006) e Alves *et al.* (2006), esses resultados garantem a homogeneidade regional das estações selecionadas.

Na Figura 11 é apresentada a distribuição das médias dos totais mensais precipitados das estações pluviométricas utilizadas no estudo. Observa-se que a amplitude das médias mensais precipitadas na bacia do rio Branco variou de 67,8 a 318,5 mm, com mínima ocorrendo no mês de janeiro e a máxima no mês de maio.

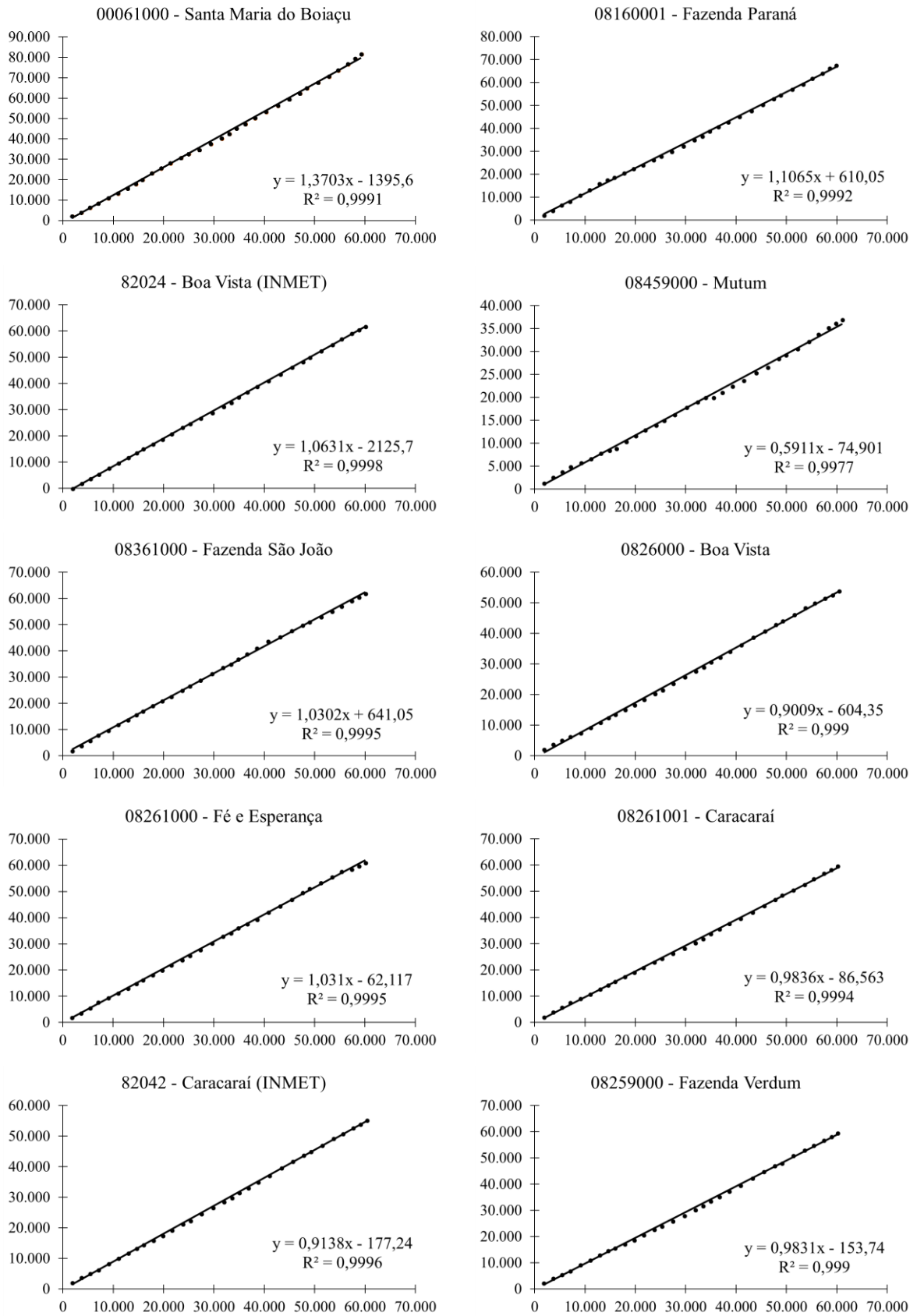


Figura 10. Curvas das duplas massas para consistência das séries pluviométricas na bacia do rio Branco.

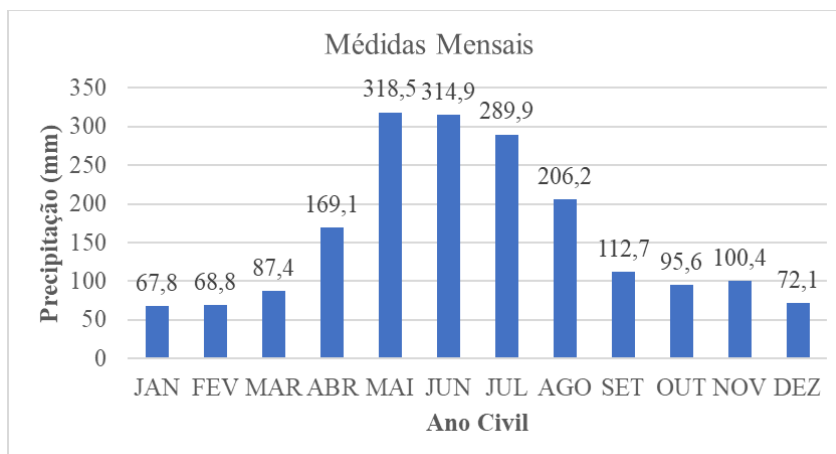


Figura 11. Precipitação total mensal média (mm) para as estações pluviométricas pertencentes à bacia do rio Branco.

O trimestre em que as médias mensais superaram 250 mm ficou compreendido nos meses de maio, junho e julho, e nesses últimos meses os valores precipitados superaram 300 mm. Já o semestre em que foi verificado maior volume precipitado está entre os meses de abril a setembro, meses estes em que o total precipitado foi superior a 100 mm. Assim o semestre de seca, ou de pouca chuva, ficou definido começando em outubro e estendendo-se até março do ano seguinte.

Considerando o método das médias aritméticas, a estação de chuvas ou semestre chuvoso apresentou média de precipitações de 235,21 mm enquanto para o semestre seco a média observada foi de 82,01 mm. Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro caracterizam um trimestre com os menores valores observados.

Nas Figuras 12 e 13 são apresentados os mapas de isoietas de precipitação total anual e semestrais (seco e chuvoso) para a bacia do rio Branco, considerando as séries históricas consistidas do período de 1984 a 2015.

Considerando a distribuição de valores observados por sub-bacias hidrográficas, como demonstradas na Figura 12, nota-se que a sub-bacia do rio Uraricoera é a que apresentou maiores valores de totais precipitados, enquanto a sub-bacia do rio Tacutu apresentou os menores valores.

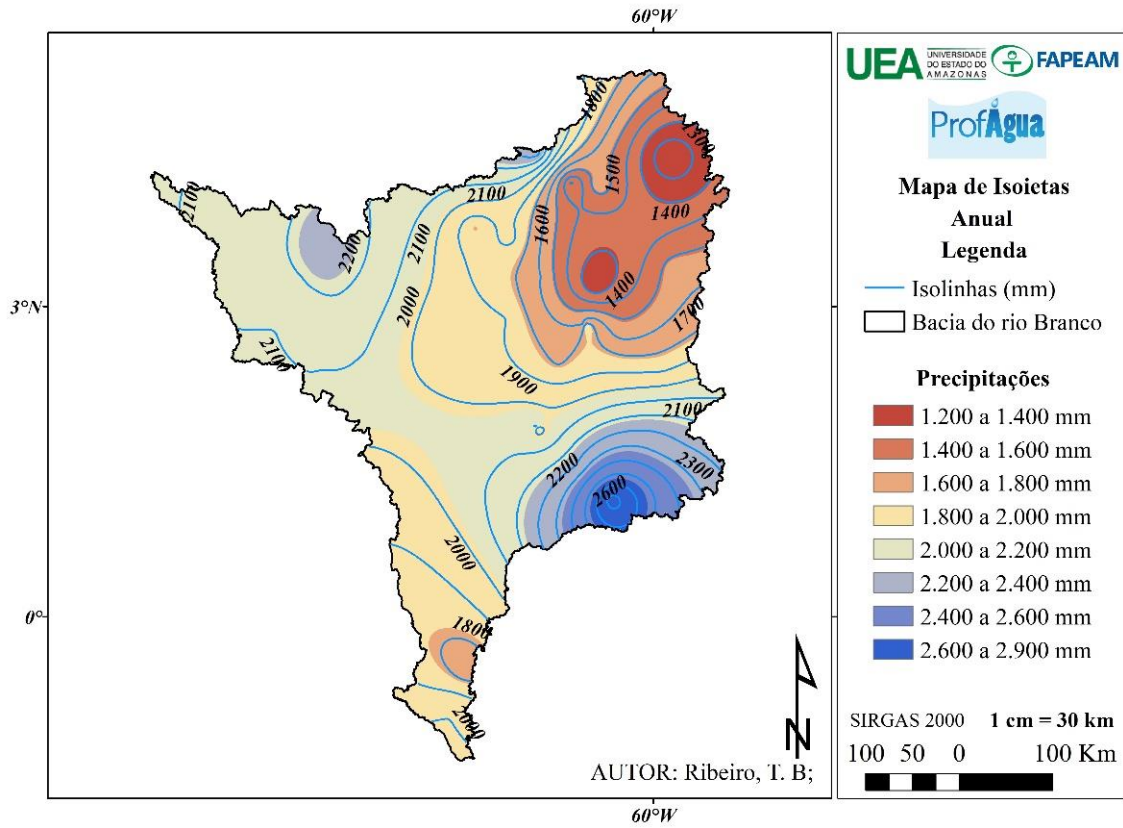


Figura 12. Mapa de isoietas de precipitação média total anual para a bacia do rio Branco.

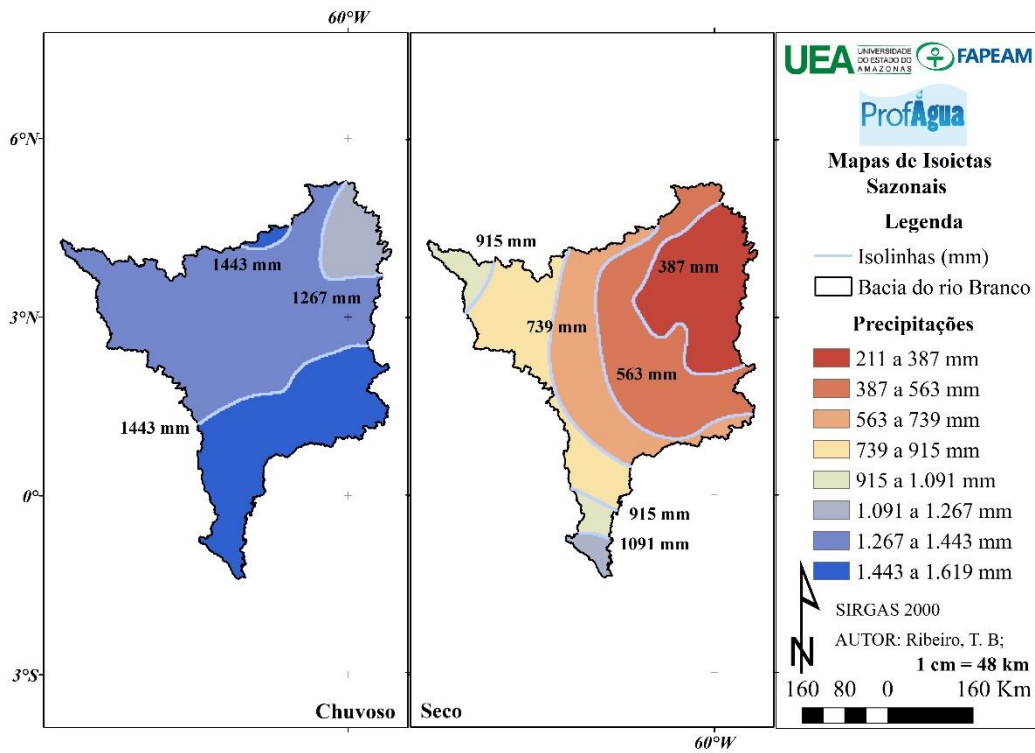


Figura 13. Mapa de isoietas de precipitação média total do semestre seco e chuvoso para a bacia do rio Branco.

Considerando a distribuição espacial das médias de totais precipitados expostas na Figura 13 para a estação seca, a porção nordeste da bacia hidrográfica é a que apresenta menores médias, se estendendo até a porção centro-oeste. As regiões Sul e Noroeste apresentam valores precipitados consideráveis (878,77 a 1.220,4 mm).

As precipitações médias anuais foram determinadas pelo método das isoietas, considerando a distribuição espacial das estações em estudo. As isolinhas foram traçadas através de interpolação, tendo sido consideradas equidistância de 200 milímetros para o período anual e de 176 milímetros para os períodos sazonais, conforme as Figuras 12 e 13.

Na Tabela 11 são apresentados os valores da precipitação total média anual e semestrais para a bacia do rio Branco considerando o método da média aritmética e das isoietas.

Tabela 11. Precipitações Totais Anual Médias, e dos períodos Chuvoso e Seco

Periodicidade	Precipitações Totais (mm)	
	Método	
	Média Aritmética	Isoietas
Anual	1.903	1.965
Chuvoso	1.411	1.404
Seco	492	609

4.4. Regionalização das vazões mínimas de referência anuais e semestrais

4.4.1. Identificação das Regiões Hidrologicamente Homogêneas (RHH)

O melhor ajuste considerou duas regiões homogêneas, divididas de acordo com as informações da bacia do rio Tacutu e do rio Uraricoera, totalizando 9 estações fluviométricas utilizadas para regionalização (Figura 14). Sendo assim, com apoio do SisCoRV, foram definidas duas regiões hidrologicamente homogêneas bem como estabelecidas equações de regressão regionais para as vazões mínimas de referência em estudo para cada uma.

Para a identificação das regiões homogêneas na bacia hidrográfica do rio Branco foram consideradas as UEGRHs, propostas por ANA (2017). Além disso os resultados estatísticos e de ajuste do processo de regionalização, obtidos através do SisCorv, como o coeficiente de regressão (R^2), as vazões observadas e estimadas, através de cada modelo matemático de regressão bem como seus respectivos resíduos.

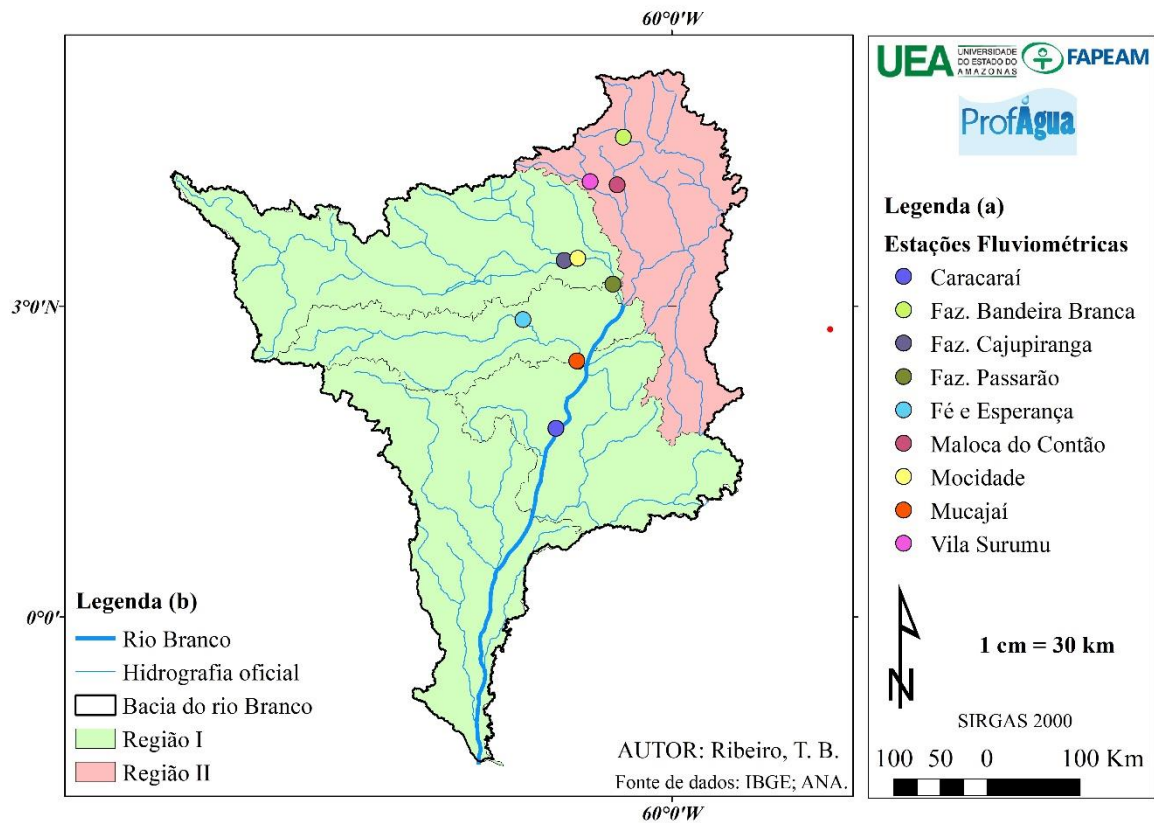


Figura 14. Regiões hidrológicamente homogêneas e estações fluviométricas utilizadas na regionalização.

4.4.2. Equações de regionalização das vazões mínimas de referência anuais e semestrais

Na Tabela 12 são apresentados os resultados das equações de regionalização obtidas para a vazão mínima $Q_{7,10}$ anual e semestrais (vazante e chuvoso), assim como o coeficiente de regressão e o erro percentual entre os valores observados e estimados pela equação de regionalização. Também, visto a grande dimensão territorial da bacia do rio Branco verifica-se um número limitado de postos fluviométricos distribuídos em seu território, o que torna a área de drenagem a principal característica física a ser utilizada nos ajustes das regressões para a determinação das equações de regionalização. Esse mesmo motivo limita ainda o número de regiões hidrológicas homogêneas a serem determinadas dentro da bacia.

Tabela 12. Equações de regionalização para as vazões mínimas $Q_{7,10}$ ($m^3.s^{-1}$) considerando o período anual e semestral (vazante e cheia), assim como os valores de vazão observadas, estimadas e o erro percentual da estimativa para as estações fluviométricas

$Q_{7,10}$ Anual							
Região Homogênea	Estações Fluviométricas	Ajustes		Vazões ($m^3.s^{-1}$)		Ep.***	
		Modelo	R ²	Obs.*	Est.**		
Região I	14495000	Fazenda Cajupiranga	Potencial	0,95	97,20	88,21	-9,25
	14500000	Mocidade			102,81	89,08	-13,35
	14515000	Fazenda Passarão			149,06	121,42	-18,54
	14680001	Fé e Esperança			30,55	31,10	1,81
	14690000	Mucajaí			35,72	45,11	26,28
	14710000	Caracaráí			252,67	306,84	21,44
$Q_{7,10}$ Anual = $1,65.10^{-3}.Ad^{1,034}$							
Região II	14530000	Vila Surumu	Potencial	0,92	2,54	2,96	16,65
	14540000	Fazenda Bandeira Branca			5,09	4,12	-19,03
	14550000	Maloca do Contão			9,48	10,04	5,88
$Q_{7,10}$ Anual = $5,53.10^{-5}.Ad^{1,397}$							
$Q_{7,10}$ Vazante							
Região Homogênea	Estações Fluviométricas	Ajustes		Vazões ($m^3.s^{-1}$)		Ep.***	
		Modelo	R ²	Obs.*	Est.**		
Região I	14495000	Fazenda Cajupiranga	Potencial	0,95	96,40	87,89	-8,82
	14500000	Mocidade			102,81	88,79	-13,63
	14515000	Fazenda Passarão			152,97	122,32	-20,04
	14680001	Fé e Esperança			30,13	29,90	-0,75
	14690000	Mucajaí			33,47	43,92	31,23
	14710000	Caracaráí			261,70	319,11	21,94
$Q_{7,10}$ Vazante = $1,13.10^{-3}.Ad^{1,069}$							
Região II	14530000	Vila Surumu	Potencial	0,87	2,68	3,21	19,84
	14540000	Fazenda Bandeira Branca			5,56	4,34	-21,97
	14550000	Maloca do Contão			9,13	9,76	6,94
$Q_{7,10}$ Vazante = $1,57.10^{-4}.Ad^{1,273}$							
$Q_{7,10}$ Cheia							
Região Homogênea	Estações Fluviométricas	Ajustes		Vazões ($m^3.s^{-1}$)		Ep.***	
		Modelo	R ²	Obs.*	Est.**		
Região I	14495000	Fazenda Cajupiranga	Potencial	0,91	287,90	278,30	-3,33
	14500000	Mocidade			365,69	280,49	-23,30
	14515000	Fazenda Passarão			367,44	358,58	-2,41
	14680001	Fé e Esperança			91,08	121,76	33,68
	14690000	Mucajaí			188,38	163,50	-13,21
	14710000	Caracaráí			627,95	747,97	19,11
$Q_{7,10}$ Cheia = $4,95.10^{-2}.Ad^{0,820}$							
Região II	14530000	Vila Surumu	Potencial	0,91	5,03	6,06	20,46
	14540000	Fazenda Bandeira Branca			11,46	8,88	-22,52
	14550000	Maloca do Contão			23,23	24,89	7,14
$Q_{7,10}$ Cheia = $2,02.10^{-5}.Ad^{1,618}$							

* Valores de $Q_{7,10}$ Observados; ** Valores Estimados pelo modelo de regionalização; *** Erro percentual.

Os melhores resultados descritos foram selecionados, considerando os maiores valores de (R^2) bem como os menores valores de resíduos, através do erro percentual entre os valores observados e os valores estimados por cada modelo de regressão.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 12, para a vazão mínima de referência $Q_{7,10}$, o modelo de distribuição que apresentou melhores resultados foi o potencial, e o coeficiente de correlação (R^2) para todas as equações obtidas superiores a 0,87.

Para o período anual, os erros percentuais entre as vazões observadas e estimadas pelo modelo de regionalização, subestimou as vazões nas estações Fazenda Cajupiranga, Mocidade e Fazenda Passarão (região I) e Fazenda Bandeira Branca (região II), variando de -9,95% a -19,06%. A estação de Caracará é a estação localizada mais a jusante na bacia do rio Branco e sua vazão observada e estimada ($Q_{7,10}$ Anual) são respectivamente iguais a 252,67 e 306,84 m^3s^{-1} , e um erro potencial da estimativa de 21,44%.

O modelo potencial da $Q_{7,10}$ anual ajustado superestimou as vazões nas estações de Fé e Esperança, Mucajaí, Caracará (região I), Vila Surumu, Fazenda Bandeira Branca e Maloca do Contão (região II), variando de 1,81% em Fé e Esperança a 26,28% em Mucajaí, localizadas no mesmo curso d'água. Constata-se que os erros aumentaram, com o aumento da área de drenagem, tanto no rio Uraricoera - Branco (Fazenda Cajupiranga, Mocidade, Fazenda Passarão e Caracará), quanto no rio Mucajaí (Fé e Esperança e Mucajaí), localizados na mesma região homogênea (I).

As vazões observadas e estimadas considerando o período de vazante, assim como os erros percentuais ficaram próximos dos resultados obtidos para o período anual, não apresentando diferenças expressivas.

Para o período das cheias a estimativa das vazões através das equações de regionalização para as regiões I e II apresentaram erros variando de - 23,30 a 33,38%, para as estações de Mocidade e Fé e Esperança, no rio Uraricoera e Mucajaí, respectivamente. Valores esses próximos aos obtidos para os erros do período anual. O menor erro percentual entre os valores foi para estação Fazenda Passarão e igual a 2,41%, assim a vazão observada de 358,58 m^3s^{-1} foi estimada como 367,44 m^3s^{-1} , uma diferença de 8,86 m^3s^{-1} .

Na Tabela 13 estão apresentadas as equações de regionalização para as vazões mínimas Q_{95} ($m^3.s^{-1}$) considerando o período anual e semestral (vazante e cheia), assim como os valores de vazão observados, estimados e o erro percentual da estimativa para as estações fluviométricas nas duas regiões homogêneas.

Tabela 13. Equações de regionalização para as vazões mínimas Q_{95} ($m^3.s^{-1}$) considerando o período anual e semestral (vazante e cheia), assim como os valores de vazão observados, estimados e o erro percentual da estimativa para as estações fluviométricas nas duas regiões homogêneas

Q₉₅ Anual							
Região Homogênea	Estações Fluviométricas	Ajustes		Vazões ($m^3.s^{-1}$)		Ep.***	
		Modelo	R ²	Obs.*	Est.**		
Região I	14495000	Fazenda Cajupiranga	Potencial	0,91	227,31	187,95	-17,31
	14500000	Mocidade			256,00	189,63	-25,93
	14515000	Fazenda Passarão			282,13	250,66	-11,16
	14680001	Fé e Esperança			62,60	73,48	17,38
	14690000	Mucajaí			85,53	102,71	20,09
	14710000	Caracaráí			443,26	577,87	30,37
Q₉₅ Anual = 1,03.10⁻².Ad^{0,932}							
Região II	14530000	Vila Surumu	Potencial	0,70	4,53	6,20	36,85
	14540000	Fazenda Bandeira Branca			13,00	8,46	-34,95
	14550000	Maloca do Contão			17,39	19,54	12,34
Q₉₅ Anual = 2,21.10⁻⁴.Ad^{1,314}							
Q₉₅ Vazante							
Região Homogênea	Estações Fluviométricas	Ajustes		Vazões ($m^3.s^{-1}$)		Ep.***	
		Modelo	R ²	Obs.*	Est.**		
Região I	14495000	Fazenda Cajupiranga	Potencial	0,92	168,56	143,11	-15,10
	14500000	Mocidade			184,00	144,46	-21,49
	14515000	Fazenda Passarão			232,33	194,02	-16,49
	14680001	Fé e Esperança			50,60	53,03	4,79
	14690000	Mucajaí			56,32	75,55	34,14
	14710000	Caracaráí			367,11	469,16	27,80
Q₉₅ Vazante = 4,49.10⁻³.Ad^{0,985}							
Região II	14530000	Vila Surumu	Potencial	0,81	4,42	5,48	24,07
	14540000	Fazenda Bandeira Branca			9,80	7,29	-25,59
	14550000	Maloca do Contão			14,52	15,73	8,32
Q₉₅ Vazante = 4,52.10⁻⁴.Ad^{1,206}							
Q₉₅ Cheia							
Região Homogênea	Estações Fluviométricas	Ajustes		Vazões ($m^3.s^{-1}$)		Ep.***	
		Modelo	R ²	Obs.*	Est.**		
Região I	14495000	Fazenda Cajupiranga	Potencial	0,94	484,13	435,34	-10,08
	14500000	Mocidade			540,00	438,97	-18,71
	14515000	Fazenda Passarão			614,51	569,56	-7,32
	14680001	Fé E Esperança			146,00	181,19	24,10
	14690000	Mucajaí			252,28	247,68	-1,82
	14710000	Caracaráí			1025,24	1241,98	21,14
Q₉₅ Cheia = 4,60.10⁻².Ad^{0,869}							
Região II	14530000	Vila Surumu	Potencial	0,82	12,57	15,18	20,76
	14540000	Fazenda Bandeira Branca			25,40	19,61	-22,78
	14550000	Maloca do Contão			36,50	39,14	7,24
Q₉₅ Cheia = 3,23.10⁻³.Ad^{1,085}							

* Valores de $Q_{7,10}$ Observados; ** Valores Estimados pelo modelo de regionalização; *** Erro percentual.

Considerando os resultados apresentados na Tabela 13 para a vazão mínima de referência Q_{95} , o modelo matemático que melhor se ajustou às vazões estimadas para as estações em estudo foi o potencial, apresentando coeficientes de determinação (R^2) que variou de 0,70 para a região II (período anual) a 0,94 para região I (período cheia).

O erro percentual da estimativa da Q_{95} no período anual variou de -25,93 a 30,37% nas estações Mocidade e Caracará para a região I, ambas as estações localizadas no rio Uraricoera (Branco). Para a região II os erros variaram de 12,34% na estação Maloca do Contão a 36,85% na estação Vila Surumu. O erro percentual médio considerando o módulo dos valores é de 20,37% na região I e 28,05% na região II.

No período de vazante os erros da estimativa da Q_{95} variou de -21,49 a 34,14% nas estações Mocidade e Mucajaí para a região I e na região II variou de -25,59 a 24,07% em Bandeira Branca e Vila Surumu respectivamente.

Dessa forma observa-se que na região II a estação que apresenta maiores erros de estimativa pelo modelo de regionalização é Vila Surumu, e representa a estação com a menor área de drenagem.

As vazões na estação de Mocidade foram subestimadas, tanto para o período anual quanto de vazante, comportamento também observado no período de cheia na bacia e igual a -18,71%, ou seja, as maiores subestimativas nas vazões foram constatadas nessa referida estação. As vazões determinadas nas estações de Fazenda Cajupiranga e Fazenda Passarão também foram subestimadas pelos modelos de regionalização nos três períodos analisados (anual, cheia e vazante), assim como para estação de Fazenda Bandeira Branca, na região II.

De forma geral, os menores erros de estimativa da Q_{95} pelas equações de regionalização foram observados no período da cheia, pois variaram de -18,71 a 24,10% na região I, e -22,78 a 20,76% na região II.

A estimativa das vazões através das equações de regionalização para a região II no período da cheia apresentou erros variando de -1,82 a 24,10% para as estações de Mucajaí e Fé e Esperança respectivamente, caracterizando o menor e maior erro percentual para este período.

Na Tabela 14 estão apresentadas as equações de regionalização para as vazões mínimas Q_{90} anuais e semestrais (vazante e chuvoso), assim como o coeficiente de regressão e o erro percentual entre os valores observados e estimados.

Tabela 14. Equações de regionalização para as vazões mínimas Q_{90} ($m^3 s^{-1}$) considerando o período anual e semestral (vazante e cheia), assim como os valores de vazão observados, estimados e o erro percentual da estimativa para as estações fluviométricas nas duas regiões homogêneas

Q_{90} Anual							
Região Homogênea	Estações Fluviométricas	Ajustes		Vazões ($m^3.s^{-1}$)		Ep.***	
		Modelo	R^2	Obs.*	Est.**		
Região I	14495000	Fazenda Cajupiranga	Potencial	0,89	299,15	253,26	-15,34
	14500000	Mocidade			356,00	255,41	-28,26
	14515000	Fazenda Passarão			358,83	332,87	-7,24
	14680001	Fé e Esperança			80,60	103,83	28,83
	14690000	Mucajaí			134,87	142,70	5,80
	14710000	Caracaráí			564,94	735,64	30,22
Q_{90} Anual = $2,29.10^{-2}.Ad^{0,884}$							
Região II	14530000	Vila Surumu	Potencial	0,69	6,63	8,79	32,57
	14540000	Fazenda Branca			17,00	11,55	-32,06
	14550000	Maloca do Contão			21,73	24,12	11,02
Q_{90} Anual = $1,07.10^{-3}.Ad^{1,156}$							
Q_{90} Vazante							
Região Homogênea	Estações Fluviométricas	Ajustes		Vazões ($m^3.s^{-1}$)		Ep.***	
		Modelo	R^2	Obs.*	Est.**		
Região I	14495000	Fazenda Cajupiranga	Potencial	0,90	231,13	188,86	-18,29
	14500000	Mocidade			256,00	190,56	-25,56
	14515000	Fazenda Passarão			285,81	252,42	-11,68
	14680001	Fé e Esperança			63,80	73,32	14,93
	14690000	Mucajaí			82,81	102,75	24,07
	14710000	Caracaráí			448,54	585,56	30,55
Q_{90} Vazante = $9,64.10^{-3}.Ad^{0,939}$							
Região II	14530000	Vila Surumu	Potencial	0,68	4,53	6,29	38,75
	14540000	Fazenda Branca			13,40	8,55	-36,17
	14550000	Maloca do Contão			17,39	19,64	12,91
Q_{90} Vazante = $2,42.10^{-4}.Ad^{1,304}$							
Q_{90} Cheia							
Região Homogênea	Estações Fluviométricas	Ajustes		Vazões ($m^3.s^{-1}$)		Ep.***	
		Modelo	R^2	Obs.*	Est.**		
Região I	14495000	Fazenda Cajupiranga	Potencial	0,94	625,03	561,02	-10,24
	14500000	Mocidade			689,50	565,73	-17,95
	14515000	Fazenda Passarão			779,83	735,35	-5,70
	14680001	Fé e Esperança			184,40	232,09	25,86
	14690000	Mucajaí			333,69	317,94	-4,72
	14710000	Caracaráí			1342,64	1612,17	20,07
Q_{90} Cheia = $5,56.10^{-2}.Ad^{0,876}$							
Região II	14530000	Vila Surumu	Potencial	0,77	15,66	19,48	24,41
	14540000	Fazenda Branca			34,10	25,28	-25,88
	14550000	Maloca do Contão			47,04	51,01	8,44
Q_{90} Cheia = $3,62.10^{-3}.Ad^{1,102}$							

* Valores de $Q_{7,10}$ Observados; ** Valores Estimados pelo modelo de regionalização; *** Erro percentual.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 14, o modelo potencial foi o que apresentou melhores resultados para a vazão mínima Q_{90} , e o coeficiente de correlação (R^2) para as equações obtidas no processo de regionalização variou de 0,68 (período de vazante, região II) a 0,94 (período de cheia, região I).

Para o período anual, os erros percentuais entre as vazões Q_{90} observadas e estimadas pelo modelo de regionalização, subestimaram as vazões nas estações Fazenda Cajupiranga, Mocidade e Fazenda Passarão (região I) e Fazenda Bandeira Branca (região II), variando de -7,24 a -32,06%.

Nas estações de Caracaraí e Fé Esperança o modelo para estimativa da Q_{90} anual apresentou maiores diferenças positivas, superestimando as vazões, sendo estas iguais a 28,83 e 30,22% respectivamente. O modelo potencial da Q_{90} anual ajustado superestimou também as vazões nas estações de Mucajaí, Vila Surumu e Maloca do Contão.

De forma geral, os menores erros de estimativa da Q_{95} pelas equações de regionalização foram observados no período da cheia, pois variaram de -17,95 a 25,86% na região I, e -25,88 a 24,41% na região II.

Pelo exposto, constataram-se erros de estimativas das vazões mínimas para algumas estações até 30%, entre os valores observados e estimados pelos modelos de regionalização. Essa diferença considerável deve-se, em partes, devido ao pequeno número de estações existentes na bacia e com informações suficientes para um melhor ajuste dos modelos e consequentemente de estimativa das vazões.

5. CONCLUSÕES

De acordo com as análises dos resultados, pode-se concluir que:

O ano hidrológico na bacia do rio Branco inicia-se no mês de maio com os aumentos das vazões mínimas e estende-se até abril do ano seguinte. O semestre de cheia e vazante ficou definido entre os meses de maio a outubro, e novembro a abril, respectivamente.

Observa-se que no rio Branco (após a junção do Uraricoera com o Tacutu) existe apenas uma estação – Caracará (14710000) com dados de vazão diária. As estações de Boa Vista (14620000) e Santa Maria do Boiaçu (14790000), presentes no mesmo curso d'água, apresentam apenas informações de cotas entre outros dados hidrológicos. Considerando a abrangência da bacia e a existência de apenas 13 estações fluviométricas na região, verifica-se a carência de informações de vazão diária que subsidiem de forma adequada o processo de gestão de recursos hídricos.

O fato de as vazões de permanência apresentarem valores bem superiores a $Q_{7,10}$, e assim possibilitarem o aumento significativo da vazão passível de outorga pelos usuários na bacia do rio Branco, recomenda-se a utilização destas vazões como referência, em substituição a $Q_{7,10}$, nas análises dos pedidos de outorga avaliados pelo o órgão gestor de recursos hídricos. Associado ao fato da $Q_{7,10}$ não ter apresentado continuidade das vazões, na região próximo da nascente (Uaicás) do rio Uraricoera.

A flexibilidade dos critérios de outorga adotando a sazonalidade na disponibilidade hídrica permite aumentos consideráveis da vazão outorgável entre os diversos usuários da bacia do rio Branco, no semestre de cheia.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, A.; KOBIYAMA, M.; SILVA, R. V.; CHECCHIA, T. Análise de dados hidrológicos na região do município de Alfredo Wagner/SC. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul, 1., 2006, Curitiba. **Anais...**Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2006.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – 2017: Relatório Pleno.** Biblioteca virtual. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/relatorio-conjuntura-dos-recursos-hidricos-no-brasil-ganha-versao-para-dispositivos-moveis/conjuntura_dos_recursos_hidricos_no_brasil_2017.png/view>. Acesso em abril de 2018.

_____. **Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas - PROGESTÃO - Panorama dos Estados – Roraima.** Disponível em: <http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/mapa/rr/progestao_rr_2015.pdf>. Acesso em novembro de 2017.

_____. **Gestão da Água – Política Nacional de Recursos Hídricos – O que é o SINGREH.** Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/sistema-de-gerenciamiento-de-recursos-hidricos/o-que-e-o-singreh/o-que-e-singreh>>. Acesso em novembro de 2016.

_____. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos.** Agência Nacional de Águas. Brasília: SAG, 2011. 50 p. (Cadernos de capacitação em Recursos Hídricos; v.6). ISBN 978-85-89629-78-2. 2011.

_____. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: diretrizes e prioridades.** Brasília: ANA; Ministério do Meio Ambiente. 2005. 70p.

_____. **Glossário para Recursos Hídricos.** Brasília: ANA, 2002.

BALTAR, A. M., AZEVEDO, L. G. T., REGO, M., PORTO, R. la L. **Sistemas de suporte à decisão para a outorga de direitos de uso da água no Brasil.** Brasília: Banco Mundial, 2003. 48 p. (Série Água Brasil, 2).

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação.** In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS, 2007. P.177-241.

BRAGA, B. F., DOMINGUES, A. F. Gestão de Recursos Hídricos no Brasil. In: II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais e IX Simpósio Nacional do Cerrado. Brasília - DF. **Anais...** Outubro, 2008.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**. Brasília: Poder Executivo, 9 Jan. 1997.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; SWAROWSKY, A.; D'AVILA, R. F. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.11, p.89 97, 2006.

CATALUNHA, M. J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da Q7,10 para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CHAVES, H. M., ROSA, J. W., VADAS, R. G., OLIVEIRA, R. V. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 3, 2002.

COSTA, J. V. M., TYBUSCH, J. S. Uma abordagem crítica sobre a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos no Brasil. In: Semana Acadêmica FADISMA ENTREMENTES. ISSN: 2446-726X, Ed. 12. Santa Maria – RS. **Anais...** 2015.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.13, n.1, p.111-124. 2008.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, 1985a.

_____. **Manual de minicentrals hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985b.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Bacia Hidrográfica do rio Branco: Estudos de Inventário Hidrelétrico Relatório Final: AAI – Avaliação Ambiental Integrada**. Brasília, DF: EPE, 2011. Vol. 1/2, 289p.

FEMARH - Fundação Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Relatório PROGESTÃO 2015 – 2º. Período de Certificação. **OFICIO n. 0277/2016/GAB/FEMARH**. Relatório PROGESTÃO 2015. Roraima, 28 de março de 2016.

FIGUEIREDO, A. P., OLIVEIRA, L. C. Usos dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 1, janeiro/março, 2010.

GRANZIERA, M. L. A fixação de vazões de referência. **Revista de Direito Ambiental**, v. 70, ano 18. Abril/junho, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Uso da terra e a gestão do território no Estado de Roraima**. Relatório Técnico. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, 2009. 46p.

_____. **Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2016**. IBGE - Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, 2016. 11 p.

LANNA, A. E., PEREIRA, J. S., SILVA, L. M. Análise de critérios de outorga de direito de uso da água. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória – ES. **Anais...ABRH**, 1997.

LISBOA, L.; SANTOS, A. L. M. R.; ULIANA, E. M.; OLIVEIRA, B. L. F.; ANDRADE, N. M.; ALVES, L. G. S.; GARCIA, D. O.; SILVA, M. R. Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) e Caracterização Morfométrica da Bacia do rio Branco - RR. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2015. Brasília. **Anais...ABRH**, 2015.

LISBOA, L., CORRÊDO, L. P., MOREIRA, M. C., SILVA, D. D., ULIANA, E. M. Estimativa e regionalização das vazões mínimas anuais e quadrimestrais na bacia do Piracicaba-MG. Enciclopédia BIOSFERA, **Centro Científico Conhecer** – Goiânia, v. 10, n. 18, 2014.

LUIZ, S. F., FERNANDES, W.S. e REIS JÚNIOR, D. S. 2013. Regionalização Hidrológica de Vazões Mínimas por meio dos Métodos OLS e WLS Aplicada à Bacia do Alto São Francisco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n.4, p. 231-241.

MARQUES, F. A. **Sistema de Controle Dinâmico para a Gestão dos Usos Múltiplos da Água**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 234 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARQUES, F., SILVA, D., RAMOS, M., e PRUSKI, F. Sistema multi-usuário para gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 4, outubro/dezembro, 2009.

MOREIRA, M. C., SILVA, D. D. Análise de Métodos para estimativa das vazões da bacia do rio Paraopeba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n.2, abril/junho, 2014.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/sistema-nacional-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>>. Acesso em abril de 2018.

_____. **Caderno setorial de recursos hídricos: indústria e turismo**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília - DF, MMA, 2006. 80p.

NOVAES, L. F., PRUSKI, F. F., QUEIROZ, D. O., RODRIGUEZ, R. G., SILVA, D. D., & RAMOS, M. M. Avaliação do desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 12, n.2, 2007.

OLIVEIRA, L. C., FIOREZE, A. P. Estimativa de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n.1, janeiro, 2011.

OLIVEIRA, L. C., FIOREZE, A. P., MEDEIROS, A. M. M., SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n.11, novembro, 2010.

PRUSKI, F. F., BOF, L. H. N., SILVA, L. M. C., SILVA, J. M. A., REGO, F. S., JUSTINO, F. B. Impact of the substitution of reference annual streamflow by Monthly streamflow on the potential use of water resources. **Eng. Agríc. [online]**. 2014, vol.34, n.3, pp.496-509. ISSN 0100-6916. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000300013>.

RIBEIRO, C. B., MARQUES, F. A., SILVA, D. D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v. 13, n. 2, abril/junho de 2005.

RORAIMA. Política Estadual de Recursos Hídricos. Lei nº 547, de 23 de junho de 2006. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [do Estado de Roraima]**. Boa vista - RR. Poder Executivo, 26 Jun. 2006.

SOUSA, H. T. **Sistema computacional para regionalização de vazões**. Viçosa, MG: UFV, 2009. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, B. M. B., SILVA, D. D., MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté-SP, vol. 10, n. 3, Julho/setembro de 2015. doi: 10.4136/ambi-agua.1587

SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A.F. Flexibilidade Das Vazões Mínimas De Referência Com A Adoção Do Período Trimestral. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 19, nº. 3, mai/jun., 2011, p. 244 – 254.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens (2004). In: Machado, C. J. S. (Org.). Gestão de águas doces. Rio de Janeiro: **Interciência**. Cap. 5, p.135-178.

TUCCI, C. E. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3 ed., Porto Alegre: ABRH, 2004. 943p.

_____. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH, UFRGS. Porto Alegre, 2002. 254p.

VILLAR, P. C. **Governança da água na América Latina**. ANA, Itaipu Binacional – BR, FPTI-BR, 2013. (Curso à Distância oferecido no âmbito do Projeto Água: Conhecimento para Gestão).

WWAP - Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. **Água para um mundo sustentável: Sumário Executivo 2015**. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2015-water-for-a-sustainable-world/>>. Acesso em outubro de 2017.

UN - United Nations. United Nations Millennium Declaration. Resolution adopted by the General Assembly. **8th plenary meeting**. Setembro de 2000.

ZEILHOFER, P.; LIMA, E. B. R.; SANTOS, F. M.; RIGO JÚNIOR, L. O. Um ambiente SIG para modelagem integrada da qualidade da água utilizando Qual2e. **Caminhos de Geografia**, v.8, n.10, p.107-125, 2003.