

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

MATEUS MARTELLI

CURVA DE PERMANÊNCIA DE NASCENTES DA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO ENCANTADO – CERRO LARGO/RS

CERRO LARGO

2023

MATEUS MARTELLI

**CURVA DE PERMANÊNCIA DE NASCENTES DA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO ENCANTADO – CERRO LARGO/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dr. Juliana Marques Schontag

Coorientadora: Prof. Dr. Manuela Gomes Cardoso

CERRO LARGO

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Martelli, Mateus

CURVA DE PERMANÊNCIA DE NASCENTES DA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO ENCANTADO - CERRO LARGO/RS /
Mateus Martelli. -- 2023.

65 f.:il.

Orientadora: Doutora Juliana Marques Schontag

Co-orientadora: Doutora Manuela Gomes Cardoso

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro
Largo,RS, 2023.

1. Curva de permanência. 2. Vazões. 3. Método de
Silveira. 4. Nascentes. 5. Microbacia. I. Schontag,
Juliana Marques, orient. II. Cardoso, Manuela Gomes,
co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul.
IV. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MATEUS MARTELLI

**CURVA DE PERMANÊNCIA DE NASCENTES DA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO ENCANTADO – CERRO LARGO/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 15/02/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Juliana Marques Schöntag – UFFS
Orientadora

Documento assinado digitalmente

gov.br

MICHEL NOBRE MUZA
Data: 24/02/2023 15:54:35-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^o Dr.^o Michel Muza – IFSC
Avaliador



Prof.^o Dr.^o Mario Sérgio Wolski – UFFS
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais e aos meus
irmãos, que sempre me apoiaram e
incentivaram para que eu pudesse concluir
meus estudos.

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial aos meus pais Cláudio e Marilene, e aos meus irmãos Ezequiel e Lucas, que mesmo distantes sempre se fizeram presentes e me auxiliaram para que eu pudesse concluir os meus estudos.

A minha orientadora Prof.^a Dr.^a Juliana Marques Schöntag, por todo comprometimento, ensinamentos e dedicação.

Aos Professores Manuela Gomes Cardoso e Mario Wolski, pelos ensinamentos e contribuições para a realização deste trabalho.

Aos demais docentes do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul *campus* Cerro Largo.

A minha amiga Cátia pelo apoio e a minha colega Janaína, pela parceria durante a realização do trabalho.

Por fim, agradeço a Universidade Federal da Fronteira Sul, por me proporcionar a realização deste sonho, oferecendo um ensino de qualidade.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação” (Simone de Beauvier).

RESUMO

A falta de dados hidrológicos em microbacias hidrográficas dificulta a gestão dos recursos hídricos e limita os múltiplos usos dessas águas pela população. Assim, surge a necessidade da aplicação de métodos que possibilitem a obtenção de informações através de dados e sua quantificação para a tomada de decisões. Em vista disso, Silveira (1997), desenvolveu uma metodologia alternativa aplicada principalmente a pequenas bacias hidrográficas, o que permite a estruturação de uma curva de permanência confiável. Assim, o presente trabalho propôs a aplicação do método criado por Silveira (1997) para a obtenção de dados de vazões históricas e assim possibilitar a construção de curvas de permanência de três nascentes da Microbacia Hidrográfica do Arroio Encantado, no município de Cerro Largo-RS. Para isto, foram realizadas três medições de vazão de cada nascente, para aplicação do método, e, posteriormente, foram construídas as curvas de permanência dessas nascentes. As vazões de 90% e 95% de permanência são muito utilizadas para fins de outorga de direito de uso dos recursos hídricos e neste estudo os valores encontrados nas curvas de permanência para a $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ foram de 0,42 m³/s e 0,25 m³/s, respectivamente para a nascente 1; de 0,00098 m³/s e 0,00048 m³/s, para a nascente 2 e 2,73⁻⁸ m³/s e 3,93⁻¹⁰ m³/s para nascente 3. Ainda, os resultados demonstraram que os valores calculados de K_b foram de: 0,5; 5,80 e 0,87 para as nascentes 1, 2 e 3 de modo respectivo e que o valor do parâmetro C_{inf} foi de 0,5 para a nascente 1 e 0,99 para as nascentes 2 e 3 devido, provavelmente ao tipo de solo em que as nascentes se encontram. Desta forma, este trabalho concluiu que o método de Silveira (1997) é uma metodologia simples e rápida para fornecimento de dados hidrológicos. Além disso, este estudo contribuiu para a geração de dados antes inexistentes na microbacia estudada colaborando para a gestão correta dos corpos hídricos do Arroio Encantado.

Palavras-chave: Curva de permanência; Vazões; Método de Silveira; Nascentes; Microbacia.

ABSTRACT

The lack of the hydrological data in hydrographic micro basins makes the management of water resources difficult and limits its uses by the population. Thus, there is a need to apply methods that make it possible to obtain information through data and its quantification for decision making. In view of this, Silveira (1997), developed an alternative methodology applied mainly to small hydrographic basins, which allows the creating of a reliable permanence curve. Thus, the present study proposed the application of the method developed by Silveira (1997) to obtain historical flows data and thus enable the construction of permanence curves for three springs of the Arroio Encantado Hydrographic Micro basin, in the city of Cerro Largo-RS. For this, three measurements of the flow of each spring were carried out, for the application of the method, and, subsequently, the permanence curves of these springs were constructed. The 90% and 95% permanence flows are widely used for the purpose of granting the right to use water resources. In this study the values found for the $Q_{90\%}$ and $Q_{95\%}$ were 0.42 m³/s and 0.25 m³/s, respectively for the spring 1; 0.00098 m³/s and 0.00048 m³/s, for the spring 2 and 2.73-8 m³/s and 3.93-10 m³/s for the spring 3. Also, the results showed that K_b calculated values were: 0.5; 5.80 and 0.87 for springs 1, 2 and 3 respectively and the value of the C_{inf} parameter was 0.5 for spring 1 and 0.99 for springs 2 and 3. This work concludes that Silveira's (1997) method is a simple and fast methodology for providing hydrological data. In addition, this study contributed to the generation of previously non-existent data in the micro basins, collaborating for the correct management of the water of the Arroio Encantado.

Keywords: Permanence curve; Flow; Silveira method; Water springs; Micro basin.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes de uma bacia hidrográfica.....	19
Figura 2 - Formação das nascentes e ciclo hidrológico.....	21
Figura 3 - Nascente de curso Efêmero.....	22
Figura 4 - Nascente de curso Intermitente.....	22
Figura 5 - Nascente de curso Perene	23
Figura 6 – Método de Flutuadores.....	29
Figura 7 - Localização de Cerro Largo nas Bacias Hidrográficas.....	32
Figura 8 - Microbacias Hidrográficas pertencentes ao município de Cerro Largo	33
Figura 9 - Localização das nascentes na Microbacia Hidrográfica do Arroio Encantado	34
Figura 10 - Características do entorno da nascente 1	34
Figura 11 - Características do entorno da nascente 2	35
Figura 12 - Características do entorno da nascente 3	35
Figura 13 - Poço de retenção de água na nascente 1	36
Figura 14 - Ponto de escoamento da água do poço	37
Figura 15 - Medida do nível inicial da água.....	37
Figura 16 - Medida do nível de água final	38
Figura 17 – Córrego formado pela nascente 2.....	39
Figura 18 – Processo para determinação da área média da seção	40
Figura 19 – Determinação da velocidade de escoamento.....	41
Figura 20 – Determinação da vazão na nascente 3.....	41
Figura 21 – Vazões calculadas e observadas da nascente 1 pelo Método de Silveira, no período de 12 dias.....	54
Figura 22 – Vazões calculadas e observadas da nascente 2 pelo Método de Silveira, no período de 12 dias.....	55
Figura 23 – Vazões calculadas e observadas da nascente 3 pelo Método de Silveira, no período de 12 dias.....	55
Figura 24 – Curva de Permanência da nascente 1	56
Figura 25 – Curva de Permanência da nascente 2	57
Figura 26 – Curva de Permanência da nascente 3	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das nascentes de acordo com a vazão.....	23
Tabela 2 - Vazões de referência para outorga de alguns estados brasileiros.....	25
Tabela 3 - Vazões medidas e quantidade de chuva (mm) no período das medições e sete dias anteriores, na nascente 1	46
Tabela 4 - Vazões medidas e quantidade de chuva (mm) no período das medições e sete dias anteriores, na nascente 2	47
Tabela 5 - Vazões medidas e quantidade de chuva (mm) no período das medições e sete dias anteriores, na nascente 3	48
Tabela 6 - Relação chuva-vazão através do método de Silveira (1997) aplicado para a nascente 1	50
Tabela 7 -Relação chuva-vazão através do método de Silveira (1997) aplicado para a nascente 2	51
Tabela 8 - Relação chuva-vazão através do método de Silveira (1997) aplicado para a nascente 3	52
Tabela 9 - Valores da vazão calculada, observada, do método dos mínimos quadrados e dos parâmetros Cinf e Kb para as nascentes 1, 2 e 3	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – RS
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ	Somatório
Δ	Intervalo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	BACIA HIDROGRÁFICA	18
2.2	MICROBACIA HIDROGRÁFICA	19
2.3	NASCENTES: CONCEITOS E ORIGEM.....	20
2.3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS NASCENTES	21
2.4	NASCENTES NA LEGISLAÇÃO.....	24
2.5	VAZÕES DE REFERÊNCIA	24
2.6	VAZÕES MÍNIMAS	26
2.7	CURVA DE PERMANÊNCIA.....	27
2.8	DETERMINAÇÃO DE VAZÕES.....	28
2.9	MÉTODO DE SILVEIRA	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1	ÁREA DE ESTUDO	32
3.2	DETERMINAÇÃO DA VAZÃO NA NASCENTE 1 (N1).....	36
3.3	DETERMINAÇÃO DA VAZÃO NA NASCENTE 2 (N2).....	39
3.4	DETERMINAÇÃO DA VAZÃO NA NASCENTE 3 (N3).....	41
3.5	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SILVEIRA	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1.	MEDIÇÕES REALIZADAS NAS NASCENTES	46
4.2.	RELAÇÃO CHUVA-VAZÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DE SILVEIRA.....	48
4.3.	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS VAZÕES DAS DIFERENTES NASCENTES.....	54
4.4.	CURVAS DE PERMANÊNCIA DAS NASCENTES	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais disponíveis ao ser humano, a água surge como indispensável para a sobrevivência não só de nossa espécie, mas para a toda forma de vida existente em nosso planeta, sendo empregada em inúmeras atividades, especialmente para dessedentação. Com o passar do tempo, verificou-se uma carência desse recurso, acarretando em conflitos entre os interessados (BRANCO, 2006). Por esta razão, no território brasileiro, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos através da Lei Nº 9.433/1997 estabelecendo que a água é um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico. Além disso, essa lei determina que a gestão dos recursos hídricos deve assegurar os usos múltiplos das águas, de forma descentralizada e participativa (BRASIL, 1997; DE MOURA *et al.*, 2017).

Para uma gestão adequada dos recursos hídricos, faz-se necessária a identificação do comportamento hidrológico e das vazões em uma bacia hidrográfica. Para esse propósito, é fundamental a realização de levantamentos através de séries históricas e dados fluviométricos regionais, além da obtenção de informações referentes ao comportamento das vazões das nascentes dos corpos hídricos. Contudo, muitas vezes as informações hidrológicas necessárias não existem ou não estão disponíveis, geralmente pela falta de estações hidrométricas no local de interesse (PESSOA, 2015; MARTINS, 2014).

No Brasil, a falta de informações hidrológicas ocorre, pois, a rede hidro meteorológica abrange em sua grande maioria as bacias hidrográficas que possuem áreas superiores à 500 km², enquanto que, para as bacias menores que 100 km² há uma ausência quase que total de dados hidrológicos. Em consequência disso, há uma maior probabilidade de ocorrência de erros em relação a quantificação de vazões nas pequenas bacias hidrográficas (TAMIOSSO, 2012).

A ausência de informações hidrológicas nas pequenas bacias compromete e limita o gerenciamento e o planejamento dos recursos hídricos, dificultando estudos voltados para a utilização de pequenos mananciais para a geração de energia elétrica, emprego na agricultura, através de sistemas de irrigação e no abastecimento urbano, onde a vazão dos cursos hídricos dos pequenos mananciais necessita ser conhecida (SILVEIRA, TUCCI & SILVEIRA, 1998).

Em vista disso, há uma crescente necessidade de estudos hidrológicos voltados especialmente para pequenas bacias hidrográficas. Foi com esse propósito que Silveira (1997) desenvolveu um método que possibilita determinar o comportamento hidrológico de pequenas bacias hidrográficas conciliando uma amostragem reduzida de vazões, no mínimo três, em período de estiagem. Como o método representa a condição da bacia em época de estiagem, sua

utilização é oportuna para a determinação de uma curva de permanência, caracterizando a disponibilidade hídrica da bacia e auxiliando na gestão adequada dos recursos hídricos.

A vazão de um corpo hídrico não é constante, e essa variação temporal pode ser observada estabelecendo uma curva de permanência de vazões, que possibilita a aferição da parcela do tempo em que uma vazão qualquer do curso hídrico está disponível para determinado local (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013). A determinação da curva de permanência é de suma importância pois, possibilita identificar a vazão mínima de corpos hídricos em locais de despejo de esgoto. A mesma importância ocorre para a emissão de outorgas de usos de recursos hídricos, onde é fundamental o conhecimento da disponibilidade hídrica da bacia para não gerar divergências entre os interessados, e nem atribuir outorga com volumes acima dos disponíveis no corpo hídrico (SILVEIRA, TUCCI & SILVEIRA, 1998; TSCHIEDEL *et al.*, 2017).

Dessa maneira, esse estudo buscou realizar a determinação da curva de permanência em três nascentes pertencentes a microbacia bacia hidrográfica do Arroio Encantado, localizada no município de Cerro Largo/RS, com a finalidade de fornecer dados referentes as vazões através da construção das suas curvas de permanência.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo determinar as curvas de permanência de vazão de três nascentes pertencentes a microbacia hidrográfica do Arroio Encantado, localizadas no município de Cerro Largo/RS, através do Método de Silveira.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as nascentes na microbacia hidrográfica do Arroio Encantado;
- Realizar a medição e vazões nas nascentes com o intuito de se ter uma amostra reduzida de dados em um curto espaço de tempo, para aplicação no Método de Silveira;
- Realizar uma síntese das vazões diárias através da simulação chuva – vazão, para determinação dos Coeficientes de infiltração (C_{inf}) e Tempo de esvaziamento do Reservatório (K_b), dias;
- Realizar a simulação da série histórica de vazões;

- Construir as curvas de permanência e indicar Q_{90} e Q_{95}

1.3 JUSTIFICATIVA

Com a aprovação da Lei das Águas, no ano de 1997, foi estabelecido os processos de outorga, que requerem uma estimativa de vazões dos corpos hídricos para o uso das águas em todas as atividades, sejam elas urbanas, industriais ou rurais. O mesmo ocorre para os Estados brasileiros, que para o requerimento de outorgas, deve-se conhecer as vazões médias e mínimas. Porém, tem-se uma ausência de dados hidrológicos, principalmente em pequenas bacias hidrográficas, surgindo assim a necessidade da aplicação de métodos que quantifiquem essas vazões. Em vista disso, o método de Silveira proporciona uma metodologia que permite essa quantificação de vazões em pequenas bacias com um reduzido número de dados hidrológicos.

Neste contexto, o presente estudo justifica-se por colaborar com a geração de uma rede de dados hidrológicos que permita uma gestão correta dos corpos hídricos da microbacia do Arroio Encantado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

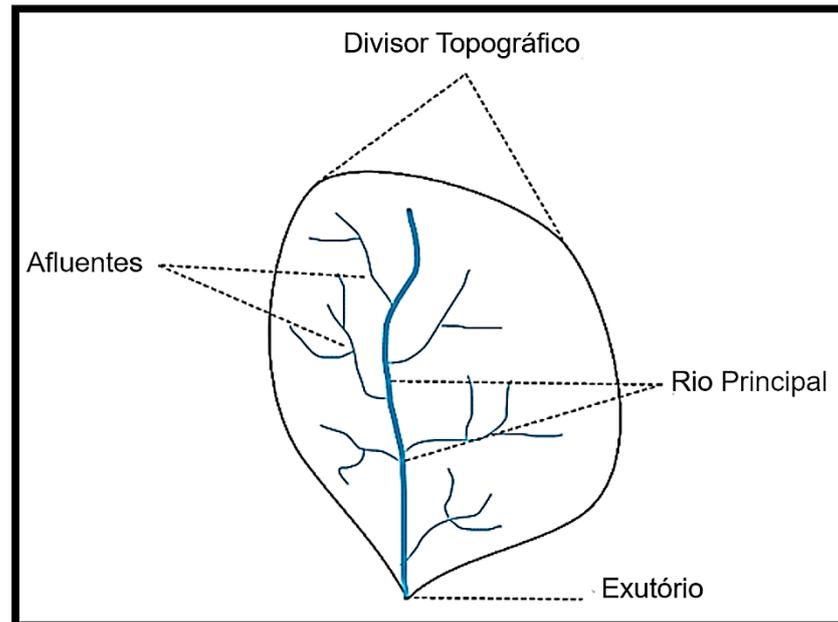
Diversas definições de bacia hidrográfica já foram elaboradas ao longo dos anos. A Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), incrementa princípios e normas visando a gestão dos recursos hídricos e adotando as bacias hidrográficas como unidade de gestão e estudo. Desta forma, faz-se necessário o entendimento do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões (TEODORO, *et al.*,2007).

Segundo a Secretária Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (SEMA/RS, 2022), uma bacia hidrográfica corresponde à toda área em que ocorre a captação da água de origem pluvial que transcorre de forma superficial para um corpo hídrico. Os limites da bacia são estabelecidos através do relevo, e os locais mais elevados, que delimitam a área, são chamados de divisores de águas.

De acordo com Tucci (1997), bacia hidrográfica é uma zona de captação natural da água da chuva que faz afluir o escoamento para um único local de saída. A bacia hidrográfica é constituída por um agrupamento de vertentes e por uma rede de drenagem composta por cursos de água que convergem até resultar em um único leito em seu exutório, conforme apresentado na Figura 1. No momento em que a água cruzar o exutório da bacia, a mesma passa a fazer parte de outra bacia hidrográfica ou do oceano, com isso, os limites entre as bacias hidrográficas dá-se através dos divisores de águas, que são os pontos mais elevados, onde ocorre a divisão da água decorrente de precipitações em diferentes bacias (BERNARDI *et al.*,2012).

Ademais, diferentes conceitos são empregados no âmbito ambiental e do ponto de vista de estudos hidrológicos. No primeiro caso, Dill (2007) considera que “a bacia hidrográfica é a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas, tais como a ocupação das terras com as atividades agrícolas”. Já, no ponto de vista de um estudo hidrológico, uma bacia hidrográfica abrange explicitamente o conjunto de áreas drenadas por um corpo d’água principal e seus afluentes, e é considerada o local mais adequado para a realização de estudos tanto quantitativos quanto qualitativos da água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes (PIRES *et al.*,2002). Moccellini (2006) defende que o ecossistema da microbacia hidrográfica pode ser utilizado para estudar ciclagem de nutrientes, o comportamento hidrológico e outros processos naturais de uma bacia hidrográfica. Sendo então a microbacia a unidade geográfica mais adequada para realizar o planejamento integrado do manejo.

Figura 1 - Componentes de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

2.2 MICROBACIA HIDROGRÁFICA

O termo microbacia é frequentemente empregado nos estudos de bacias hidrográficas. Segundo Araújo (2018), microbacia é toda área de drenagem que vai diretamente para o corpo hídrico principal de uma sub-bacia, sendo essa composta por várias microbacias. Enquanto que para Cecílio & Reis (2006), microbacia pode ser compreendida como uma sub-bacia hidrográfica com área territorial reduzida, variando de 0,1 km² a 200 km².

Diferentemente de uma bacia hidrográfica, uma microbacia é uma unidade menor, e expressa a relação entre os diferentes elementos que a compõem, indicando a ação dos agentes que colaboram para a degradação ambiental. Por ser de pequenas dimensões e com escala cartográfica maior, possibilita análises mais aprofundadas a respeito de seu uso e manejo adequado (AIRES, 2009).

Segundo Ryff (1995), a microbacia é uma área geográfica delimitada por divisores de água onde a drenagem ocorre de forma direta ou indireta para determinado curso hídrico. Ainda, segundo Ryff (1995) as microbacias apresentam algumas vantagens em âmbito social, ambiental e econômico, como a realização de um planejamento adequado e integrado do solo e dos recursos hídricos. Em vista disso, Pieroni *et al.* (2019) menciona que análises qualitativas e quantitativas são de suma importância para o gerenciamento da microbacia, disponibilizando

dados que auxiliam nas decisões sobre os locais prioritários para a preservação e conservação, além da alocação dos recursos hídricos.

2.3 NASCENTES: CONCEITOS E ORIGEM

O termo nascente é frequentemente definido como um afloramento do nível freático na superfície do solo sendo o ponto inicial dos corpos hídricos (PEREIRA *et al.*, 2011). As nascentes também podem ser denominadas como aberturas naturais do solo de onde emergem as águas subterrâneas (MACHADO, 2013). Legalmente, o termo nascente surgiu através do Código Florestal Brasileiro, Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que trata do tema nascentes em seu inciso XVII do seu artigo 3º, que define nascente sendo todo afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água (BRASIL, 2012).

Para o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), através da resolução Nº 303 de 20 de março de 2002, em seu parágrafo II define nascente ou olhos d'água como sendo o local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea (BRASIL, 2002). Outro conceito muito utilizado no meio científico é o de Calheiros *et al* (2004), onde relatam que nascente é considerado todo o afloramento natural do lençol freático que dá origem a um curso de água. Ainda, segundo os mesmos autores, para uma nascente ser considerada ideal, ela deve fornecer água de boa qualidade, de forma contínua e abundante e distribuída de maneira adequada ao longo do tempo.

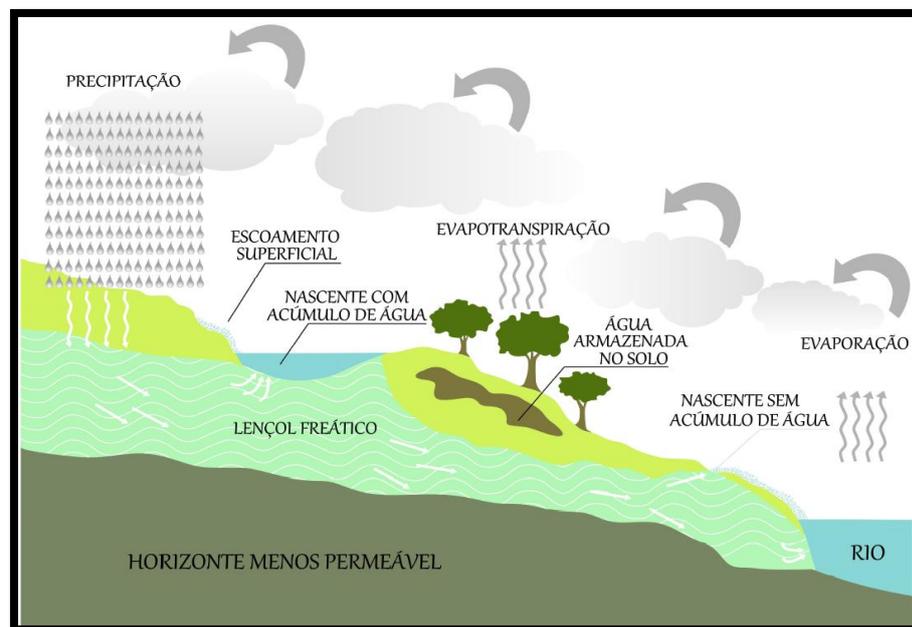
As nascentes são importantes fontes de água para o abastecimento humano, e cumprem importante função ambiental sendo responsáveis pela formação dos corpos hídricos, pois através da exfiltração, realizam a passagem da água subterrânea para a superficial (FELIPPE, 2009; MACHADO, 2013). Pelo fato de as nascentes serem responsáveis pelo surgimento dos corpos hídricos, essas se tornam cruciais na preservação ambiental do local permitindo a sobrevivência dos seres vivos da região (SILVA *et al.*, 2016).

A origem das nascentes está relacionada com o ciclo hidrológico, sobretudo pelo processo de infiltração da água no solo. Ela é o resultado do acúmulo das águas pluviais, onde a água acumulada é transportada no subsolo e assim forma o lençol freático, que consequentemente surge na superfície do solo dando origem as nascentes (MACHADO, 2013). Segundo Pereira *et. al.* (2011), as nascentes estão diretamente relacionadas com a precipitação, evapotranspiração e infiltração, e com isso o local do afloramento pode alterar de acordo a

variação da superfície freática, conforme apresentado na Figura 2. Isso pressupõe que as nascentes podem sofrer movimentações durante o ano hidrológico e sua vazão pode passar por variações devido os parâmetros supracitados.

Segundo Machado (2013), um solo com uma boa cobertura vegetal favorece a infiltração das águas originadas das chuvas, aumentando o estímulo das nascentes. O autor ainda complementa que a caracterização das nascentes está relacionada ao regime de chuvas e a formação do terreno.

Figura 2 - Formação das nascentes e ciclo hidrológico



Fonte: Machado (2013).

2.3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS NASCENTES

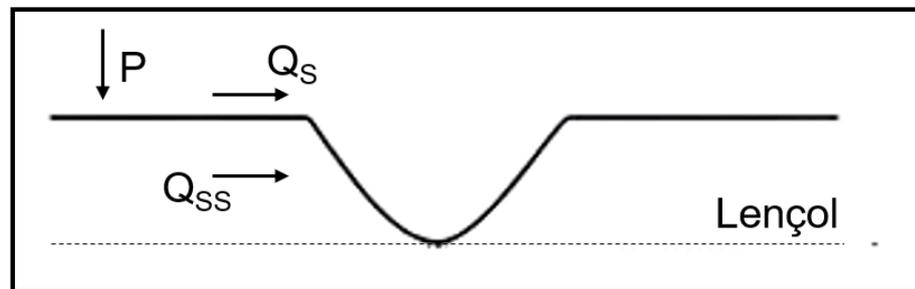
De acordo com Galatto *et al.* (2011), as nascentes podem ser classificadas quanto a sua formação, podendo ser com acúmulo ou sem acúmulo. O primeiro caso ocorre quando a camada impermeável se coloca paralela à parte de menor cota do terreno, e por estar perto da superfície, acaba formando um lago, lagoa, brejo ou banhado. Já, em uma nascente sem acúmulo a descarga do aquífero fica confinada em uma área pequena, sendo comum quando o afloramento ocorre em um terreno declivoso.

As nascentes ainda podem ser classificadas quanto a sua formação: de contato ou de depressão (FEITOSA, 2017). A primeira se origina em regiões mais montanhosas, em áreas com declive e são conhecidas como nascentes de encostas. As nascentes de depressão se

originam em áreas de baixio, também conhecidos como brejos, e são definidas por apresentarem vários vazamentos superficiais de forma distribuída, formando um acúmulo de água na superfície sendo nomeada de nascente difusa. Em ambas as nascentes, o lençol freático é o responsável pelo abastecimento.

Soliman (2013) classifica as nascentes em relação aos fluxos de água, em três: efêmeros, intermitentes e perenes. O primeiro ocorre quando o nível do lençol freático está abaixo do leito do rio, cenário que decorre por um determinado período, geralmente por algumas horas após um episódio de precipitação. A Figura 3 representa o curso de uma nascente de fluxo efêmero:

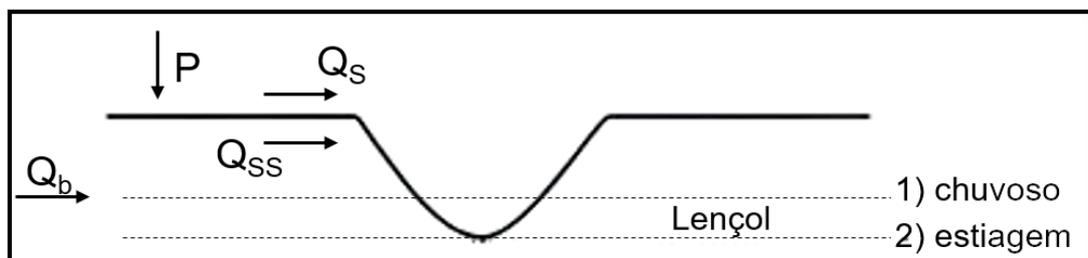
Figura 3 - Nascente de curso Efêmero



P = precipitação; Q_s = vazão de saída; Q_{ss} = descarga de sedimentos suspensos.
Fonte: Marwell (2015).

A nascente de curso intermitente (Figura 4) ocorre quando a linha freática está acima do leito do rio em períodos de cheias e abaixo do leito do rio em períodos de estiagem. Desta forma, em meses chuvosos ocorre o escoamento devido a contribuição do escoamento superficial das águas subterrâneas, e em épocas de seca, o curso do rio apresenta vazões inferiores quando comparado a época de cheias.

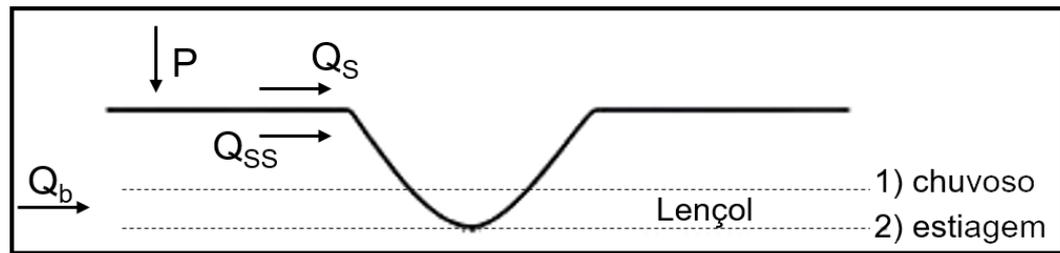
Figura 4 - Nascente de curso Intermitente



P = precipitação; Q_s = vazão de saída; Q_{ss} = descarga de sedimentos suspensos; Q_b = escoamento de base.
Fonte: Marwell (2015).

A nascente de curso perene (Figura 5) se manifesta durante todo o ano, mesmo em longos períodos de estiagem o nível freático nunca fica abaixo do leito do rio.

Figura 5 - Nascente de curso Perene



P = precipitação; Q_s = vazão de saída; Q_{ss} = descarga de sedimentos suspensos; Q_b = escoamento de base.
Fonte: Marwell (2015).

As vazões geradas pelas nascentes variam de quantidade, podendo ser desde litros por minutos até milhares de litros por minuto, dependendo do tamanho e da capacidade dos lençóis freáticos responsáveis pelo abastecimento das nascentes (VALENTE & GOMES, 2005). Em vista disso, Meinzer (1927) sugeriu que as nascentes fossem classificadas conforme sua vazão média anual de descarga, classificando-as em magnitudes que variam de primeira a oitava ordem, conforme apresentado na Tabela 1. Segundo Valente & Gomes (2005), em épocas de estiagem é perceptível o decaimento das vazões dos corpos hídricos. Assim, a diminuição da água pluvial que infiltra no solo, acarreta em nascentes de pequena ou nenhuma vazão de estiagem.

Faria (1997) apresenta outra forma de classificar as nascentes de acordo com a seu local de origem, podendo ser fixas quando não mudam de local, e móveis, as que se movimentam de montante a jusante. Ainda, segundo Faria (1997) podem existir as nascentes pontuais, onde a água emerge em um único ponto, e as nascentes difusas, que surgem quando o solo do local fica saturado, liberando assim a água ao longo de todo o canal.

Tabela 1 – Classificação das nascentes de acordo com a vazão

MAGNITUDE	VAZÃO
1 ^a	>2.800 L/s
2 ^a	280 – 2.800 L/s
3 ^a	28 – 280 L/s
4 ^a	6,3 – 28 L/s
5 ^a	0,63 – 6,3 L/s
6 ^a	63 – 630 mL/s
7 ^a	8 – 63 mL/s
8 ^a	<8 mL/s

Fonte: Adaptado de Felipe (2009).

2.4 NASCENTES NA LEGISLAÇÃO

As nascentes possuem funções ambientais de suma importância para a preservação do sistema e garantia do equilíbrio ambiental. Por esse motivo, estão estabelecidas e protegidas pelo Código Florestal Brasileiro como sendo uma Área de Preservação Permanente (APP), estabelecida pela Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012). No Artigo 3º, Inciso II da referida lei, APP é definida como “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

Ainda de acordo com o Código Florestal Brasileiro, em áreas no entorno de nascentes e que sejam de curso perene, independentemente da condição topográfica, deve-se respeitar uma faixa de 50 metros (BRASIL, 2012). Visando a proteção das nascentes em áreas rurais inseridas em APP, a Lei Federal Nº 12.651/2012, em seu Artigo 61, parágrafo 5º, determina que:

“Nos casos de áreas rurais consolidadas em Áreas de Preservação Permanente no entorno de nascentes e olhos d’água perenes, será admitida a manutenção de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, sendo obrigatória a recomposição do raio mínimo de 15 (quinze) metros”.

Quanto as legislações estaduais voltadas para a preservação de nascentes, o Rio Grande do Sul conta com a Lei Estadual Nº 10.350 de 30 de dezembro de 1994, conhecida como Política Estadual de Recursos Hídricos, que tem como objetivo a gestão dos recursos hídricos no estado (RIO GRANDE DO SUL, 1994). No que tange as nascentes na legislação do estado do Rio Grande do Sul, a Lei Estadual Nº 15.434/2020, em seu Artigo 126º determina que “É proibida a disposição direta de poluentes e resíduos de qualquer natureza em condições de contato direto com corpos d’água naturais, superficiais ou subterrâneas, em regiões de nascentes ou em poços e perfurações ativas ou abandonadas, mesmo secas” (RIO GRANDE DO SUL, 2020). Além disso, a mesma lei, porém em seu Artigo 2º, Inciso XLI, denomina nascentes como “afioramento natural do lençol freático em condições de perenidade ou intermitência, e que dá início a um curso de água”.

2.5 VAZÕES DE REFERÊNCIA

Com a instituição da Lei Nº 9.433 de 1997, conhecida como Lei das Águas, é estabelecida a Política Nacional de Recursos Hídricos, onde o Brasil passou a contar com uma

das mais modernas leis de gerenciamento de recursos hídricos do mundo. Na referida Lei, alguns instrumentos de gestão e planejamento foram implementados, onde se destaca a outorga dos direitos de uso da água, que permite ao órgão gestor garantir o controle tanto quantitativo quanto qualitativo dos recursos hídricos (RIBEIRO *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2015).

Contudo, para que a execução do instrumento da outorga seja aplicada e executada de forma coerente, o conhecimento do desempenho hidrológico das bacias hidrográficas, mais precisamente na determinação das vazões de referência, é extremamente necessário para a tomada de decisão adequada (SILVA *et al.*, 2015). De acordo com Silva *et al.* (2006), a vazão de referência é a determinação de um valor de vazão que passa a representar o limite superior de utilização da água em um determinado curso de água. No Brasil, são empregados diferentes padrões para estabelecer a vazão de referência, onde deve ser levado em consideração as características de cada bacia hidrográfica (CRUZ *et al.*, 2021).

Os estados brasileiros tem optado por três tipos principais de vazões de referência, onde a escolha do método que será aplicado é concedida ao órgão ambiental de cada estado. Sendo as vazões mínimas como $Q_{7,10}$, quando os usos exigirem maiores garantias, ou seja, vazões menores. Já, as vazões mínimas aplicadas como referência são vazões de elevada permanência no tempo $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ (CRUZ *et al.*, 2021; ANA, 2011). Uma vez determinada a vazão de referência estipula-se um percentual máximo a ser aplicado para a divisão entre os diferentes usos da água nessa bacia (ANA, 2011). Nesse sentido, na Tabela 2 estão representadas as vazões de referência estabelecidos por alguns estados brasileiros.

Tabela 2 - Vazões de referência para outorga de alguns estados brasileiros

ESTADO	VR	VMO	VME
AL	Q_{90}	90% Q_{90}	10% Q_{90}
BA	Q_{90}	80% Q_{90}	20% Q_{90}
CE	Q_{90}	90% Q_{90}	10% Q_{90}
RS	Q_{90}	75% Q_{90}	25% Q_{90}
SE	Q_{90}	30% Q_{90}	70% Q_{90}

VR = Valor de Referência; VMO= Vazão Máxima Outorgável; VME = Vazão mínima ecológica; AL= Alagoas; BA = Bahia; CE = Ceará, RS = Rio Grande do Sul, SE = Sergipe. Fonte: Adaptado de Horn (2016).

2.6 VAZÕES MÍNIMAS

As vazões mínimas decorrem em períodos de seca pela depleção de reservas do subsolo que emergem nas fontes e nos talwegues dos cursos hídricos. Caso não ocorram eventos de precipitação para a recarga dos aquíferos, a tendência é que as vazões de estiagem diminuam de forma contínua e acelerada pelas perdas por infiltração e evapotranspiração no leito do rio (SILVEIRA & SILVEIRA, 2001) podendo assim, secar em período de estiagem, dependendo do tipo de nascente.

É de grande importância quantificar as vazões mínimas pois elas representam a quantidade de água disponível em épocas de estiagem. As vazões mínimas são de grande relevância para avaliações sobre o uso de pequenas fontes hídricas, como sistemas de irrigação e abastecimento público, além da avaliação da qualidade e quantidade da água para dar suporte em processos de outorga (TAMIOSSO, 2012).

Silveira & Silveira (2001) enfatizam que, embora a natureza das vazões mínimas seja conhecida, o seu estudo é dificultoso. Isto ocorre pela dificuldade dos processos hidrológicos da bacia hidrográfica onde a caracterização é precária na ligação entre aquífero e rios, dificultando o conhecimento das vazões mínimas. Por conta disso, o estudo das vazões mínimas normalmente ocorre com base unicamente em medidas fluviométricas, podendo ser analisadas com três enfoques: estatísticos, hidrológicos e ecológicos.

O enfoque estatístico é muito utilizado para estudos hidrológicos na determinação das vazões mínimas. Essas, são tidas como variáveis aleatórias aonde métodos estatísticos são aplicados para calcular a probabilidade de ocorrência. A vazão mínima estatística é determinada pelo seu valor, duração e período de retorno. Onde o valor corresponde à média da vazão de estiagem na duração considerada, e o tempo de retorno é dado pela distribuição estatística que melhor se ajusta a esta variável. Em uma vazão de estiagem, o período de retorno, definido pelo seu valor e sua duração, corresponde ao tempo médio em que ela pode ser inferiorizada ou igualada. Em estudos de disponibilidade, a vazão mínima estatística empregada é a $Q_{7,10}$, que retrata a vazão mínima de sete dias com dez anos de retorno.

Para o enfoque hidrológico, a vazão mínima da curva de permanência geralmente é composta por dados de vazões médias diárias, semanais, mensais ou de qualquer outra duração de uma bacia hidrográfica. A curva de permanência representa a porcentagem de tempo que uma vazão é igualada em um período histórico estabelecido, onde as vazões de 90% ou 95% de permanência são as mais empregadas como índice de vazão mínima.

No enfoque ecológico, a vazão mínima também conhecida como vazão de preservação ambiental, corresponde as vazões mínimas necessárias para garantir a sobrevivência dos ecossistemas. A sua definição depende de estudos referente aos dados fluviométricos em conjunto com a evolução do ecossistema do local que dependem do corpo hídrico. Habitualmente, a vazão mínima ecológica é determinada em função da $Q_{7,10}$ ou vazões de maior permanência, como a Q_{90} ou Q_{95} , sem ter relação com o ecossistema local. A vazão mínima ecológica é empregada como vazão de referência para a concessão de outorgas, onde a vazão máxima outorgável é determinada em função da vazão mínima ecológica (TAMIOSSO 2012; VESTENA *et al.*, 2012). No estado do Rio Grande do Sul, a vazão mínima ecológica é estabelecida no Decreto Estadual Nº 37.033 de 21 de novembro de 1996, no artigo 5º: “Ressalvada a competência da União, a FEPAM definirá as quantidades de água necessárias para a manutenção da vida nos ecossistemas aquáticos, para cada Bacia Hidrográfica”, sendo a vazão mínima ecológica 25% da $Q_{90\%}$.

2.7 CURVA DE PERMANÊNCIA

Segundo Tucci (2012), a curva de permanência expõe a relação entre a vazão e a frequência com que uma determinada vazão é igualada ou superada, podendo ser gerada a partir de vazões médias diárias, mensais e até anuais. No entanto, os dados mais adequados para análise são os das vazões diárias, sendo que os mensais ou anuais podem ser superestimados.

A curva de permanência de vazões é um instrumento hidrológico que possibilita ponderar a parcela do tempo em que é viável, a fio d’água, ou seja, sem a presença de reservatórios, realizar o abastecimento urbano ou agropecuário. Além disso, estabelece a rentabilidade econômica de redes hidrelétricas e as potências ótimas para o seu dimensionamento (COSTA *et al.*, 2012).

As curvas de permanência resumem o regime hidrológico de uma bacia hidrográfica, pois sua forma e declividade demonstram a mudança das vazões que são definidas pelas características físicas, climáticas, morfológicas e de cobertura vegetal da bacia em pauta (PIOL, 2017).

Segundo Silva & Manzione (2020), conhecer as vazões de permanência de um curso d’água é de grande importância para o adequado planejamento e gestão de recursos hídricos. Isso fica mais compreensível ao tratarmos de empreendimentos hidrelétricos, onde utiliza-se a vazão com 90% de frequência acumulada (Q_{90}) para fazer a análise da usina que será implantada

no local. Para o abastecimento público, a vazão de frequência acumulada utilizada é a de 95% (Q_{95}) para realizar o planejamento.

2.8 DETERMINAÇÃO DE VAZÕES

A determinação da vazão de uma nascente é de grande importância para caracterizar seu regime hidrológico. Esse, é influenciado pela precipitação, localização geográfica e ação antrópica sobre a vegetação da região (SIMEDO, MARTINS & LOPES, 2015).

Existem vários procedimentos e equipamentos que auxiliam na determinação da vazão. Alguns são indicados para cursos d'água de menor vazão e outros para corpos hídricos com vazões mais elevadas. A escolha pelo método de medição está atrelada à disponibilidade dos equipamentos e do tempo para a coleta dos dados. (BONIFÁCIO & FREIRE 2013). Dentre esses métodos, destacam-se o volumétrico, método através de vertedores, método de flutuadores e molinetes fluviométricos.

O método volumétrico consiste na determinação da vazão através do tempo necessário para encher um recipiente de volume conhecido. Esse procedimento é considerado o mais preciso de todos desde que o volume do recipiente seja conhecido com exatidão (SANTOS *et al*, 2001). A vazão é determinada através da seguinte equação:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Em que:

Q = Vazão;

V = Volume;

t = Tempo.

Esse processo é recomendado para corpos hídricos com vazões mais baixas, como fontes, riachos e tubulações com diâmetros menores (AZEVEDO NETTO *et al*, 1998). Ainda, segundo Azevedo Netto *et al*. (1998) quanto maior o tempo utilizado para determinar a vazão, maior será a precisão dos dados.

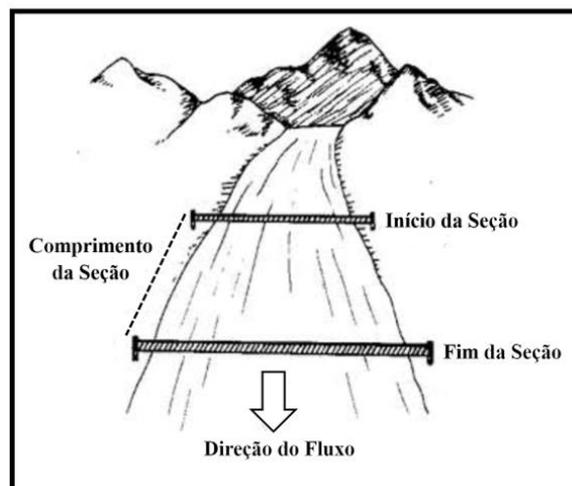
O método de vertedores também pode ser utilizado para determinar a vazão em bacias hidrográficas. Esses dispositivos são utilizados para medir a vazão em que o escoamento ocorre através de um canal, e geralmente são aplicados em pequenos corpos hídricos. Existem duas formas de vertedores: simples (retangulares, triangulares e trapezoidais) e os compostos (seção

combinada), sendo os vertedores simples retangulares os mais usuais (AZEVEDO NETTO *et al*, 1998; SILVA *et al*, 2016).

Segundo Azevedo Netto (1998), algumas precauções devem ser tomadas ao se utilizar vertedores para medir a vazão: (a) empregar vertedores de tipos já experimentados, (b) a lâmina deve ser livre, (c) a soleira deve ser bem talhada e ficar na posição horizontal, (d) a água, em sua totalidade, deve passar sobre o vertedor e (e) a carga h , deve ser medida a montante, a uma distância compreendida entre cerca de 5 h e 10 h, e nunca menor que 2,5 h.

A vazão ainda pode ser determinada através da velocidade da água no corpo hídrico utilizando o método de flutuadores (Figura 6). Esse, consiste em determinar a velocidade em que um objeto flutuante se desloca em um trecho pré-determinado de um corpo hídrico (SILVA, 2001).

Figura 6 – Método de Flutuadores



Fonte: Adaptado de Palhares *et al* (2007).

Para aplicação do método, devem ser estendidas duas cordas de lado a lado, com uma medida pré-definida, em um trecho retilíneo do curso da água. O curso da água deve ser dividido transversalmente em várias seções e posteriormente o flutuador é solto, medindo o tempo gasto para percorrer o percurso. Se durante o percurso o flutuador sair de rota, deve ser descartada a medida e realizada novamente (AZEVEDO NETTO *et al*, 1998). A fórmula utilizada para determinar a vazão pelo método flutuador é demonstrada na equação abaixo:

$$Q = \frac{A * L * C}{t}$$

Em que:

Q = Vazão do corpo hídrico (m^3/s);

A = Área média da seção (m^2);

L = Comprimento da área medida (m);

C = Coeficiente de correção (adm);

t = Tempo (s).

O parâmetro coeficiente de correção (C) se refere ao ajuste da velocidade medida na parte superior da lâmina d'água, de forma que ela represente todo o escoamento. Este coeficiente pode variar de 0,8, para rios com fundo pedregoso a 0,9 para rios com fundo barrento (TSCHIEDEL *et al*, 2017).

Os molinetes fluviométricos também são capazes de determinar a velocidade de um corpo hídrico. Esses, são aparelhos formados por hélices, palhetas ou conchas móveis que quando impulsionadas pelo líquido fornecem o número de rotações - sendo proporcional a velocidade da corrente. Os molinetes, tanto de eixo horizontal quanto de eixo vertical, se baseiam na proporcionalidade que se observa entre a velocidade de rotação do aparelho e da corrente de água (AZEVEDO NETTO *et al*, 1998).

2.9 MÉTODO DE SILVEIRA

O método apresentado por Silveira (1997) analisa a disponibilidade hídrica fluvial de pequenas bacias hidrográficas onde existem disponíveis poucos dados fluviométricos. Esta metodologia baseia-se na estimativa do comportamento da bacia em épocas de estiagem, onde a depleção de estiagem é considerada uma representação do seu comportamento após episódios de precipitações (SILVEIRA, TUCCI & SILVEIRA, 1998).

A depleção fluvial de uma bacia espelha o seu comportamento após períodos de chuva. Em pequenas bacias a depleção ocorre de forma mais rápida se comparada a bacias maiores após períodos de precipitação, isso pelo fato de ter um baixo tempo de concentração e como resultado um menor armazenamento de cheia na bacia (SILVEIRA, 1997; TAMIOSSO, 2012). Em razão disso, a partir de algumas medidas de vazão nos locais de interesse em períodos de estiagem, busca-se caracterizar uma série histórica de vazões através da simulação da precipitação em vazão (SILVEIRA, 1997).

Segundo Silveira (1997), a metodologia consiste em duas etapas: a primeira é denominada de amostragem de vazões e caracteriza-se pela realização de um levantamento de uma amostra reduzida de vazões em períodos de estiagem e em um curto espaço de tempo,

geralmente variando de uma a duas semanas. A segunda etapa é chamada de simulação de série de vazões e ocorre em duas fases. Primeiramente é realizado o ajuste de um modelo simplificado do balanço hídrico utilizando as amostras das vazões conhecidas. Na sequência realiza-se a síntese de vazões diárias através da simulação chuva-vazão. Após as duas etapas, pode-se determinar a curva de permanência.

Segundo Silveira (1997) a amostragem reduzida de vazões tem por objetivo dar uma vinculação local às estimativas, auxiliando nos procedimentos de simulação pois fornece os dados hidrológicos necessários apresentando como vantagem um procedimento de fácil aplicação. Enquanto que a simulação de série de vazões tem por objetivo resumir as vazões diárias para o local de interesse.

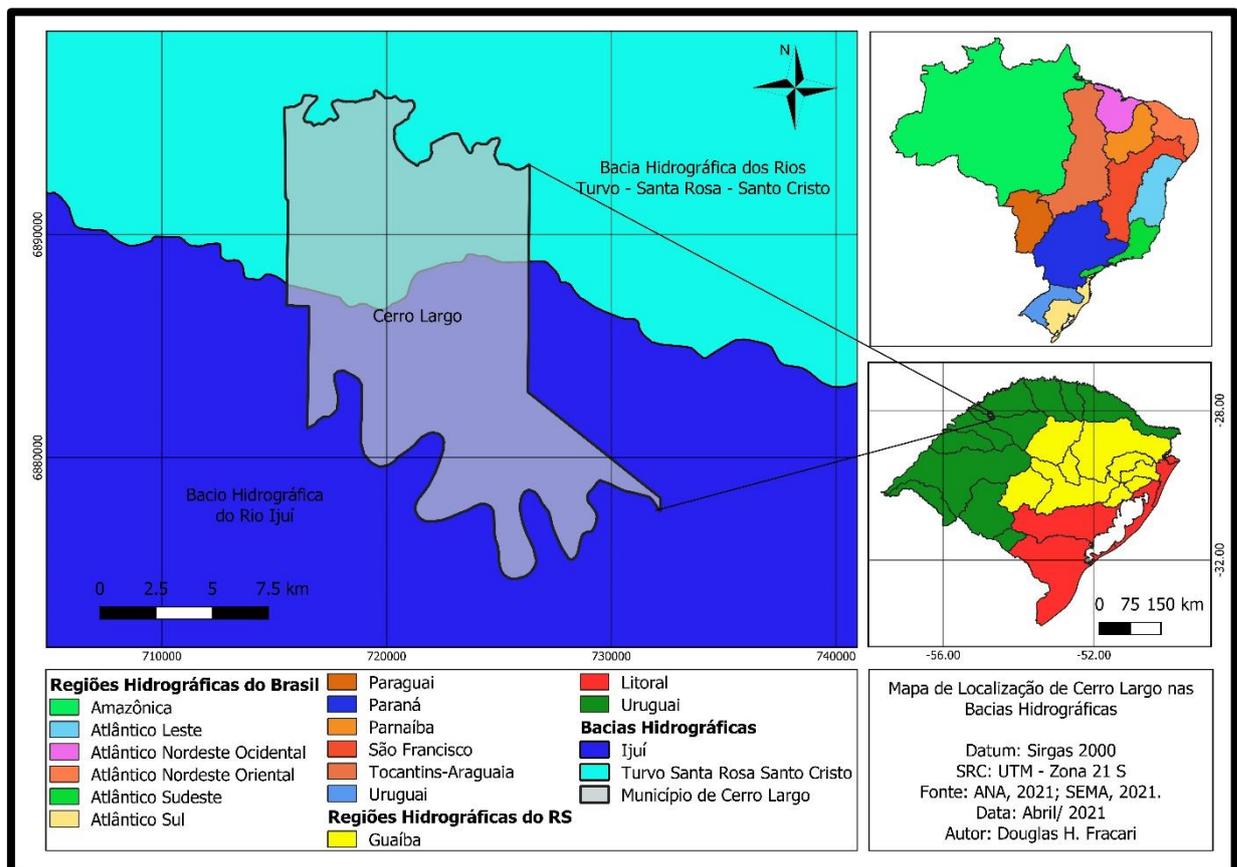
Segundo Tamiosso (2012), a aplicação dessa metodologia é pertinente para a geração de uma curva de permanência confiável; criação de uma série cronológica de vazões; e por fim para proporcionar subsídios referente as vazões que permitam a gestão dos recursos hídricos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Cerro Largo, região Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. O município possui uma área territorial de 176.643 km² e uma população estimada de 14.243 habitantes (IBGE,2021). Cerro Largo está inserido em duas bacias hidrográficas (Figura 7), onde 58% do território pertence a Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí e 42% está na Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo – Santa Rosa – Santo Cristo (SEMA, 2022).

Figura 7 - Localização de Cerro Largo nas Bacias Hidrográficas

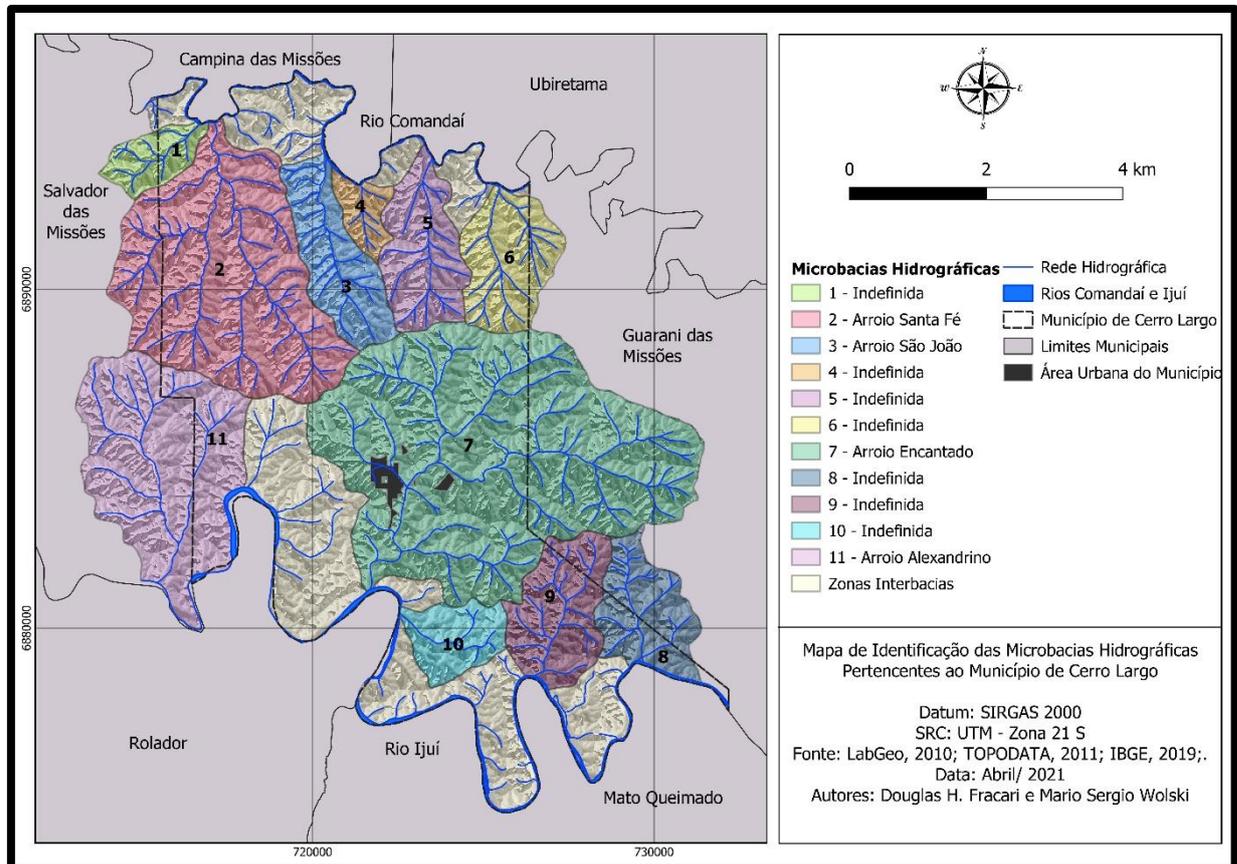


Fonte: Fracari (2021).

As três nascentes em estudo pertencem a microbacia hidrográfica do Arroio Encantado, a qual pode ser observada na Figura 8, e que está inserida na Bacia hidrográfica do Rio Ijuí e possui uma área total de 7,2 km². Para a realização desse estudo, foram realizadas as

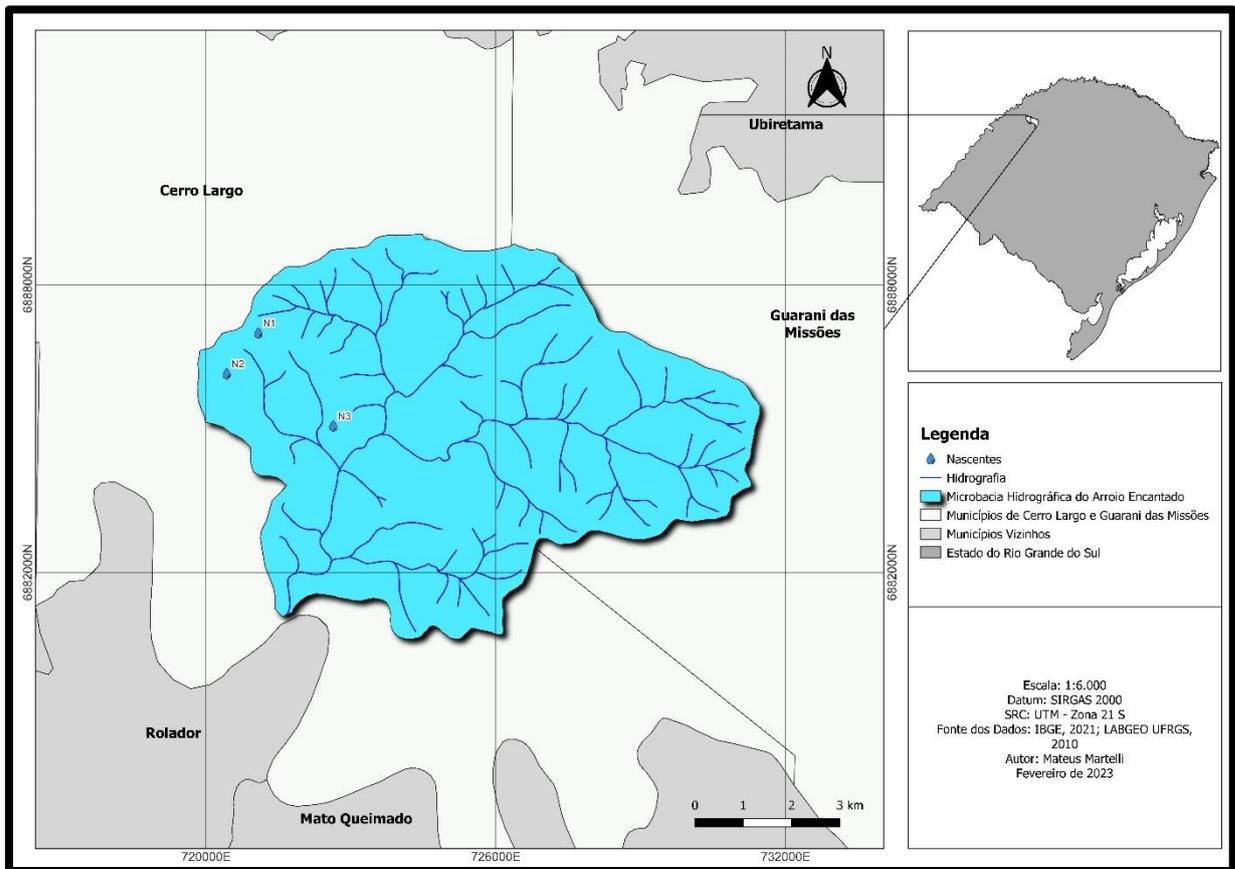
determinações das vazões de três nascentes, cuja localização está inserida na Figura 9 e as características do entorno de cada uma pode ser observada nas Figuras 10, 11 e 12.

Figura 8 - Microbacias Hidrográficas pertencentes ao município de Cerro Largo



Fonte: Fracari e Wolski (2021)

Figura 9 - Localização das nascentes na Microbacia Hidrográfica do Arroio Encantado



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 10 - Características do entorno da nascente 1



Fonte: Google Earth (2023).

Figura 11 - Características do entorno da nascente 2



Fonte: Google Earth (2023).

Figura 12 - Características do entorno da nascente 3



Fonte: Google Earth (2023).

Para determinação dos métodos empregados para medir as vazões a campo, avaliou-se as características de cada nascente além da disponibilidade de equipamentos e das exigências de cada método.

As medições das vazões a campo, foram realizadas com um espaço de tempo de dois dias, em um intervalo de sete dias sem a ocorrência de precipitações para que apenas a contribuição de águas subterrâneas tivesse a influência sobre a nascente. O período total de amostragem, de sete dias mais os dias em que as amostras foram coletadas, não ultrapassaram

os 15 mm de chuva acumulada, o que é exigido pelo método. Para realizar o controle de chuvas durante o período de amostragem, foram utilizados dados da estação meteorológica 83907 que pertence ao INMET e está instalada no município de São Luiz Gonzaga, no estado do Rio Grande do Sul.

3.2 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO NA NASCENTE 1 (N1)

A determinação da vazão na nascente 1 foi realizada por meio da diferença de nível de água em determinado tempo. Este procedimento foi necessário, pois no local há a presença de um poço que retém a água da nascente, como demonstrado na Figura 13.

Figura 13 - Poço de retenção de água na nascente 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A técnica empregada consistiu na medida do diâmetro do poço na altura do nível de água para determinação de sua área. Para isto, foi utilizada a seguinte equação:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Em que:

A = Área do poço (m²);

D = Diâmetro do poço no nível da água (m).

Foi observado que a altura da lâmina de água possuía um nível máximo no poço, com isso deixou-se água escoar por um determinado tempo (20 minutos) para que se pudesse observar a variação do nível de água, conforme demonstrada na Figura 14. O escoamento era realizado retirando uma boia que servia para controlar o escoamento da água em um cocho

utilizado para dessedentação animal. Passado esse tempo de escoamento, foi realizada a medição do nível de água inicial no poço, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 14 - Ponto de escoamento da água do poço



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 15 - Medida do nível inicial da água



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O nível de água inicial do poço foi determinado através da equação:

$$V_i = A * N_{ai}$$

Em que:

V_i = Volume inicial (m³);

A = Área do poço (m^2);

N_{ai} = Nível de água inicial (m).

Posteriormente, esperou-se dez minutos e foi realizada mais uma medida para a obtenção do nível da lâmina de água final, conforme representado na Figura 16:

Figura 16 - Medida do nível de água final



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Com a medida observada na figura 16 foi possível determinar o volume final, sendo esse expresso pela equação:

$$V_f = A * N_{af}$$

Em que:

V_f = Volume final (m^3);

A = Área do poço (m^2);

N_{af} = Nível de água final (m).

Com o volume inicial e final de água já calculados, foi possível determinar a vazão da nascente utilizando a seguinte equação:

$$Q_n = \frac{V_f - V_i}{t}$$

Em que:

Q_n = Vazão da nascente (m^3/min);

V_f = Volume final (m^3);

V_i = Volume inicial (m^3);

t = Tempo de espera (10 minutos).

3.3 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO NA NASCENTE 2 (N2)

A determinação da vazão na nascente 2 (N2) foi realizada através do método flutuador, visto que após a água emergir, formou-se um córrego (Figura 17), sendo, portanto, o método de flutuadores o mais indicado para a determinação da vazão.

Figura 17 – Córrego formado pela nascente 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

De acordo com a Embrapa (2007), o método flutuador possibilita determinar a vazão de um corpo hídrico através da área da secção transversal do local em estudo e da velocidade de escoamento, conforme a equação a seguir:

$$Q = \frac{(A * L * C)}{t}$$

Em que:

Q = Vazão do corpo hídrico (m³/s);

A = Área média da seção (m²);

L = Comprimento da área medida (m);

C = Coeficiente de correção (adm);

t = Tempo (s).

Para determinar a área média do corpo hídrico, mediu-se a distância entre as margens do curso hídrico no ponto inicial e no ponto final, ao longo de 1 metro, além de medir a altura

da lâmina d'água em 3 pontos distribuídos simetricamente na seção. Esse procedimento pode ser observado na Figura 18.

Após, foi realizada a multiplicação da média da largura pela média da altura da lâmina d'água para obtenção da média da área da seção. Quanto ao coeficiente de correção, foi utilizado o valor de 0,8 pelo fato do fundo do curso hídrico ser pedregoso. Quanto ao tempo, relativo à velocidade de escoamento, foi determinado através da média de 5 tomadas de tempo de deslocamento de uma tampa de garrafa *pet* (Figura 19), saindo de montante até a jusante da seção.

Figura 18 – Processo para determinação da área média da seção



a) Determinação da distância do ponto inicial até o ponto final; b) Medida da largura de uma margem a outra do corpo hídrico; c) Medida da altura da lâmina d'água em vários intervalos. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 19 – Determinação da velocidade de escoamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.4 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO NA NASCENTE 3 (N3)

A medida da vazão da nascente 3 (N3) foi realizada com o auxílio de um saco plástico e de uma proveta, visto que a nascente forma um curso de água que perpassa uma via da cidade através de um bueiro de concreto. Para determinar a vazão, foi inserido o saco plástico na saída do bueiro e determinado um tempo de 5 segundos até a sua retirada. Posteriormente, o volume de água contida no saco foi transpassada para a proveta, conforme pode ser observado na Figura 20. Foram realizadas 5 tomadas de tempo de 5 segundos e realizada uma média entre elas para a determinação da vazão da nascente.

Figura 20 – Determinação da vazão na nascente 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SILVEIRA

Com o intuito de determinar a curva de permanência das nascentes em estudo, foi empregado o Método de Silveira. O modelo buscou seguir a ideia de dispor do menor número de parâmetros que possibilite estabelecer a série de vazões médias diárias em uma pequena bacia hidrográfica e que a geração de séries de vazões tenha um fácil ajuste e execução.

O método considera que a precipitação diária (P_d) é subtraída da evapotranspiração potencial (E_d). Quando (P_d) < (E_d) não resulta em precipitação para gerar escoamento. No caso em que (P_d) > (E_d), uma parte da precipitação irá gerar escoamento superficial e outra infiltrará. Neste caso tem-se a seguinte equação:

$$P_{td} = P_d - E_d$$

Em que:

P_{td} = Precipitação total diária (mm);

P_d = Precipitação diária (mm);

E_d = Evapotranspiração diária (mm).

A precipitação efetiva foi expressa pela equação:

$$P_{ed} = (1 - C_{inf}) * P_{td}$$

Em que:

P_{ed} = Precipitação efetiva (mm);

C_{inf} = Coeficiente de infiltração (mm);

P_{td} = Precipitação total diária (mm).

E o volume de infiltração foi determinado por:

$$V_i = C_{inf} * P_{td}$$

Em que:

V_i = Volume de infiltração no solo (mm);

C_{inf} = Coeficiente de infiltração (mm);

P_{td} = Precipitação total diária (mm).

A vazão de contribuição de base para o dia foi expressa pela seguinte equação:

$$Q_{b(t)} = \left(Q_{b(t-1)} * e^{\frac{-\Delta t}{K_b}} \right) + (V_{i(t)} * (1 - e^{\frac{-\Delta t}{K_b}}))$$

Em que:

$Q_{b(t)}$ = Vazão de contribuição de base para o dia (mm);

Δt = Intervalo de 1 dia;

K_b = Tempo de esvaziamento do reservatório (dias);

$V_{i(t)}$ = Volume de infiltração no solo (mm);

A vazão de contribuição superficial para o dia foi igual a precipitação efetiva, então:

$$Q_{s(t)} = P_{ed}$$

Em que:

$Q_{s(t)}$ = Vazão de contribuição superficial para o dia (mm);

P_{ed} = Precipitação efetiva (mm).

A vazão total da nascente para o dia foi dada através da equação:

$$Q_{total(t)} = (Q_{b(t)} + Q_{s(t)}) * A_d * 86,4$$

Em que:

$Q_{total(t)}$ = Vazão total da nascente para o dia (m³/s);

$Q_{b(t)}$ = Vazão de contribuição de base para o dia (mm);

$Q_{s(t)}$ = Vazão de contribuição superficial para o dia (mm);

A_d = Área de drenagem da bacia (km²);

O valor K_b inicial para a simulação foi determinado através das vazões conhecidas de Q_1 , Q_2 e Q_3 . Na falta de precipitação pelo modelo, o valor do parâmetro pode ser obtido pela seguinte equação:

$$Q_2 = Q_1 * e^{\frac{-\Delta t}{K_{1b}}} \therefore Q_3 = Q_2 * e^{\frac{-\Delta t}{K_{2b}}}$$

E o valor de K foi expresso por:

$$K_{1b} = \Delta t * \ln \frac{Q_1}{Q_2} \therefore K_{2b} = \Delta t * \ln \frac{Q_2}{Q_3}$$

E o valor de K_b foi determinado pela seguinte equação:

$$\hat{K}_b = \frac{K_{1b} + K_{2b}}{\Delta t}$$

Em que:

\hat{K}_b = Estimativa inicial para o parâmetro K_b ;

Δt = Intervalo de tempo entre as medições locais em dias.

O método de Silveira define dois parâmetros de ajuste. O primeiro está relacionado a parcela de água que infiltra no reservatório hipotético de escoamento subterrâneo e é definido por um coeficiente de infiltração (C_{inf}). E o segundo relaciona-se com o decaimento das vazões ao longo do tempo, liberadas pelo reservatório de escoamento subterrâneo, sendo definido pelo parâmetro K_b .

Para se obter a evapotranspiração diária potencial foi empregado o método de Penman-Monteith. Segundo a Food Agriculture Organization (FAO) este é o método padrão para calcular a evapotranspiração de referência no mundo todo, visto que os resultados obtidos através desse método se apresentaram mais seguros se comparados a dados de lisímetros (VICENTE *et al*, 2018; DA SILVA 2016).

A evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith foi calculada através da seguinte equação:

$$ET = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_m + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 * u_2)}$$

Em que:

ET = Evapotranspiração de referência (mm/dia);

Δ = Inclinação da curva de pressão de vapor (kPa/°C);

R_n = Saldo diário de radiação (MJ/m² dia);

G = Fluxo diário de calor no solo (MJ/m² dia);

γ = Constante psicométrica (kPa/°C);

T_m = Temperatura média diária do ar (°C);

u_2 = Velocidade média diária do vento a 2 metros de altura (m/s);

e_s = Pressão de saturação do vapor d'água média diária (kPa);

e_a = Pressão de vapor d'água média diária (kPa).

Para a aplicação do método de Silveira foram realizadas três medições de vazão de cada nascente nos períodos de 21/05/2022 à 25/05/2022 para a nascente 1, e para as nascentes 2 e 3, as medidas foram realizadas no período de 27/08/2022 à 31/08/2022. Seguindo as

recomendações estabelecidas pela metodologia quanto o espaçamento de tempo entre as medidas e a máxima precipitação acumulada permitida.

Quanto aos equacionamentos e a construção da curva de permanência, foi empregado o editor de planilhas (*EXCEL*) e aplicada a ferramenta *solver* para ajustar os coeficientes de infiltração (C_{inf}) e o tempo de esvaziamento do reservatório (Kb). Já para realizar a simulação da série histórica de vazões, foi utilizado o software estatístico IDL, tendo como base os dados de precipitação adquiridos da estação meteorológica do INMET, instalada no município de São Luiz Gonzaga-RS, de janeiro de 2008 até dezembro de 2022, além dos dados necessários para o cálculo da evapotranspiração diária pelo método de Penman-Monteith.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. MEDIÇÕES REALIZADAS NAS NASCENTES

O método de Silveira (1997) vem sendo aplicado e indicado por diversos órgãos governamentais para a obtenção de dados hidrológicos, em pequenas bacias hidrográficas, em épocas de estiagem. Em 2007, a ANA propôs este método para fins de outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Ademais, também foi adotado pela SEMA-MT como procedimento para processos de outorga neste estado, desde 2009. Portanto, essa metodologia é de extrema importância para geração de dados em microbacias onde a disponibilidade de informações é escassa.

Segundo Silveira (1997), para o desenvolvimento de seu método, são necessárias três medições de vazões diárias espaçadas em no mínimo dois dias, em período de estiagem. Os valores das vazões obtidas durante as visitas a campo na nascente 1, com área de 1,93 hectares, foram de 0,111, 0,0694 e 0,0555 L/s nos dias 21, 23 e 25 de maio de 2022, respectivamente, e podem ser visualizadas na Tabela 3. Esta tabela também demonstra a quantidade de chuva (mm) durante o período das medições e 7 dias anteriores demonstrando que o volume acumulado foi de 9,653 mm.

Tabela 3 - Vazões medidas e quantidade de chuva (mm) no período das medições e sete dias anteriores, na nascente 1

Data	Dias consecutivos	Chuva (mm)	Chuva acumulada (mm)	Vazão da nascente (L/s)
14/05/2022	1	2,287	2,287	-
15/05/2022	2	0,000	2,287	-
16/05/2022	3	0,254	2,541	-
17/05/2022	4	0,762	3,303	-
18/05/2022	5	1,778	5,081	-
19/05/2022	6	0,508	5,589	-
20/05/2022	7	0,508	6,097	-
21/05/2022	8	0,254	6,351	0,1110
22/05/2022	9	0,000	6,351	-
23/05/2022	10	0,000	6,351	0,0694
24/05/2022	11	0,000	6,351	-
25/05/2022	12	3,302	9,653	0,0555

mm= milímetros, L/s = Litros por segundo. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para a nascente 2, com área a montante de 19,51 hectares, as vazões foram realizadas nos dias 27, 29 e 31 de agosto de 2022, obtendo-se os valores de 4,212 L/s, 3,843 L/s e 3,034

L/s, respectivamente (Tabela 4). Esta tabela também apresenta o volume de chuva acumulado (mm) durante o período das medições e dos 7 dias que antecederam o início das mesmas, tendo sido de 5,40 mm.

Tabela 4 - Vazões medidas e quantidade de chuva (mm) no período das medições e sete dias anteriores, na nascente 2

Data	Dias consecutivos	Chuva (mm)	Chuva acumulada (mm)	Vazão da nascente (L/s)
20/08/2022	1	0,000	0,000	-
21/08/2022	2	0,254	0,254	-
22/08/2022	3	0,000	0,254	-
23/08/2022	4	0,254	0,508	-
24/08/2022	5	0,000	0,508	-
25/08/2022	6	0,000	0,508	-
26/08/2022	7	0,000	0,508	-
27/08/2022	8	0,000	0,508	4,212
28/08/2022	9	6,096	6,604	-
29/08/2022	10	0,000	6,604	3,843
30/08/2022	11	0,000	6,604	-
31/08/2022	12	0,000	6,604	3,034

mm= milímetros, L/s = Litros por segundo. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Já, para a nascente 3 que possui área a montante de 12,5 hectares, os valores das vazões observadas a campo estão demonstrados na Tabela 5. As coletas foram realizadas nos dias nos dias 27, 29 e 31 de agosto de 2022, com valores de 1,088, 1,032 e 1,052 L/s, respectivamente. Esta tabela também compreende os dados da quantidade de chuva (mm) durante o período das medições e 7 dias anteriores demonstrando que o volume acumulado foi de 6,604 mm.

Deve-se ressaltar que todos os métodos utilizados para determinar as vazões em campo apresentam algum grau de incerteza, que podem gerar erros nas vazões medidas. No método de flutuadores, segundo Santos et al (2019), o método é criticado por usar coeficiente de correção para ajustar a velocidade média da seção além de sofrer interferência do vento durante a medida. Quanto ao método utilizado para determinar a vazão da nascente 1, a estrutura do poço de retenção não era plana, variando o diâmetro de seção do mesmo, e sua profundidade desconhecida gerando incertezas sobre volume total do poço, além de possíveis imprecisões no instrumento de medição. Quanto ao método volumétrico que foi empregado na medição das vazões na nascente 3, segundo Santos *et. al.* (2001) é a forma de medição mais precisa de todas, desde que o volume do instrumento utilizado apresente exatidão, mas ainda assim podem haver possíveis perdas durante o manuseio dos instrumentos.

Já a metodologia proposta por Silveira (1997) propõe que seu método seja aplicado em períodos de estiagem sendo totalmente necessário que a quantidade máxima de chuva acumulada seja inferior à 15 mm, para que ocorra uma confiabilidade nos dados. Além disso, também sugere que as medições sejam realizadas com espaçamento de no mínimo de dois dias e comenta sobre a importância na quantidade de dias anteriores a primeira medição. Desta forma, observando as tabelas 3, 4 e 5 pode-se concluir que a metodologia foi aplicada da maneira sugerida já que os critérios acima mencionados foram seguidos e, portanto, este estudo possui credibilidade em seu método inicial.

Tabela 5 - Vazões medidas e quantidade de chuva (mm) no período das medições e sete dias anteriores, na nascente 3

Data	Dias consecutivos	Chuva (mm)	Chuva acumulada (mm)	Vazão da nascente (L/s)
20/08/2022	1	0,000	0,000	-
21/08/2022	2	0,254	0,254	-
22/08/2022	3	0,000	0,254	-
23/08/2022	4	0,254	0,508	-
24/08/2022	5	0,000	0,508	-
25/08/2022	6	0,000	0,508	-
26/08/2022	7	0,000	0,508	-
27/08/2022	8	0,000	0,508	1,088
28/08/2022	9	6,096	6,604	-
29/08/2022	10	0,000	6,604	1,032
30/08/2022	11	0,000	6,604	-
31/08/2022	12	0,000	6,604	1,052

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.2. RELAÇÃO CHUVA-VAZÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DE SILVEIRA

Através dos valores das vazões coletadas à campo, determinou-se a relação chuva-vazão, através do Método de Silveira (1997) pra as nascentes 1, 2 e 3. Segundo Silveira, Tucci & Silveira (1998) a estrutura do método está fundamentada no balanço hídrico e possui simplificações: (a) considera a precipitação efetiva a diferença entre a evapotranspiração potencial e a precipitação total em um dia e, (b) o armazenamento da camada superficial do solo é abstraída. Portanto, apenas o parâmetro de infiltração C_{inf} é o dado de entrada do modelo, quando a precipitação diária é superior a evapotranspiração. Para todas as nascentes foi utilizado um valor de C_{inf} igual a 0,5 como dado de entrada para iniciar o equacionamento,

representando a metade da precipitação. Desta forma, 50% da precipitação efetiva contribui para o escoamento de base da bacia e a outra metade produz o escoamento superficial.

A tabela 6 representa a relação chuva-vazão no período de 14 a 25 de maio de 2022 para a nascente 1 com um valor de K_b como dado de entrada, calculado através das medições de vazão, de 0,69. As tabelas 7 e 8 representam a relação chuva – vazão para as nascentes 2 e 3, respectivamente, no período de 20 a 31 de agosto, sendo o valor de K_b como dado de entrada calculado para a nascente 2 de 0,33, e para a nascente 3, de 0,03.

Tabela 6 - Relação chuva-vazão através do método de Silveira (1997) aplicado para a nascente 1

DATA	PD	ED	PTD	P_e	VIS	Q_b	VCS	VT
14/05/2022	2,287	1,15	1,14	0,57	0,28	0,4197762	0,57	1657,239
15/05/2022	0,000	1,82	0,00	0,00	0,00	0,0792590	0,00	132,7823
16/05/2022	0,254	2,04	0,00	0,00	0,00	0,0149651	0,00	25,07096
17/05/2022	0,762	2,18	0,00	0,00	0,00	0,0028256	0,00	4,733712
18/05/2022	1,778	1,73	0,05	0,02	0,01	0,0102016	0,02	57,02459
19/05/2022	0,508	1,31	0,00	0,00	0,00	0,0019262	0,00	3,226942
20/05/2022	0,508	2,68	0,00	0,00	0,00	0,0003637	0,00	0,609287
21/05/2022	0,254	2,02	0,00	0,00	0,00	0,0000687	0,00	0,115041
22/05/2022	0,000	1,73	0,00	0,00	0,00	0,0000130	0,00	0,021721
23/05/2022	0,000	2,18	0,00	0,00	0,00	0,0000024	0,00	0,004101
24/05/2022	0,000	3,09	0,00	0,00	0,00	0,0000005	0,00	0,000774
25/05/2022	3,302	3,88	0,00	0,00	0,00	0,0000001	0,00	0,000146

PD = Precipitação Diária (mm); ED (Evapotranspiração Diária (mm); Precipitação Total Diária (mm); Precipitação efetiva (mm); Volume de Infiltração no solo (mm); Vazão de Contribuição de base (mm); Vazão de Contribuição Superficial para o dia t (mm); Vazão Total (L/s). Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 7 -Relação chuva-vazão através do método de Silveira (1997) aplicado para a nascente 2

DATA	PD	ED	PTD	P_e	VIS	Q_b	VCS	VT
20/08/2022	0,00	2,51	0,00	0,00	0,00	0,000841	0,00	14,18803
21/08/2022	0,00	2,65	0,00	0,00	0,00	0,000708	0,00	11,94189
22/08/2022	0,00	2,68	0,00	0,00	0,00	0,000596	0,00	10,05134
23/08/2022	0,00	2,82	0,00	0,00	0,00	0,000501	0,00	8,460094
24/08/2022	0,00	2,88	0,00	0,00	0,00	0,000422	0,00	7,120758
25/08/2022	0,00	4,34	0,00	0,00	0,00	0,000355	0,00	5,993456
26/08/2022	0,00	4,08	0,00	0,00	0,00	0,000299	0,00	5,044619
27/08/2022	0,00	4,20	0,00	0,00	0,00	0,000251	0,00	4,245994
28/08/2022	5,40	2,12	3,27	0,00044	0,00044	0,000281	0,000437	12,12533
29/08/2022	0,00	2,32	0,00	0,00	0,00	0,000236	0,00	3,991658
30/08/2022	0,00	2,92	0,00	0,00	0,00	0,000199	0,00	3,35973
31/08/2022	0,00	3,51	0,00	0,00	0,00	0,000167	0,00	2,827844

PD = Precipitação Diária (mm); ED (Evapotranspiração Diária (mm); Precipitação Total Diária (mm); Precipitação efetiva (mm); Volume de Infiltração no solo (mm); Vazão de Contribuição de base (mm); Vazão de Contribuição Superficial para o dia t (mm); Vazão Total (L/s). Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 8 - Relação chuva-vazão através do método de Silveira (1997) aplicado para a nascente 3

DATA	PD	ED	PTD	Pe	VIS	Qb	VCS	VT
20/08/2022	0,000	2,51	0,00	0,00000	0,0000	0,3173821	0,00000	3427,727
21/08/2022	0,000	2,65	0,00	0,00000	0,0000	0,1007314	0,00000	1087,899
22/08/2022	0,000	2,68	0,00	0,00000	0,0000	0,0319703	0,00000	345,280
23/08/2022	0,000	2,82	0,00	0,00000	0,0000	0,0101468	0,00000	109,586
24/08/2022	0,000	2,88	0,00	0,00000	0,0000	0,0032204	0,00000	34,781
25/08/2022	0,000	4,34	0,00	0,00000	0,0000	0,0010221	0,00000	11,039
26/08/2022	0,000	4,08	0,00	0,00000	0,0000	0,0003244	0,00000	3,503
27/08/2022	0,000	4,20	0,00	0,00000	0,0000	0,0001030	0,00000	1,112
28/08/2022	5,400	2,13	3,27	0,00043	0,0004	0,0003287	0,00043	8,233
29/08/2022	0,000	2,32	0,00	0,00000	0,0000	0,0001043	0,00000	1,127
30/08/2022	0,000	2,92	0,00	0,00000	0,0000	0,0000331	0,00000	0,358
31/08/2022	0,000	3,51	0,00	0,00000	0,0000	0,0000105	0,00000	0,113

PD = Precipitação Diária (mm); ED (Evapotranspiração Diária (mm); Precipitação Total Diária (mm); Precipitação efetiva (mm); Volume de Infiltração no solo (mm); Vazão de Contribuição de base (mm); Vazão de Contribuição Superficial para o dia t (mm); Vazão Total (L/s). Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 9 - Valores da vazão calculada, observada, do método dos mínimos quadrados e dos parâmetros C_{inf} e K_b para as nascentes 1, 2 e 3

Vazão Calculada	Vazão observada	Mínimos Quadrados	C_{inf}	K_b
Nascente 1				
0,1150	0,1110	0,000016300	0,50	0,60
0,0041	0,0694	0,004263929		
0,0001	0,0555	0,003064042		
Nascente 2				
4,245	4,212	0,00115600	0,99	5,80
3,992	3,843	0,02209900		
2,827	3,034	0,04250000		
Nascente 3				
1,112	1,088	0,000573357	0,99	0,87
1,127	1,032	0,008937559		
0,113	1,052	0,880823886		

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O ajuste dos dois parâmetros foi realizado através do método dos mínimos quadrados entre a vazão calculada pelo Método de Silveira e a vazão observada a campo. Com o valor gerado, encontrou-se, através do método de sensibilidade, utilizando a ferramenta *Solver do EXCEL*, o valor ideal para os dois parâmetros. Com o ajuste desses dois parâmetros, obteve-se os valores de vazão total (VT) calculada pelo método de Silveira (1997).

Para a nascente 1, o valor do parâmetro C_{inf} encontrado foi de 0,5 e do K_b foi de 0,6 (Tabela 9) sendo os valores de vazão total no período de 14 a 25 de maio de 2022 demonstrados na Tabela 6. Os valores dos parâmetros C_{inf} e K_b encontrados, na nascente 2 foram de 0,99 e 5,80 (Tabela 9) e os valores de VT encontram-se na Tabela 7, no período de 20 a 31 de agosto de 2022. Para a nascente 3, o C_{inf} calculado foi de 0,99 e o K_b de 0,87 (Tabela 9) sendo que os valores de VT, no período de 20 a 31 de agosto estão representados na Tabela 8.

Através da tabela 9 é possível observar que o parâmetro de K_b para a nascente 2 foi muito superior as demais. Isto ocorreu, possivelmente, pois a nascente 2 possui os maiores valores de vazão, o que acarreta em um maior tempo para o esvaziamento do reservatório. Além disso, a nascente 2 possui a maior área, o que levará mais tempo para o esvaziamento, de acordo com a vazão por ela apresentada em relação as demais.

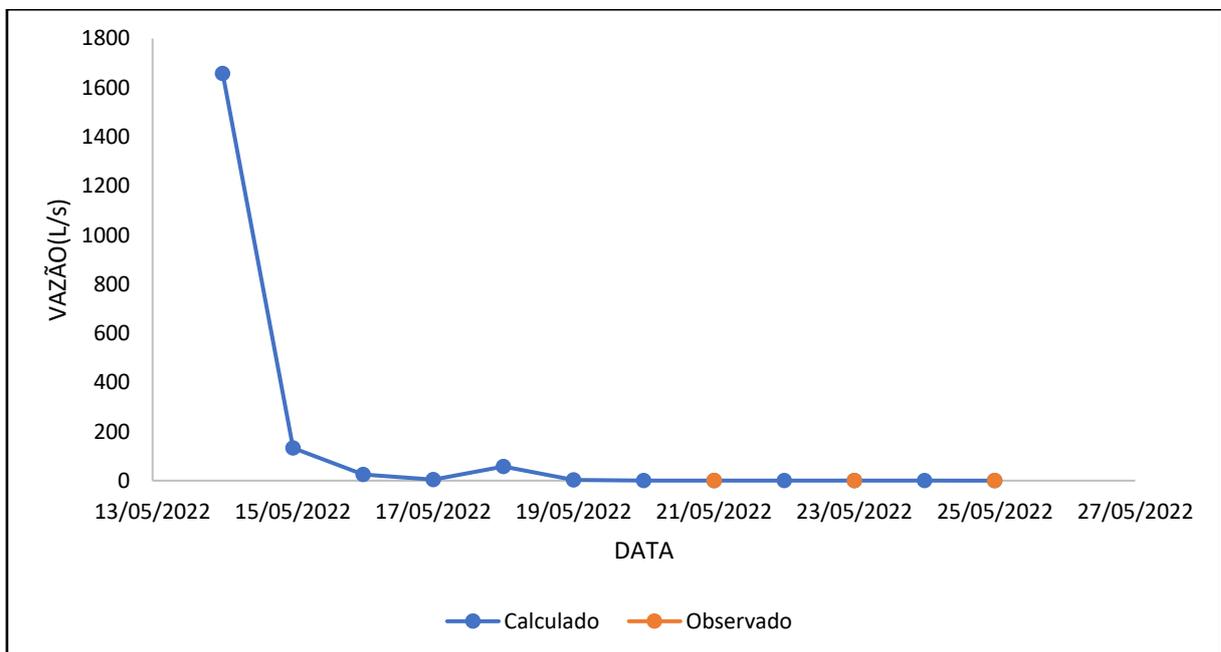
Na tabela 9 também é possível observar que os valores de C_{inf} das nascentes 2 e 3 são mais elevados do que a nascente 1. As nascentes 2 e 3 possuem C_{inf} de 0,99 (valor próximo a

1) provavelmente devido ao tipo de solo em que elas se encontram. Esses, são derivados de material basáltico e possuem argila compactada que contribuem para que a água quase não infiltre no solo. Diferentemente da nascente 1 que provavelmente se encontra em um local em que o tipo de solo permite uma maior infiltração da água.

4.3. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS VAZÕES DAS DIFERENTES NASCENTES

As figuras 21, 22 e 23 representam as vazões observadas e calculadas para as nascentes 1, 2 e 3, respectivamente, no período de 12 dias, sendo as vazões observadas destacadas nas figuras. Para a nascente 1 é possível observar uma depleção da vazão durante o período com valor máximo de 1667, 23 L/s no dia 14 de maio e mínimo de 0,000146 L/s no dia 25 de maio. Observa-se um pequeno pico de vazão no dia 18 devido a precipitação ocorrida neste dia que contribuiu para a vazão superficial.

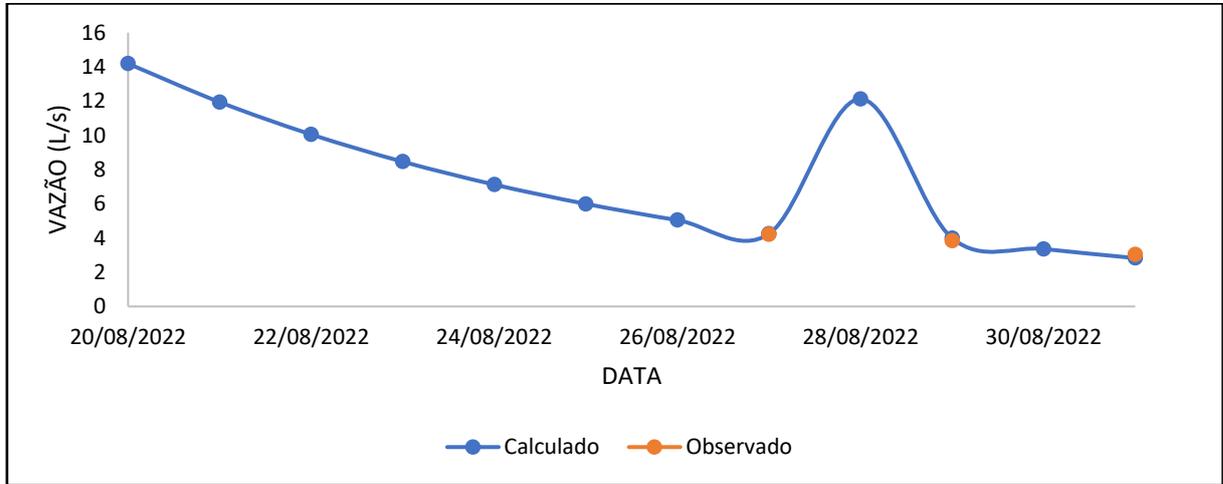
Figura 21 – Vazões calculadas e observadas da nascente 1 pelo Método de Silveira, no período de 12 dias



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a nascente 2 foi perceptível o decaimento da vazão no período analisado sendo observada uma vazão máxima de 14,18 L/s no dia 20 de agosto, e a menor de 2,83 no dia 30 de agosto. Observa-se uma elevação na vazão no dia 28 de agosto, com valor de 12,12 L/s, devido a ocorrência de precipitação, acarretando em um elevado volume de vazão superficial.

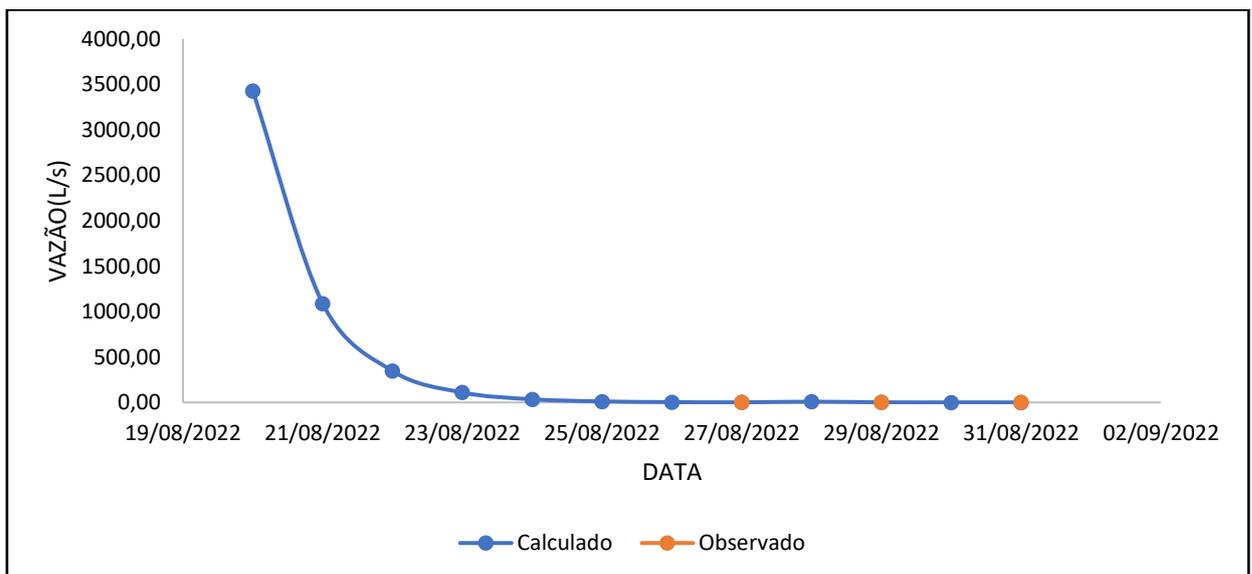
Figura 22 – Vazões calculadas e observadas da nascente 2 pelo Método de Silveira, no período de 12 dias



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A demonstração gráfica das vazões observadas e calculadas no período de 20 a 31 de agosto de 2022, para a nascente 3 encontram-se na Figura 23. Através deste gráfico é possível observar uma diminuição da vazão durante o período com valor máximo de 3427,72 L/s no dia 20 de agosto e mínimo de 0,1134 L/s no dia 31 de agosto. Ressalta-se que esta nascente pode ter sofrido interferência em sua vazão devido ao contato com uma rede de esgoto doméstico.

Figura 23 – Vazões calculadas e observadas da nascente 3 pelo Método de Silveira, no período de 12 dias



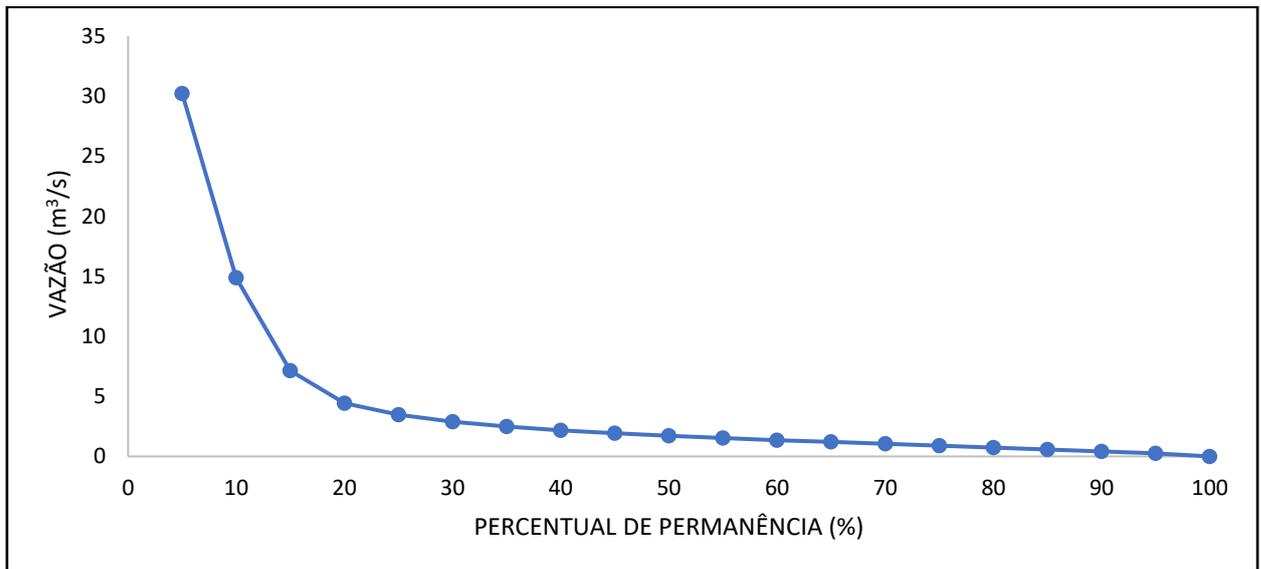
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.4. CURVAS DE PERMANÊNCIA DAS NASCENTES

Através dos dados de vazão modelados através do Método de Silveira (1997) gerou-se a curva de permanência das nascentes (Figuras 24, 25 e 26) no período compreendido entre janeiro de 2008 a dezembro de 2022. Observa-se que em 50% do tempo, as vazões das nascentes 1, 2 e 3 foram menores que 1,71 m³/s, 0,0074 m³/s e 0,0041 m³/s, respectivamente. Em relação as vazões com 90% e 95% a vazão foi de 0,42 m³/s e 0,25 m³/s, respectivamente para a nascente 1; de 0,00098 m³/s e 0,00048 m³/s, para a nascente 2 e 2,73⁻⁸ m³/s e 3,93⁻¹⁰ m³/s para nascente 3.

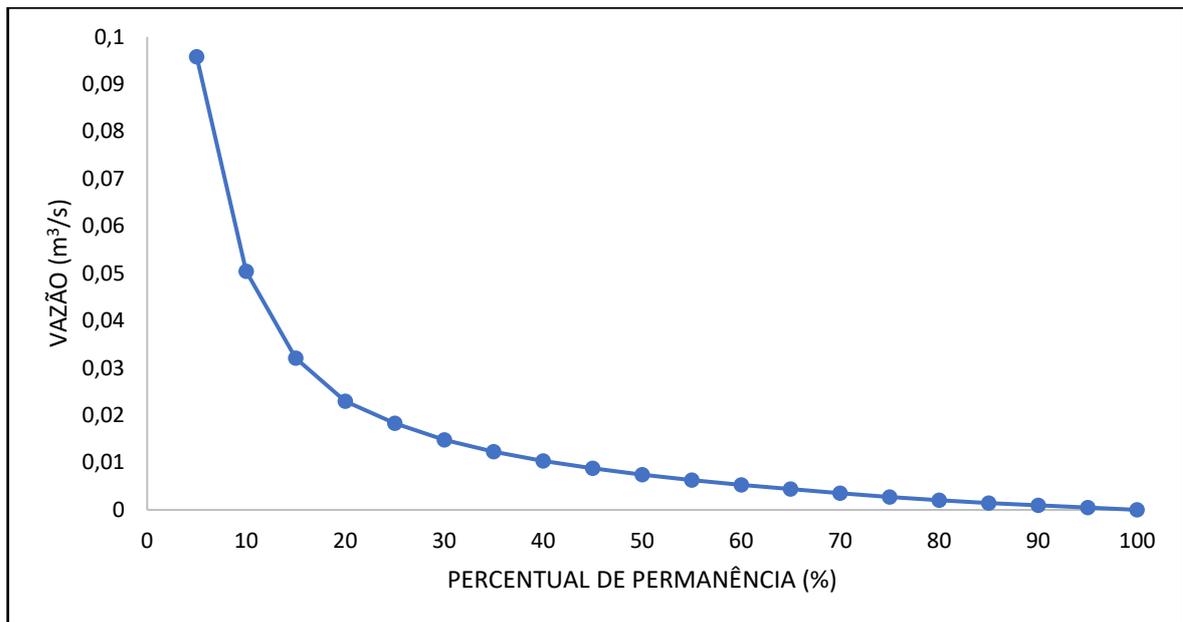
Para o estado do Rio Grande do Sul, a vazão máxima outorgável corresponde à 75% da $Q_{90\%}$ (RIO GRANDE DO SUL, 1996). Portanto, através da modelagem descrita por Silveira (1997) a vazão outorgável das nascentes 1, 2 e 3 para este estado são de 0,315 m³/s, 0,0000736 m³/s e 2,04⁻⁸ m³/s, respectivamente.

Figura 24 – Curva de Permanência da nascente 1



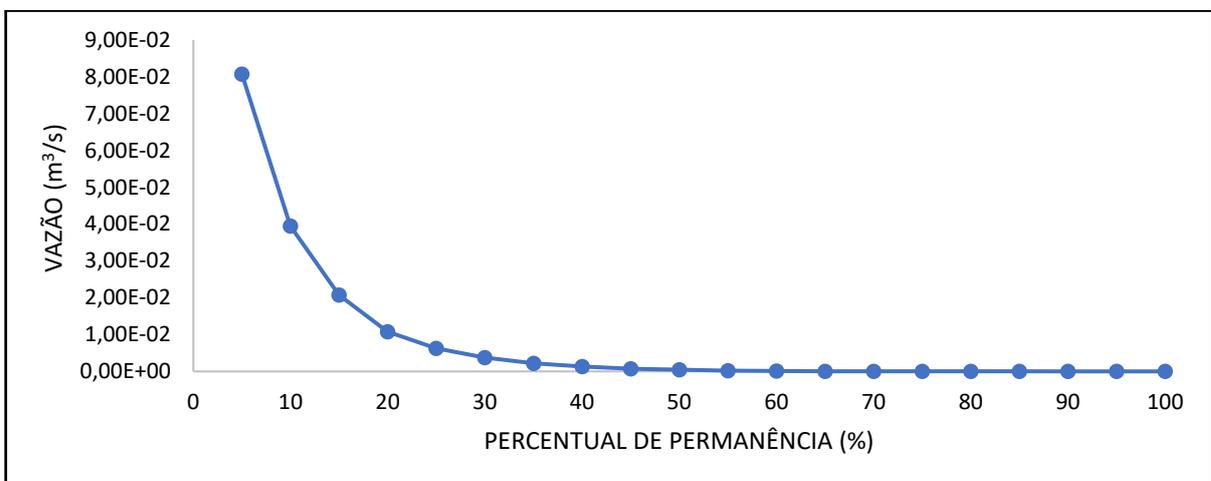
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 25 – Curva de Permanência da nascente 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 26 – Curva de Permanência da nascente 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Segundo Horn (2016) as vazões com 90% e 95% de permanência são as comumente utilizadas em questões de outorga de direito de uso, pelos estados brasileiros. Portanto, esses valores necessitam ser confiáveis para um adequado subsídio à gestão de recursos hídricos. Estudo realizado por Tamiosso (2012) conclui que o método de Silveira gerou resultados satisfatórios para as vazões de 90% e 95% apresentando pequenos erros de estimativa. Desta forma, os valores de $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ encontrados neste estudo provavelmente representam uma estimativa adequada.

O método de Silveira possui eficiência comprovada por Comini *et al.* (2020) onde em realização de estudo no estado de Minas Gerais concluiu que o método é uma ferramenta eficaz para a avaliação do potencial hídrico em pequenas bacias, em épocas de estiagem e pode ser utilizado como metodologia complementar em locais onde as informações são inexistentes. Por outro lado, Silveira Tucci & Silveira (1998) revelam que podem ocorrer incertezas no método dependendo das: (a) imprecisões relacionadas aos dados de precipitação e vazão, (b) incertezas na estrutura do modelo e (c) dúvidas nos parâmetros utilizados. Além disso, Tamiosso (2012) considera que, para vazões medianas (abaixo de 90%) é necessária cautela na utilização das informações geradas por este método, sendo que resultados mais satisfatórios foram encontrados nas maiores permanências.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste estudo foi determinar as curvas de permanência de vazão de três nascentes pertencentes a microbacia hidrográfica do Arroio Encantado. Considerando os resultados encontrados neste trabalho concluiu-se que os valores da curva com 90% e 95% de permanência foram de: 0,42 m³/s e 0,25 m³/s; 0,00098 m³/s e 0,00048 m³/s; e 2,73⁻⁸ m³/s e 3,93⁻¹⁰ m³/s para as nascentes 1, 2 e 3, respectivamente. Além disso, através da simulação da chuva-vazão, os valores de K_b corresponderam a: 0,5; 5,80 e 0,87 para as nascentes 1, 2 e 3, de modo respectivo. Além disso, constatou-se que diferenças no tipo de solo entre as nascentes contribuíram para que o parâmetro C_{inf} fosse maior nas nascentes 2 (0,99) e 3 (0,99) em relação a 1 (0,5), acarretando uma maior infiltração da água no solo dessa última. Ademais, comprovou-se através deste trabalho que para a execução do método de Silveira a medição das vazões em nascentes ocorreu em curto espaço de tempo e de maneira simples. Por fim, este estudo contribuiu enormemente para a geração de dados hidrológicos antes inexistentes nas microbacias estudadas colaborando para a gestão correta dos corpos hídricos do Arroio Encantado.

Para a continuidade das pesquisas sugere-se analisar a aplicabilidade deste método em estudos em outras nascentes, já que os trabalhos relacionados a esta metodologia não envolvem os pontos iniciais dos corpos hídricos (nascentes). Além disso, sugere-se o estudo de outros modelos chuva-vazão buscando aprimoramento do método e a obtenção de dados de precipitação de estações meteorológicas mais próximas as microbacias que apresentarão informações mais realísticas para aplicação do método.

REFERÊNCIAS

AIRES, R. **Análise ambiental integrada de microbacias hidrográficas no vale do jaguaribe como subsídio ao Programa Vigilantes Globais da Água**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2009. Disponível em: https://www.uece.br/wp-content/uploads/sites/60/2009/10/rosilene_aires_dissertacao.pdf. Acesso em: 10 dez. 2021.

ANA. **Nota Técnica n.º 113/GEREG/SOF –ANA. Documento ANA n.º 5847/2007**. Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/normativos-e-resolucoes/resolucoes>. Acesso em: 03. fev. 2023.

ANA. **Outorga de direito de uso dos recursos hídricos**. Brasília, 2011. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2021.

ARAÚJO, T. M. **Caracterização hidroambiental de uma microbacia hidrográfica da bacia do Rio São Mateus, no Vale do Mucuri**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) -Universidade de Viçosa, Viçosa, 2018. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/20685/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2021.

BERNARDI, E. C. S. et al. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.

BRANCO, O. E. de A. Avaliação da disponibilidade hídrica: Conceitos e aplicabilidade. 2006. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/wp-content/uploads/sites/291/2012/04/Disponibilidade-H%C3%ADdrica.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

BRASIL. **Lei n.º 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. **Resolução CONAMA n.º 303**, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre as áreas de preservação permanente. Brasília, DF, 2002.

BRASIL. **Lei n.º 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012.

BONIFÁCIO, C. M.; FREIRE, R. Comparação de três métodos para a medição da vazão e velocidade aplicados em dois cursos d'água da Bacia do Ribeirão Maringá. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 2, p. 406 – 415, 2013.

CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F. **Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas**. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 2006. Disponível em: <https://docplayer.com.br/12283424-Manejo-de-bacias-hidrograficas.html>. Acesso em: 18 nov. 2021.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. 2013. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.

COMINI, U. B. et al. Hydrological modelling in small ungauged catchments. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n.2, p. 1-16, 2020.

COSTA, A. S. et al. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas do estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 413-422, 2012.

CRUZ, M. A. S. et al. Avaliação de metodologias de transferência de vazões de referência em bacias hidrográficas: sua aplicação na bacia do rio Japaratuba-Sergipe-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 03, p. 1571-1585, 2021.

DA SILVA, M. G. Estimativa da evapotranspiração de referência padrão (Penman-Monteith FAO 56): Uma abordagem com dados meteorológicos limitados. **Nativa**, v. 4, n. 4, p. 253-260, 2016.

DILL, P. R. J. **Gestão ambiental em bacias hidrográficas**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3638/dill.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: nov. 2021.

DE MOURA, M. R. F.; DA SILVA, S. R. Lei das águas e a gestão dos recursos hídricos no Brasil: contribuições para o debate. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 13, n. 3, p.1-10, 2017.

DOS SANTOS, Cleiton Oliveira; DE ASSIS FERREIRA, Josenilson. Método do flutuador como ferramenta para monitoramento do comportamento hidrológico de córrego urbano. **Holos Environment**, v. 19, n. 4, p. 614-639, 2019.

FARIA, A. P. A dinâmica de nascentes e a influência sobre os fluxos nos canais. **A água em Revista, Rio de Janeiro**, v. 8, n. 5, p. 74-80, 1997.

FEITOSA, L. C. M. **Adequação metodológica para avaliação do potencial de conservação de nascentes rurais**. 2017. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/29478/1/TESE%20L%20c3%20advia%20C%20a2mara%20Machado%20Feitosa.pdf>. Acesso em: 05 set. 2021.

FELIPPE, M. F. Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte-MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: file:///D:/Dados/%C3%81rea%20de%20Trabalho/miguel_felippe_dissertacao.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.

GALATTO, S. L. et al. Diagnóstico ambiental de nascentes no município de Criciúma, Santa Catarina. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 5, n. 1, p. 39-56, 2011.

HORN, J. F. C. **Estimativa de vazão com dados escassos: novas hipóteses para o Método Silveira**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3641/HORN%2c%20JOAO%20FRANCISCO%20CARLEXO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: nov. 2021.

IBGE. **Estimativas populacionais dos municípios em 2021**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2021/estimativa_dou_2021.pdf Acesso em 05 jul. 2022.

MACHADO, L. C. **O papel das nascentes na sustentabilidade de assentamentos rurais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2013. Disponível em: <D:/Dados/Área%20de%20Trabalho/Dissertação%20Lívia%20Câmara%20Machado.pdf>. Acesso em: out. 2021.

MARTINS, A. M. **Análise de séries de vazão de captações de nascentes na bacia hidrográfica do Rio Gramame**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5537/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

MARWELL, D. T. B. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental, na Área de Influência Direta do Ramal do Agreste e nos cursos hídricos intermitentes e efêmeros interceptados por este empreendimento utilizando o método AHP e técnicas de geoprocessamento**. 2015. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/22210/1/2015_DaviTadeuBorgesMarwel_tcc.pdf. Acesso em: 25 ago. 2021.

MEINZER, O.E. **Large springs in the United States**. Washington D.C. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 557, 1927.

MOCCELLIN, J. **A microbacia do rio Jacupiranguinha como unidade de estudo para a sustentabilidade dos recursos hídricos do Baixo Ribeira de Iguape-SP**. 2006. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-27042006-105343/publico/Moccellin.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

NETTO, J. M. de A.; MARTINIANO, J. **Manual de Hidráulica**. Texas: Edgard Blucher, 1998.

PALHARES, J. C. P. et al. **Medição da vazão em rios pelo método do flutuador**, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/443939/1/CusersPiazzonDocuments455.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2022.

PEREIRA, P. H. V. et al. Nascentes: Análise e discussão dos conceitos existentes. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 7, n. 2, p. 1-13, 2011.

PESSOA, F. C. L. **Desenvolvimento de metodologia para regionalização de curvas de permanência de vazões na Amazônia legal**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de

Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Pará, Belém. 2015. Disponível em: <https://proderna.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/teses/Francisco.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

PIERONI, J. P. et al. Avaliação do estado de conservação de nascentes em microbacias hidrográficas. *Geosciences*, v. 38, n. 1, p. 185 -193, 2019.

PIOL, M. V. A. **Análise regional de Curvas de Permanência e De curvas de Probabilidade de Vazões Mínimas Avaliação do Desempenho de Diferentes Métodos De regionalização.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Disponível em: file:///D:/Dados/%C3%81rea%20de%20Trabalho/tese_11397_Disserta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Mestrado%20-%20Marcos%20Vin%C3%ADcius%20Alpoin%20Piol.pdf. Acesso em: 25 nov. 2021.

PIRES, J. S. R. et al. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. *In: Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.* Ilhéus: Editus, p. 17-35, 2002.

CALHEIROS, R. de O. et al. **Preservação e Recuperação das Nascentes–Piracicaba: Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ.** Piracicaba: CTRN–Câmara Técnica de Conservação e Proteção aos Recursos Naturais, 2004.

RIBEIRO, T. B. et al. **Estimativa das vazões mínimas de referência (Q_{7, 10}, Q₉₅ e Q₉₀) anuais e semestrais para a bacia do rio branco.** *In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,* Florianópolis, LTC, 2011, p. 1-8.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº 37.033**, de 21 de novembro de 1996. Regulamenta a outorga do direito de uso da água no Estado do Rio Grande do Sul, prevista nos artigos 29, 30 e 31 da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, RS, 1996.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 10.350** do Rio Grande do Sul, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, RS, 1995.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 15.434**, de 09 de janeiro de 2020. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, RS, 2020

RYFF, T. Microbacias hidrográficas um novo conceito de desenvolvimento rural. *AgroANALYSIS*, v. 15, n. 5, p. 8-11, 1995.

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

SEMA. **Bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2022. Disponível em: https://www.soe.rs.gov.br/soeauth/connect/authorize?response_type=code&redirect_uri=http%3A%2F%2Fsitesemaadmin.hml.rs.gov.br%2Fopenid%2Fcallback&client_id=sitesema.i1.XGEi1KHHugWSzC0uRh&nonce=4fb738efb5ba336720582c6573314f0a&state=ef9243d203a25ebd3a36096309cb949a&scope=openid+soe%3Aacoes. Acesso em: 10 out. 2021.

SILVA, A. M. da et al. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n.2, p. 374-380, 2006.

SILVA, B.M. B. da; SILVA, D. D. da; 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**, v. 10, n.3, p. 623-634, 2015.

SILVA, C. O. F; MANZIONE. R. L. Revisitando a regionalização de vazões na região do médio paranapanema no estado de são paulo: utilização de curvas de permanência em microbacias hidrográficas. **Revista do instituto geológico**, v. 41, n. 2, p. 1-13, 2020.

SILVA, D. F. et al. Determinação da Vazão em Diferentes Tipos de Vertedores. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 3, n. 3, p. 97- 106, 2016

SILVA, L. C. S. Importância das nascentes do Semiárido Alagoano no abastecimento das populações rurais difusas. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, n. especial, p. 534-544, 2016.

SILVEIRA, G. L. **Quantificação de vazão em pequenas bacias carentes de dados**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/230839/000154607.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: nov. 2021.

SILVEIRA, A. L. L; SILVEIRA, G.L. Vazões mínimas. In: PAIVA, J.B.D; PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001 p. 125-163.

SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 3, n. 3, p. 111-131, 1998.

SIMEDO, M. B. L.; MARTINS, A. L. M.; LOPES, M. C. O Monitoramento da Vazão como Ferramenta para o Plano de Gestão Ambiental em Microbacias Hidrográficas. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 6, p. 158 – 172, 2015.

SOLIMAN, M. M. **Engenharia hidrológica das regiões áridas e semiáridas**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TAMIOSSO, M. F. **Avaliação do método Silveira com uso de dois modelos chuva-vazão para estimativa de disponibilidade hídrica em pequenas bacias com pequena amostragem de vazão**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/20753/DIS_PPGE_C_2012_TAMIOSSO_MARIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 03 set. 2021.

TEODORO, V. L. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

TSCHIEDEL, A. F. et al. Determinação de curva de permanência em pequenas bacias utilizando o Método Silveira. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2017. Florianópolis, LTC, 2017, p. 1-8.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012.

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

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.

VESTENA, L. R. et al. Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n.3, p. 212-227, 2012

VICENTE, M. R. et al. Evapotranspiração de referência utilizando o método FAO Penman-Monteith com dados faltantes. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 3, p. 1 - 12, 2018.