

POLIANA MARILIA DA SILVA MELLO BETELLA DOS SANTOS

**MOBILIDADE DE NASCENTES E SUAS IMPLICAÇÕES LEGAIS EM ÁREA
RURAL**

Botucatu

2022

POLIANA MARILIA DA SILVA MELLO BETELLA DOS SANTOS

**MOBILIDADE DE NASCENTES E SUAS IMPLICAÇÕES LEGAIS EM ÁREA
RURAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Ciência Florestal

Orientadora: Profa. Dra. Maria José Brito
Zakia

Coorientadora: Dra. Carolina Bozetti
Rodrigues

Botucatu

2022

S237m

Santos, Poliana Marília da Silva Mello Betella dos
Mobilidade de nascentes e suas implicações legais em área rural /
Poliana Marília da Silva Mello Betella dos Santos. -- , 2022
93 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu,
Orientadora: Maria José Brito Zakia
Coorientadora: Carolina Bozetti Rodrigues

1. Lei n. 12.651/12. 2. Hidrologia florestal. 3. Área de Preservação
Permanente. 4. Recomposição mínima obrigatória. 5. Uso
consolidado. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MOBILIDADE DE NASCENTES E SUAS IMPLICAÇÕES LEGAIS EM ÁREA RURAL

AUTORA: POLIANA MARILIA DA SILVA MELLO BETELLA DOS SANTOS

ORIENTADORA: MARIA JOSÉ BRITO ZAKIA

COORDINADORA: CAROLINA BOZETTI RODRIGUES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:

Dr.^a MARIA JOSÉ BRITO ZAKIA (Participação Presencial)
./ Praxis Assessoria Socioambiental



P/ Prof.^a Dr.^a GISELDA DURIGAN (Participação Virtual)
Laboratório de Ecologia e Hidrologia Florestal - Floresta Estadual de Assis / Instituto Florestal do Estado de São Paulo



P/ Prof. Dr. MIGUEL FERNANDES FELIPPE (Participação Virtual)
Geociências / Universidade Federal de Juiz de Fora



Botucatu, 26 de agosto de 2022

Às presentes e futuras gerações de

todas as formas de vida,

dedico

AGRADECIMENTOS

Obrigada, Pedro, por ter tornado meu trabalho possível dentro do cenário da pandemia. Você me acompanhou no campo sob sol e chuva, desviando de 1 ou mil aranhas, lia e lia meus trabalhos, me ajudava a ensaiar cada apresentação que fiz e até mesmo discutia comigo artigos interessantes que eu encontrava. Você é diferente de todas as pessoas que conheci na vida e tenho muito orgulho e admiração pelo grande engenheiro florestal que é. Obrigada por ter me ajudado a chegar aonde cheguei e me alegro em saber que estará comigo em toda vitória, porque você é, além do meu estagiário, o grande amor da minha vida.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pelo apoio à ciência e à educação. Me enche de orgulho ser parte dessa universidade.

Obrigada, Carol, por toda dedicação e cuidado que teve para garantir que tudo funcionasse corretamente. Você foi fundamental na minha trajetória acadêmica, te agradeço imensamente!

Obrigada, Zezé, por sempre me fazer pensar, por me mostrar que o processo de aprendizagem pode (e deve) ser prazeroso, por ter paciência com minhas “respostas-perguntas”, por me fazer saber até mesmo que não posso “enrolar o cabelo” durante ocasiões importantes. Você fez mais do que me preparar academicamente e me inspirou de mais maneiras do que imagina... Zezé, você me preparou para a vida! Mais uma vez, obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001

RESUMO

A Lei de Proteção à Vegetação Nativa (Lei n. 12.651/12) determina um raio mínimo de 50 metros para a Área de Preservação Permanente (APP) de nascentes, e para fins de recomposição, em imóveis rurais com uso consolidado, a Faixa Mínima de Recomposição Obrigatória (FMRO) é de 15 metros. No entanto, as nascentes podem se movimentar, contraindo e expandindo seus cursos d'água e, nesses casos, pode haver implicações legais para a demarcação dessas áreas. Outra questão abordada é a correta delimitação da FMRO em imóveis rurais com uso consolidado. Em propriedades com mais de 4 MF, os cursos d'água de primeira ordem exigem uma FMRO maior que as nascentes... Mas, como essa delimitação pode estar correta, se as nascentes possuem uma área protegida maior pela regra geral e, mais do que isso, as faixas marginais dos cursos d'água também são faixas marginais das nascentes. Em ambiente SIG, essas duas implicações foram analisadas através simulação da demarcação das áreas legalmente protegidas. Para a primeira questão, a mobilidade de três nascentes foi acompanhada por 16 meses. A nascente que apresentou maior deslocamento, se deslocou 25,8 metros sobre o terreno e 6,2 metros vertical. Neste caso, a diferença entre áreas protegidas foi de 1600 m² para APP e de 258 a 1600 m² para FMRO. Vale dizer que essa diferença é, principalmente, devido a contração e extensão do curso d'água, uma vez que as nascentes são protegidas por raio fixo e os cursos d'água, por faixas marginais ao longo de seu comprimento. Além disso, o resultado é de apenas uma nascente. Autores que analisaram a rede de drenagem, encontraram resultados bem mais expressivos, por exemplo, uma área 20 vezes maior no período úmido frente ao período seco e há relatos de deslocamento maior, de até 3 km. Essa mobilidade está relacionada ao ano hidrológico, por isso, analisou-se a aplicabilidade do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) para demarcar a nascente nas posições altas. O BHC se mostrou apropriado e essas posições ocorrem ao final do período de maior excedente hídrico. Sobre a segunda questão, trata-se de uma problemática interpretativa: A recomposição mínima obrigatória do curso d'água ocorre em suas faixas marginais e como as faixas marginais dos cursos d'água também são faixas marginais das nascentes, a FMRO de nascentes não deve ser nunca menor que a de seus cursos d'água. Outra questão que apareceu ao longo do desenvolvimento da pesquisa foi a dificuldade de se identificar e localizar nascentes,

por isso, as cartografias do IBGE, IGC e SiCAR foram analisadas. Devido a escala, estas não detectam as nascentes, mas servem como um norte para reduzir os esforços de campo.

Palavras-chave: lei n. 12.651/2012; hidrologia florestal; área de preservação permanente; recomposição mínima obrigatória; uso consolidado.

ABSTRACT

The Native Vegetation Protection Law (Law n. 12.651/12) determines a minimum radius of 50 meters for the Areas of Permanent Preservation (APP) of springs, and for restoration purposes, in rural properties with consolidated use, the Minimum Range of Mandatory Reset (FMRO) is 15 meters. However, springs can move, contracting and expanding their watercourses and, in these cases, there can be legal implications for the demarcation of these areas. Another issue addressed is the correct delimitation of the FMRO in rural properties with consolidated use. In properties with more than 4 MF, the first order watercourses require a higher FMRO than the springs... But, as this delimitation can be correct, if the springs have a larger protected area by the general rule and, moreover, the marginal strips of watercourses are also marginal strips of springs. In a GIS environment, these two implications were analyzed by simulating the demarcation of legally protected areas. For the first question, the mobility of three springs was monitored for 16 months. The spring with the greatest displacement moved 25.8 meters over the ground and 6.2 meters vertically. In this case, the difference between protected areas was 1600 m² for APP and 258 to 1600 m² for FMRO. It is worth mentioning that this difference is mainly due to the contraction and extension of the watercourse, since the springs are protected by a fixed radius and the watercourses by marginal strips along their length. Also, the result is just one spring. Authors who analyzed the drainage network found much more expressive results, for example, an area 20 times larger in the wet period compared to the dry period and there are reports of greater displacement, up to 3 km. This mobility is related to the hydrological year, therefore, the applicability of the Climatological Water Balance (BHC) was analyzed to demarcate the source in the high positions. The BHC proved to be appropriate and these positions occur at the end of the period of greatest water surplus. Regarding the second question, it is an interpretative problem. The minimum mandatory restoration of the watercourse occurs in its marginal strips and as the marginal strips of the watercourses are also marginal strips of the springs, the FMRO of springs must never be lower than that of their watercourses. Another issue that appeared during the development of the research was the difficulty of identifying and locating springs, therefore, the IBGE, IGC and SiCAR cartographies were analyzed.

Due to the scale, these do not detect the springs, but serve as a north to reduce field efforts.

Keywords: law n. 12.651/2012; forest hydrology; areas of permanent preservation, minimum and mandatory restoration; consolidated use.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Ecosistemas Lóticos: Rios, cabeceiras e nascentes	18
2.2	Evolução legal do conceito de nascente e da proteção de seu entorno	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	Área de Estudo	23
3.2	Revisão bibliográfica	26
3.3	Dados climatológicos	26
3.4	Balanço Hídrico Climatológico (BHC).....	26
3.5	Determinação do deslocamento das nascentes	27
3.5.1	Deslocamento horizontal	28
3.5.2	Deslocamento vertical	30
3.6	Delimitação das áreas legalmente protegidas.....	30
3.7	Delimitação da FMRO sob duas interpretações.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Dinâmica da precipitação, da temperatura e do BHC	34
4.1.1	A precipitação no período de estudo	34
4.1.2	A temperatura no período de estudo	36
4.1.3	O BHC no período de estudo	38
4.2	Deslocamento das nascentes	39
4.2.1	Deslocamento horizontal	39
4.2.2	Deslocamento vertical	46
4.2.3	Mobilidade de nascentes e o BHC	48
4.3	Implicações da mobilidade de nascentes na delimitação das áreas legalmente protegidas	51
4.4	Delimitação da FMRO sob duas interpretações.....	57
4.5	O uso de cartografias oficiais para a detecção de nascentes	59
5	CONCLUSÕES.....	65
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICE A - Evolução legal do conceito de nascente e da proteção de seu entorno	73

ANEXO A - Alterações da Lei n. 12.651/12	74
ANEXO B - Dados climatológicos do período de estudo (16 meses, ago/20 a nov/21).....	75
ANEXO C - Datas com ausência de dados na estação meteorológica do depto de solos e recursos ambientais.....	86
ANEXO D - Dados climatológicos da normal (1991 a 2020).....	87
ANEXO E - Deslocamento de NI, NII e NIII.....	91

1 INTRODUÇÃO

Mobilidade de nascentes refere-se ao deslocamento natural da nascente ao longo do talvegue decorrente da alteração do nível freático promovido pela interação entre as águas superficiais e subterrânea. As nascentes que apresentam mobilidade são classificadas como móveis (FARIA, 1997).

O curso d'água é dividido em três partes: cabeceira ou microbacias, médio curso e baixo curso ou foz, sendo cabeceira as áreas que recebem fluxos tributários de até terceira ordem (VANNOTE et al., 1980). É importante entender a mobilidade de nascentes, pois essas áreas apresentam alta sensibilidade às ações de manejo (LIMA, 2010) e, uma vez que nascente é o início de um curso d'água, elas ocorrem nessa área sensível.

A legislação brasileira que atualmente aborda a proteção de nascentes em propriedades privadas é a Lei n. 12.651/12 ou Lei de Proteção a Vegetação Nativa (LPVN) com suas modificações (ANEXO A) (BRASIL, 2012). A definição de nascente é dada no Art. 3º

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por: [...] XVII - nascente: afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água.

Nesta lei, as faixas marginais ao rio (desde a nascente até a foz) são classificadas como “Área de Preservação Permanente” (APP).

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: [...]

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

O conceito de APP não está associado à presença ou ausência da vegetação nativa, mas à função de preservação. Por isso, há limitações para sua utilização e, se desmatada, é necessário recompô-la, independente de se localizar em área urbana ou rural.

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por: [...]

II - Área de Preservação Permanente - APP: 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;

Na regra geral, a nascente é protegida por uma faixa mínima de recomposição obrigatória (FMRO) delimitada a partir de um raio de 50 m (BRASIL, 2012a). Em áreas rurais consolidadas, definidas como “*área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio*”, a FMRO é de 15 m. A área sem obrigação de recomposição não deixa de ser APP, por isso, a continuidade do uso dessa área sem obrigação de recomposição está condicionada à adoção de práticas de conservação de água e solo.

Art. 61-A. Nas Áreas de Preservação Permanente, é autorizada, exclusivamente, a continuidade das atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural em áreas rurais consolidadas até 22 de julho de 2008. . [...]

§ 5º 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.

§ 9º A existência das situações previstas no caput deverá ser informada no CAR para fins de monitoramento, sendo exigida, nesses casos, a adoção de técnicas de conservação do solo e da água que visem à mitigação dos eventuais impactos

Se a nascente demarcada for móvel, é possível que fique desprotegida em algum período do ano, principalmente nas áreas de uso consolidado. Além disso, quando a nascente se desloca, o comprimento de seus cursos d'água sofrem extensão e contração e consequentemente, a faixa protegida às margens do curso d'água geram áreas diferentes. Áreas menores de proteção aos cursos d'água de cabeceira podem prejudicar os serviços ecossistêmicos prestados na microbacia (KAMPF et al., 2021)

As áreas tratadas pela LPVN representam 53% da vegetação nativa no Brasil (SOARES-FILHO et al., 2014) e estão ameaçadas pelos níveis crescentes de alteração do uso do solo e pelas mudanças climáticas (KOVACH et al., 2019), resultando em períodos de intermitência cada vez mais longos (STROMBERG; MERRITT, 2016). A adequada utilização das áreas previstas na LPVN pode mitigar

alguns desses efeitos (TOLKKINEN et al., 2020), por isso, é importante englobar a mobilidade natural das nascentes ao visar a proteção dos recursos hídricos.

Desta forma, o objetivo é compreender a consequência dessa mobilidade para delimitação da APP e da FMRO de nascentes. Os objetivos específicos são:

- i. Estudar a mobilidade de nascentes na Fazenda Lageado;
- ii. Analisar as implicações da mobilidade de nascentes na delimitação das suas APPs;
- iii. Analisar as implicações da mobilidade de nascentes na delimitação da FMRO prevista no art 61-A da lei 12.651/2012.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ecossistemas lóticos: Rios, cabeceiras e nascentes

Os ecossistemas lóticos, constituídos por cursos d'água, são ecossistemas aquáticos abertos (HYNES, 1975), nos quais a água está em movimento e os processos atuantes estão altamente interligados (WARD, 1989). Esses processos acontecem em diferentes escalas espaço-temporais (BUTTLE; EIMERS, 2009; MONTGOMERY, 1999), por exemplo, uma precipitação acentuada pode alterar o comportamento de uma porção do rio, mas não o comportamento de todo o rio. Deste modo, escala é uma questão central para diversos aspectos da hidrologia (SPOSITO, 1998 apud BUTTLE; EIMERS, 2009). As diferentes escalas espaço-temporais nas quais o sistema produz resposta às perturbações resultaram na análise do ecossistema lótico em quatro dimensões: longitudinal, vertical, lateral e temporal (WARD, 1989).

As três primeiras dimensões evidenciam o espaço em que os processos ocorrem. Longitudinalmente, há três regiões geomorfológicas distintas: cabeceira, médio curso e foz (VANNOTE et al., 1980). Lateralmente, as interações decorrem das secas e cheias de um rio, provocando uma interação rio-planície, principalmente em regiões tropicais. Essa interação, conhecida como pulso de inundação (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989), responde diferente de acordo com o trecho em que ocorre, podendo ser entrelaçado, meandraste ou de cabeceira de drenagem (WARD; STANFORD, 1995). Verticalmente, as águas correntes superficiais interagem com as águas subterrâneas ao longo do rio pelas áreas de recarga e descarga, alterando a altura do lençol freático (HYNES, 1975). Portanto, as três dimensões estão conectadas, constituindo partes reguladoras de um todo (WARD; STANFORD, 1995).

Já a dimensão temporal estuda a escala de tempo em que haverá resposta a alguma perturbação no sistema, por isso, também não pode ser desvinculada da escala espacial (WARD, 1989). Por exemplo, para se estudar o armazenamento da água subterrânea, utiliza-se uma escala macro para o espaço e para o tempo, pois o espaço refere-se às áreas de recarga e descarga do aquífero ao longo de todo o rio, a qual pode ocorrer a milhares de quilômetros de distância, e o tempo de resposta refere-se às alterações que podem levar décadas para aparecer no outro ponto, pois

a água permanece no aquífero mesmo em condições de baixa capacidade de armazenamento, em média, por dez anos (TELANG et al., 1982). Em contrapartida, os processos atuantes no armazenamento de água no solo de uma cabeceira respondem muito mais rapidamente a perturbações, como precipitação (HEWLETT; HIBBERT, 1967) e ações antrópicas (LIMA, 2010). Desta maneira, a escala apropriada para análise deve ser determinada pela pergunta que está sendo feita e pelo tempo e espaço das variáveis ambientais envolvidas.

Tanto na dimensão lateral quanto na longitudinal da escala espacial, há uma região definida como cabeceira. Cabeceira, também chamada de microbacia, é a área geográfica que recebe fluxos de tributários de até terceira ordem (VANNOTE et al., 1980) e que, em conjunto, formam as bacias hidrográficas (CALIJURI; BUBEL apud LIMA; ZAKIA, 2006). Os cursos d'água presentes na cabeceira são considerados pequenos riachos pela ordem de fluxos (STRAHLER, 1957), e é nessa região que ocorrem processos hidrológicos que iniciam uma nascente e seu curso d'água.

As cabeceiras têm respostas altamente sensíveis às ações de manejo (LIMA, 2010), portanto, as ações antrópicas, principalmente àquelas que alteram as propriedades do solo, modificam a chamada mobilidade das nascentes. A mobilidade de nascentes refere-se ao processo migratório das nascentes (FARIA, 1997) ao longo do talvegue e resulta da nascente ser um sistema interligado a muitos processos ecológicos e hidrológicos (VANNOTE et al., 1980). Por ser parte do rio, a mobilidade de nascentes está vinculada às quatro dimensões do ecossistema lótico, a qual responde na escala de cabeceira.

Uma das características de nascente usada para defini-la é o enfoque espacial: nascente não se localiza na cabeceira de um rio, mas sim ocorre nela (BRASIL, 2012a; FELIPPE; MAGALHÃES JÚNIOR, 2013). Segundo a revisão de Felipe e Magalhães (2013), além do enfoque espacial, os processos para a existência de nascentes são:

- i. O afloramento da água subterrânea, sendo este o processo mais citado pelos especialistas e na literatura científica;
- ii. O afloramento iniciando um curso d'água, caso contrário, o conceito adequado seria olho d'água;
- iii. A possibilidade de intermitência, ocasionada pela oscilação do lençol freático devido a períodos de baixa precipitação, quando o nível freático abaixa e

temporariamente não há água suficiente para aflorar na superfície (ZANIN; BONUMÁ; CHAFFE, 2013). Descartar nascentes pelo caráter intermitente seria o mesmo que concluir que cursos d'água temporários não possuem nascentes;

iv. O processo deve estar atrelado à rede de drenagem e ter origem natural.

Assim, tem-se a seguinte definição: nascente é um *“sistema ambiental em que o afloramento da água subterrânea ocorre naturalmente, de modo temporário ou perene, e cujos fluxos hidrológicos na fase superficial são integrados à rede de drenagem”* (FELIPPE; MAGALHÃES JÚNIOR, 2013).

2.2 Evolução legal do conceito de nascente e da proteção de seu entorno

Do ponto de vista legal, houve uma série de alterações da legislação federal ao longo de 87 anos até a publicação da atual lei vigente (Lei n. 12.651/12) que versa sobre a proteção das nascentes em área privada (Apêndice A).

Em janeiro de 1934, foi publicado o Decreto n. 23.793/34, instituindo o primeiro código florestal brasileiro (BRASIL, 1934a), que pode ser considerado precursor da Lei n. 12.651/12. O decreto versou sobre florestas e as classificou de acordo com suas funções, conforme Art. 3º.

Art. 3. As florestas classificam-se em:

- a) Protectoras;
- b) Remanescentes;
- c) Modelo
- d) De rendimento

Uma das funções das florestas protetoras é a conservação dos regimes das águas e, pela primeira vez, as florestas foram tratadas como uma forma de proteção a outros recursos ambientais, como a água (BRASIL, 1934a).

Art. 4º. São consideradas florestas protectoras as que, por sua localização, servirem conjuncta ou separadamente para qualquer dos fins seguintes:

Conservar o regime das águas [...]

No mesmo ano, o Decreto Federal n. 24.643/34 (BRASIL, 1934b) instituiu o Código das Águas e trouxe a primeira definição legal de nascente.

Art. 89. Consideram-se "nascentes" para os efeitos deste Código, as águas que surgem naturalmente ou por indústria humana, e correm dentro de um só prédio particular, e ainda que o transponham, quando elas não tenham sido abandonadas pelo proprietário do mesmo.

Ao definir nascente, o decreto não distinguiu os processos hidrológicos naturais dos antrópicos (BRASIL, 1934b). Em 1965, a Lei n. 4.771/65 (BRASIL, 1965) instituiu o novo código florestal e determinou que vegetações naturais deveriam ser preservadas permanentemente devido a sua localização em relação a outros elementos do meio ambiente. Estão inclusas nas vegetações permanentemente preservadas aquelas que estão no entorno das nascentes.

Art. 2. Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: [...]
c) Nas nascentes, mesmo nos chamados “olhos d’água”, seja qual for sua localização geográfica

A lei não apresentou especificação da metragem de vegetação a ser preservada, que foi definida em 1989 (BRASIL, 1989).

Art. 2. Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: [...]
c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados “olhos d’água”, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura.

Em 2001, 36 anos após a promulgação da Lei n. 4.771/65 (BRASIL, 1965), a Medida Provisória 2.166-67/01 definiu expressamente APP, que substitui o termo “florestas e vegetações que deveriam ser permanentemente protegidas”. Assim, toda a área das florestas passou a ser protegida (BRASIL, 2001).

Art. 1º As florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de propriedade, com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei estabelecem. [...]
II - área de preservação permanente: área protegida nos termos dos Arts. 2º e 3º desta Lei, coberta ou não, por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

A Lei n. 4.771/65 (BRASIL, 1965) foi revogada pela Lei n. 12.651/12 (BRASIL, 2012a), que, em sua redação, incorpora as modificações legais acima citadas e conceitua nascente como *“afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água.”* O novo conceito marca a compreensão de que nascente não é um local e sim o resultado do afloramento do lençol freático que inicia um curso d’água, ou seja, é entendida como um processo hidrológico natural, que marca o contato solo-atmosfera das águas. Além disso, ao dizer que nascente

inicia um curso d'água, a lei atribuiu expressamente conceitos diferentes a nascente e a olho d'água, os diferenciando com base em seus processos hidrológicos.

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por: [...]

XVII - Nascente: afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água;

XVIII - Olho d'água: afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente. [...]

A princípio, não estava prevista proteção para as nascentes intermitentes, mas o Supremo Tribunal Federal (STF) reconheceu que: “*A proteção das nascentes e olhos d'água é essencial para a existência dos cursos d'água que deles se originam, especialmente quanto aos rios intermitentes, muito presentes em áreas de seca e de estiagem*” (BRASIL, 2018). Com isso, além do conceito abranger o afloramento natural do lençol freático e a origem de um curso d'água, ele retomou o outro importante processo hidrológico natural retomando a definição trazida pela Resolução do Conama n. 303/02: a sazonalidade, a qual ocasiona a mobilidade de nascentes e, em alguns casos, nascentes intermitentes.

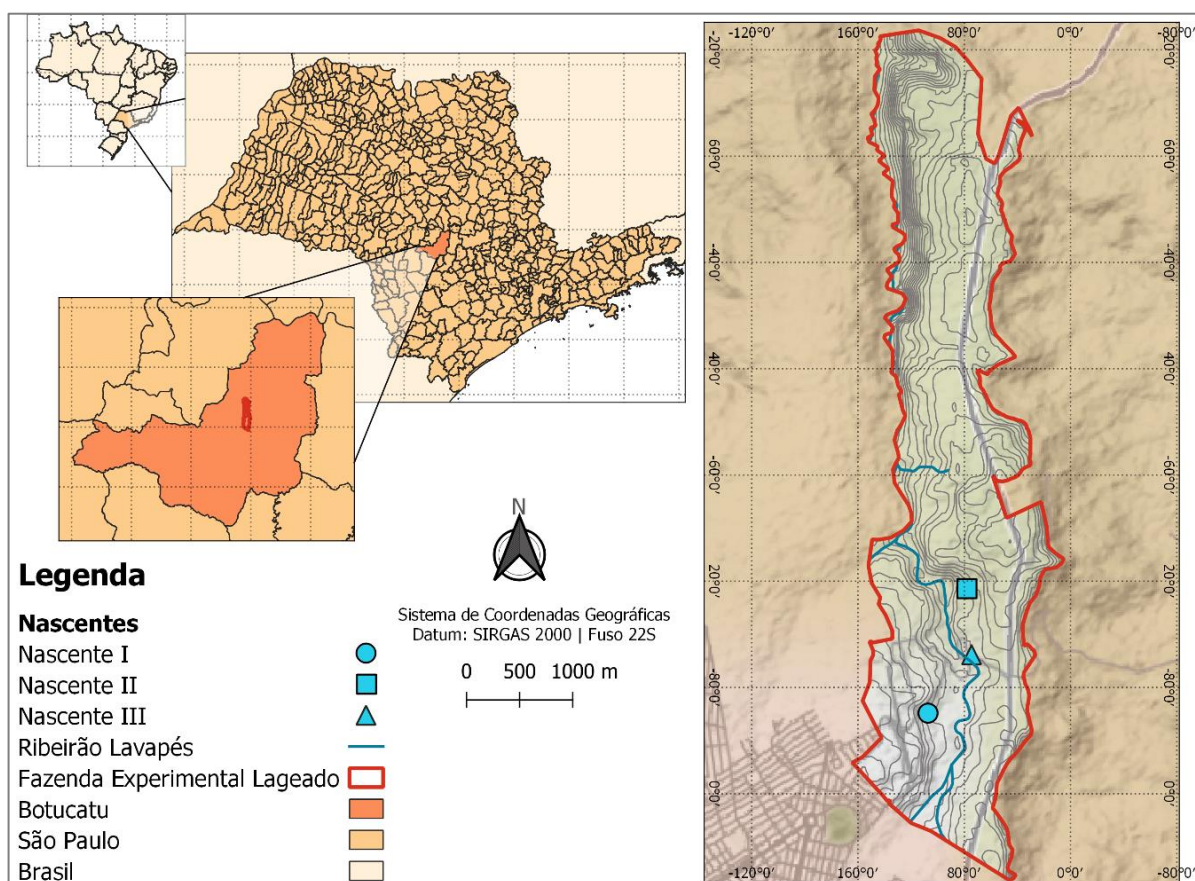
Desta forma, o conceito legal está de acordo com o conceito científico e isso é importante, pois, devido à preservação do recursos, a correta aplicação vai além do cumprimento legal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O estudo foi conduzido em três nascentes localizadas na Fazenda Experimental Lageado, no município de Botucatu – SP, pertencente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. O município apresenta clima tipo Cfa (CUNHA; MARTINS, 2009; KÖPPEN; GEIGER, 1928). As nascentes foram selecionadas a partir dos dados cadastrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR), com posterior visita à campo, e nomeadas de NI, NII e NIII (Figura 1).

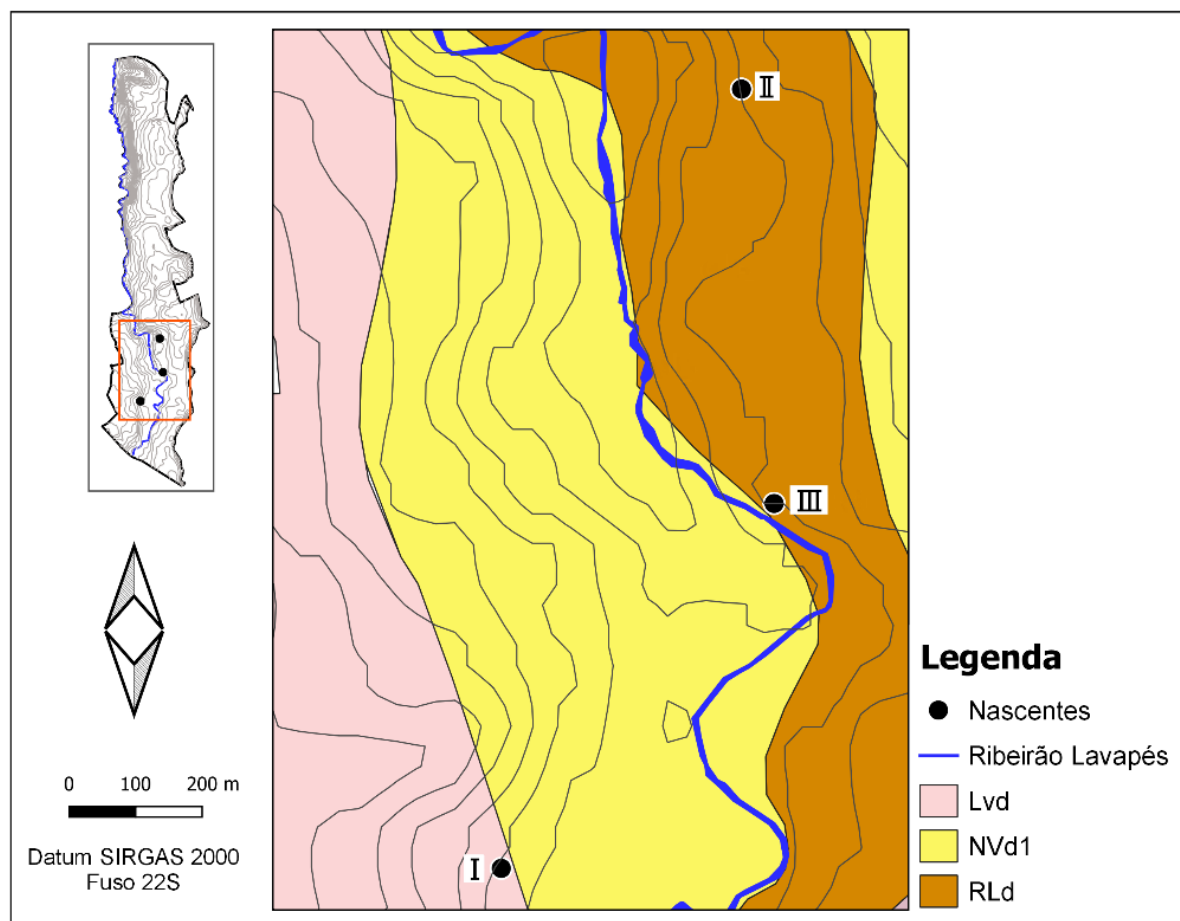
Figura 1 – Localização das Nascentes I, II e III na área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora com base nos mapas do IBGE (2020), na delimitação e nas curvas de nível (10 metros) da Fazenda Experimental Lageado, disponibilizadas pelas Fazendas de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE).

As nascentes estão em dois tipos de solo, Neossolo litólico e Latossolo vermelho, e o Ribeirão Lavapés divide os solos Nitossolo vermelho e Neossolo litólico (Figura 2).

Figura 2 – Localização das nascentes estudadas e os Solos da Fazenda Experimental Lageado



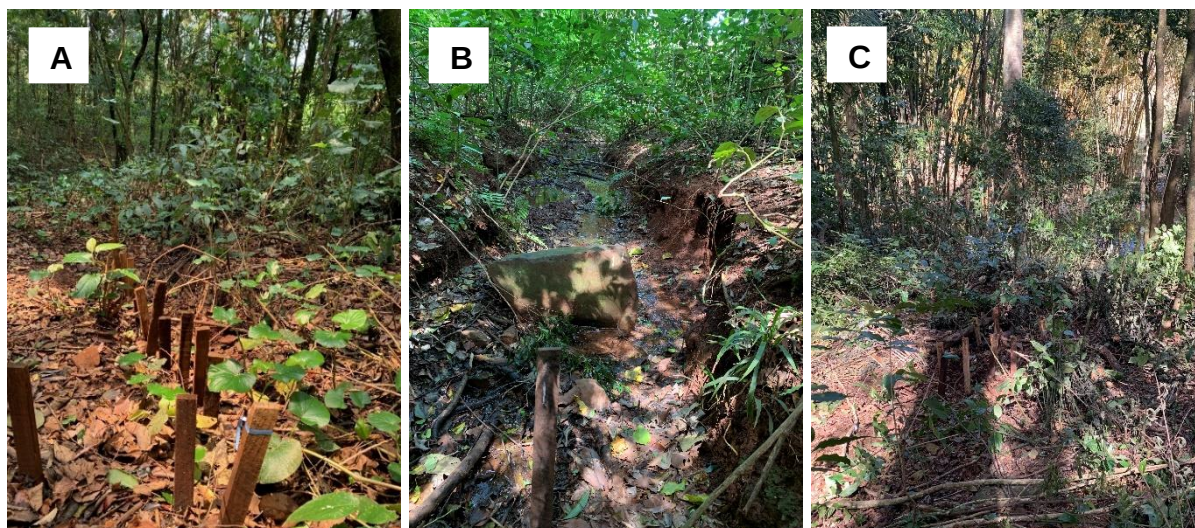
Fonte: CARVALHO; ESPÍNDOLA; PACCOLA, 1983

As unidades de mapeamento de solos são (SANTOS et al., 2018):

- a) NVd1 – NITOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa ou muito argilosa – Unidade de Mapeamento Lageado – Solos com saturação por bases baixa na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B;
- b) RLd – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico substrato basalto – Unidade de Mapeamento Litossolo Lageado – Solos com horizonte A diretamente sobre a rocha ou sobre horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% ou mais de sua massa constituída por cascalhos, calhaus e matacões;
- c) Lvd – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média – Unidade de Mapeamento Patrulha – Solos com saturação por bases baixa na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.

As três nascentes integram a sub-bacia do Ribeirão Lavapés, possuem caráter perene e formam riachos que fluem através do talvegue sob vegetação típica da Mata Atlântica, com fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecidual, a qual sombreia a área das nascentes (Figura 3).

Figura 3 – Registro fotográfico das nascentes NI, NII e NIII



Fonte: Figura elaborada pela autora.

Legenda: Registro fotográfico de NI (A), NII (B) e NIII (C).

NI: Localizada na face oeste, seu entorno é uma área destinada à conservação, com vegetação diversificada, presença de eucalipto e uma erosão antrópica já estabilizada devido ao uso anterior. Sua vazão origina uma lâmina d'água que se torna um riacho de segunda ordem a 44 m e, após 6 m, chega em uma várzea. De sua origem à várzea, o talvegue apresenta um desnível de 10 m. Considerando um raio de 20 m à montante de sua cabeceira, o desnível é de 5,4 m.

NII: Localizada na face leste, seu entorno é uma área destinada à conservação, com vegetação diversificada e presença de eucalipto devido ao uso anterior. Seu afloramento ocorre em local pedregoso, com o talvegue encaixado e vazão suficiente para originar um riacho, o qual foi desviado para um tanque de piscicultura que se localiza a 89 m de sua origem. De sua origem à várzea, o talvegue apresenta um desnível de 2,4 m. Considerando um raio de 20 m à montante de sua cabeceira, o desnível é de 10,8 m.

NIII: Localizada na face leste, seu entorno tem vegetação diversificada. Seu afloramento origina uma lâmina d'água que se torna um riacho de segunda ordem a 7,3 m e percorre 18,7 m até desaguar no Ribeirão Lavapés. De sua origem ao Ribeirão Lavapés, o talvegue apresenta um desnível de 8,3 m. Considerando um raio de 20 m à montante de sua cabeceira, o desnível é de 5 m e há uma estrada à 12 m.

3.2 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica foi feita em quatro plataformas: CAPES, Scielo, Google Acadêmico e Web of Science. Os termos utilizados foram headwater, groundwater, river spring expansion and contraction, headwater stream, spring dynamics, mobility, water yield, law 12.651/12, brazilian forest code, riparian zone, watershed, microbasin, forest hydrology, Areas of Permanent Preservation, minimum and mandatory restoration, consolidated use, water balance, Thornthwaite Mather, . Não foi feita uma revisão bibliográfica exaustiva.

3.3 Dados climatológicos

As variáveis temperatura e precipitação no período de estudo (16 meses, de agosto de 2020 a novembro de 2021), foram coletadas diariamente a partir dos dados da Estação Meteorológica Automática – Campbell Scientific Inc. modelo CR23X, localizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu – SP (ANEXO B). A temperatura do ar (mínima, máxima e média - °C) foi coletada por meio do sensor Vaisala, modelo HMP45C, e a precipitação (mm) por um pluviômetro modelo Ville de Paris. Meses que apresentaram mais de quatro dias de falhas (julho e agosto de 2020 e maio de 2021) (ANEXO C) tiveram seus resultados substituídos pelo valor mensal da normal. Os dados da normal compreenderam o período de 1991 a 2020 (ANEXO D), totalizando 30 anos, tempo recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (World Meteorological Organization - WMO). A normal apresentou falha em dezembro de 2017, por isso os cálculos excluíram esse dado.

Para fins de detecção de possíveis anomalias climáticas nos anos estudados, analisou-se a precipitação mensal (mm) e a temperatura média (°C) da normal e do período de estudo, de forma a evidenciar as diferenças na precipitação e temperatura média mensal, a quantidade de dias chuvosos e a amplitude térmica.

3.4 Balanço Hídrico Climatológico (BHC)

O Balanço Hídrico Climatológico (BHC) (THORNTHWAITER; MATHER, 1955, ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998) estima indiretamente a variação de água no solo a partir das variáveis de entrada: temperatura, precipitação, latitude e capacidade

de água disponível no solo (CAD). O BHC pode ser sequencial – utilizado para o período de estudo – ou normal – utilizado para caracterizar o clima a partir de 30 anos de dados climatológicos. A diferença entre eles, além da escala temporal, são os índices “*i*” e “*a*” utilizados no BHC sequencial, que representam o nível de calor disponível na região e o índice térmico regional, respectivamente. O CAD foi fixado em 100 mm, a latitude adotada foi a da Estação Meteorológica do Departamento de Solos e Recursos Ambientais e os índices foram calculados conforme as equações 1 e 2.

$$i = \sum (0,2Ti)^{1,514} \quad (1)$$

Onde:

i = nível de calor disponível na região

Ti = temperatura mensal média dos anos de set/20 a ago/21 (°C)

$$a = ((6,75 * 10^{\wedge} - 7) * i^{\wedge}3) - ((7,71 * 10^{\wedge} - 5) * i^{\wedge}2) + ((1,79 * 10^{\wedge} - 2) * i) + 0,49239 \quad (2)$$

Onde:

a = índice térmico regional

i = nível de calor disponível na região

3.5 Determinação do deslocamento das nascentes

O período de estudo foi de agosto de 2020 a novembro de 2021. Inicialmente, as coletas durariam um ano hidrológico para englobar a sazonalidade, no entanto, o período de estudo foi mais seco que a média da normal e a temperatura apresentou maior amplitude térmica, desta forma, o estudo se estendeu por mais 4 meses¹. O critério utilizado para definir a localização das nascentes foi o início de cada tributário,

¹Devido a duração do mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (24 meses), as coletas de campo deste estudo se estenderam 4 meses além de um ano hidrológico, totalizando 16 meses.

sendo marcado pelo ponto mais alto em que a água do lençol freático aflora naturalmente, formando ao menos uma lâmina d'água. As leituras foram feitas às 9h pela estação, por isso, as idas a campo ocorreram a partir desse horário, no período da manhã, com frequência semanal e no dia seguinte a um evento de precipitação. As pesquisas de deslocamento de nascentes não definiram uma frequência adequada e nem descreveram o método utilizado, por isso, uma frequência alta foi adotada e T0 definiu-se como a posição da nascente nos dias 12/08/20 (NI e NII) e 11/11/20 (NIII).

No entorno das nascentes foi feito o levantamento topográfico planialtimétrico por meio de irradiação, com estação total de precisão 2" e leitura de 1" angular, 2 mm + 1ppm e leitura de 0,1 mm de distância de uma área circunscrita por bordadura de até 20 metros das nascentes e de até 5 metros dos cursos d'água até o primeiro corpo d'água ou Ribeirão Lavapés. Então, elaborou-se o modelo digital de elevação (MDE), com representação gráfica das informações topográficas, curso d'água e a localização aproximada da posição T0 utilizando Datum SIRGAS 2000, UTM 22S.

3.5.1 Deslocamento horizontal

Para mensurar o deslocamento horizontal, adotou-se um método simples: a posição da nascente era marcada com estaca e a distância até T0 medida com fita métrica (Figura 4).

Figura 4 – Mensuração do deslocamento



Fonte: Registro da autora.

Legenda: Registro fotográfico da mensuração do deslocamento de NI (A) e NIII (B).

Os deslocamentos foram tabelados. A posição com o maior deslocamento à montante e à jusante em relação à posição T0 foi definida como posição alta (A) e baixa (B). O período que as posições A e B ocorreram foram comparados com os períodos do BHC normal e sequencial.

O deslocamento foi analisado em QGIS, versão 3.22. Para isso, adicionou-se as posições A e B da seguinte forma:

- i. Criou-se uma camada shapefile com geometria do tipo ponto e Datum SIRGAS 2000, UTM 22S;
- ii. Adicionou-se as informações de localização dos cursos d'água e das posições T0, obtidas a partir do modelo digital de elevação
- iii. A partir de T0, seguiu-se a hidrografia utilizando a ferramenta “medir” da “barra de ferramentas - atributo” até coincidir com o valor de deslocamento das posições A e B, obtendo as coordenadas de cada posição;
- iv. Ativou-se o “modo edição” e o “adicionar ponto” da “barra de ferramentas de vetorização” da camada shapefile criada;
- v. Ativou-se a “ferramenta de vetorização avançada” da “barra de vetorização avançada”;
- vi. Na guia aberta, adicionou-se as coordenadas x e y, travando-as;
- vii. Adicionou-se as posições de máximo e mínimo de cada nascente ao clicar em um ponto qualquer do projeto.

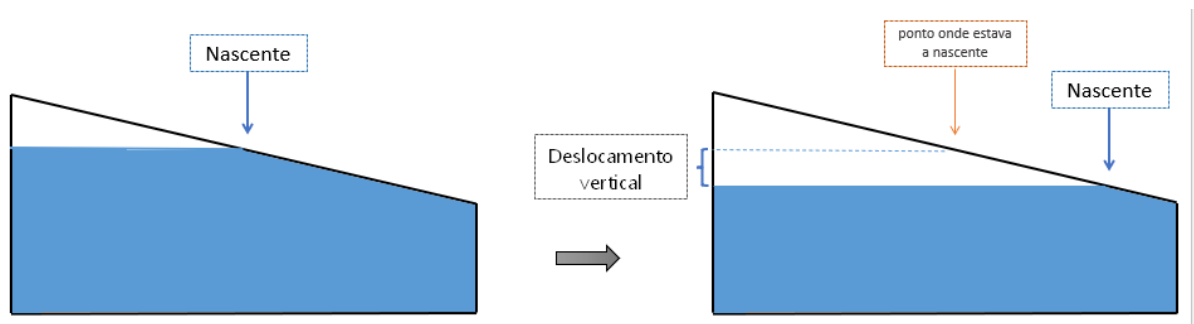
Para compreender as características dessa mobilidade, os dados foram analisados em Excel por meio de três gráficos:

- i. Combinação entre o gráfico de dispersão, com os dados de deslocamento, e de coluna agrupada, contendo os dados de precipitação acumulada em 24h, 7 dias e 15 dias para compreender a relação entre a precipitação e o deslocamento de nascentes.
- ii. Gráfico Boxplot com a mediana contendo os dados de deslocamento. O objetivo foi analisar o trecho de deslocamento e foi verificar valores atípicos (outliers).
- iii. Sobreposição dos deslocamentos com os períodos do BHC sequencial

3.5.2 Deslocamento vertical

Neste estudo, o deslocamento vertical foi considerado como a distância vertical entre dois pontos, conforme esquematizado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema do deslocamento vertical de uma nascente



Fonte: Elaborado pela autora

O deslocamento vertical foi determinado com os resultados do deslocamento horizontal e do MDE no QGIS, da seguinte forma:

- i. Extraíu-se as curvas de nível do MDE com a ferramenta “Raster – Extrair – Contorno”. O parâmetro “equidistância entre contornos” foi definido como “0,2”, por ser a escala adequada ao nível de detalhamento do levantamento topográfico realizado. Nenhum outro parâmetro foi modificado.
- ii. As curvas de nível foram rotuladas em “propriedades – rótulos – rótulos individuais”. O valor utilizado para os rótulos foi a elevação.
- iii. Analisou-se as curvas de nível das posições A e B;
- iv. Os valores das curvas de nível foram subtraídos, resultando nos deslocamentos vertical.

3.6 Delimitação das áreas legalmente protegidas considerando a mobilidade de nascentes

As dimensões das APP, das FMOR obedeceram a Lei n. 12.651/12 (BRASIL, 2012a) e suas alterações provenientes da Lei n. 12.727/12 (BRASIL, 2012b) (Quadro 1).

Quadro 1 - Delimitação da Área de Preservação Permanente (APP) e da Faixa Mínima de Recomposição Obrigatória (FMRO) no entorno de nascentes e de cursos d'água de acordo com a Lei n. 12.651/12

	APP	FMRO			
		Tamanho do imóvel (MF) ¹			
		Até 1 MF	1 a 2 MF	2 a 4 MF	> 4 MF
Nascente (área de recomposição delimitada com um raio)	50	15	15	15	15
Curso d'água ² (área de recomposição delimitada com faixas marginais)	30	5	8	15	30

Legenda: ¹Módulos Fiscais (BRASIL, 1979); ²cursos d'água de primeira.

As áreas foram delimitadas utilizando o software ArcView (versão 10.2) e QGIS (versão 3.22), adotando o sistema de coordenadas planas “Universal Transverso de Mercator – UTM, com Datum SIRGAS 2000, fuso 22 Sul”.

A área com vegetação protegida foi delimitada simulando um curso d'água de 100 m de extensão. Dez esquemas (1A,1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A, 4B, 5A, 5B) foram simulados, conforme Quadro 2. A posição “A” refere-se à posição Alta e a posição “B”, à Baixa.

Quadro 2 – Esquemas para a demarcação da APP¹ e FMRO² de nascentes

Característica	Nascente demarcada no ponto alto (A)	Nascente demarcada no ponto baixo (B)
50 m de raio para proteção de nascentes e 30 m de faixa para proteção do curso d'água (1).	1A	1B
15 m de raio para a proteção de nascentes e de faixa para proteção do curso d'água de 5 m (2).	2A	2B
15 m de raio para a proteção de nascentes e 8 m para faixa de proteção do curso d'água de 8 m (3).	3A	3B
15 m de raio para a proteção de nascentes e de faixa para proteção do curso d'água de 15 m (4).	4A	4B
15 m de raio para a proteção de nascentes e 5 m de faixa para proteção do curso d'água de 30 m (5).	5A	5B

Fonte: Elaborado pela autora

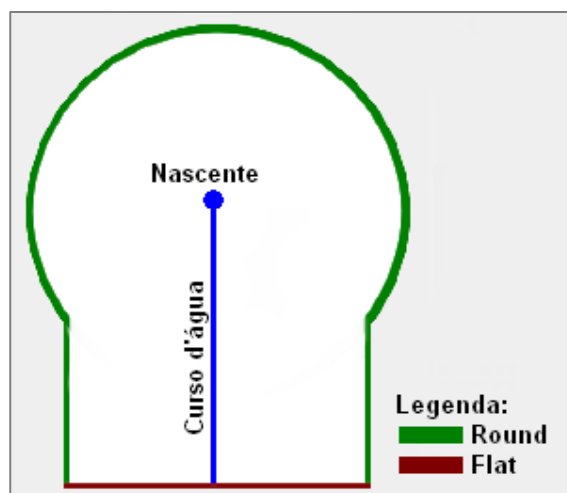
Legenda: ¹Área de Preservação permanente (BRASIL, 2012a); ²Faixa Mínima de Recomposição Obrigatória (BRASIL, 2012b).

Assim, aplicou-se o seguinte método para elaborar o esquema de cada cenário. No ArcView:

- i. Com os resultados, criou-se um polígono da área protegida utilizando a ferramenta “Flat” para o ponto até o qual o curso d'água foi delimitado, e a

ferramenta “Round” para as demais margens, conforme esquematizado na Figura 6. O parâmetro “distância” variou de acordo com o tamanho do imóvel rural, conforme esquematizado no quadro 2.

Figura 6 – Esquema da utilização das ferramentas Round e Flat do ArcView



Fonte: Elaborado pela autora

No QGIS (3.22):

- ii. Utilizando a ferramenta “diferença” do menu “geoprocessamento” na aba “vetor”, criou-se um polígono da diferença entre as áreas, isto é, a diferença da área que é protegida ao se demarcar a nascente na posição A, mas que fica desprotegida ao se demarcar na posição B. A camada de entrada foi a APP delimitada com a nascente no ponto máximo e a de sobreposição, a delimitada com a nascente no ponto mínimo, ambas obtidas no ArcView do passo anterior.
- iii. Abriu-se a tabela de atributos do polígono criado e ativou-se o modo de edição.
- iv. Calculou-se a diferença entre as áreas através da “calculadora de campo”, aplicando a expressão “\$area”

3.7 Delimitação da FMRO sob duas interpretações

Há duas diferentes interpretações de como se demarca a FMRO. Uma delas considera que a área no entorno da nascente não é faixa marginal do curso d’água, e por serem partes dissociadas, a FMRO das nascentes pode ser menor que a dos

cursos d'água, dissociando-as. A outra, considera nascente como faixa marginal do curso d'água e, por serem partes integrantes, a FMRO das nascentes é, no mínimo, igual à dos cursos d'água, isto é, 30 m para os imóveis rurais com mais de 4 MF. Por isso, outros dois esquemas (IA e IB) foram elaborados (Quadro 3).

Quadro 3 – Esquemas para a interpretação da delimitação da Faixa Mínima de Recomposição Obrigatória (FMRO)¹

Esquema	Característica
IA	FMRO da nascente delimitada considerando a nascente e o curso d'água dissociados, por isso, a nascente pode ter uma faixa de proteção marginal menor que a do curso d'água
IB	FMRO da nascente delimitada considerando nascente como parte do curso d'água, por isso, a nascente não pode ter uma faixa de proteção marginal menor que a do curso d'água, pois sua faixa marginal também é faixa marginal do curso d'água

Fonte: Elaborado pela autora baseado na Lei n. 12.651/12 e suas alterações (BRASIL, 2012a; BRASIL, 2012b)

Legenda: ¹As FMRO de nascentes são demarcadas com um raio de 15 m e a de cursos d'água, com faixas marginais de proteção de 5 m para imóveis com até 1 Módulos Fiscais (MF), 8 m para imóveis com 1 a 2 MF, 15 m para imóveis com 2 a 4 MF e 30 m para aquelas com mais de 4 MF. Nessa FMRO, é obrigatório recompor a vegetação nativa.

Focando apenas na nascente, sendo esta, uma nascente qualquer, aplicou-se o seguinte método para a simulação de cada cenário:

- v. Utilizando a ferramenta “buffer” do menu “geoprocessamento” na aba “vetor”, criou-se um polígono da área protegida, com o parâmetro “distância” variando de acordo com o tamanho do imóvel rural.
- vi. As camadas foram unidas com a ferramenta “União”.
- vii. Abriu-se a tabela de atributos do polígono criado e ativou-se o modo de edição.
- viii. Calculou-se as áreas dos polígonos individuais e unidos através da “calculadora de campo”, aplicando a expressão “\$area”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dinâmica da precipitação, da temperatura e do BHC

O comportamento da temperatura, da precipitação e do BHC foi avaliado para caracterizar o período de estudo. Desta forma, analisou-se a mobilidade da precipitação, da temperatura e do BHC do período de estudo frente à normal.

4.1.1 A precipitação no período de estudo

A precipitação total anual registrada apresentou valor menor do que o valor da normal e menos dias chuvosos.

Janeiro apresenta, tipicamente, cerca de 100 mm a mais de precipitação do que dezembro e fevereiro, os segundos meses mais chuvosos. A redução de 30% que ocorreu em jan/21 representa 92 mm a menos de chuva, aproximando-se ao mês de dez/20, mas não ao de fev/21, que apresentou redução de 72% (Tabela 1).

Tabela 1 – Precipitação normal¹ comparada ao período de estudo (ago/20 a nov/21) para caracterizá-lo como igual (0), abaixo (valores negativos) ou acima (valores positivos) da normal de Botucatu/SP

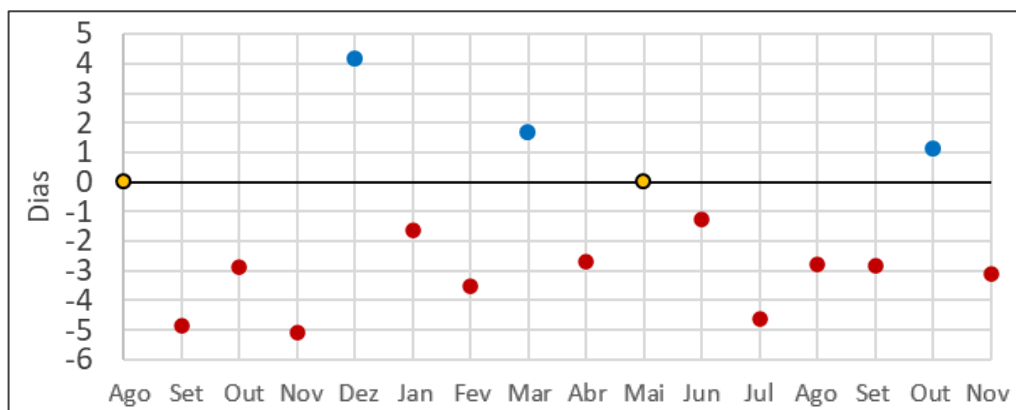
Período	Precipitação normal (mm)	Precipitação mensal (mm)	Diferença (mm)	Diferença (%)
Ago/20	35	35	00	0%
Set/20	77	10	-67	-87%
Out/20	119	69	-49	-42%
Nov/20	134	133	-1	-1%
Dez/20	197	214	18	9%
Jan/21	313	220	-92	-30%
Fev/21	215	61	-154	-72%
Mar/21	161	144	-17	-10%
Abr/21	77	61	-16	-21%
Mai/21	77	77	0	0%
Jun/21	53	42	-11	-21%
Jul/21	40	0	-40	-100%
Ago/21	35	23	-12	-35%
Set/21	77	10	-67	-87%
Out/21	119	196	77	65%
Nov/21	134	138	4	3%
Total	1862,14	1432,79	-429,35	-23% (período de estudo com precipitação abaixo da normal)

Fonte: Elaborado pela autora.

¹Determinada a partir de um período de 30 anos (1991 a 2020), conforme recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (World Meteorological Organization – WMO).

A precipitação no período de estudo foi 23% (429 mm) menor em relação à normal, porém, essa redução não está distribuída uniformemente. Por isso, avaliou-se a diferença de dias chuvosos (Figura 7).

Figura 7 – Diferença¹ na quantidade de dias chuvosos entre o período de estudo (ago/20 – nov/21) e à média da normal (1991 a 2020)¹ em Botucatu – SP



Fonte: Elaborado pela autora subtraindo a média da normal do período estudado.

¹Os pontos azuis representam a quantidade de dias que se choveu a mais no período de estudo comparado a normal e os pontos vermelhos, a quantidade de dias que se choveu a menos; ²Determinada a partir de um período de 30 anos (1991 a 2020), conforme recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (World Meteorological Organization – WMO).

Janeiro e fevereiro de 2021, os meses com a maior diferença de precipitação acumulada (mm), tiveram dois e quatro dias a menos de chuva, respectivamente, em contrapartida, em nov/20, que tem praticamente a mesma quantidade de precipitação acumulada, choveu cinco dias, revelando chuvas mais intensas. Os meses com diferença maior que 50% foram set/20, fevereiro, julho e setembro de 2021, sendo que em jul/21 não houve precipitação. De 1991 a 2020, o fenômeno de não precipitar em julho ocorreu outras quatro vezes. Em dez/20 e em outubro e novembro de 2021 choveu mais no período de estudo do que na normal, no entanto, em dez/20 e out/21 choveram mais dias (5 e 1, respectivamente) e em nov/21, choveu três dias a menos. Mar/21 também teve mais dias chuvosos do que a normal, no entanto, houve uma diferença na precipitação mensal de 10%. Ago/20 e mai/21 registraram normais iguais devido às diversas falhas. No total, choveu 23 (23,46) dias a menos durante o ano hidrológico (19,6%).

4.1.2 A temperatura no período de estudo

A temperatura apresentou valor abaixo da média e maior amplitude térmica que a média da normal.

A temperatura média anual do período de estudo foi 2% menor que a normal (20,6 °C e 21°C). Porém, a temperatura é desuniforme ao longo do ano. Em setembro, outubro e novembro de 2020 e setembro de 2021, a temperatura teve diferença positiva de mais de 1,5°C, com destaque para set/20, com 3,44°C a mais. Em abril, julho e outubro de 2021, a diferença negativa da temperatura foi maior do que 1°C, com destaque para out/21, com 1,92°C a menos. As diferenças extremas positivas são maiores que as diferenças negativas (3,44 > 1,92 °C). Seis meses apresentaram diferença positiva na temperatura e seis meses, negativa (Tabela 2).

Tabela 2 – Temperatura média normal¹ comparada ao período de estudo (ago/20 a nov/21) para caracterizá-lo como igual (0), mais frio (valores negativos) ou mais quente (valores positivos) do que a normal de Botucatu/SP

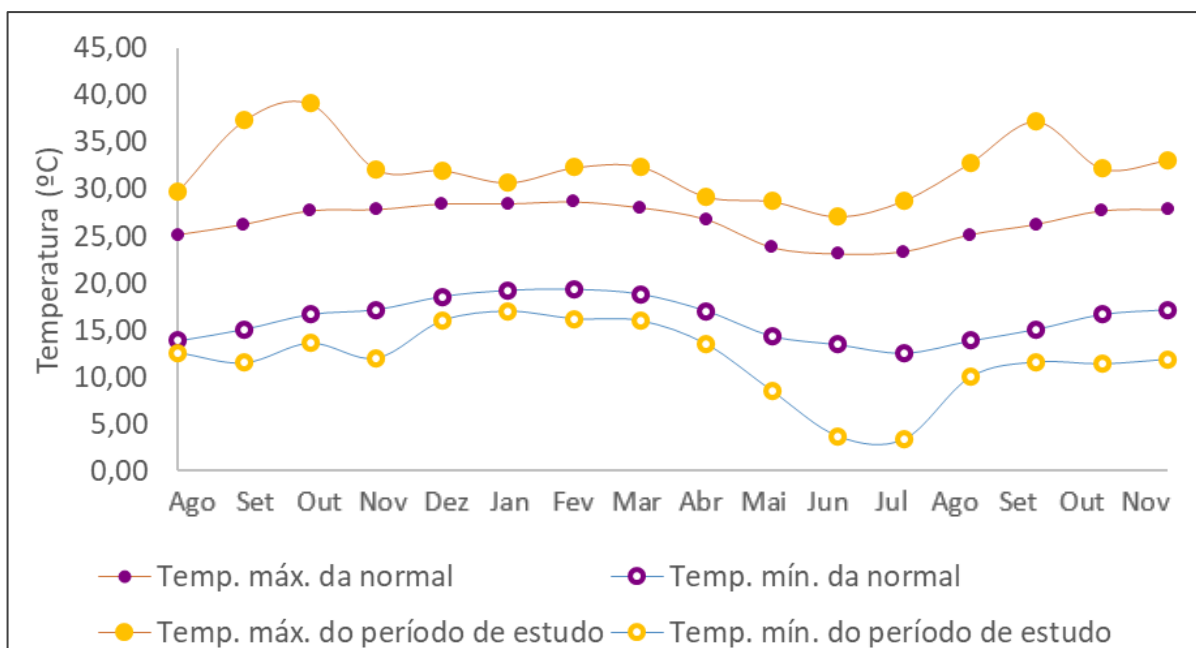
Período	Média da normal (°C)	Temperatura média (°C)	Diferença (°C)	Diferença (%)
ago/20	18,88	18,88	0,00	0%
set/20	20,05	23,49	3,44	17%
out/20	21,30	23,98	2,68	13%
nov/20	21,68	23,31	1,63	8%
dez/20	22,69	22,38	-0,32	-1%
jan/21	22,91	22,97	0,06	0%
fev/21	23,15	22,69	-0,46	-2%
mar/21	22,66	23,22	0,56	2%
abr/21	21,38	19,75	-1,63	-8%
mai/21	18,35	18,35	0,00	0%
jun/21	17,62	17,02	-0,60	-3%
jul/21	17,46	16,38	-1,08	-6%
ago/21	18,88	19,59	0,71	4%
set/21	20,05	22,26	2,21	11%
out/21	21,30	19,38	-1,92	-9%
nov/21	21,68	21,57	-0,11	0%
Total	20,627	20,951	-0,324	-2% (período de estudo mais frio do que a normal)

Fonte: Elaborado pela autora.

¹Determinada a partir de um período de 30 anos (1991 a 2020), conforme recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (World Meteorological Organization – WMO).

A amplitude térmica do período de estudo é maior que a normal em todos os meses, com máximas e mínimas mais expressivas (Figura 8 e Tabela 3).

Figura 8 – Amplitude térmica do período de estudo (ago/20 – nov/21) e da normal (1991 a 2020)¹ em Botucatu – SP



Fonte: Elaborado pela autora.

¹Determinada a partir de um período de 30 anos (1991 a 2020), conforme recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (World Meteorological Organization – WMO).

Tabela 3 – Amplitude térmica normal¹ comparada ao período de estudo (ago/20 a nov/21) para caracterizar sua amplitude térmica como igual (0), menor (valores negativos) ou maior (valores positivos) que a normal de Botucatu/SP

Mês	Amplitude térmica (°C)		
	Normal	Período de estudo	Diferença
Ago/20	11,26	17,20	5,94
Set/20	11,16	25,80	14,64
Out/20	11,05	25,50	14,45
Nov/20	10,67	20,10	9,43
Dez/21	9,52	16,00	6,48
Jan/21	9,24	13,70	4,46
Fev/21	9,35	16,10	6,75
Mar/21	9,23	16,40	7,17
Abr/21	9,74	15,70	5,96
Mai/21	9,40	20,20	10,80
Jun/21	9,61	23,40	13,79
Jul/21	10,74	25,40	14,66
Ago/21	11,26	22,80	11,54
Set/21	11,16	25,60	14,44
Out/21	11,05	20,80	9,75
Nov/21	10,67	21,20	10,53

Todos os meses no período de estudo apresentaram maior amplitude térmica comparado a normal

Fonte: Elaborado pela autora.

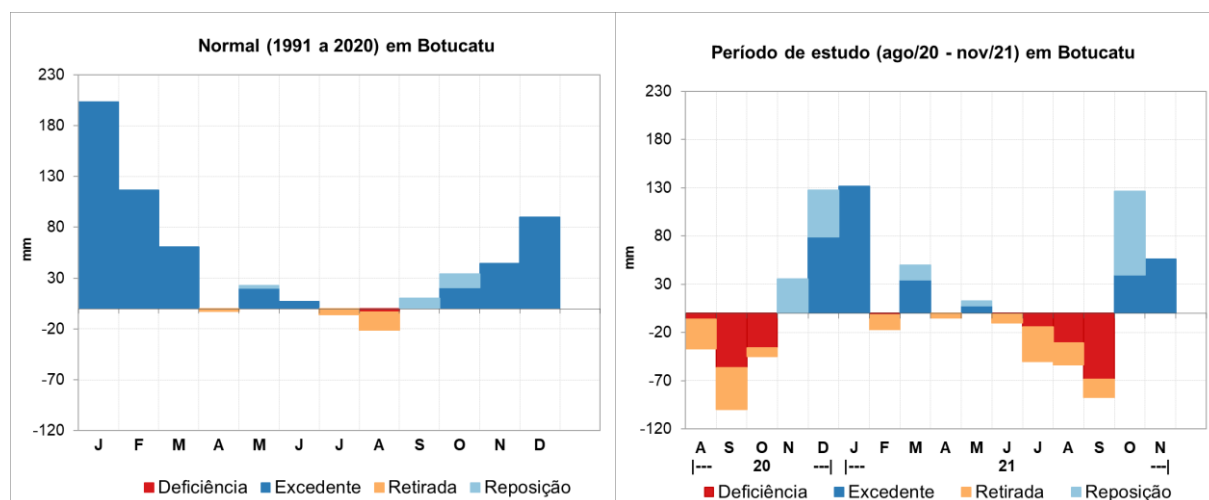
¹Determinada a partir de um período de 30 anos (1991 a 2020), conforme recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (World Meteorological Organization – WMO).

Em ago/20 e de dezembro a abr/21, a amplitude é menor, com valores entre 4,5 e 7,5 °C. Janeiro apresentou a menor diferença na amplitude térmica (4,46 °C). Nos meses de setembro e out/20 e julho e set/21, as diferenças encontradas variaram por volta dos 14,5 °C.

4.1.3 O BHC no período de estudo

Como resultado da precipitação abaixo da média e da maior amplitude térmica, o BHC no período de estudo apresentou maior déficit hídrico. Ao final das coletas, a água estava sendo reposta (Figura 9).

Figura 9 – Normal (1991 a 2020)¹ e período de estudo (2020 e 2021) em Botucatu – SP



Fonte: Elaborado pela autora.

¹Determinada a partir de um período de 30 anos (1991 a 2020), conforme recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (World Meteorological Organization – WMO).

De acordo com a normal, a reposição ocorre em setembro, no entanto, em 2020, a maior deficiência ocorreu em setembro, com reposição total apenas em dez/20. Set/21 apresentou maior deficiência do que o mesmo mês de 2020 e a reposição total de água no solo ocorreu em outubro de 2021. Houve déficit em fev/20, que foi repostado em mar/20. A somatória de todos os excedentes, de janeiro a nov/21 (204,3 mm), se aproximou do excedente que houve apenas em janeiro da normal (197,3 mm). Dezembro apresentou excedente, mas só há dados até 20/12/21. O período analisado apresenta maior deficiência e retirada de água do solo do que a normal.

4.2 Deslocamento das nascentes

A mobilidade de nascentes está atrelada ao ciclo hidrológico, tendo a precipitação como a principal fonte de entrada de água no sistema. O deslocamento horizontal e vertical das nascentes foi avaliado para a compreensão da sua mobilidade. Com frequência semanal e após um evento de precipitação, as idas a campo totalizaram cento e oito vezes em NI e NII e noventa e uma vezes em NIII. As quatro primeiras idas foram para calibrar o critério.

4.2.1 Deslocamento horizontal

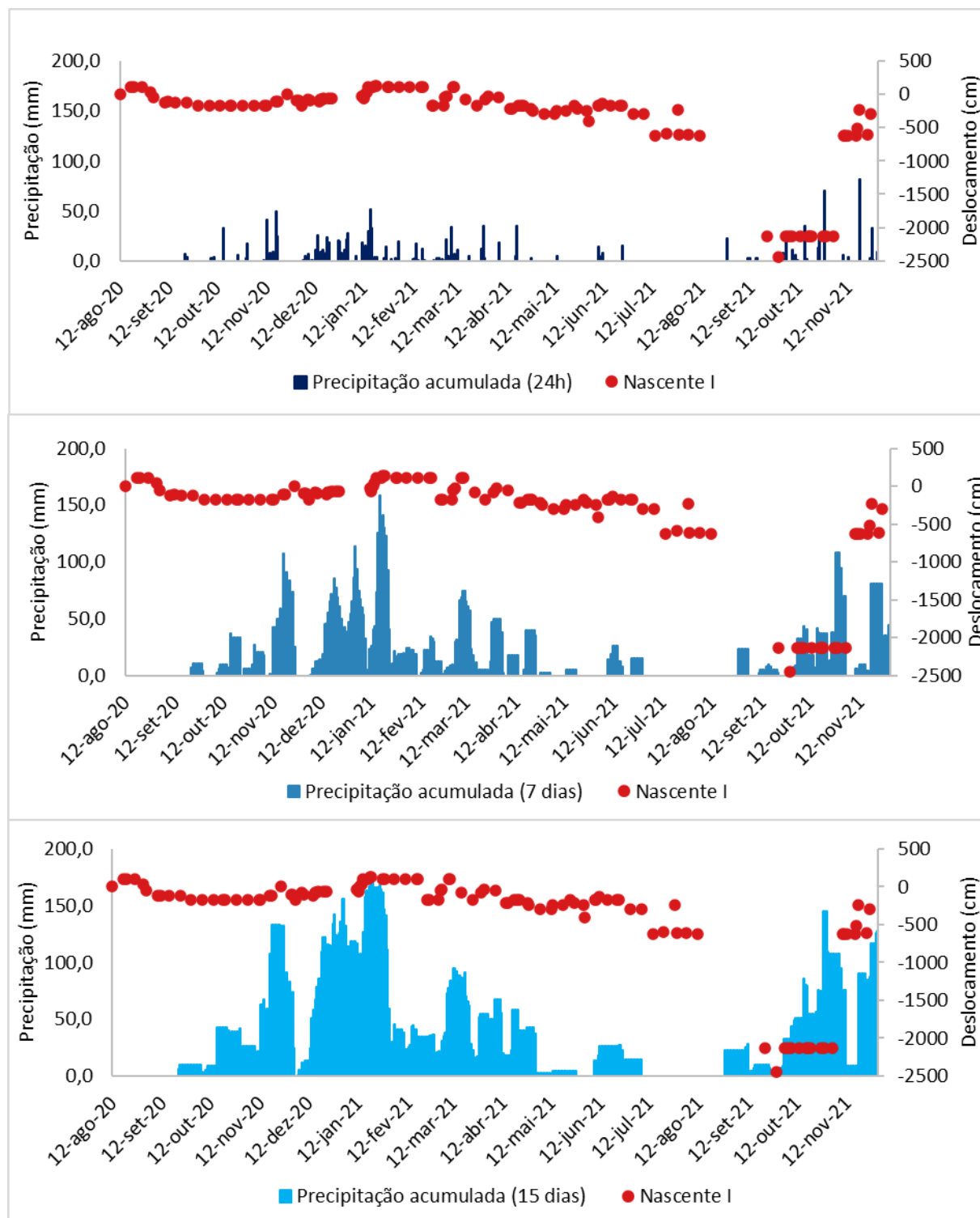
Em relação à classificação da mobilidade (móvel ou fixa), apenas NII classifica-se como fixa (FARIA, 1997). NI teve a maior movimentação, com 25,8 m, NII permaneceu fixa e NIII se deslocou 2,2 m. A mobilidade da nascente é determinada pelo tamanho e permeabilidade da bacia de contribuição (WINTER, 2007) e uma limitação deste estudo foi a ausência das curvas de nível em escala adequada que impossibilitou a delimitação automática das microbacias e da ausência de dados de vazão e de textura do solo, pois essas informações seriam capazes de caracterizar a área e, assim, melhorar a compreensão dos processos atuantes no deslocamento de cada nascente.

As Figuras 10, 11 e 12 mostram a movimentação de cada nascente durante todo o período de estudo (ANEXO E) sobreposta à precipitação acumulada de 24 horas, 7 dias e 15 dias.

NI se deslocou 25,8 m e esteve em 24 posições (-2448, -2134, -627, -610, -593, -518, -404, -299, -245, -233, -212, -176, -134, -122, -110, -98, -77, -62, -51, -29, 0, 40, 105, 134). NI se manteve nas posições 105, -176 e -2134 quase metade do período estudado (43,52%), sendo -176 a posição mais frequente (21,3% das vezes), seguida de -2134 e 105 (12,0 e 10,2% das vezes). A posição mais alta (134) foi atingida duas vezes, nos dias 19 e 20 de janeiro. A posição mais baixa (-2448), foi atingida uma vez, no dia 29/09/2021. Após esse dia, NI se manteve na posição -2134 até dia 03/11/2021 e começou a se deslocar a montante. O maior deslocamento em relação ao ponto anterior foi entre as posições -627 e -2134, com deslocamento de 1507 cm entre visitas, tanto no sentido positivo do trecho de deslocamento, que ocorreu no início de

nov/21, quanto no negativo, que ocorreu em agosto e set/21 (Figura 10). Assim, a NI é móvel.

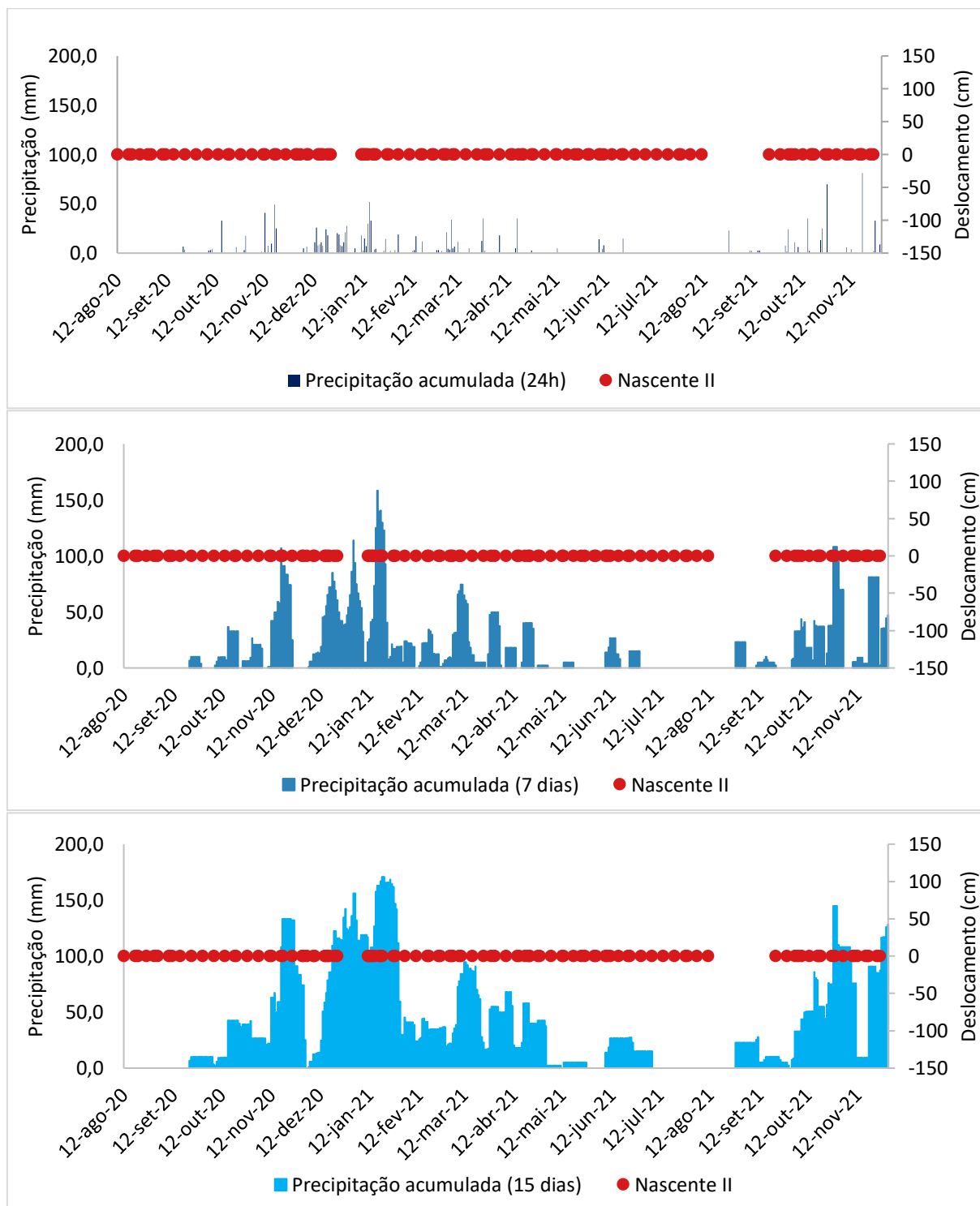
Figura 10 – Deslocamento horizontal da Nascente I (NI) e precipitação acumulada de 24 horas, 7 dias e 15 dias em Botucatu – SP



Fonte: Elaborado pela autora.

NII esteve em uma posição (0) e a precipitação não altera sua posição (Figura 11). Assim, a nascente é fixa.

Figura 11 – Deslocamento horizontal da Nascente II (NII) e precipitação acumulada de 24 horas, 7 dias e 15 dias em Botucatu – SP



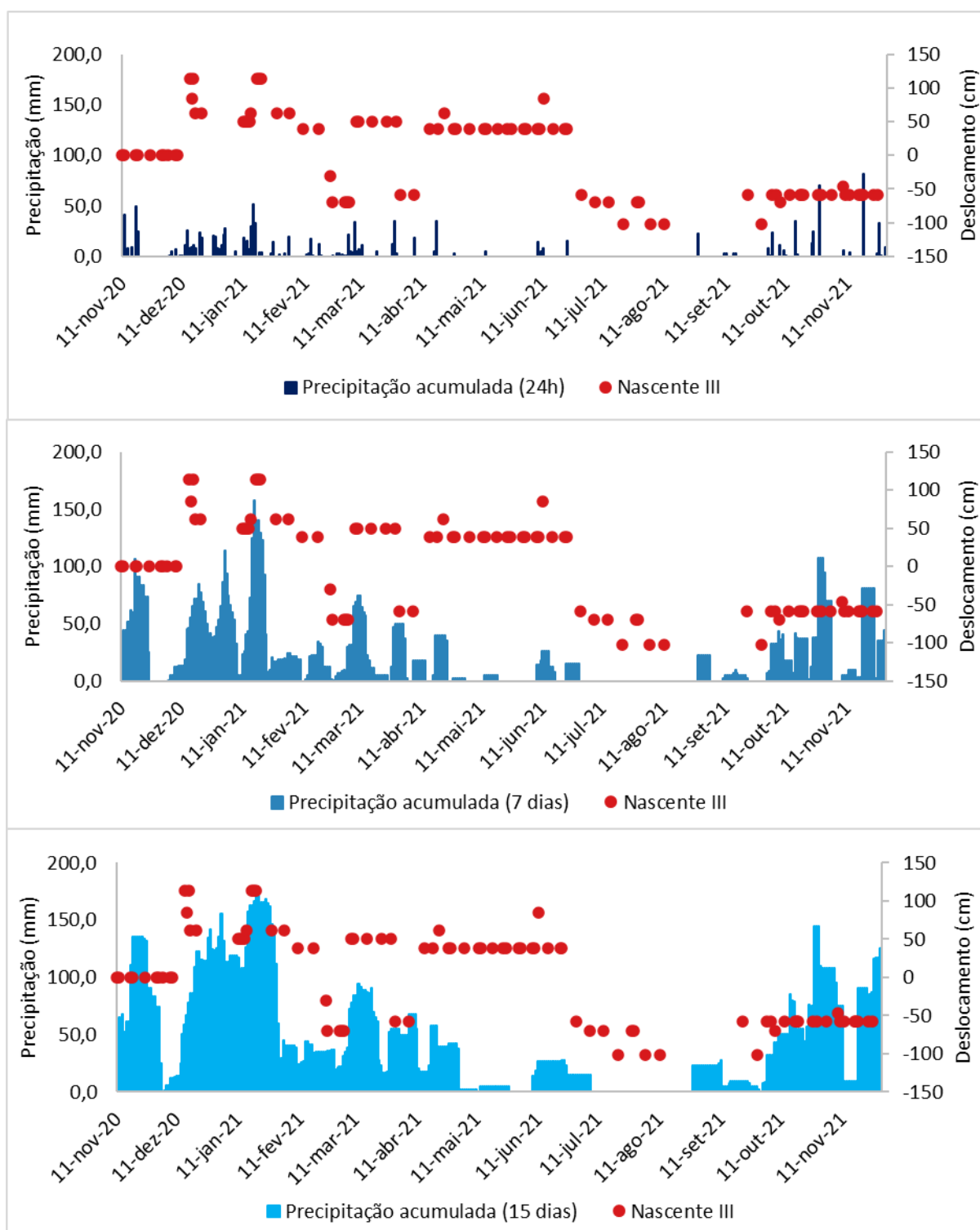
Fonte: Elaborado pela autora.

NIII se deslocou 2,2 m e esteve em 11 posições (-102, -70, -58, -46, -30, 0, 39, 50, 62, 85, 114). As posições 39 e -58 foram as mais frequentes (38%). A posição mais alta (114) foi atingida cinco vezes, duas ao final de dez/20 e três ao final de jan/21. Durante esse período, os deslocamentos variaram entre 50 e 85 cm. A posição mais baixa (-102 cm) foi atingida 4 vezes (julho, agosto e set /21). Além disso, NIII atingiu valores de deslocamento negativos em fevereiro, março e abril/21 (Figura 12). Assim, NIII é móvel.

Das três nascentes estudadas, NII (fixa) tem o talvegue mais definido, a maior vazão e, a partir da delimitação manual, a maior bacia de contribuição. Essa caracterização está de acordo com a literatura, pois nascentes com um reservatório maior e mais permeável apresentam um ponto de origem mais estável e uma maior vazão (WINTER, 2007). Em contrapartida, é provável que NI e NIII sejam formadas por reservatórios menores ou com baixa permeabilidade, pois esses tipos de formação geralmente originam nascentes móveis e com baixa vazão (WINTER, 2007), característica comum às duas.

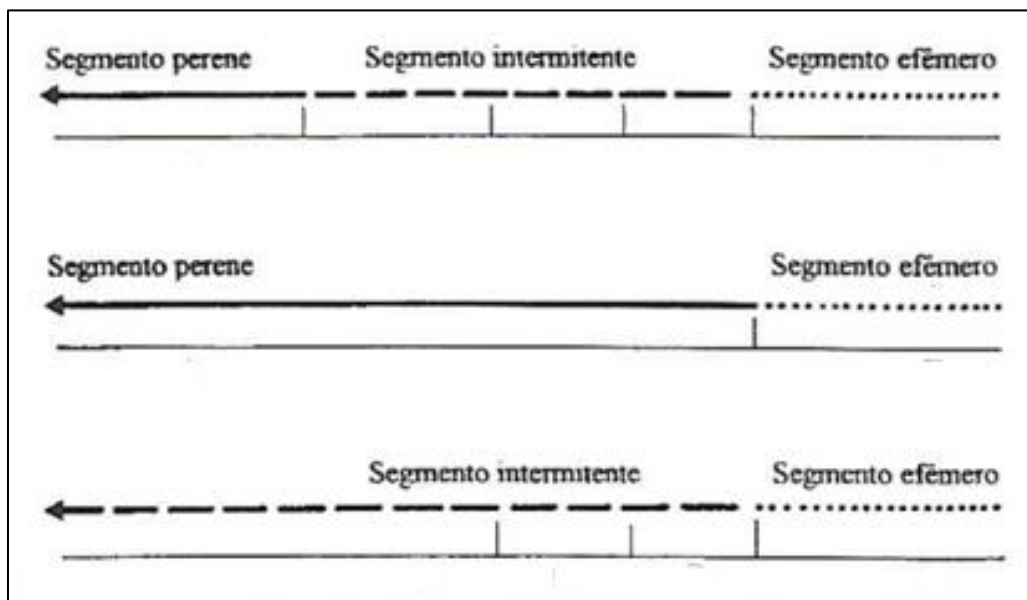
Em consequência do deslocamento de nascentes, há três segmentos nos cursos d'água de primeira ordem: efêmeros, intermitentes e perenes (Figura 13). O canal formado quando as reservas de água no solo atingem o maior déficit hídrico do ano hidrológico é o segmento perene do canal, cujo qual nunca seca. No período de maior excedente hídrico a nascente se desloca a montante no canal e a distância do início do canal perene até o ponto máximo a montante do talvegue é o segmento intermitente, que seca durante algum período do ano. O segmento efêmero é o trecho que só existe durante e/ou pouco tempo após um evento de precipitação, pois não recebe água do lençol freático (FARIA, 1997).

Figura 12 – Deslocamento horizontal da Nascente III (NIII) e precipitação acumulada de 24 horas, 7 dias e 15 dias em Botucatu – SP



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 13 – Canais fluviais de primeira ordem



Fonte: simplificado de FARIA, 1997

O segmento efêmero está presente em todos os cursos d'água de primeira ordem (FARIA, 1997). Em relação à dinâmica dos cursos d'água denominados CI, CII e CIII, respectivamente originários das nascentes NI, NII e NIII: CI é constituído pelos três segmentos e tem a maior variação, pois nos períodos de cheia, possui fluxo contínuo que percorre 50 m até infiltrar em uma várzea, no entanto, nos períodos de transição entre déficits e excedentes, CI se desconecta, originando uma nascente e uma pseudo nascente (FARIA, 1997); CII é constituído pelos segmentos perene e efêmero, apresenta a maior vazão e tem seu fluxo desviado para um tanque de piscicultura; CIII é constituído pelos três segmentos, tem fluxo contínuo com extensão de 7,3 m, momento em que se torna curso de segunda ordem e percorre 18,7 metros até desaguar no Ribeirão Lavapés.

A desconexão observada no curso d'água de NI é comum em curso de primeira ordem, pois cursos d'água conectados geralmente estão atrelados a uma grande quantidade de pontos de afloramento ao longo de sua extensão, uma vez que a água proveniente apenas da nascente geralmente não é suficiente para manter o fluxo superficial frente às perdas evapotranspirativas e por infiltração (WINTER, 2007).

Ainda em relação ao CI, a contração e extensão dos riachos e o consequente deslocamento de nascente alteram significativamente o tempo de resposta à

precipitação, mesmo que os outros fatores continuem iguais, pois com o aumento da umidade do solo, o tempo de viagem fica mais curto (MEERVELD et al., 2019).

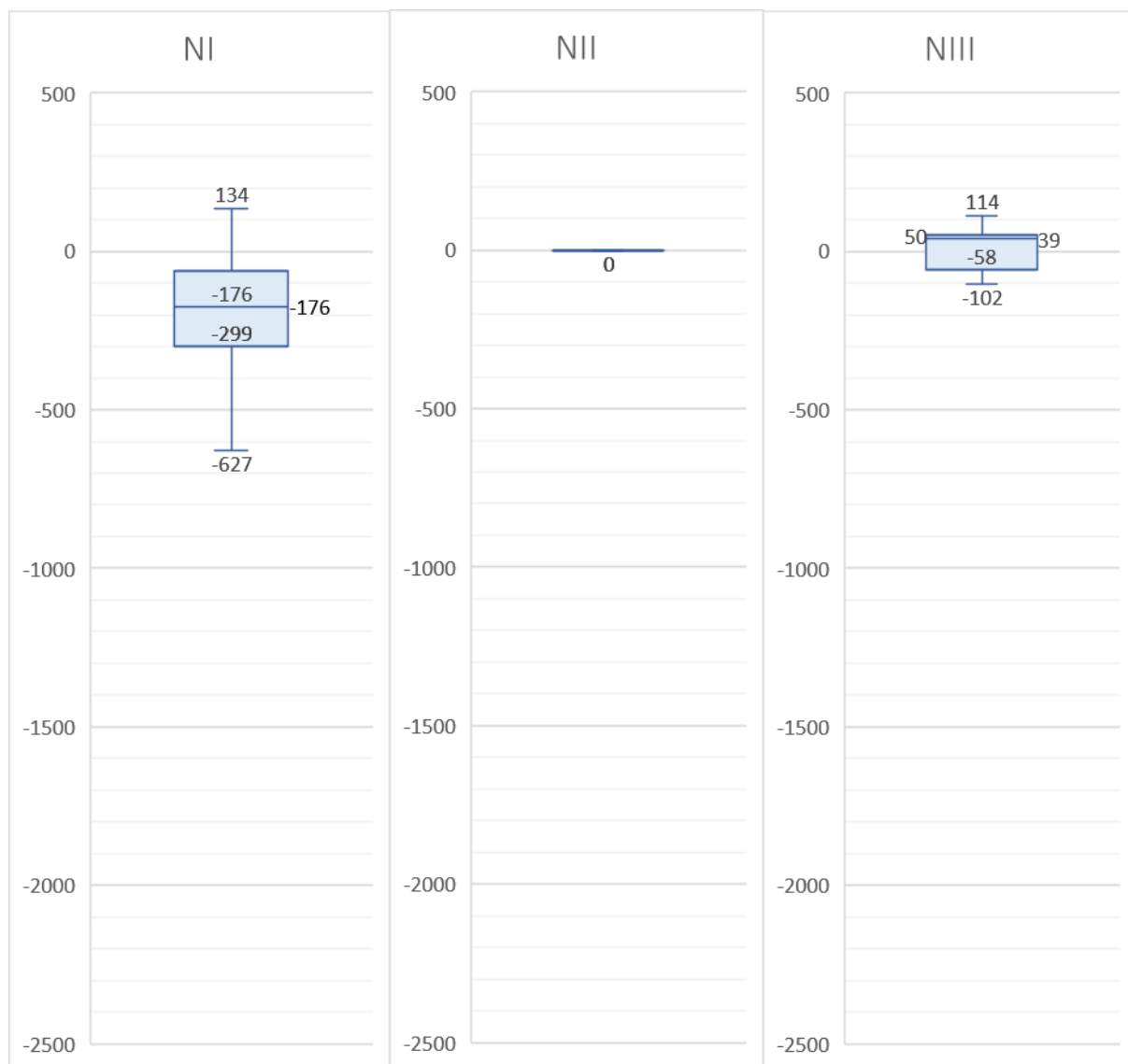
Além disso, a mudança no nível da água altera a condutividade hidráulica subsuperficial (HAFEN et al., 2022) e à medida que a descarga aumenta, nos períodos de reposição, aumenta-se o controle geológico e diminui-se o forçamento hidrológico (WARD; SCHMADEL; WONDZELL, 2018), o que pode explicar a menor variação de posição de NI em períodos de reposição hídrica, (uma vez que as características geológicas são imutáveis na escala de tempo estudada) frente aos períodos de retirada, onde o processo dominante é a variável precipitação. Isso pode ser mais uma razão da NI se manter mais tempo nas maiores posições, pois, além de ser um período mais chuvoso, o tempo de resposta à precipitação é menor.

A Figura 14 faz uma análise dos deslocamentos observados. As posições padrões de NI variaram entre 134 e -627, sendo mais comumente encontrada entre -62 e -299, portanto, a diferença foi de 7,6 e 3,6 m, respectivamente, entre posições. As posições -2134 e -2448 foram consideradas como valores atípicos. NII se manteve na posição T0. As posições padrões de NIII variaram entre 114 e -102, sendo mais comumente encontrada entre 50 e -58, portanto, a diferença foi de 2,2 e 1,1 m, respectivamente, entre posições.

NI e NII foram demarcadas no dia 12/08/2020 (período seco) e NIII, no dia 11/11/2020 (período úmido) e a distância entre a posição T0 e a posição A é de 1,34 m para NI, 0 m para NII e 1,14 m para NIII. Isso significa que caso a APP fosse demarcada a partir da posição T0, haveria pouco ou nenhum prejuízo de área vegetada, mesmo para NI, que é móvel e foi demarcada na seca. Isso porque, desconsiderando os valores atípicos, a área de deslocamento foi de 7,6 m (NI), 0m (NII) e 2,2 m (NIII) e o padrão de deslocamento ocorre principalmente em uma área de 3,6 m (NI), 0 m (NII) e 1,1 m (NIII) (Figura 14).

Os valores atípicos observados de setembro a nov/21 em NI são explicados pelo ano anômalo em que foi realizado o estudo (conclusão do item 4.1), caracterizando-se com 23% a menos de precipitação, 19,6% a menos de dias chuvosos e com amplitude térmica mais expressiva em todos os meses, o que refletiu em uma maior retirada de água do solo do que a normal, deslocando a nascente para valores considerados atípicos a partir da análise do Gráfico Boxplot (Figura 14).

Figura 14 – Análise dos deslocamentos das nascentes NI, NII e NIII durante o período de estudo (ago/20 – nov/21) em Botucatu – SP



Fonte: Elaborado pela autora

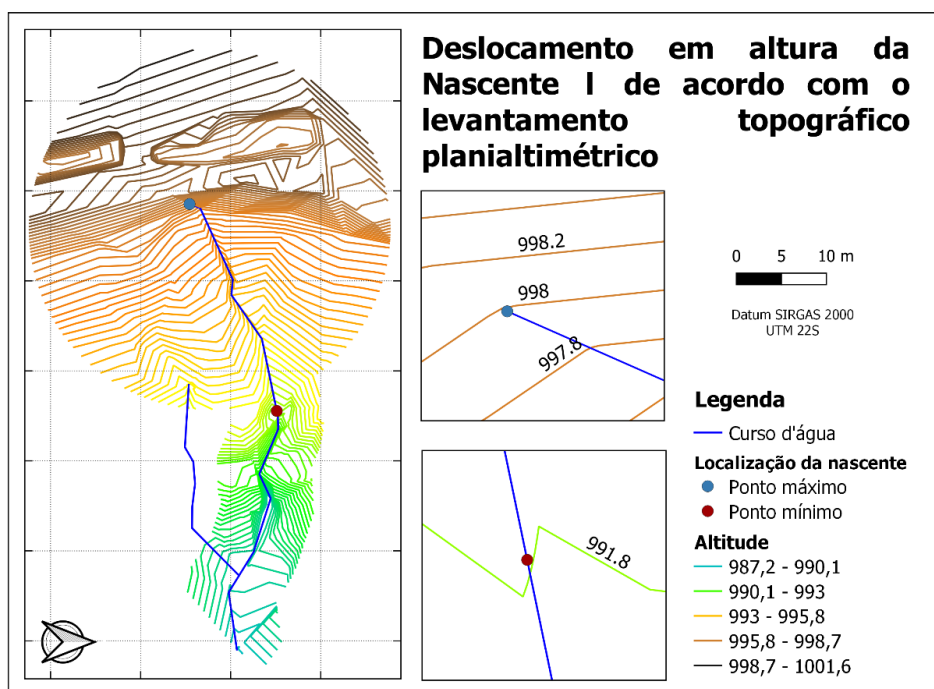
Os valores atípicos observados por NI ocorreram após 4 meses de retirada hídrica (junho a set/21), totalizando 79,4 mm de retirada, valor que não foi observado em nenhum outro período do ano (retirada de agosto a out/20: 23,9 mm; retirada em fev/21: 28,9 mm). Após a reposição (out/21), NI retornou à área de deslocamento padrão (segundo decêndio de nov/21) (Figura 14).

4.2.2 Deslocamento vertical

NI teve a maior movimentação vertical (6,2 m); NII não se movimentou no período de estudo; e NIII se deslocou 12,1% comparado a NI (0,75 m). As Figuras 15, 16 e 17

mostram as posições dos pontos máximos e mínimos de cada nascente sobrepostas as curvas de nível.

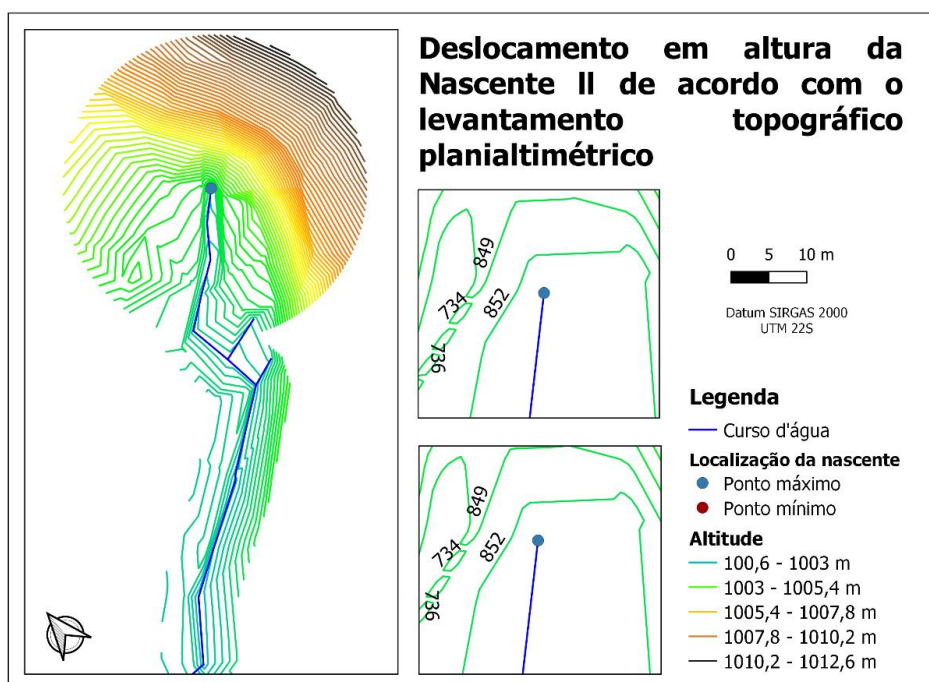
Figura 15 – Deslocamento vertical da Nascente I (NI)



Fonte: Elaborado pela autora

NI se deslocou 6,2 m vertical ao percorrer 25,8 m horizontal.

Figura 16 - Deslocamento vertical da Nascente II (NII)

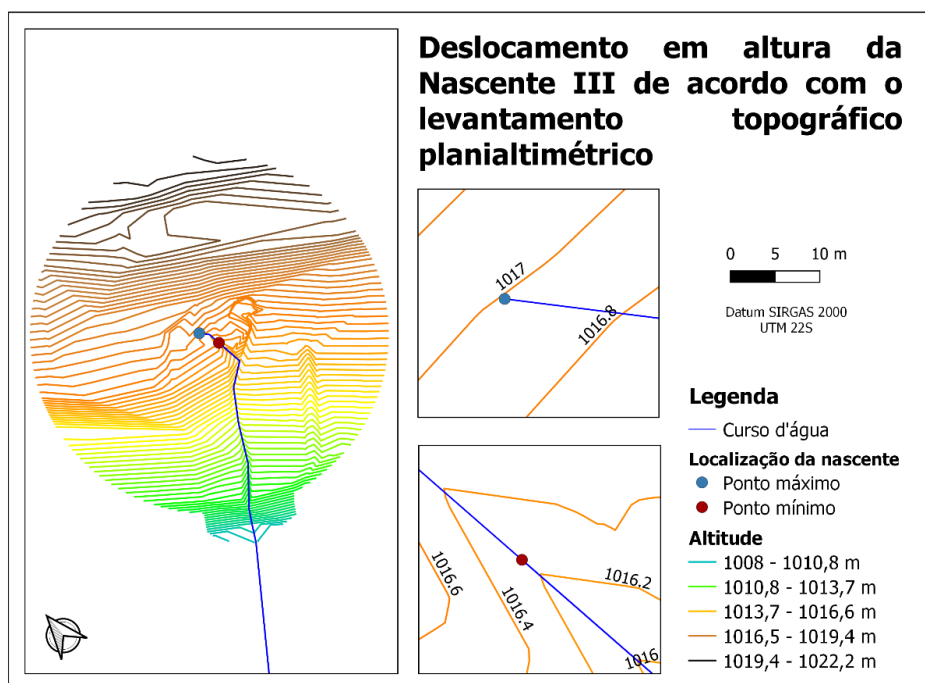


Fonte: Elaborado pela autora.

A nascente II não se deslocou e trata-se de uma nascente fixa.

Por sua vez a nascente III (NIII) se deslocou 0,75 m vertical ao percorrer 2,2 m horizontal.

Figura 17 – Deslocamento vertical da Nascente III (NIII)



Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 4 resume as conclusões deste tópico

Tabela 4 – Deslocamentos da nascente e declividade do canal no trecho do deslocamento e sua classificação

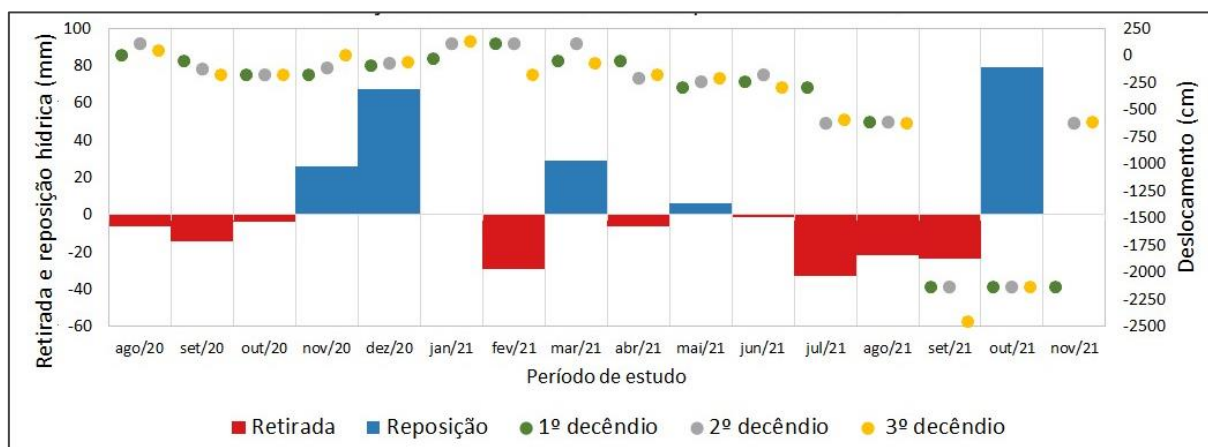
	Nascente I (NI)	Nascente II (NII)	Nascente III (NIII)
Deslocamento horizontal (m)	25,8	0	2,2
Deslocamento vertical (m)	6,2	0	0,75
Declividade do canal	24%	N.A. ¹	34%
Classificação (EMBRAPA, 1979)	Forte ondulado	N.A.	Forte ondulado

Fonte: Elaborado pela autora

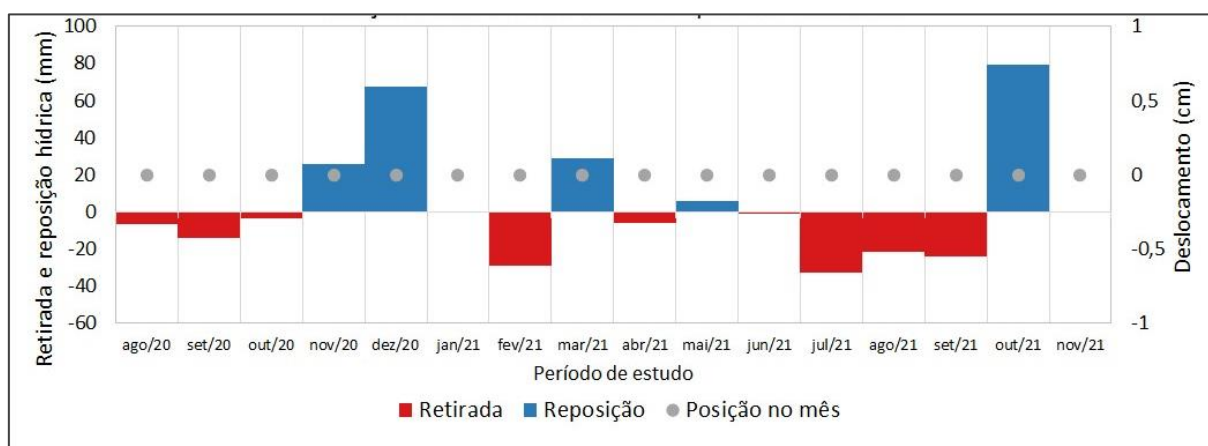
Legenda: ¹Não se aplica.

4.2.3 Mobilidade de nascentes e o BHC

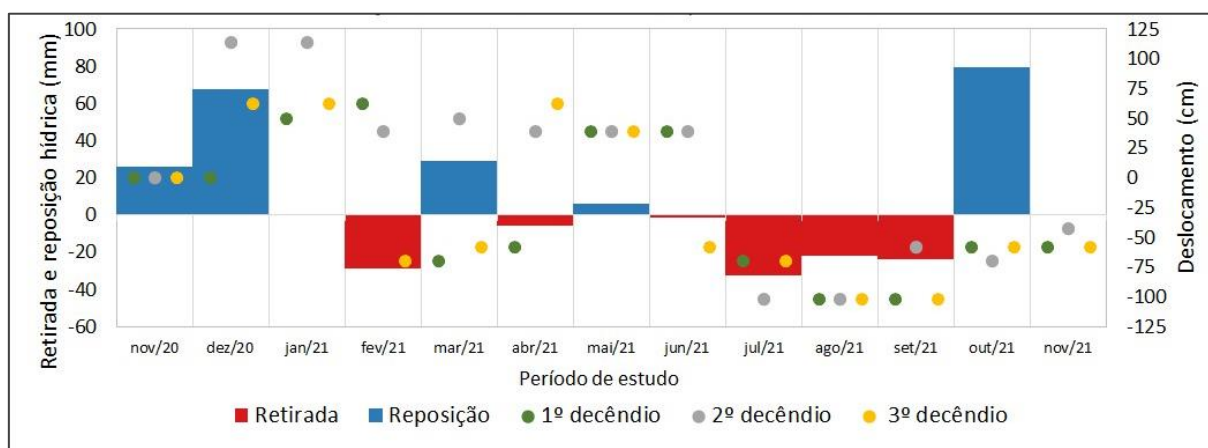
Embora as microbacias sejam próximas (NI – NII: 1227 m; NI – NIII: 698 m; NII e NIII: 621 m) e apresentem o mesmo clima, a mobilidade entre as três difere. Considerações sobre a relação entre o deslocamento de nascentes e a precipitação são apresentadas a seguir (Figura 18, 19 e 20).

Figura 18 – Posição decendial da Nascente I (NI) e BHC sequencial

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 19 – Posição mensal da Nascente II (NII) e o BHC sequencial

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 20 – Posição decendial da Nascente III (NIII) e o BHC sequencial

Fonte: Elaborado pela autora.

As nascentes e seus cursos d'água são altamente sensíveis às características da precipitação (PRANCEVIC; KIRCHNER, 2019) e representam a expressão local da

dinâmica das águas subterrâneas (BENCALA; GOOSEFF; KIMBALL, 2011). Os fatores mais influentes no deslocamento de nascentes estão relacionados à umidade (WARD; SCHMADEL; WONDZELL, 2018) e há relação entre o deslocamento de nascente e a permanência de seu curso d'água com a sazonalidade (WARD et al., 2020) incluindo com o BHC (YU et al., 2020; HAFEN et al., 2022) (Figuras 18, 19 e 20).

O quadro 4 descreve algumas características da mobilidade das nascentes. Vale ressaltar que a distancia entre elas é menor que 1,5 km, portanto, o clima entre elas é semelhante.

Quadro 4 – Caracterização e comparação da mobilidade das nascentes durante o período de estudo (ago/20 a nov/21)

	Distância de deslocamento	Caracterização da mobilidade			
		Posição A (nascente com o curso d'água expandido)	Posição B (nascente com o curso d'água contraído)	Posições frequentes	Variação na posição ao longo do ano
NI	Maior deslocamento (25,8 m)	Duas vezes, ao final de jan/21	Uma vez, no dia 29/09/2021	-176 (21,3%) -2134 (12%) 206 (10,2%)	Menor variação mensal e entre decêndios
NII	Fixa (0 m)	Não se aplica	Não se aplica	0 (100%)	Nenhuma variação
NIII	Menor deslocamento (2,2 m)	Cinco vezes, duas ao final de dez/20 e três ao final de jan/21	Quatro vezes, de julho a set/21	39 (19,4%) -58 (18,5%)	Maior variação mensal e entre decêndios

Fonte: Elaborado pela autora.

Dois locais próximos podem experimentar uma mobilidade muito diferente, mesmo com climas muito semelhantes (DATRY et al., 2016), pois algumas nascentes se deslocam drasticamente conforme aumenta a umidade de sua bacia, enquanto outras, não (PRANCEVIC; KIRCHNER, 2019). O quão sensível uma nascente é em variar sua posição de acordo com o BHC relaciona-se ao tempo que o nível freático leva para alterar a posição das nascentes e a extensão de seu curso d'água em resposta à presença ou ausência de precipitação. Assim, considerando que o clima é o mesmo, a diferença apresentada no Quadro 4 pode estar relacionada à topografia (declive, curvatura de captação e bacia de contribuição) (PRANCEVIC; KIRCHNER, 2019) e ao solo (textura do substrato do canal e profundidade) (PATE; SEGURA; BLADON, 2020).

Em Sagehen Creek, na Califórnia, os autores relataram que o tempo de resposta à precipitação em microbacias próximas foi de 125, 85 e 28 dias e, o número de cursos d'água de primeira ordem variou de 9 (set/06) para 42 (abr/08), com a extensão de canal variando de 35 para 15 km (GODSEY; KIRCHNER, 2014). A proposta dos autores foi que a ausência de precipitação e a posterior retração dos corpos d'água causa variações na ordem do fluxo e, por isso, um curso d'água de primeira ordem na estação seca pode ter outra ordem durante a estação chuvosa (GODSEY; KIRCHNER, 2014). Desta forma, a dinâmica proposta na classificação de Strahler é uma das consequências do deslocamento de nascentes. Isso acontece porque os riachos são propensos à contração, expansão e intermitência devido à sua posição na parte mais alta do curso d'água, seu tamanho e sua alta reatividade a distúrbios naturais e antrópicos (FRITZ et al, 2013), alterando o local em que se inicia e em que está a nascente.

Ainda que a mobilidade das nascentes seja bastante variável entre elas, todas elas alcançaram as posições ao final do período de maior excedente hídrico. Isso acontece porque, ainda que o controle geológico tenha forte influência, ele influencia o “como a nascente responde à precipitação”, e o controle dominante é a precipitação, portanto, o BHC é capaz de prever quando ocorrerão as posições mais baixas e mais altas das nascentes.

4.3 Implicações da mobilidade de nascentes na delimitação das áreas legalmente protegidas

Conforme discutido no item anterior, a mobilidade de nascentes está atrelada à sazonalidade, por isso, aqui foram discutidas as consequências dessa mobilidade para a delimitação das áreas legalmente protegidas e a razão da recomendação de que essa delimitação seja feita ao final do período de maior excedente hídrico.

As demarcações das áreas legalmente protegidas foram simuladas conforme Quadro 2. O intuito é compreender as consequências da mobilidade das nascentes na aplicação da LPVN. O esquema analisou as regras gerais de aplicação da APP e as regras transitórias, atreladas ao tamanho do imóvel rural.

A Tabela 5 e a Figura 21 mostram a diferença entre as áreas demarcadas na posição A e B da Nascente I e a Tabela 6 e a Figura 22, a diferença entre áreas da Nascente III. As Figura 21 e 22 visam facilitar a compreensão das Tabela 5 e 6.

Tabela 5 – Demarcação das áreas legalmente protegidas¹ da Nascente I (NI), com um deslocamento de 25,8 m entre as posições alta (A) e baixa (B).

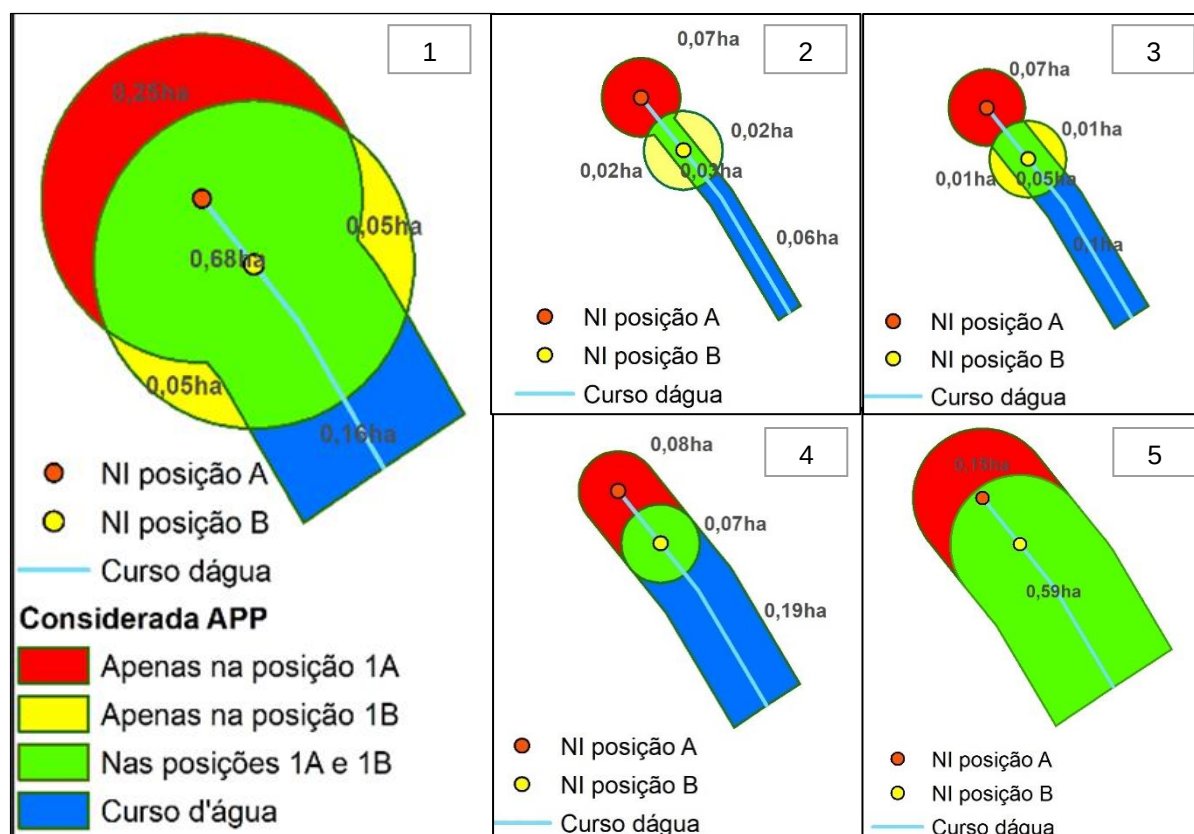
Área protegida	APP ²		FMRO ³							
			Tamanho do imóvel							
			Até 1 MF ⁴		1 a 2 MF		2 a 4 MF		> 4 MF	
Posição	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B
Total (ha)	1,1	0,94	0,16	0,13	0,21	0,17	0,34	0,26	0,74	0,58
Área que deixa de ser preservada (vermelho) (ha)		0,25		0,07		0,07		0,08		0,15
Área que passa a ser preservada (amarelo) (ha)		0,1		0,04		0,02		0		0
Diferença total (ha)		0,16		0,03		0,04		0,08		0,16

Fonte: Elaborado pela autora

Legenda: ¹As áreas legalmente protegidas são as APPs e as FMRO. APPs de nascentes são demarcadas com um raio de 50 m e a do curso d'água, com faixas marginais de 30 m. No caso de imóvel rural com uso consolidado, as FMRO de nascentes são demarcadas com um raio de 15 m e a de cursos d'água, com faixas marginais de 5 m para imóveis com até 1 MF, 8 m para imóveis com 1 a 2 MF, 15 m para imóveis com 2 a 4 MF e 30 m para aquelas com mais de 4 MF; ²Área de Preservação Permanente; ³Faixa Mínima de Recomposição Obrigatória; ⁴Módulo Fiscal.

A área vermelha representa a área que deixa de ser preservada quando se demarca a nascente na posição B e a amarela, a que passa a ser preservada. Nota-se que devido a nascente ser demarcada a partir de um raio, sua área protegida não se altera. No entanto, o curso d'água (área em azul), por ser demarcado por faixas marginais, tem uma menor área protegida ao demarcar a nascente na posição B (Figura 21).

Figura 21 – Demarcação das áreas legalmente protegidas da Nascente I (NI), com um deslocamento de 25,8 m entre as posições alta (A) e baixa (B)



Fonte: Elaborado por Fernanda Prado

Tabela 6 – Demarcação das áreas legalmente protegidas¹ da Nascente I (NI), com um deslocamento de 2,2 m entre as posições alta (A) e baixa (B)

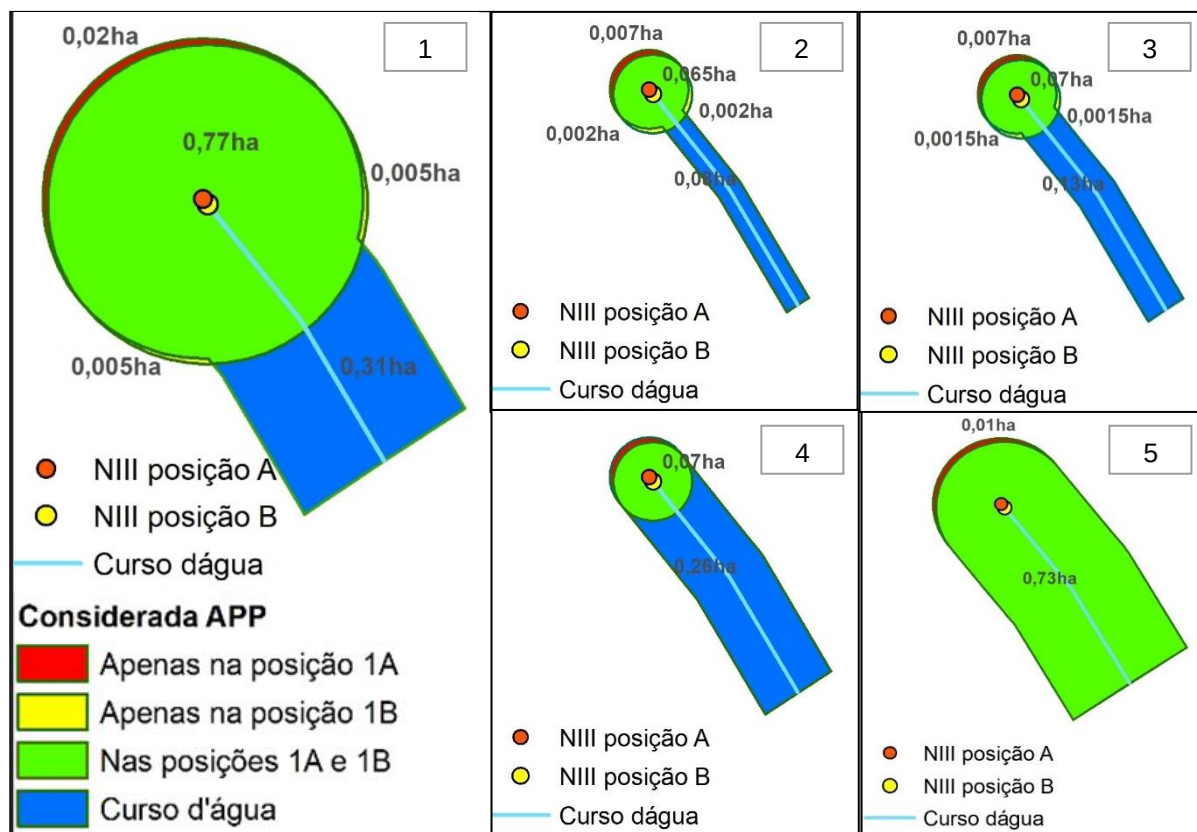
Área protegida	APP ²		FMRO ³							
			Tamanho do imóvel							
			Até 1 MF ⁴		1 a 2 MF		2 a 4 MF		> 4 MF	
Posição	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B
Total (ha)	1,10	1,09	0,74	0,73	0,34	0,33	0,21	0,20	0,16	0,15
Área que deixa de ser preservada (vermelho) (ha)		0,65		0,07		0,01		0,01		0,01
Área que passa a ser preservada (amarelo) (ha)		0,004		0,003		0		0		0
Diferença total (ha)		0,01		0,01		0,01		0,01		0,01

Fonte: Elaborado pela autora

Legenda: ¹As áreas legalmente protegidas são as APPs e as FMRO. APPs de nascentes são demarcadas com um raio de 50 m e a do curso d'água, com faixas marginais de 30 m. No caso de imóvel rural com uso consolidado, as FMRO de nascentes são demarcadas com um raio de 15 m e a de cursos d'água, com faixas marginais de 5 m para imóveis com até 1 MF, 8 m para imóveis com 1 a 2 MF, 15 m para imóveis com 2 a 4 MF e 30 m para aquelas com mais de 4 MF; ²Área de Preservação Permanente; ³Faixa Mínima de Recomposição Obrigatória; ⁴Módulo Fiscal.

Os significados das cores na Figura 22 a seguir são os mesmos da Figura 21.

Figura 22 – Demarcação das áreas legalmente protegidas da Nascente III (NIII), com um deslocamento de 2,2 m entre as posições alta (A) e baixa (B)



Fonte: Elaborado por Fernanda Prado

O deslocamento de 2,2 m entre as posições A e B de NIII gera uma diferença de aproximadamente 0,01 ha de área vegetada em todas as situações. Como o raio da nascente é fixo, as diferenças são provenientes da contração do curso d'água, por isso deslocamento de 2,2 gera pouca diferença entre áreas.

O maior deslocamento encontrado nesse estudo foi 25,8 m, referente a NI, com diferença entre as áreas nas posições A e B de 1600 m² para as áreas de APP e de 258 a 1600 m² para as FMRO (Tabela 5). Isso significa uma diferença máxima de 0,16 ha, entretanto, há diversos relatos de deslocamento maiores, de até 3 km (FARIA, 1994 apud FARIA, 1997; FARIA, 1997; FELIPPE; MAGALHÃES JUNIOR, 2015; SILVA, 2019) (Quadro 5).

Quadro 5 – Relatos de deslocamento de nascente no Brasil

Deslocamento (m)	Local	Autor
3,1	Serra do Cipó e Lagoa Santa – MG	(FELIPPE; MAGALHÃES JUNIOR, 2015)
4,9		
7,1		
8,5		
13,5		
18,5		
29,4		
31,5		
61,1		
81,7		
242,4		
1625,3		
3000	Presidente Kennedy - ES	(FARIA, 1994 apud FARIA, 1997)
230	Maciço da tijuca - RG	(FARIA, 1997)
290		
100	Serra da Canastra - MG	(SILVA, 2019)
100		
130		
190		
200		
240		

Fonte: Elaborado pela autora

A hidrologia da maioria dos riachos de cabeceira é mais variável do que a dos rios maiores, podendo apresentar contração, expansão e desconexão (FRITZ et al., 2013) devido ao deslocamento de nascentes. A diferença de área protegida ocorre por conta dessas expansões e contrações dos riachos de cabeceira e a diferença encontrada nas áreas com vegetação é referente principalmente ao curso d'água, pois que a proteção dos cursos d'água é determinada por uma faixa ao longo de todo seu comprimento, e das nascentes, por um raio.

Ao analisar toda a rede de drenagem, a diferença nas áreas preservadas torna-se bem mais expressiva e alguns autores relataram a mobilidade de nascentes a partir dos seus cursos d'água, avaliando a extensão da rede de drenagem, com expansões de 15 para 35 km (GODSEY; KIRCHNER, 2014), e a densidade de drenagem, que variou de 26,5 para 40,45 km/km² (PRANCEVIC; KIRCHNER, 2019) e foi 20 vezes maior no período úmido (GOULSBRA; EVANS; LINDSAY, 2014).

O comprimento dos riachos de cabeceira que sofre contração é o segmento intermitente. O STF reforçou a importância da proteção dos rios e nascentes intermitentes por meio da Direta de Inconstitucionalidade n. 4.903/DF ao dizer que “*A proteção das nascentes e olhos d’água é essencial para a existência dos cursos d’água que deles se originam, especialmente quanto aos rios intermitentes, muito presentes em áreas de seca e de estiagem*” (BRASIL, 2018). As mudanças climáticas ocasionarão períodos de intermitência cada vez mais longos e mais acentuados (STROMBERG; MERRITT, 2016) que já estão sendo relatados.

Na Floresta Experimental HJ Andrews, em Óregon, a rede de drenagem contraiu 24,1% de 1953-1962 a 2009-2018 durante o período seco e a conexão entre os tributários reduziu 9,2% em consequência das mudanças climáticas (WARD et al., 2020). Ademais, essa desconexão origina pseudo nascentes, como ocorreu com NI durante o período de seca, dificultando a localização da nascente primária e sua devida proteção. Assim, é importante focar os esforços de conservação não apenas no número limitado de rios perenes, mas também em rios intermitentes com lençóis freáticos rasos (STROMBERG; MERRITT, 2016), pois qualquer riacho tem o potencial de impactar os serviços ecossistêmicos de cursos d’água maiores (KAMPF et al., 2021)

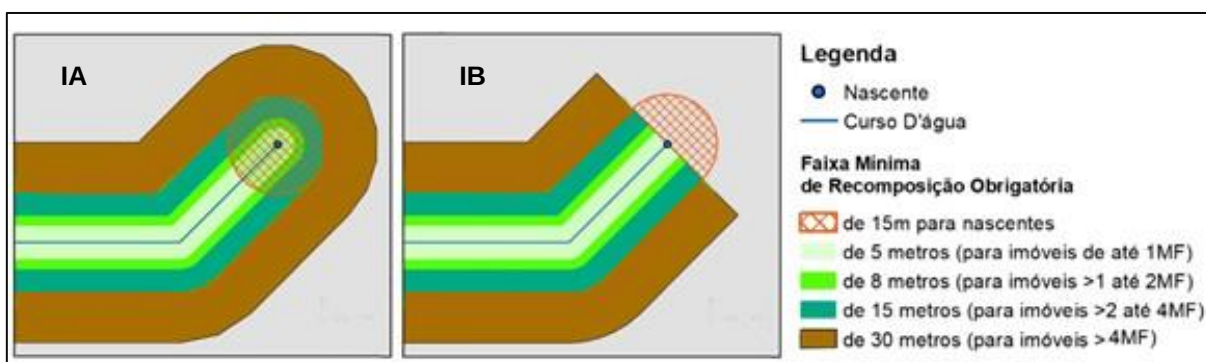
As florestas nativas e savanas regidas pela LPVN armazenam 105 ± 21 giga toneladas (Gt) de CO₂ e são essenciais para mitigação das mudanças climáticas (SOARES-FILHO et al., 2014). Além disso, as cabeceiras respondem rapidamente à precipitação (HEWLETT; HIBBERT, 1967) e, principalmente, em regiões tropicais, a área no entorno da nascente e cursos d’água se alaga devido ao pulso de inundação (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989). Essa interação água-floresta é fundamental para os serviços ecossistêmicos e diversos autores relatam a importância da vegetação ao longo dos cursos d’água devido à estabilização de taludes, ao controle de erosão e assoreamento, à melhoria das propriedades físicas do solo e consequente melhoria da infiltração e armazenamento de água no solo, à melhoria na qualidade da água, ao controle de cheias e manutenção da vazão, ao aumento da conectividade e do sombreamento que beneficiam a fauna e flora (BISPO et al., 2017; BRICE; PELLERIN; POULIN, 2017; LENSE et al., 2020; LIMA et al., 2012; MELO et al., 2021; ROTHER et al., 2018; STROMBERG; MERRITT, 2016; TAMBOSI et al., 2015; TONKIN et al., 2018; ZAKIA; RIGHETTO, 1998).

Dada a importância da APP e FMRO, deve-se considerar a mobilidade de nascentes na aplicação da LPVN, demarcando a nascente no período adequado. Desta forma, o BHC pode ser utilizado para prever as posições altas e baixas das nascentes (HAFEN et al., 2022; YU et al., 2020). Devido à possibilidade de posições atípicas decorrente de anos anômalos, o mais adequado é demarcar a nascente ao final do período de excedente hídrico, pois há maior chance de toda a reposição hídrica ter ocorrido, diminuindo assim a probabilidade de se delimitar áreas de proteção inadequadas. Além disso, seria de grande valia a inclusão da data em que se realizou a demarcação, principalmente nos casos em que não é possível realizar a demarcação ao final do período de excedente hídrico.

4.4 Delimitação da FMRO sob duas interpretações

Há duas interpretações legais para a delimitação da FMRO de nascentes (Figura 23) a serem apresentadas a seguir.

Figura 23 – Esquema da diferença na Faixa Mínima de Recomposição Obrigatória (FMRO)¹ das nascentes considerando a nascente como parte integrante do curso d'água (IA) e como parte dissociada do curso d'água (IB)



Fonte: Elaborado por Fernanda Prado

Legenda: ¹As FMRO de nascentes são demarcadas com um raio de 15 m e a de cursos d'água, com faixas marginais de proteção de 5 m para imóveis com até 1 Módulos Fiscais (MF), 8 m para imóveis com 1 a 2 MF, 15 m para imóveis com 2 a 4 MF e 30 m para aquelas com mais de 4 MF. Nessa FMRO, é obrigatório recompor a vegetação nativa.

A legislação define expressamente nascente e a diferencia de olho d'água com base em ser ou não o início – e portanto, parte - de um curso d'água (BRASIL, 2012a).

“Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

XVII - nascente: afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água [...]

XVIII - olho d'água: afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente;”.

Esse conceito legal está de acordo com o conceito científico, pois compreende, entre outros processos, que nascente inicia um curso d'água. No entanto, ao permitir que a nascente tenha uma APP menor que a de seu curso d'água de primeira ordem em imóveis com mais de 4 MF, a LPVN dissociou os termos e a consequência é que, nos imóveis com mais de 4 MF, há uma diferença entre áreas de 37,5% (1060,3 m²) entre as interpretações (Tabela 7).

Tabela 7 – Diferença na Faixa Mínima de Recomposição Obrigatória (FMRO)¹ das nascentes considerando a nascente como parte integrante do curso d'água (IA)² e como parte dissociada do curso d'água (IB)³

Tamanho do imóvel	FMRO			
	Até 1 MF ⁴	1 a 2 MF	2 a 4 MF	> 4 MF
IA (m ²)	706,9	706,9	706,9	2827,4
IB (m ²)	706,9	706,9	706,9	1767,1
Diferença (m ²)	0,0	0,0	0,0	1060,3
Diferença (%)	0%	0%	0%	37,5%

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda: ¹As FMRO de nascentes são demarcadas com um raio de 15 m e a de cursos d'água, com faixas marginais de 5 m para imóveis com até 1 Módulo Fiscal (MF), 8 m para imóveis com 1 a 2 MF, 15 m para imóveis com 2 a 4 MF e 30 m para aquelas com mais de 4 MF; ²por isso, a nascente pode ter uma faixa de proteção marginal menor que a do curso d'água; ³por isso, a nascente não pode ter uma faixa de proteção marginal menor que a do curso d'água, pois sua faixa marginal também é faixa marginal do curso d'água; ⁴Módulo Fiscal.

O uso dessas áreas pode prejudicar o pleno funcionamento do sistema (BRUNO et al., 2016) e diversos autores encontraram relações entre a redução da vegetação devido ao aumento do uso das áreas consolidadas com o desaparecimento de nascentes (BIERHALS; CORRÊA; SIQUEIRA, 2020; PINHEIRO, 2016; SOARES; TROLEIS, 2017). Além disso, a Agência Nacional das Águas, utilizando uma revisão, refutou a redução da faixa mínima para faixas menores que 30 metros dizendo que *“não há embasamento científico que possibilite defesa técnica.”* (SANTOS; ANDRADE, 2012)

Considerando o conceito expresso de nascente, a importância e os princípios da LPVN, somados a falta de embasamento científico na redução das áreas preservadas, recomenda-se adotar, ao menos, a FMRO mais restritiva para nascentes sempre que a área protegida não atingir 30 m, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Tamanho do imóvel e proposta para a delimitação da FMRO¹ no entorno de nascentes

FMRO ¹	Tamanho do imóvel			
	Até 1 MF	1 a 2 MF	2 a 4 MF	> 4 MF
Ao redor de nascentes (m)	15	15	15	15
Ao longo de curso d'água ³ (m)	5	8	15	30
Aplicação proposta ao redor de nascentes (m) ⁴	15	15	15	30

Fonte: Elaborado pela autora

Legenda: ¹Faixa mínima de recomposição obrigatória (BRASIL, 2012b); ²módulos fiscais (BRASIL, 1979); ³curso d'água de primeira ordem; ⁴Como as faixas marginais do curso d'água também são faixas marginais da nascente, a proposta é que a FMRO das nascentes não pode ser menor que a dos cursos d'água. No entanto, como a Área de Preservação Permanente é maior para as nascentes que para os cursos d'água, a nascente pode ter uma FMRO maior que a dos cursos d'água.

Vale ressaltar que aqui não se discute se o tamanho da FMRO ou se a delimitação da FMRO de cursos d'água estão adequados, apenas discute-se uma recomendação de delimitação da FMRO de nascentes devido a existência de duas possíveis interpretações.

4.5 O uso de cartografias oficiais para a detecção de nascentes

Das cartografias analisadas, as nascentes estavam presentes apenas nas informações declaradas no SiCAR. Por isso, neste item se discute a importância do conceito legal de nascente frente às dificuldades de identificá-las e como as cartografias oficiais disponíveis nas escalas 1:10000 (SiCAR e IGC) e 1:50000 (IBGE e ANA) podem auxiliar nessa questão, ainda que não sejam capazes de detectar todas as nascentes e cursos de primeira ordem.

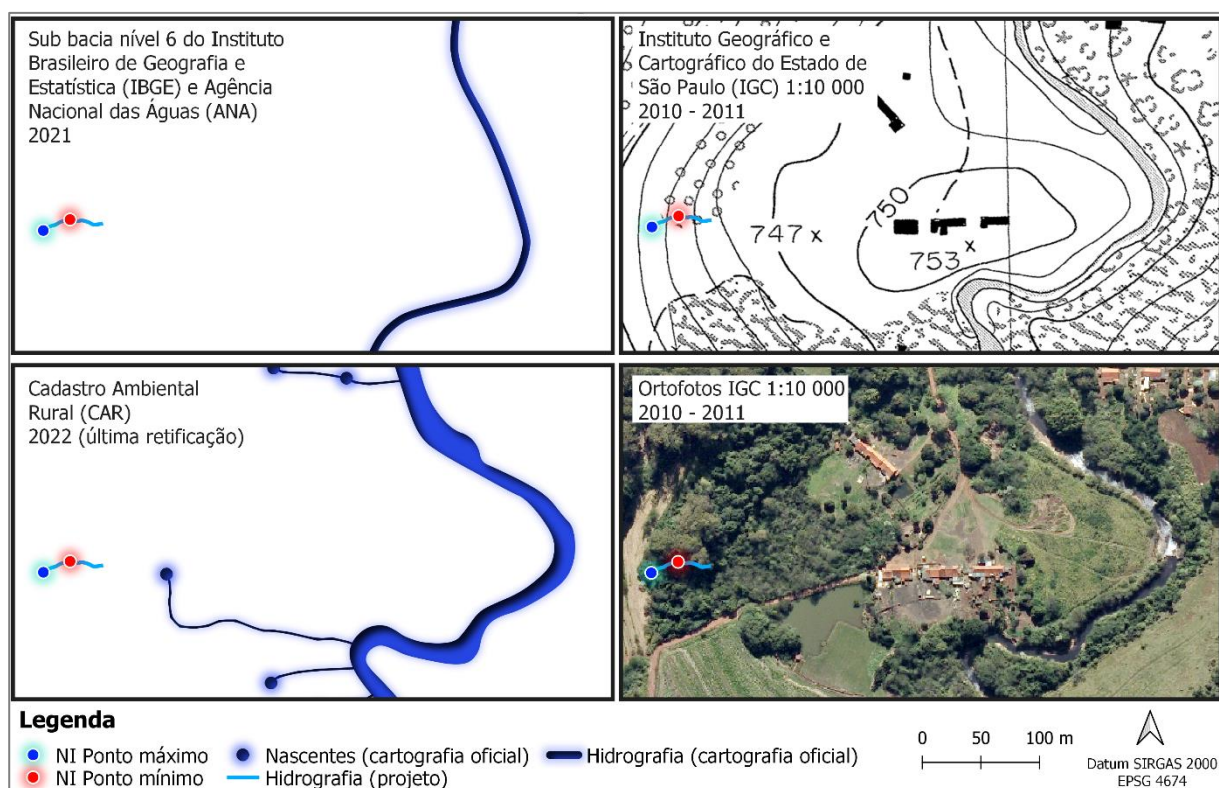
Para ser nascente, o afloramento natural da água subterrânea, perene ou não, deve iniciar um curso d'água e estar atrelado a rede de drenagem (BRASIL, 2012a) (FELIPPE; MAGALHÃES JÚNIOR, 2013). A legislação deve buscar um conceito aplicável e de fácil compreensão, no entanto, essas características mutáveis pertinentes às nascentes, como a possibilidade de intermitência e mobilidade, dificultam sua identificação em campo.

Além disso, nascente não se localiza na cabeceira de um rio, mas sim, ocorre nela (BRASIL, 2012a; FELIPPE; MAGALHÃES JÚNIOR, 2013), por isso, o registro das nascentes em fontes públicas de dados oficiais foi verificado nas cartas topográficas e ortofotos do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo

(IGC), na escala 1:10 000; nos dados declarados Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SiCAR), na escala 1:10 000; e nos repositórios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Agência Nacional das Águas (ANA) que, em conjunto, elaboraram o produto “Bacias e Divisões Hidrográficas do Brasil” até o subnível 6, na escala 1: 50 000. O intuito foi avaliar a possibilidade da utilização das cartografias oficiais na detecção de nascentes. Os resultados estão expostos nas Figuras 24, 25 e 26.

A informação declarada no SiCAR apresenta NI com um deslocamento de 105 e 83 m, respectivamente, comparada aos pontos A e B. Não se detecta NI pelo Bacias e Divisões Hidrográficas do Brasil sub nível 6 e nem pelo IGC (Figura 24).

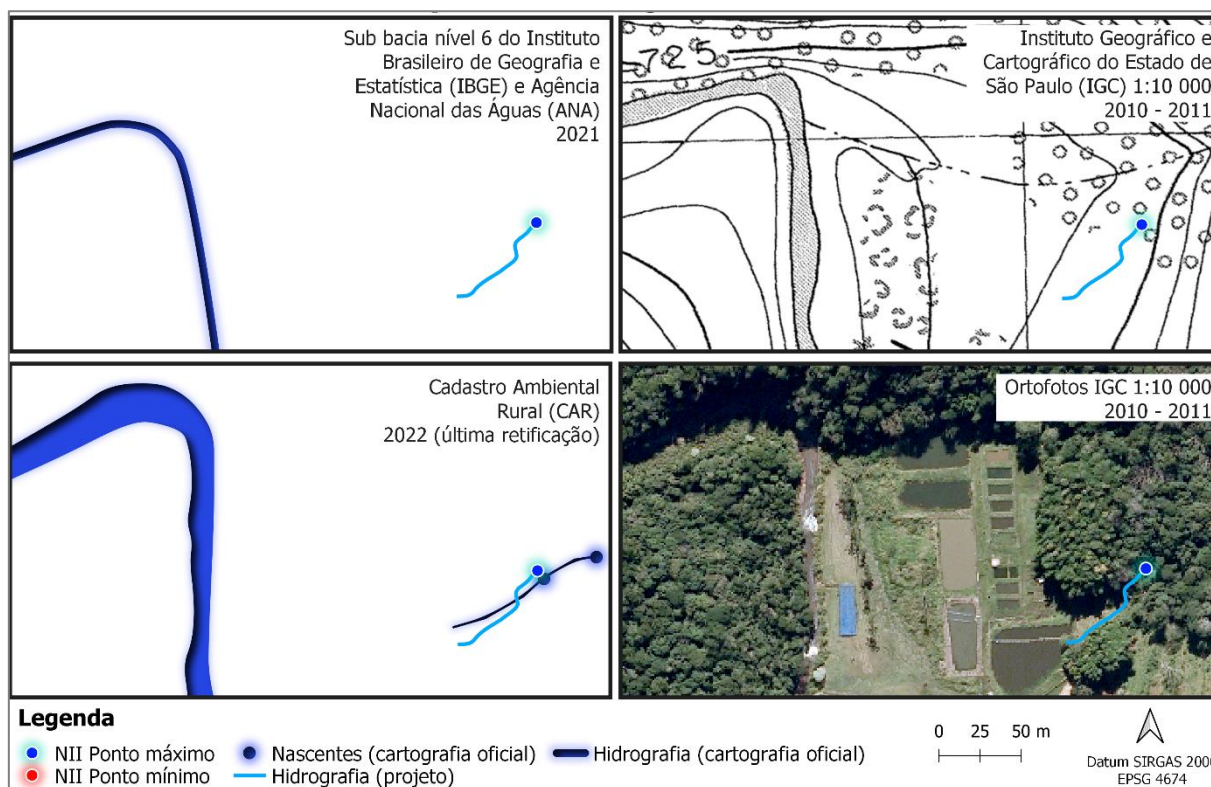
Figura 24 - Cartografias oficiais: A Nascente I (NI) nas posições alta (A) e baixa (B) e o Ribeirão Lavapés



Fonte: Elaborado pela autora os dados disponibilizados pelo IBGE, CAR e IGC, disponíveis, respectivamente, em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Bacias_Hidrograficas_do_Brasil_BHB250/vetores/111111>; <<https://www.car.gov.br/publico>>; <http://geoportal.igc.sp.gov.br:6080/arcgis/services/IGC/GeoPortal_IGC_Bases_WMS/MapServer/WMSServer>; <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/geoimage/datageoimg/ows>>. Acesso em: 27/05/2022.

A informação declarada no SiCAR apresenta NII, que está deslocada em 6,5 ou 37 m, comparada as duas nascentes que originam um curso d'água. Não se detecta NII nas demais cartografias oficiais (Figura 25).

Figura 25 - Cartografias oficiais: A Nascente II (NII) nas posições alta (A) e baixa (B) e o Ribeirão Lavapés



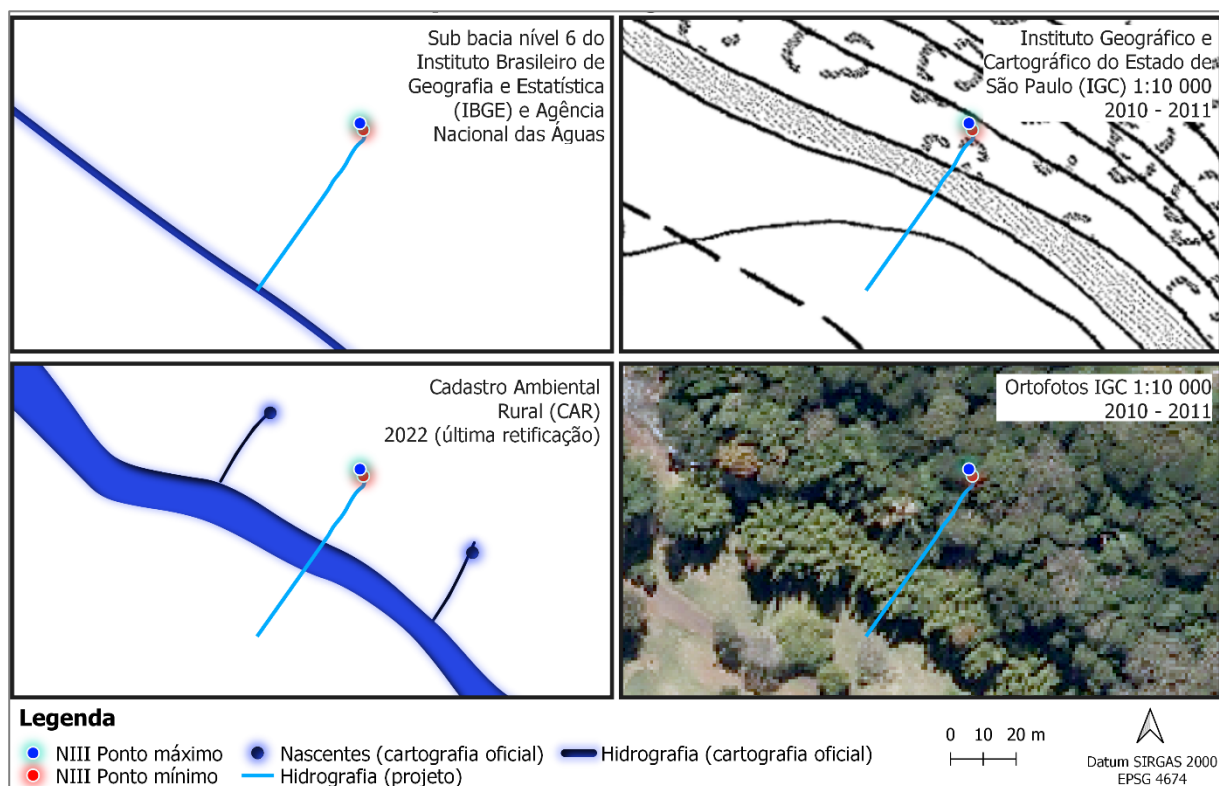
Fonte: Elaborado pela autora com base na cartografia oficial do IBGE, CAR e IGC, disponíveis, respectivamente, em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Bacias_Hidrograficas_do_Brasil_BHB250/vetores/111111; <https://www.car.gov.br/publico>; http://geoportal.igc.sp.gov.br:6080/arcgis/services/IGC/GeoPortal_IGC_Bases_WMS/MapServer/WMSServer; <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/geoimage/datageoimg/ows>. Acesso em: 27/05/2022.

A informação declarada no SiCAR apresenta duas nascentes que podem ser NIII. Comparadas às posições A e B, elas estão deslocadas em 35 e 33 m, se NIII for a nascente à noroeste e 43 e 41 m, se for à sudeste. Não se detecta NIII nas demais cartografias oficiais (Figura 26).

Desta forma, não se detecta as nascentes pelas cartografias do IBGE nem do IGC. Zanata et al. (2011) constatou a existência de nascentes não identificadas na cartografia do IBGE (1:50 000) e do IGC (1:10 000) e atribuiu o resultado às escalas. Ademais, às instituições de produção cartográfica não avaliam sistematicamente os dados, nem os atualiza, gerando defasagem dos dados cartográficos (WECKMÜLLER; VICENS, 2011). Em 2021, o IBGE e a ANA lançaram o produto “Bacias e Divisões Hidrográficas do Brasil”, com a descrição detalhada da

metodologia, no entanto, a afirmação não é válida para as cartas topográficas do IGC que não sofreram alterações.

Figura 26 - Cartografias oficiais: A Nascente III (NIII) nas posições alta (A) e baixa (B) e o Ribeirão Lavapés



Fonte: Elaborado pela autora com base na cartografia oficial do IBGE, CAR e IGC, disponíveis, respectivamente, em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Bacias_Hidrograficas_do_Brasil_BHB250/vetores/111111; <https://www.car.gov.br/publico>; http://geoportal.igc.sp.gov.br:6080/arcgis/services/IGC/GeoPortal_IGC_Bases_WMS/MapServer/WMSServer; <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/geoimage/datageoimg/ows>. Acesso em: 27/05/2022.

Já o SiCAR, elaborado na mesma escala que as cartas do IGC, foi a única cartografia em que foi possível detectar as nascentes, na qual as nascentes estavam deslocadas de 6,5 a 105 m. Em Lavras (MG), de 230 nascentes, a maioria estava deslocada em até 200m (PINTO et al., 2004). Esses resultados são esperados, pois a geolocalização geralmente é obtida por métodos não exatos, que apresentam divergências entre as coordenadas real e observada. Ademais, devido à mobilidade natural das nascentes, ainda que se utilize métodos com resultados exatos, os resultados podem não ser os mesmos.

No entanto, o melhor desempenho ao se utilizar o SiCAR frente às cartas topográficas do IBGE e IGC não é corroborado na literatura (TANIWAKI et al., 2018;

BELLIN et al., 2019). Aspectos como a autodeclaração, a falta de conhecimento técnico (BELLIN et al., 2019), o transporte e manipulação dos dados para os softwares e a geração das peças vetoriais do CAR (ALEXANDRE et al., 2015) prejudicam a qualidade das informações.

Comparando os dados do CAR com as cartas do exército brasileiro, 75% dos cursos d'água de primeira ordem e 36,2% das nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio Toropi não foram declarados no SiCAR (BELLIN et al 2019). No SiCAR da Fazenda Experimental Lageado, não há distinção entre nascente e olho d'água. Este fato pode explicar a divergência porcentual de cursos d'água de primeira ordem e nascentes cadastradas, pois as nascentes, necessariamente, originam um cursos d'água de primeira ordem. Desta forma, utilizando os cursos d'água de primeira ordem para distinguir nascentes e olhos d'água, 75% das nascentes não foram cadastradas no SiCAR.

Na microbacia do Córrego de Cachoeira, o IBGE apresenta 18 nascentes, o IGC, 20 e a referência terrestre, 21. No entanto, uma das nascentes detectadas pelo IBGE, não foi constatada pela referência terrestre e nem pelas cartas do IGC, que pode significar um período de intermitência ou a inexistência da nascente que foi criada pela escala do IBGE. Em relação à extensão dos riachos de cabeceira, o IBGE é 5% menor que a referência terrestre e o IGC, 2% (ZANATA et al., 2011). Em Pelotas – RS, 62% das propriedades estudadas não tinham nascentes cadastradas no CAR. Esse fato pode decorrer tanto de seu desaparecimento, uma vez que as propriedades estudadas se enquadram nas disposições transitórias, quanto da não declaração do proprietário. (BIERHALS; CORRÊA; SIQUEIRA, 2020). Em âmbito estadual, as diferenças encontradas são bem maiores: no estado de São Paulo, o CAR tem 73% menor extensão dos cursos de primeira ordem do que o IBGE (1:50 000) e 80% menos do que o IGC (1:10 000) (TANIWAKI et al., 2018). É possível que os fluxos detectados se aproximem vagamente da realidade na estação seca, mas não nos períodos úmidos (FRITZ et al., 2013)

Escala é uma questão central para diversos aspectos da hidrologia (SPOSITO, 1998 apud BUTTLE; EIMERS, 2009), assim, nem todas as nascentes são detectadas na cartografia oficial. Consequentemente, os cursos d'água de primeira ordem dessas nascentes não são contemplados, há alteração na quantidade de microbacias e

redução do comprimento médio da rede de drenagem (ZANATA et al., 2011). Os corpos d'água têm abundância inversamente proporcional ao seu tamanho, assim, é mais difícil localizar cursos d'água de primeira ordem e nascentes do que cursos maiores (LEOPOLD et al., 1964 apud FRITZ et al., 2013). Desta forma, por uma questão de escala - de microbacia - nem sempre as nascentes estão presentes nas cartografias oficiais.

É importante reconhecer as limitações dos bancos de dados e mapas de hidrografia em representar as nascentes e cursos d'água de primeira ordem. Ainda assim, as cartografias oficiais são a fonte digital mais abrangente disponível para o estudo da hidrografia e fornecem um meio de priorizar as visitas a campo, sendo esta necessária para verificação e validação da hidrologia (FRITZ et al., 2013). Desta forma, o uso das cartografias oficiais é aplicável para o estudo de nascentes, entretanto, sua aplicação limita-se a nortear os trabalhos de campo e é fundamental uma referência terrestre para complementar as informações cartográficas

5 CONCLUSÕES

Duas, das três nascentes estudadas, se deslocam. NI apresentou a maior mobilidade, se deslocando 25,8 m horizontal e 6,2 m vertical, NII é fixa e NIII se deslocou 2,2 m horizontal e 0,75 m vertical. As posições A (alta) e B (baixa) de NI e NIII ocorreram no mesmo período do ano hidrológico. Isso acontece em razão da mobilidade de nascentes ser ocasionada pela entrada e saída de água no sistema, consequentemente, há forte relação desse deslocamento com os períodos do BHC. Desta forma, o período mais adequado para realizar a demarcação de nascentes é ao final do período de maior excedente. Caso esta não seja possível, recomenda-se a anotar a data da demarcação para verificar se há a possibilidade de um deslocamento.

A diferença na área é, principalmente, nas áreas protegidas do curso d'água e os deslocamentos encontrados representam 0,16 ha (NI); e 0,01 ha (NIII) de área a menos pra APP, para FMRO, a diferença variou de 0,03 a 0,16 ha (NI); e de 0,01 a 0 ha (NIII). E há que se destacar que o período de estudo teve um déficit hídrico acima da média.

Por fim, considerando que a nascente é parte integrante do curso d'água, a FMRO de uma nascente não pode ser menor que a dos cursos d'água, pois seu entorno é faixa marginal do curso d'água de primeira ordem. Desta forma, em imóveis com mais de 4 MF, a FMRO de nascentes deve ser de 30 m e não 15 m.

É importante reconhecer as limitações das cartografias do IBGE e ANA (1:50 000), do IGC (1:10 000) e do SiCAR (1:10 000) em detectar todas as nascentes e seu curso d'água devido à escala, ou seja, é fundamental visitas de campo para complementar as informações cartográficas.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, R. B. et al. The role of headwater streams in downstream water quality. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, n. 1, p. 41–59, 2007.
- ALEXANDRE, M. et al. Uso de SIGs para análise de informações do Cadastro Ambiental Rural no município de Igarapé-Açu. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 7214–7221, 2015.
- BELLIN, P. K. et al. A Lei De Proteção Da Vegetação Nativa e a autodeclaração do Cadastro Ambiental Rural (CAR) brasileiro : uma análise da incompatibilidade em nascentes e rios de primeira ordem. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14 a 17 de abril de 2019, Santos (SP)**, p. 308–311, 2019.
- BENCALA, K. E.; GOOSEFF, M. N.; KIMBALL, B. A. Rethinking hyporheic flow and transient storage to advance understanding of stream-catchment connections. **Water Resources Research**, v. 47, n. 3, p. 1–9, 2011.
- BIERHALS, D. F.; CORRÊA, B. D. L.; SIQUEIRA, T. M. Cadastro Ambiental Rural frente aos remanescentes vegetais nativos das pequenas propriedades rurais do município de Pelotas – RS. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 2, p. 335, 2020.
- BISPO, D. F. A. et al. Phosphorus transfer at a small catchment in southeastern Brazil: distributed modelling in different land use scenarios. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 5, p. 565–579, 2017.
- BRASIL. Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Rio de Janeiro, RJ, p. 2882, 09 fev. 1934.
- BRASIL. Decreto-lei nº 24.643, de 10 de julho de 1934. **Coleção de Leis do Brasil**, Poder Executivo, Rio de Janeiro, RJ, v. 4, p. 679, 10 jul. 1934.
- BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Diário Oficial**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 16 set. 1965. p. 9529
- BRASIL. Lei nº 7.511, de 7 julho de 1986. **Diário Oficial da União**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 7 jul. 1986.
- BRASIL. Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 jul. 1989.
- BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial da União**, Poder Legislativo, Brasília, DF, p.1. 13 fev. 1998.
- BRASIL. Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. **Diário Oficial Eletrônico**, Poder Executivo, Brasília, DF, edição extra, p.1, 25 ago. 2001.
- BRASIL. Resolução n. 303 de 20 de março de 2002. **Diário Oficial da União**, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Brasília, DF, 20 mar. 2002.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 28 mai. 2012 a.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 out. 2012 b.

BRASIL. Ação Direta de Inconstitucionalidade n. 4.903/DF. **Diário Oficial da União**, Supremo Tribunal Federal. Procurador Geral da República e outros. Relator: Min. Luiz Fux. Brasília, DF, Edição 44, Seção 1, p. 1-3, 06 mar. 2018.

BRICE, M. H.; PELLERIN, S.; POULIN, M. Does urbanization lead to taxonomic and functional homogenization in riparian forests? **Diversity and Distributions**, v. 23, n. 7, p. 828–840, 2017.

BRUNO, D. et al. Impacts of environmental filters on functional redundancy in riparian vegetation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 3, p. 846–855, 2016.

BUTTLE, J. M.; EIMERS, M. C. Scaling and physiographic controls on streamflow behaviour on the Precambrian Shield, south-central Ontario. **Journal of Hydrology**, v. 374, n. 3–4, p. 360–372, 15 ago. 2009.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici**. Boletim Ci ed. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, 1983.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PARA OS MUNICÍPIOS DE BOTUCATU E SÃO MANUEL, SP. **Irriga**, v. 14, n. 1, p. 1–11, 2009.

DATRY, T. et al. A landscape approach to advance intermittent river ecology. **Freshwater Biology**, v. 61, n. 8, p. 1200–1213, 2016.

FARIA, A. P. A dinâmica de nascentes e a influência sobre os fluxos nos canais. **A água em revista (CPRM)**, v. 8, p. 74–80, 1997.

FARIA, A. P. Transporte De Sedimentos Em Canais Fluviais De Primeira Ordem: Respostas Geomorfológicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, p. 191–202, 2014.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. **Revista Geografias**, v. 9, n. 1, p. 70–81, 2013.

FELIPPE, M. F. P.; MAGALHÃES JUNIOR, A. **Dinâmica Hidrogeomorfológica de Nascentes da Serra Do Cipó e Lagoa Santa (MG)**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Brasília: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015

FRITZ, K. M. et al. Comparing the extent and permanence of headwater streams from two field surveys to values from hydrographic databases and maps. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 49, n. 4, p. 867–882, 2013.

GODSEY, S. E.; KIRCHNER, J. W. Dynamic, discontinuous stream networks: Hydrologically driven variations in active drainage density, flowing channels and stream order. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 23, p. 5791–5803, 2014.

GOULSBRA, C.; EVANS, M.; LINDSAY, J. Temporary streams in a peatland catchment: Pattern, timing, and controls on stream network expansion and

contraction. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 39, n. 6, p. 790–803, 2014.

HAFEN, K. C. et al. Precision of Headwater Stream Permanence Estimates from a Monthly Water Balance Model in the Pacific Northwest, USA. **Water (Switzerland)**, v. 14, n. 6, 2022.

HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A. R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. **Forest hydrology**, p. 275–290, 1967.

HYNES, H. B. N. The stream and its valley. **SIL Proceedings, 1922-2010**, v. 19, n. 1, p. 1–15, 1975.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain systems. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 106, p. 110–127, 1989.

KAMPF, S. K. et al. Managing nonperennial headwater streams in temperate forests of the United States. **Forest Ecology and Management**, v. 497, n. July, p. 119523, 2021.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. 1928.

KOVACH, R. P. et al. Effects of land use on summer thermal regimes in critical salmonid habitats of the pacific northwest. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 76, n. 5, p. 753–761, 2019.

LENSE, G. H. E. et al. Simulating the effect of permanent preservation areas on soil erosion rates. **Cerne**, v. 26, n. 2, p. 193–201, 2020.

LIMA, W. DE P. **A silvicultura e a água: Ciência, dogmas, desafios**. Rio de Janeiro - RJ: Diálogo Florestal, 2010. v. 1

LIMA, W. DE P.; ZAKIA, M. J. B. **As florestas plantadas e a água: implementadno o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: [s.n.].

LIMA, W. P. et al. Forest Plantations and Water Consumption: A Strategy for Hydrosolidarity. **International Journal of Forestry Research**, v. 2012, p. 1–8, 2012.

MEERVELD, H. J. I. VAN et al. Expansion and contraction of the flowing stream network alter hillslope flowpath lengths and the shape of the travel time distribution. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 11, p. 4825–4834, 2019.

MELO, N. A. DE et al. The use of phytosociology to evaluate the efficiency of headwater preservation areas in the Andreas Stream Hydrographic Basin, RS, Brazil. **Ecological Indicators**, v. 129, p. 107904, 2021.

MONTGOMERY, D. R. Process domains and the River Continuum. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 35, n. 2, p. 397–410, 1999.

PATE, A. A.; SEGURA, C.; BLADON, K. D. Streamflow permanence in headwater streams across four geomorphic provinces in Northern California. **Hydrological Processes**, v. 34, n. 23, p. 4487–4504, 2020.

PINHEIRO, C. U. B. Matas ciliares e conservação das nascentes dos rios Anil, Bacanga e Tibiri, na Ilha de São Luís, Maranhão. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 9, p. 643–652, 2016.

PINTO, L. V. A. et al. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 65, p. 197–206, 2004.

PRANCEVIC, J. P.; KIRCHNER, J. W. Topographic Controls on the Extension and Retraction of Flowing Streams. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 4, p. 2084–2092, 2019.

RODRIGO ZANIN, P.; BERNARDI BONUMÁ, N.; LUIZ BORGES CHAFFE, P. **CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE NASCENTES SITUADAS EM DIFERENTES MODELADOS DE RELEVO**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Bento Golçalves, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013

ROLIM, G. DE S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente excel para os calculos de balanço hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista brasileira de agrometeorologia**, p. 133-, 1998.

ROTHER, D. C. et al. How Legal-Oriented Restoration Programs Enhance Landscape Connectivity? Insights From the Brazilian Atlantic Forest. **Tropical Conservation Science**, v. 11, 2018.

SANTOS, D. G.; ANDRADE, R. M. Nota Técnica nº 12/2012/GEUSA/SIP-ANA. . 2012, p. 8.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília - DF: Embrapa Solos, 2018.

SILVA, G. A. DA. **DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA E CENÁRIOS SAZONAIS EM NASCENTES DO RIO SÃO FRANCISCO, NA SERRA DA CANASTRA, MINAS GERAIS**. [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia (UFU), 2019.

SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil ' s Forest Code Supplemental. **Science**, v. 344, n. April, p. 363–364, 2014.

SOARES, A. B.; TROLEIS, A. L. IMPACTOS AMBIENTAIS NA QUALIDADE DA ÁGUA DA NASCENTE PAU AMARELO EM GARANHUNS-PE. n. 1, p. 252–258, 2017.

SOUZA, K. I. S. DE et al. Proteção ambiental de nascentes e afloramentos de água subterrânea no Brasil: histórico e lacunas técnicas atuais. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, p. 76–86, 2019.

STRAHLER, A. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology, Transactions of the American Geophysical Union. **Transactions, American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.

STROMBERG, J. C.; MERRITT, D. M. Riparian plant guilds of ephemeral, intermittent and perennial rivers. **Freshwater Biology**, v. 61, n. 8, p. 1259–1275, 2016.

TAMBOSI, L. R. et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos Avancados**, v. 29, n. 84, p. 151–162, 2015.

TANIWAKI, R. H. et al. The Native Vegetation Protection Law of Brazil and the challenge for first-order stream conservation. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 1, p. 49–53, 2018.

TELANG, S. A. et al. **Biogeochemistry of mountain stream waters: the Marmot system**. 101. ed. Ottawa: Inland Waters Directorate, 1982.

TOLKKINEN, M. J. et al. Streams and riparian forests depend on each other: A review with a special focus on microbes. **Forest Ecology and Management**, v. 462, n. January, p. 117962, 2020.

TONKIN, J. D. et al. Flow regime alteration degrades ecological networks in riparian ecosystems. **Nature Ecology and Evolution**, v. 2, n. 1, p. 86–93, 2018.

VANNOTE, R. L. et al. The River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic**, n. 1, p. 130–137, 1980.

WARD, A. S. et al. Climate Change Causes River Network Contraction and Disconnection in the H.J. Andrews Experimental Forest, Oregon, USA. **Frontiers in Water**, v. 2, n. April, p. 1–10, 2020.

WARD, A. S.; SCHMADEL, N. M.; WONDZELL, S. M. Simulation of dynamic expansion, contraction, and connectivity in a mountain stream network. **Advances in Water Resources**, v. 114, p. 64–82, 2018.

WARD, J. V. The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems Author (s): J . V . Ward Source : Journal of the North American Benthological Society , Vol . 8 , No . 1 (Mar . , 1989), Published by : The University of Chicago Press on behalf of the Society for Freshwa. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 8, n. 1, p. 2–8, 1989.

WARD, J. V.; STANFORD, J. A. The serial discontinuity concept: Extending the model to floodplain rivers. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 10, n. 2–4, p. 159–168, 1995.

WECKMÜLLER, R.; VICENS, R. S. Revista Brasileira de Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, p. 1275–1291, 2011.

WINTER, T. C. The role of ground water in generating streamflow in headwater areas and in maintaining base flow. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, n. 1, p. 15–25, 2007.

YU, S. et al. Evaluating a landscape-scale daily water balance model to support spatially continuous representation of flow intermittency throughout stream networks. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, n. 11, p. 5279–5295, 12 nov. 2020.

ZAKIA, M. J. B.; PINTO, L. F. G. **Guia para aplicação da nova lei florestal em imóveis rurais**. 2º ed. Piracicaba - SP: Imaflora, 2014.

ZAKIA, M. J. B.; RIGHETTO, A. M. **Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas**. [s.l.] Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ZANATA, M. et al. Influência da escala na análise morfométrica de microbacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1062–1067, 2011.

APÊNDICE A – Evolução legal do conceito de nascente e da proteção de seu entorno

EVOLUÇÃO LEGAL CONCEITO DE NASCENTES E PROTEÇÃO DE SEU ENTORNO

As nascentes são originadas por processos hidrológicos naturais e, através do afloramento do lençol freático, marcam a conexão das águas subterrâneas com as superficiais. Além disso, aproximadamente 50% das águas de um grande rio são produzidas em áreas originadas por nascentes, chamadas de microbacias. Por isso, a proteção das áreas ao entorno das nascentes visa não apenas sua preservação, mas também a manutenção dos processos hidrológicos



Fonte: Elaborado pela autora

ANEXO A – Alterações da Lei n. 12.651/12

- MPV 571, DE 25/05/2012: ACRESCE O ART. 1º-A; ALTERA O ART. 3º, 4º, 5º, 6º, 10; ACRESCE O CAPÍTULO III-A DO USO ECOLOGICAMENTE SUSTENTÁVEL DOS APICUNS E SALGADOS - ART. 11-A; ALTERA OS ARTS. 14, 15, 17, 29, 35, 36, 41, 58; ACRESCE OS ARTS. 61-A, 61-B, 61-C E 78-A.
- LEI 12.727, DE 17/10/2012: ACRESCE ARTS. 1º-A, 11-A, 61-A, 61-B, 61-C, 78-A E ALTERA ARTS. 3º, 4º, 5º, 6º, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 29, 35, 36, 41, 42, 58, 59, 66 E 83 (VETADO)
- MPV 724, DE 04/05/2016: ALTERA ART. 82-A
- LEI 13.295, DE 14/06/2015: ALTERA ARTS. 29 E 78-A
- LEI 13.335, DE 14/09/2016: ALTERA ART. 59
- MPV 759, DE 22/12/2016: ALTERA ARTS. 64 E 65
- LEI 13.465, DE 11/07/2017: ALTERA ARTS. 64, E 65.
- MPV 867, DE 26/12/2018: ALTERA ART. 59
- MPV 884, DE 14/06/2019: ALTERA ART. 29
- LEI 13.887, DE 17/10/2019: ALTERA ARTS. 29 E 59.
- LEI 14.285, DE 29/12/2021: ALTERA ARTS. 3º E 4º.

ANEXO B – Dados climatológicos do período de estudo (16 meses, ago/20 a nov/21)
Quadro 7 - Precipitação e temperatura média, máxima e mínima do período de estudo

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
01/08/2020	0	16,2	22,2	12,9
02/08/2020	0	16,8	23	12,6
03/08/2020	0	17,3	23,7	13,1
04/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
05/08/2020	0	20,5	24,2	13,7
06/08/2020	0	19,4	23,6	14
07/08/2020	0	19,7	23,8	15,3
08/08/2020	0	19,4	25,4	15,7
09/08/2020	0	20,4	26,4	16,4
10/08/2020	0	20,8	27,1	14
11/08/2020	0	22,5	27,7	18,5
12/08/2020	0	21,8	28,7	15,9
13/08/2020	0	23,2	29,8	18,3
14/08/2020	0	23,6	29,8	18,3
15/08/2020	0	22,6	26	19
16/08/2020	0	17,2	19	17,2
17/08/2020	0	17	17,8	16,1
18/08/2020	0	16,4	17,1	16
19/08/2020	0	20,5	23,9	16,3
20/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
21/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
22/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
23/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
24/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
25/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
26/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
27/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
28/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
29/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
30/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
31/08/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
01/09/2020	0	20,2	26,8	17
02/09/2020	0	19,8	26,5	16
03/09/2020	0	22,1	29,8	15,9
04/09/2020	0	24,8	32	19,2
05/09/2020	0	25,6	30,3	17,6
06/09/2020	0	27,4	30,9	19,9

Continua

Cont. Quadro 7

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
07/09/2020	0	23,7	31,2	17,5
08/09/2020	0	23,2	36,3	17,2
09/09/2020	0	22	31,6	15,3
10/09/2020	0	25,5	33,8	19,1
11/09/2020	0	27,5	20,5	33,7
12/09/2020	0	28,9	33,6	24,1
13/09/2020	0	27,3	32,4	20,3
14/09/2020	0	26,5	32,2	21,1
15/09/2020	0	19,9	25,6	14,5
16/09/2020	0	21,1	30,9	15,4
17/09/2020	0	26,9	33,5	20,5
18/09/2020	0	22,8	29	18,7
19/09/2020	0	28,8	32	22,9
20/09/2020	0	20,6	27,2	16,8
21/09/2020	6,5	16,1	19,2	14,3
22/09/2020	3,7	13,7	16,1	11,5
23/09/2020	0	17,6	24,5	13,5
24/09/2020	0	20	28	15,2
25/09/2020	0	21,9	29,6	15,9
26/09/2020	0	25,3	33,2	19,4
27/09/2020	0	28	34,6	21,6
28/09/2020	0	26,2	33,9	19,7
29/09/2020	0	24,9	32,2	20
30/09/2020	0	26,3	37,3	19,7
01/10/2020	0	33,6	37,4	25,1
02/10/2020	0	34,7	37,7	30
03/10/2020	0	28,3	32,9	22,7
04/10/2020	0	22,6	29,3	18,1
05/10/2020	0	24,3	35,9	17,8
06/10/2020	0	30,6	37,6	23,9
07/10/2020	2,5	29,3	39,1	22,4
08/10/2020	3,2	25,2	31	19,2
09/10/2020	3,8	19,8	22,7	18,2
10/10/2020	0	21,9	24	19
11/10/2020	0	23	26,8	16,4
12/10/2020	0	21,1	29,4	14,3
13/10/2020	0	29,4	33,2	23,8
14/10/2020	0	27	34,2	20,8
15/10/2020	33	19,7	29,5	16,5
16/10/2020	0	17,1	19,9	15,1

Continua

Cont. Quadro 7

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
17/10/2020	0	18	25	13,6
18/10/2020	0	19,5	27,5	14,5
21/10/2020	0	26,3	29,2	21
22/10/2020	0	21,2	27,9	17
23/10/2020	0	21,8	30,4	16,8
24/10/2020	6	20	24,4	16,7
25/10/2020	0	22,7	29,5	19
26/10/2020	0	21,2	28,6	15,9
27/10/2020	0	27,7	30,3	22,6
28/10/2020	0	26	32,9	20
29/10/2020	3,3	24,9	31,4	19,3
30/10/2020	17,5	24	19,4	15,4
31/10/2020	0	17,4	21,4	14,8
01/11/2020	0	16,5	21,5	13,3
02/11/2020	0	16,1	23,3	12
03/11/2020	0	17,4	11,7	25,8
04/11/2020	0	18,9	27,5	13
05/11/2020	0	17,7	26,7	12,2
06/11/2020	0	18,4	26,1	12,8
07/11/2020	0	26,3	32,1	16,4
08/11/2020	0	26	31,6	12
09/11/2020	1,2	25	30	20
10/11/2020	0	23	30	18
11/11/2020	41	29,5	29,5	18,5
12/11/2020	0	23	30	19
13/11/2020	7,5	25	32	18
14/11/2020	0	27,5	30,3	21,7
15/11/2020	9,5	26,6	30,5	22,6
16/11/2020	0	29,6	31,9	26,5
17/11/2020	49	24	27,7	18,1
18/11/2020	25	23	26,1	18
19/11/2020	0	21,4	23,5	18,1
20/11/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
21/11/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
22/11/2020	0	21	29	16
23/11/2020	0	22	30	16,5
24/11/2020	0	23	31	17
25/11/2020	0	28	30,7	24
26/11/2020	0	26,3	31,9	20,6
27/11/2020	0	24,9	31,3	20,3
28/11/2020	0	23,7	30,3	19,3
29/11/2020	0	25,5	31,8	19,5
30/11/2020	Falha	Falha	Falha	Falha
01/12/2020	0	23	32	19
02/12/2020	0	25,1	28,5	22
03/12/2020	0	22,4	28,4	18,7
04/12/2020	0,7	24,3	29,7	18,4
05/12/2020	5	21,9	27,8	17,8

Continua

Cont. Quadro 7

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
06/12/2020	0	20,7	25,2	17,8
07/12/2020	6,6	20,8	25	18,8
08/12/2020	0	22,5	28,8	18,7
09/12/2020	1	24,1	30,4	18,9
10/12/2020	0,5	23	29,2	17,6
11/12/2020	0	22,8	25,6	19,7
12/12/2020	11	21,4	27,4	18,9
13/12/2020	26	23	29	18,2
14/12/2020	8	22,1	29,4	17,7
15/12/2020	8,6	23,8	29,5	19,1
16/12/2020	11	23,7	30,8	19,1
17/12/2020	7,5	21,7	29,3	18,5
18/12/2020	0	22,9	29,7	18,5
19/12/2020	24	23,7	31,3	19,1
20/12/2020	18,2	23,6	30	19,2
21/12/2020	0	25	31,6	20,8
22/12/2020	0	22,2	27	18,1
23/12/2020	0	20,9	26,5	17
24/12/2020	0	21,3	27,8	17,3
25/12/2020	0	20,5	27,8	16
26/12/2020	20	21,4	28	16,8
27/12/2020	19	20	24,4	17,8
28/12/2020	8	20,7	25,7	17
29/12/2020	7,1	21,3	27,3	18
30/12/2020	11	22,9	28,7	17,6
31/12/2020	21,2	21	24,6	18,8
01/01/2021	27,5	20,5	26,1	18,4
02/01/2021	0	21,8	26,6	19,1
03/01/2021	0	20,8	27,1	17,9
04/01/2021	0	22,5	28,7	17,2
05/01/2021	0	23,7	29	18,6
06/01/2021	5	23,5	29,6	20,2
07/01/2021	0	23	30,1	19,6
08/01/2021	0	23	28,5	19,3
09/01/2021	0	23,5	28,8	20,2
10/01/2021	18,2	23,5	29,4	20,4
11/01/2021	2,8	24,4	30,2	21,2
12/01/2021	15	23,8	28,6	20,9
13/01/2021	7,2	22,9	29,6	20,1
14/01/2021	30	21,5	27,6	18,8
15/01/2021	52	21,5	27,4	18,7
16/01/2021	33	21,5	25,9	18,5
17/01/2021	0	21,1	26,9	18,8
18/01/2021	3,5	23	29,4	19,5
19/01/2021	4,2	21,4	25	18,9
20/01/2021	0	23,2	30,2	20
21/01/2021	0	24,2	30,7	20,5
22/01/2021	0	24	30,1	19,8

Continua

Cont. Quadro 7

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
23/01/2021	0	23,5	30,6	20
24/01/2021	2,5	22,8	29,7	20
25/01/2021	14,5	22,7	29,2	18,1
26/01/2021	0	23	29,3	17
27/01/2021	0	25	30,1	20,2
28/01/2021	2	24,1	29,7	19,2
29/01/2021	0	24,3	30,3	20
30/01/2021	0	24,8	30,7	19,3
31/01/2021	3	23,7	29,6	19,7
01/02/2021	0	23,4	28,8	19,5
02/02/2021	19	23,3	30,5	19
03/02/2021	0	25,6	30,9	19
04/02/2021	0	25,9	31,1	21,1
05/02/2021	0	23,7	28,4	20,8
06/02/2021	0	22,1	28,5	18,1
07/02/2021	0	20,9	27	16,5
08/02/2021	0	20,8	26,7	16,2
09/02/2021	0	21,2	27,8	16,6
10/02/2021	0	22,1	28,7	17,4
11/02/2021	2	19,3	21,4	17,9
12/02/2021	3	20,6	24,1	17,6
13/02/2021	17	20,6	24,9	18,8
14/02/2021	0,5	21	25,6	18,1
15/02/2021	0	22,7	27,8	17,6
16/02/2021	0	24,5	29,6	18,8
17/02/2021	12	22,4	28,6	18,3
18/02/2021	0,3	23,4	29,8	17,1
19/02/2021	0	24,4	30,7	19,3
20/02/2021	0	23,8	30,8	19,5
21/02/2021	0	23,6	29,8	19,5
22/02/2021	0	23,5	29,6	19,1
23/02/2021	0	25,3	32,3	19,4
24/02/2021	1	24,5	31	20,3
25/02/2021	0	22,8	29	19,2
26/02/2021	3	21,2	27,5	18,1
27/02/2021	3	20,9	27,7	17,8
28/02/2021	0	21,8	26,7	18,4
01/03/2021	2	22,6	27,9	19,4
02/03/2021	0,6	23,1	28,4	20
03/03/2021	0,3	21,7	24,5	20
04/03/2021	21	20,6	25,6	18,1
05/03/2021	4,5	19,6	23,5	18,1
06/03/2021	3,4	20,6	26,2	18,3
07/03/2021	34	20,4	25	18,3
08/03/2021	5	21,6	25,2	18,5
09/03/2021	6,5	21,5	25,1	18,4
10/03/2021	0	22	25,5	18,8
11/03/2021	11,5	23	29	19

Continua

Cont. Quadro 7

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
12/03/2021	0	24	30	19,2
13/03/2021	0	24,5	30,5	19,5
14/03/2021	0	24,8	31	20
15/03/2021	0	23,5	29,4	19,5
16/03/2021	0	26,9	31	22,7
17/03/2021	0	23,4	29,6	20,2
18/03/2021	5	21	27,1	18,9
19/03/2021	0	22,3	28	18
20/03/2021	0	23,6	29,5	20,4
21/03/2021	0	24,5	30,5	20,4
22/03/2021	0	25,4	30,6	20
23/03/2021	0	24,6	31,1	20,2
24/03/2021	0	25,4	31,6	20,4
25/03/2021	0	26	30,2	19,8
26/03/2021	12,5	25,7	32,4	20,4
27/03/2021	35	23,9	32,3	18,1
28/03/2021	2,5	24,2	30,6	18,4
29/03/2021	0	25,1	29,7	20,7
30/03/2021	0	23,7	29,7	18,5
31/03/2021	0	20,6	25,6	16
01/04/2021	0	19,3	24,9	15
02/04/2021	0	19,5	25	15,4
03/04/2021	0	20,6	26,7	15
04/04/2021	0	20,6	26,5	17,7
05/04/2021	0	20,7	25,9	17,2
06/04/2021	18	18,5	20,4	16,8
07/04/2021	0	20,1	24,7	16,4
08/04/2021	0	20,9	26,3	17,3
09/04/2021	0	21,2	26,6	16,4
10/04/2021	0	22,4	27,9	18,2
11/04/2021	0	23	28,8	17,6
12/04/2021	0	24,1	29,2	19,2
13/04/2021	0	19,8	23,7	16,6
14/04/2021	0	18,9	24,6	15,5
15/04/2021	0	20,1	27,4	15,8
16/04/2021	5	21,2	28	16,7
17/04/2021	35	20,2	26,3	15,8
18/04/2021	0	18,2	22,8	15,3
19/04/2021	0	18,2	23,4	15,8
20/04/2021	0	18,2	22,8	15,6
21/04/2021	0	18,3	23,1	14,8
22/04/2021	0	17,6	22,5	14,7
23/04/2021	0	17,5	22,5	13,5
24/04/2021	0	18,8	25,4	14,2
25/04/2021	0	20,8	26,8	16,1
26/04/2021	2,5	21,6	27,2	18
27/04/2021	0	19,4	24,6	15,8
28/04/2021	0	18,4	24,1	14,7

Continua

Cont. Quadro 7

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
29/04/2021	0	17,2	22,2	13,6
30/04/2021	0	17,3	22	14,1
01/05/2021	0	18,7	22,1	14,2
02/05/2021	0	19,8	22	14,5
03/05/2021	0	20,5	22,8	14,6
04/05/2021	0	21	23	14,7
05/05/2021	0	22	25	14,9
06/05/2021	0	22,2	28	15
07/05/2021	0	17,5	25	14,5
08/05/2021	0	17,4	24,5	14,2
09/05/2021	0	18,5	25	14,5
10/05/2021	Falha	Falha	Falha	Falha
11/05/2021	Falha	Falha	Falha	Falha
12/05/2021	Falha	Falha	Falha	Falha
13/05/2021	0	16,3	21	13,3
14/05/2021	Falha	Falha	Falha	Falha
15/05/2021	Falha	Falha	Falha	Falha
16/05/2021	0	24	18,8	15
17/05/2021	Falha	Falha	Falha	Falha
18/05/2021	0	18,7	24	14
19/05/2021	Falha	Falha	Falha	Falha
20/05/2021	Falha	Falha	Falha	Falha
21/05/2021	Falha	Falha	Falha	Falha
22/05/2021	0	17,5	21,5	15,5
23/05/2021	Falha	Falha	Falha	Falha
24/05/2021	0	15	22	8,5
25/05/2021	0	17,7	21,8	14,7
26/05/2021	0	18,4	25,7	12,5
27/05/2021	0	20,2	25,8	15,3
28/05/2021	0	22,8	28,7	18,3
29/05/2021	0	23,4	28,7	19,2
30/05/2021	0	19,4	22,4	14,7
31/05/2021	0	17,1	22,2	14,5
01/06/2021	0	17,2	22,2	13,6
02/06/2021	0	20,2	26,7	15
03/06/2021	0	21,2	26,9	15,7
04/06/2021	0	20,7	26,2	16,1
05/06/2021	0	20,9	26,6	16,8
06/06/2021	0	21,8	27,1	16,8
07/06/2021	14	16,9	18,8	15
08/06/2021	0	16,4	19,1	14,1
09/06/2021	4,5	18,6	23,5	14,8
10/06/2021	8	16,6	18,1	14,8
11/06/2021	0	16,7	19,8	14,6
12/06/2021	0	15,9	20	13
13/06/2021	0	14,6	19,7	10,8
14/06/2021	0	15,1	21,3	10,7
15/06/2021	0	15,4	22,7	10,6

Continua

Cont. Quadro 7

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
16/06/2021	0	14,9	19,7	11,5
17/06/2021	0	14,2	19,5	10,3
18/06/2021	0	15,4	20,4	11,9
19/06/2021	0	17,2	23,2	13,7
20/06/2021	0	16,7	20,8	13,1
21/06/2021	0	14,8	18,2	11,5
22/06/2021	15	15,3	19,1	13,4
23/06/2021	0	15,4	20	12,3
24/06/2021	0	17	24	11,3
25/06/2021	0	21,3	26,7	16
26/06/2021	0	21,1	26,4	17,6
27/06/2021	0	20,6	25,9	16
28/06/2021	0	18,8	24,4	14,2
29/06/2021	0	10,8	14,9	4,9
30/06/2021	0	8,9	14,9	3,7
01/07/2021	0	12	18,4	6,1
02/07/2021	0	16,2	23,6	10,7
03/07/2021	0	18,4	24,6	13,4
04/07/2021	0	15,6	21,1	12,1
05/07/2021	0	15,7	22,2	12,2
06/07/2021	0	15,3	20,1	12
07/07/2021	0	15,3	21,5	11,7
08/07/2021	0	15,6	22,2	10,6
09/07/2021	0	16,5	22,5	11,9
10/07/2021	0	18,4	25,1	13,5
11/07/2021	0	19,4	25,2	14,7
12/07/2021	0	19,3	24,9	14,9
13/07/2021	0	19,3	25,5	14,2
14/07/2021	0	19,5	25,7	14,2
15/07/2021	0	21,2	27	14,6
16/07/2021	0	19,2	23,1	15,1
17/07/2021	0	17,8	25,6	13
18/07/2021	0	17,7	23,7	9,1
19/07/2021	0	10,9	18,3	4,9
20/07/2021	0	12,7	18,9	6,9
21/07/2021	0	15,6	22,8	9,8
22/07/2021	0	17,8	24	13,1
23/07/2021	0	17,3	22,5	11,4
24/07/2021	0	19,1	25,7	14,6
25/07/2021	0	19,6	26,2	14,5
26/07/2021	0	20,8	27,2	13,6
27/07/2021	0	21,3	28,8	15
28/07/2021	0	12,1	16,4	5,9
29/07/2021	0	8,1	14	3,4
30/07/2021	0	8,4	14,7	3,6
31/07/2021	0	11,6	17,9	6,5
01/08/2021	0	14,1	20,2	10
02/08/2021	0	15,6	23,4	10,2

Continua

Cont. Quadro 7

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
03/08/2021	0	14,1	19,9	10,3
04/08/2021	0	14,1	20,9	10
05/08/2021	0	15,2	21	11,1
06/08/2021	0	17,3	22,8	13,3
07/08/2021	0	18,5	24,1	15
08/08/2021	0	19,7	25,2	15,1
09/08/2021	0	20,1	26,7	13,9
10/08/2021	0	21,4	28,6	15,2
11/08/2021	0	18,7	24,1	12,8
12/08/2021	0	14,8	20,9	11,3
13/08/2021	0	15,8	22	12,7
14/08/2021	0	17,2	24,1	12,7
15/08/2021	0	20,2	28,8	14
16/08/2021	0	20	28,5	16,7
17/08/2021	0	22,8	30,6	16,1
18/08/2021	0	25,5	31,5	18,3
19/08/2021	0	24,7	30,6	20,1
20/08/2021	0	23,5	29	18
21/08/2021	0	23,5	28,6	19,8
22/08/2021	0	23,1	19,7	17,8
23/08/2021	0	24,3	30,8	18,1
24/08/2021	0	25,8	32,2	20,2
25/08/2021	0	26,4	32,8	21,1
26/08/2021	0	25	31,4	20,2
27/08/2021	23	17	20,2	14,3
28/08/2021	0	14,5	16,2	12,8
29/08/2021	0	17,7	22,2	15
30/08/2021	0	18,2	24,2	14,1
31/08/2021	0	18,5	24,5	14,4
01/09/2021	0	19,4	25,7	14,7
02/09/2021	0	20,5	27,8	15
03/09/2021	0	23,3	30,1	17,6
04/09/2021	0	24,8	31	20,1
05/09/2021	0	23,6	31,5	16,7
06/09/2021	0	22,7	30	16,2
07/09/2021	0	21,6	29,6	15,6
08/09/2021	0	24,5	33,8	16,7
09/09/2021	2,5	21,5	29,4	17,6
10/09/2021	2,5	19,8	25	16,9
11/09/2021	0	21,9	27,7	17,3
12/09/2021	0	24,8	31,8	18
13/09/2021	0	27,4	34,4	21,8
14/09/2021	2,5	25,4	33,5	19,2
15/09/2021	2,5	20,1	25,4	16,6
16/09/2021	0	18,2	23,8	15,5
17/09/2021	0	20,1	28	15,4
18/09/2021	0	24,3	32,9	16,8
19/09/2021	0	26,9	33,8	20,5

Continua

Cont. Quadro 7

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
20/09/2021	0	27,5	35,6	20,2
21/09/2021	0	27,2	37,2	16
22/09/2021	0	15,5	20,7	12,2
23/09/2021	0	16,5	24,9	11,6
24/09/2021	0	12,2	30,9	12,7
25/09/2021	0	20,8	29,4	15,6
26/09/2021	0	22,1	30,9	16,3
27/09/2021	0	23,7	30,3	17
28/09/2021	0	26,4	33,1	21,1
29/09/2021	0	24,5	32	17,4
30/09/2021	0	20,6	28,1	15,6
01/10/2021	7,5	18,2	24,6	16,3
02/10/2021	1,2	18,2	21,2	16,5
03/10/2021	24	19,2	28,5	15,5
04/10/2021	0	19,9	26,5	16,1
05/10/2021	0	19,2	24,7	15,5
06/10/2021	0	22	31,5	14,9
07/10/2021	11	18,6	22,1	14,1
08/10/2021	0	18,5	25,7	13,8
09/10/2021	6	18,3	25,1	15
10/10/2021	1	16,7	18,6	14,4
11/10/2021	0	18,8	23,9	15,6
12/10/2021	0	20,7	27,2	16,6
13/10/2021	0	21,9	30,2	16,1
14/10/2021	0	21,3	26,4	17,8
15/10/2021	35	22,6	29,6	17,3
16/10/2021	2	21,6	26,5	16,5
17/10/2021	0	17,7	21,8	15,9
18/10/2021	0	16,6	18,2	15,1
19/10/2021	0	15,9	19,7	11,7
20/10/2021	0	15,1	20,2	11,4
21/10/2021	0	17,2	23,5	12,3
22/10/2021	0	19,7	26,8	13,1
23/10/2021	13	23,9	32,2	16,6
24/10/2021	25	17,9	21,8	15,5
25/10/2021	0	18,8	25	13,9
26/10/2021	0	21,3	29	16,3
27/10/2021	70	20,4	27,8	17,3
28/10/2021	0	20,9	25,6	18,4
29/10/2021	0	21,2	27,1	17,2
30/10/2021	0	20,6	27,8	16,9
31/10/2021	0	17,8	19,2	16,7
01/11/2021	0	19,4	24,4	17,2
02/11/2021	0	20,6	26,3	16,5
03/11/2021	0	21,5	27,4	17
04/11/2021	0	23	29,7	16,2
05/11/2021	0	24,7	30,4	20,4
06/11/2021	0	23,5	29,5	18,6

Continua

Conclusão Quadro 7

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)		
		Média	Máxima	Mínima
07/11/2021	0	21,5	29,1	16,4
08/11/2021	5,6	20,7	29,1	16,6
09/11/2021	0	20,8	27,2	16,6
10/11/2021	0	20,8	29,1	15,3
11/11/2021	3,8	17,4	20	15,5
12/11/2021	0	17,8	23,6	12,9
13/11/2021	0	16,8	23,7	11,9
14/11/2021	0	19,8	28,4	13,1
15/11/2021	0	22	28,9	15,8
16/11/2021	0	24,1	30,2	18,3
17/11/2021	0	25,8	31,5	20
18/11/2021	81,3	19,6	22,7	17,7
19/11/2021	0	20,7	24,8	17,8
20/11/2021	0	19,8	25,5	14,8
21/11/2021	0	19,4	26,9	13,6
22/11/2021	0	22	30,1	13,2
23/11/2021	0	26,2	33,1	18,8
24/11/2021	0	22,6	29	17,2
25/11/2021	2,3	23,9	31,5	16,7
26/11/2021	33	19,8	22,9	18,2
27/11/2021	0,3	22,9	28,4	18,5
28/11/2021	0	24,7	31	19
29/11/2021	8,9	23,8	29,4	19,4
30/11/2021	2,5	21,6	27,5	18,7

Fonte: Estação Meteorológica Automática – Campbell Scientific Inc. modelo CR23X, localizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Unesp, Botucatu – SP

ANEXO C – Datas com ausência de dados na estação meteorológica do depto. de solos e recursos ambientais

Quadro 8 – Falhas da Estação Meteorológica

Falhas no período estudado	Falhas em 2020 e 2021 fora do período estudado
04 de agosto de 2020	27 a 30 de abril de 2020
20 a 31 de agosto de 2020	27 a 30 de junho de 2020
11 de novembro de 2020	1 a 31 de julho de 2020
20 e 21 de novembro de 2020	20 a 31 de dezembro de 2021
30 de novembro de 2020	
10 a 12 de maio de 2021	
14 e 15 de maio de 2021	
17 de maio de 2021	
19 a 21 de maio de 2021	
23 de maio de 2021	

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da Estação Meteorológica Automática – Campbell Scientific Inc. modelo CR23X, localizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Unesp, Botucatu – SP.

ANEXO D – Dados climatológicos da normal (1991 a 2020)

Quadro 9 - Precipitação mensal da normal

Precipitação mensal (mm)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1991	332,2	307,6	426,1	144,5	43,7	62,1	23,7	9,6	117,4	143,9	79,4	243,8
1992	175,1	173,7	278,8	136	128,3	2,5	17	22,1	146,4	140,9	236,2	88,4
1993	291,7	319,9	115,9	80	162,9	77,1	8,5	59,6	240,6	51,7	47,9	107,1
1994	312,9	235,3		59,7	48,5	29,1	18,7	0	0,2	47,3	187,8	155,2
1995	385,8	289,3	178,9	80,1	69,9	44,4	95,8	0	85,7	227,3	137,5	172,9
1996	203,4	158,5	270,6	75,1	32,3	19,3	0,7	24,3	166	123,3	82,7	270,5
1997	485	204,1	92,4	26,9	94,2	132,7	22,8	14,6	127,4	102,1	214,1	166,2
1998	67,6	345,2	184	64,9	135,5	13	15,1	55,8	113,2	176,3	30,1	290,3
1999	400,1	203,5	111	70,3	44,8	97,5	16,3	0	84,4	35,3	34,2	183,8
2000	220,7	227,9	162,4	12,1	10,3	12,8	55	73,7	127,9	20,3	191,9	186,8
2001	322,2	278,2	156,6	24,9	91	56,9	46,1	53,8	87,5	142,7	117,7	221,3
2002	271,3	209,5	150	2,8	103,7	0	40,7	76,4	65,1	53,6	178,9	192
2003	412	127,6	179,8	91	49,4	23,7	15,8	33,9	14,9	149,1	142,3	161,1
2004	302	161,6	122,3	114	133,5	28,8	104,3	0,2	7,7	109	89,1	157,9
2005	428,4	66,6	113,8	78,7	120,8	51,2	18,7	52	35,1	183,5	63,8	183,3
2006	172	262,7	211,2	60,9	8,7	15,4	29,2	16	49,2	96,3	85,7	225,9
2007	410,8	108,9	49	40,3	42,1	23,4	172,6	0	10,2	77,7	177	180,6
2008	279,3	94,6	60,9	102,8	115,7	30,8	0	104,1	29,9	153,8	69,3	137
2009	331,6	141,5	111,5	86,8	62,7	102,7	143,8	89,1	151,2	141,8	289	331,6
2010	350,5	179,9	134,6	71,7	39,5	22,8	55,3	0	63,1	56,1	139,4	243,2
2011	712,3	189,6	162	126,5	16,5	49,9	7	24,8	0	359,6	102,5	143,4
2012	357,3	166,8	58,9	250,1	78,1	228,4	22,9	0	51,3	158,9	104,1	419
2013	392,3	160,9	267,1	125,9	96,6	115,4	57,3	0	88	107,3	44,6	64,8
2014	74,2	115,8	104,1	99,1	71,8	0,9	25,5	19,4	95,5	37	143,5	264,5
2015	256	251,6	264,9	46,4	98,5	23,1	92,8	54,4	218,9	59,5	186,4	298,5
2016	492,1	367,1	134,3	29,1	145,9	127,3	0	85,6	0	159,8	133,8	184,9
2017	338,9	135,1	145	49,1	219	100,1	0	77,4	20	150,9	200,8	183,2
2018	268,9	105,1	139,3	54,4	23,1	9,1	6,9	117,3	70,4	133	174,6	151
2019	168,7	236	200,4	86,8	1,3	34	84,5	0	38,5	89,7	206,3	75,8
2020	170,4	634,5	120,1	13,9	16,3	43	0	0	10,2	69,3	133,2	214,4

Fonte: Estação Meteorológica Automática – Campbell Scientific Inc. modelo CR23X, localizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Unesp, Botucatu – SP.

Quadro 10 - Temperatura média mensal normal

Temperatura média mensal da normal (°C)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1991	22,4	22,3	21,2	20,6	18,8	17,8	16,6	18,8	19	20,8	22,5	22,4
1992	22,7	22,8	21,9	20,4	19,2	18,9	16,5	16,9	17,3	20,5	20,9	22
1993	23,3	20,9	22,9	21,6	18,2	16,7	17,4	17,2	18,3	21,5	23,3	22,6
1994	22,2	24,6	22	21,1	19,7	16,3	18	18,6	21,1	22,2	22,3	23,5
1995	24,1	22,5	22,2	20,6	18,1	17,8	18,8	21,2	19,3	19,8	21,7	22,2
1996	23,5	23,1	22,5	21,2	18	17	16	18,8	18,2	20,8	21,2	22,8
1997	22,2	23,1	21,9	20,4	17,8	15,9	18	19,1	20,7	20,7	22,6	23,5
1998	24,4	23,3	23	20,8	17,5	16	17,4	19,2	19,1	19	21,1	22,7
1999	22,8	23	22,9	19,8	16,9	15,7	17,5	18,4	19,6	19,1	20,5	22,8
2000	22,6	22,4	21,6	21,3	18,1	18,6	15,3	17,6	18,4	23,2	21,4	22,2
2001	23,6	23,9	23,3	22,7	17,6	16,7	17,4	18	18,5	20	21,8	20,7
2002	21,4	21	24,1	22,8	18,2	18,6	15,7	19,8	18,2	24,1	21,3	22,4
2003	22	24,5	21,5	20,4	16,6	18,3	17,1	16,6	20,7	23,1	23,1	23,5
2004	20,6	21,4	20,5	20,5	15,7	15,8	15,1	17,6	21,8	18,7	20,4	20,9
2005	21,6	22,1	21,8	21,6	18,9	18,1	16	18,9	17,5	20,8	20,2	21,1
2006	20,9	21,7	21,7	20	15,2	16,3	17,9	20,6	19,9	19,6	21	20,9
2007	23	24,1	24,8	22,8	18,5	19,8	17,9	20,4	23,1	23,9	22	22,8
2008	22,5	23,5	23	21,6	18,3	17,6	19,1	20,3	20,3	22,5	22	22,7
2009	22,4	23,9	24	21,6	20	16,1	17,6	18,9	19,2	20,9	24,6	22,3
2010	21,1	21,8	23,5	21,7	19,2	18,6	20	20	20,6	15,5	16,3	23,7
2011	24,5	24,7	22,2	21,1	18,2	16,7	18,4	18,3	20	21,9	21,5	24,2
2012	23,4	26,1	24,3	23,1	18,7	17,9	18	20,1	21,9	23,9	23,6	23,8
2013	23,8	24,6	23,3	21,9	20,3	17,9	17,1	18,5	20	20,9	22,7	24,5
2014	25,3	25,7	23,8	21,7	18,9	19	17,9	19,1	20,5	21,9	20,9	22,1
2015	25,4	23,3	22,2	21,4	18,4	18,2	17,6	20,4	21,3	22,4	21,6	23,3
2016	22,8	22,9	23	23,7	17,9	16,1	18,3	18,9	19,3	21	21,6	23,3
2017	22,9	24,3	22,6	20,8	19,5	17,9	17,2	18,6	22,7	21,9	21,4	8,9
2018	22,3	22,2	23,7	21,6	19,6	19,3	19,9	17,3	19,8	21	21,5	23,8
2019	25,2	23,3	22,8	22,3	20,5	19,4	17,6	18,5	21,6	23,3	22,1	22,8
2020	22,38	21,48	21,66	20,27	18,12	19,73	16,38	19,74	23,49	23,98	23,31	22,38

Fonte: Estação Meteorológica Automática – Campbell Scientific Inc. modelo CR23X, localizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Unesp, Botucatu – SP.

Quadro 11 - Temperatura máxima mensal normal

Temperatura máxima mensal da normal (°C)												
Data	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1991	27,9	27,3	25,3	25,4	23,7	22,4	22,1	24,6	25,3	26,4	28,2	27,9
1992	28,4	28	26,9	25,2	23,9	23,9	22	23,4	22,1	26,3	26,8	27,9
1993	28,7	26	28,2	26,8	23,5	21,7	23,3	23,5	23,9	27,5	29,9	27,5
1994	27,6	30	27,1	26,1	24,4	21,8	24,2	25,9	28,8	29,7	28,3	29
1995	29,4	26,6	27,3	25,9	23,1	23,2	24,1	27,4	25,5	25,5	27,5	27,6
1996	28,5	28,7	27,5	26,3	23,2	22,3	22,5	25,9	24	26,7	26,4	27,8
1997	27,2	28,9	27,5	26,1	24,7	21,1	23,6	25,2	27,2	26,4	27,9	29
1998	29,7	28,4	28,2	25,6	22,5	21,3	23,2	24,5	24,9	24,9	27,5	28
1999	27,9	28,3	28,4	25,8	22,9	21,2	23,3	25	26,2	26	27,3	28,9
2000	27,8	27,4	27	27,1	24,4	24,9	21,9	24,1	24,6	30,4	28,3	27,7
2001	29,4	29,1	29,3	28,5	23,1	22,1	23,7	25,1	25,7	27,5	28,7	26,9
2002	27,6	27	29,9	29,5	24,4	25,5	22,5	26,7	25,3	31,6	28,3	29,3
2003	27,2	30,1	27,8	26,7	23,2	24,9	24,2	23,4	27,1	27,7	27	28,1
2004	26,6	27,8	27	26,1	21,9	21,7	21	25	29,9	25,2	27	27,7
2005	26,7	29,1	28	27,6	24,9	23,7	22,4	26,3	24,4	27,5	27,1	26,9
2006	28,6	28,1	28,1	25,8	22,7	23,4	24,4	26,8	25,6	27,4	28,1	28,3
2007	26,9	29,3	30,2	27,6	23,3	25,2	22,7	25,6	28,9	30,3	26,5	28,1
2008	26,4	28	27,5	25,8	22,8	24,5	24,6	25,5	25,5	26,8	27,4	28,3
2009	26,6	28,4	28,9	26,7	24,9	20,9	22,6	24,1	25,7	26,7	29,5	26,9
2010	27,5	29,4	28,4	26,4	24,4	25,5	26,3	27,6	27,6	27,7	28,4	28,7
2011	29,6	29,8	25,8	26,7	23,5	22,4	24,6	22,3	23,2	24,5	27,7	30,5
2012	29,3	32,1	30,8	28,5	24	21,5	23,5	25,8	28,1	29,7	27,9	29,8
2013	27,6	28,4	26,6	25,3	23,7	21,7	21,8	24,8	25,8	26,4	28,1	30
2014	30,7	31,3	28,8	27,2	24	24,5	23,7	26,8	28	30,2	28,1	28,6
2015	31,7	28,4	27,1	26,9	23,4	23,5	22,6	26,7	27,3	28,7	27,2	28,4
2016	28,1	28,1	28,5	29,2	22,7	21,3	24,3	25,3	26,2	27,8	28,1	29,3
2017	28,6	30,3	28,4	26,2	24,1	22,9	22,7	23,9	29,2	28	27,5	18,4
2018	28	27,7	29,7	26,9	25,3	24,6	26	22,8	26	26,5	27,2	29,8
2019	31,4	28,5	28,2	27,4	25,3	24,5	23,2	25,1	27,7	30,5	28,4	28,7
2020	31,4	28,5	28,2	27,4	25,3	24,5	23,2	25,1	27,7	30,5	28,4	28,7

Fonte: Estação Meteorológica Automática – Campbell Scientific Inc. modelo CR23X, localizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Unesp, Botucatu – SP.

Quadro 12 - Temperatura mínima mensal normal

Temperatura mínima mensal da normal (°C)												
Data	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1991	18,5	18,4	18,4	17	14,8	14,4	12,7	14,8	14,5	16,4	17,6	18,8
1992	19,1	19,2	18,5	16,6	16	14,7	12,9	12,9	14,5	16,2	17	17,3
1993	19,5	18,2	19,1	18	15	13,2	13,9	12,8	15,2	17,5	18,5	18,7
1994	18,6	20,4	18,4	17,2	16,2	12,7	13,5	13,5	15,6	17,6	17,8	19,3
1995	20,4	19,7	18,7	16,6	15	14	15	16,1	15,3	15,5	16,4	18,2
1996	19	19,9	19,2	17,6	14,6	13	11,5	13,6	14,7	16,3	17,5	19,4
1997	19,3	19,5	18	16,3	14,4	13,1	14	14,6	16,5	17	18,8	19,6
1998	20,6	20,2	20	17,6	14,5	12,5	13,5	15,7	15,7	16	16,8	18,9
1999	20	19,8	19,3	16,1	13,4	12,8	13,8	13,4	15,2	15,4	15,5	18,7
2000	19,1	19	18,6	17	14,1	14,8	11,1	13,9	15,2	18,5	17,6	19
2001	19,8	20,3	19,7	18,5	14,7	13	12,8	14,6	15	16,3	18	18,1
2002	18,7	18,4	20,1	18,8	15,6	14,8	12,6	15,9	13,9	18,7	18	18,8
2003	19,6	20,3	18,6	17	13,3	14,6	13,5	12,1	14,2	18,5	19,2	18,9
2004	18,4	18,3	17,6	17,9	13,7	13,3	12,7	13,2	17	15,5	17,1	17,7
2005	19,4	18,2	19	18,6	15,7	14,7	13,3	14,5	14,2	17,5	16,7	17,3
2006	19,5	19,2	19,2	16,2	12,9	13,1	13,9	14,3	14,2	16,1	17,3	18,9
2007	19,2	19	19,4	18	13,6	14,5	13	15,1	17,3	17,5	17,5	18,4
2008	18,6	19	18,6	17,4	13,8	13,5	13,9	15,1	15,1	18,2	16,7	17,1
2009	18,2	19,5	19,2	16,5	15	11,3	13	13,7	15,8	15,1	19,8	19
2010	19,5	20,1	18,7	17,1	14,1	12,4	13,7	12,3	13,6	13,4	16,3	18,3
2011	19,6	19,6	18,3	15,9	12,9	10,9	12,1	14,3	16,8	19,4	15,7	17,8
2012	17,5	20,1	18,4	17,7	13,9	14,2	12,6	14,4	15,6	18,1	19,2	21,4
2013	20	20,9	20,1	18,5	16,9	14	12,4	14,6	15,6	18,1	19,2	21,4
2014	19,7	20,4	18,8	16,7	13,9	13,5	11,7	11,5	12,5	13,4	13,9	15,5
2015	19,1	18,1	17,2	16,1	13,4	12,9	12,6	13,5	15,2	15,8	15,7	18,3
2016	19,4	19,4	19,2	19	14,4	12,1	12,9	13,5	14	16,2	17,1	18,8
2017	19,6	20,1	18,8	16,9	16,1	13,7	12,5	14,1	16,9	17,2	16,8	1,7
2018	18,8	18,3	19,9	17,6	15,1	15	14,1	12,8	15,3	16,9	17,4	19,2
2019	20,7	19,6	19,1	13,7	16,5	14,6	12,7	13	16,4	17,6	17,5	18,4
2020	16,4	15,4	15,5	12,5	7,8	13,1	0	12,6	11,5	13,6	12	16

Fonte: Estação Meteorológica Automática – Campbell Scientific Inc. modelo CR23X, localizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Unesp, Botucatu – SP.

ANEXO E – Deslocamento de NI, NII e NIII

Quadro 13 – Posição das nascentes em relação ao ponto zero durante o período de estudo

Data	Deslocamento das nascentes (cm)		
	NI	NII	NIII
12/08/2020	0	0	
19/08/2020	105	0	
21/08/2020	105	0	
26/08/2020	105	0	
31/08/2020	40	0	
02/09/2020	-51	0	
09/09/2020	-122	0	
11/09/2020	-110	0	
16/09/2020	-122	0	
23/09/2020	-122	0	
30/09/2020	-176	0	
07/10/2020	-176	0	
14/10/2020	-176	0	
20/10/2020	-176	0	
21/10/2020	-176	0	
28/10/2020	-176	0	
04/11/2020	-176	0	
11/11/2020	-176	0	0
12/11/2020	-176	0	0
18/11/2020	-110	0	0
19/11/2020	-110	0	0
25/11/2020	0	0	0
01/12/2020	-98	0	0
02/12/2020	-98	0	0
04/12/2020	-176	0	0
08/12/2020	-77	0	0
09/12/2020	-98	0	0
15/12/2020	-110	0	114
16/12/2020	-77	0	85
17/12/2020	-77	0	114
18/12/2020	-62	0	62
21/12/2020	-62	0	62
23/12/2020	-62	0	62
11/01/2021	-29	0	50
12/01/2021	-62	0	50
13/01/2021	0	0	50

Continua

Cont. Quadro 13

Data	Deslocamento das nascentes (cm)		
	NI	NII	NIII
14/01/2021	40	0	50
15/01/2021	105	0	62
18/01/2021	105	0	114
19/01/2021	134	0	114
20/01/2021	134	0	114
27/01/2021	105	0	62
28/01/2021	105	0	62
03/02/2021	105	0	62
10/02/2021	105	0	39
17/02/2021	105	0	39
18/02/2021	105	0	39
24/02/2021	-176	0	-30
25/02/2021	-176	0	-70
03/03/2021	-176	0	-70
04/03/2021	-51	0	-70
05/03/2021	-29	0	-70
09/03/2021	105	0	50
10/03/2021	105	0	50
17/03/2021	-77	0	50
24/03/2021	-176	0	50
29/03/2021	-77	0	50
31/03/2021	-29	0	-58
07/04/2021	-51	0	-58
14/04/2021	-212	0	39
15/04/2021	-212	0	39
19/04/2021	-176	0	39
21/04/2021	-176	0	62
22/04/2021	-176	0	62
27/04/2021	-212	0	39
28/04/2021	-245	0	39
05/05/2021	-299	0	39
12/05/2021	-299	0	39
13/05/2021	-245	0	39
19/05/2021	-245	0	39
24/05/2021	-176	0	39
26/05/2021	-212	0	39
01/06/2021	-245	0	39
02/06/2021	-404	0	39
08/06/2021	-176	0	39
09/06/2021	-176	0	39
11/06/2021	-134	0	85

Continua

Conclusão Quadro 13

Data	Deslocamento das nascentes (cm)		
	NI	NII	NIII
16/06/2021	-176	0	39
22/06/2021	-176	0	39
23/06/2021	-176	0	39
30/06/2021	-299	0	-58
07/07/2021	-299	0	-70
14/07/2021	-627	0	-70
21/07/2021	-593	0	-102
28/07/2021	-233	0	-70
29/07/2021	-610	0	-70
04/08/2021	-610	0	-102
11/08/2021	-627	0	-102
22/09/2021	-2134	0	-58
29/09/2021	-2448	0	-102
04/10/2021	-2134	0	-58
06/10/2021	-2134	0	-58
08/10/2021	-2134	0	-70
13/10/2021	-2134	0	-58
18/10/2021	-2134	0	-58
19/10/2021	-2134	0	-58
20/10/2021	-2134	0	-58
27/10/2021	-2134	0	-58
29/10/2021	-2134	0	-58
03/11/2021	-2134	0	-58
09/11/2021	-627	0	-46
10/11/2021	-627	0	-58
12/11/2021	-627	0	-58
17/11/2021	-627	0	-58
18/11/2021	-518	0	-58
19/11/2021	-233	0	-58
24/11/2021	-610	0	-58
26/11/2021	-299	0	-58

Fonte: Elaborado pela autora.