

## **ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS E AMBIENTAIS DE NASCENTES PONTUAIS E DIFUSAS: impactos da conservação e uso do solo na vazão das nascentes**

Ana Paula Felix<sup>1</sup>

Lilian Vilela Andrade Pinto<sup>2</sup>

### *Resumo*

Este trabalho compara as características hidrológicas, a resistência à penetração do solo e o estado de conservação de duas nascentes, A1 (pontual) e A2 (difusa), situadas em Inconfidentes, MG. A pesquisa avaliou o estado de conservação das nascentes, demarcou as áreas de recarga via GPS e Google Earth Pro, mensurou as vazões mensalmente de maio de 2023 a abril de 2024 e a compactação do solo foi analisada com um penetrômetro de impacto. Os resultados indicam que a nascente A1 tem um estado de conservação bom, com 28 pontos, devido à ausência de poluição e presença de vegetação nativa. Já a nascente A2, com 21 pontos, tem conservação razoável devido à falta de vegetação nativa e proteção. A área de recarga da A1 é menor e mais protegida, enquanto a A2 é maior e mais impactada por pastagens e cultivos. A resistência à penetração (RP) na A1 é muito alta na área de preservação, enquanto na A2 varia entre alta e muito alta. A vazão da A1 responde de forma moderada às variações pluviométricas, enquanto a A2, mais sensível às chuvas e com maior evaporação, apresenta vazões mais variáveis. Conclui-se que a nascente A1, melhor conservada e com maior vegetação nativa, apresenta vazão estável e menor sensibilidade às chuvas devido à alta resistência à penetração do solo. Em contraste, a nascente A2, com conservação razoável e uso agrícola, mostra variabilidade na vazão. A proteção e manejo das áreas de recarga são essenciais para a qualidade ambiental e vazão das nascentes.

**Palavras-chave:** Resistência a penetração do solo; Conservação; Área de Preservação Permanente.

<sup>1</sup> Aluna do Curso de graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas - Campus Inconfidentes, [ana1.felix@alunos.ifsuldeminas.edu.br](mailto:ana1.felix@alunos.ifsuldeminas.edu.br).

<sup>2</sup> Prof. Dr. Lilian Vilela Andrade Pinto, Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas - Campus Inconfidentes, [lilian.vilela@ifsuldeminas.edu.br](mailto:lilian.vilela@ifsuldeminas.edu.br).

## INTRODUÇÃO

Segundo a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, uma nascente é definida como “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água”, originando a rede de drenagem na região ou contribuindo como afluente do canal principal. As nascentes são classificadas em pontuais e difusas, sendo a pontual um afloramento em um local específico, de fácil localização e proteção, já a nascente difusa é caracterizada por diversos afloramentos do lençol freático em um determinado local, ocasionando a saturação do solo e o alagamento da área, desse modo, os pontos de afloramento específicos são de difícil demarcação (Santos, *et al*; 2023).

Uma nascente considerada ideal deve apresentar fluxo de água com volume homogêneo durante o ano e apresentar parâmetros positivos em relação a qualidade, mas, para que essas características sejam alcançadas é necessária a proteção, conservação do olho d’água e das áreas de recarga (Leal, *et al*; 2016). Para Marmontel e Rodrigues (2015) a mata ciliar tem o propósito de proteger a nascente e os cursos d’água da degradação causada por intempéries ambientais ou ações antrópicas, de modo que as funções hidrológicas e ecológicas dos recursos hídricos não seja afetada, já nas áreas de recarga as Áreas de Preservação Permanente (APP) tem o objetivo de contribuir para a infiltração e reabastecer o lençol freático, quando alteradas ou degradadas essas áreas afetam diretamente a qualidade e o reabastecimento das águas subterrâneas.

A degradação do meio desequilibra sistemas da fauna e da flora, gera esgotamento do solo, diminuição quantitativa e qualitativa da água e conseqüentemente afeta a saúde pública, uma vez que a água é extremamente vital para o ser humano e um bem escasso (Zabotto, 2019). Perante a necessidade de proteção e conservação deste recurso natural, ações devem ser implementadas para que o desenvolvimento ocorra de forma sustentável e não interfira nos parâmetros qualitativos e quantitativos da água, como estudos nas mudanças de uso do solo e modelos hidrológicos de bacias (Souza, *et al*; 2019).

Objetiva-se com o presente trabalho analisar e comparar as características hidrológicas, a resistência à penetração do solo, e o estado de conservação de duas nascentes, com o intuito de identificar os fatores que influenciam a qualidade ambiental e a vazão das nascentes em diferentes condições de uso do solo.

## METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada em duas nascentes caracterizadas como A1 (Nascente Pontual) e A2 (Nascente Difusa) situadas no Sítio Bela Vista, Bairro Boa Vista da Adelaide, no município de Inconfidentes - MG, com uma altitude média de 869 metros e apresentando um relevo acidentado, caracterizado por grandes conjuntos de Serras. O clima da região de Inconfidentes, segundo a classificação de Koëppen é do tipo subtropical de inverno seco e verão quente, possuindo 2 estações bem definidas, o período chuvoso, entre os meses de outubro a março, e o período seco, de abril a setembro, com médias anuais de precipitação de 1.800 mm e temperatura média de 19 °C (Caetano; Barbosa, 2019).

Para a caracterização do estado de conservação das nascentes foi realizada uma avaliação macroscópica seguindo o método de Leal *et al* (2016), utilizando os parâmetros da Tabela 1 para a classificação do grau de conservação entre ótimo (31 a 33 pontos), bom (28 a 30 pontos) e razoável (25 a 27 pontos).

Parâmetro	Qualificação		
	Ruim (1 ponto)	Médio (2 pontos)	Bom (3 pontos)
Lixo	Muito	Pouco	Ausente
Materiais flutuantes	Muito	Pouco	Ausente
Espumas	Muito	Pouco	Ausente
Óleos	Muito	Pouco	Ausente
Esgoto	Presença	Evidências	Ausente
Vegetação na APP	Ausente	Exótica	Nativa
Uso pela fauna	Presença	Evidências	Ausente
Uso antrópico	Presença	Evidências	Ausente
Proteção (cerca)	Ausente	Presente, mas com fácil acesso	Presente, mas com difícil acesso
Áreas construídas	Menos de 50 metros	Entre 50 e 100 metros	Acima de 100 metros
Tipo da área de inserção	Informação ausente	Propriedade privada	Área protegida

Tabela 1 - Parâmetros para avaliação de nascentes.

Fonte: Leal *et al* (2016)

Tendo como referência os métodos utilizados por Marconato (2023), primeiramente foi realizada, *in loco*, a demarcação das nascentes fazendo uso de GPS Garmin 62S, com um erro médio de 4 metros. O datum utilizado foi o WGS84, o mesmo utilizado pelo Google Earth PRO. Posteriormente, as coordenadas geográficas das nascentes foram inseridas no Google Earth Pro e, utilizando a ferramenta "Aumentar a Elevação", foi ajustada para uma escala de 3 para possibilitar uma visualização mais detalhada do relevo na imagem, permitindo assim delimitar com maior precisão as áreas de recarga de forma manual. A área de recarga foi definida como áreas que drenam água do divisor natural até a nascente (Pinto et al., 2004). Por fim, nas áreas de recarga, foram separadas as áreas de preservação permanente (APP) e as áreas com demais usos do solo, classificadas em pastagens, cultivos agrícolas e florestas.

Os dados da vazão das nascentes foram coletados no oitavo dia de cada mês, entre o período de maio de 2023 a abril de 2024, utilizando o método direto, onde, através de um becker e um cronômetro digital é verificado o volume de água coletado em 25 segundos. Na nascente A1, por possuir um sistema de coleta total da água e encanamento para uma caixa d'água, a vazão foi mensurada através do cano de acesso, já na nascente A2 foi necessária uma calha para direcionamento da água ao becker. Para o cálculo da vazão foi utilizada a razão entre o volume encontrado pelo tempo de 25 segundos, dessa forma foi determinada a vazão em L/s, e para a determinação da vazão diária o resultado obtido foi multiplicado por 86.400.

Os dados pluviométricos foram obtidos pela estação meteorológica (Vantage Pro2 - Davis®) instalada na Fazenda do IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes em local com Latitude: 22° 18' 37,47" S, Longitude: 46° 19' 56,31" O e Altitude: 914,0 m, o equipamento armazena dados horários, os quais foram integralizados para obtenção do total diário de precipitação para o município de Inconfidentes, sendo necessário realizar uma soma para cálculo mensal da precipitação.

Para determinar a compactação do solo na área de recarga, utilizou-se um penetrômetro de impacto em três pontos distribuídos aleatoriamente em cada tipo de uso do solo. Registrou-se a quantidade de impactos necessários para romper 5 cm de solo, repetindo este procedimento até alcançar 60 cm de profundidade. Após a coleta dos dados, calculou-se a média dos valores para cada tipo de uso do solo. Em seguida, geraram-se gráficos na planilha Excel utilizando o cálculo de resistência à penetração de Stolf (Stolf, sd).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estado de conservação da nascente A1 é classificado como bom, com 28 de 33 pontos, conforme a avaliação macroscópica de Leal et al. (2016) (Tabela 1). O que levou a essa boa pontuação foi a ausência dos parâmetros Lixo, Materiais flutuantes, Espumas, Óleos e Esgoto, presença de vegetação nativa e áreas com construção ficam a mais de 100 metros de distância do olho d'água. A perda de pontos ocorreu com as evidências de uso pela fauna, a presença de uso antrópico e com a inserção de cerca de proteção, porém com fácil acesso. Em contraste, a nascente A2 tem um estado razoável, com 21 pontos, devido à falta de vegetação nativa na área de proteção, presença de uso pela fauna e a falta de cerca de proteção.

Dias et al. (2022) destacam que a cobertura vegetal, o uso antrópico e o cercamento são os principais fatores que contribuem para a manutenção da qualidade das nascentes, uma vez que a vegetação auxilia na infiltração e no controle da erosão, o uso antrópico determina os tipos de poluição que podem afetar uma nascente, como óleo de máquinas, lixos de embalagens vazias e a utilização de defensivos agrícolas e o cercamento por funcionar como barreira física que impede a entrada de animais que causam compactação do solo pelo pisoteio e a contaminação pelas fezes.

A área de recarga da nascente A1 é de 0,848 ha, com 34% de pastagem, 9% de café e 57% de mata nativa, delimitadas na imagem pelas cores amarela, verde claro e verde escuro respectivamente (Figura 1A). A nascente A2 tem uma área de 3,710 ha, com 56% de pastagem, 33% de café, 6% de eucalipto e 5% de mata nativa, delimitadas na imagem pelas cores amarela, verde claro, rosa e verde escuro respectivamente (Figura 1B).

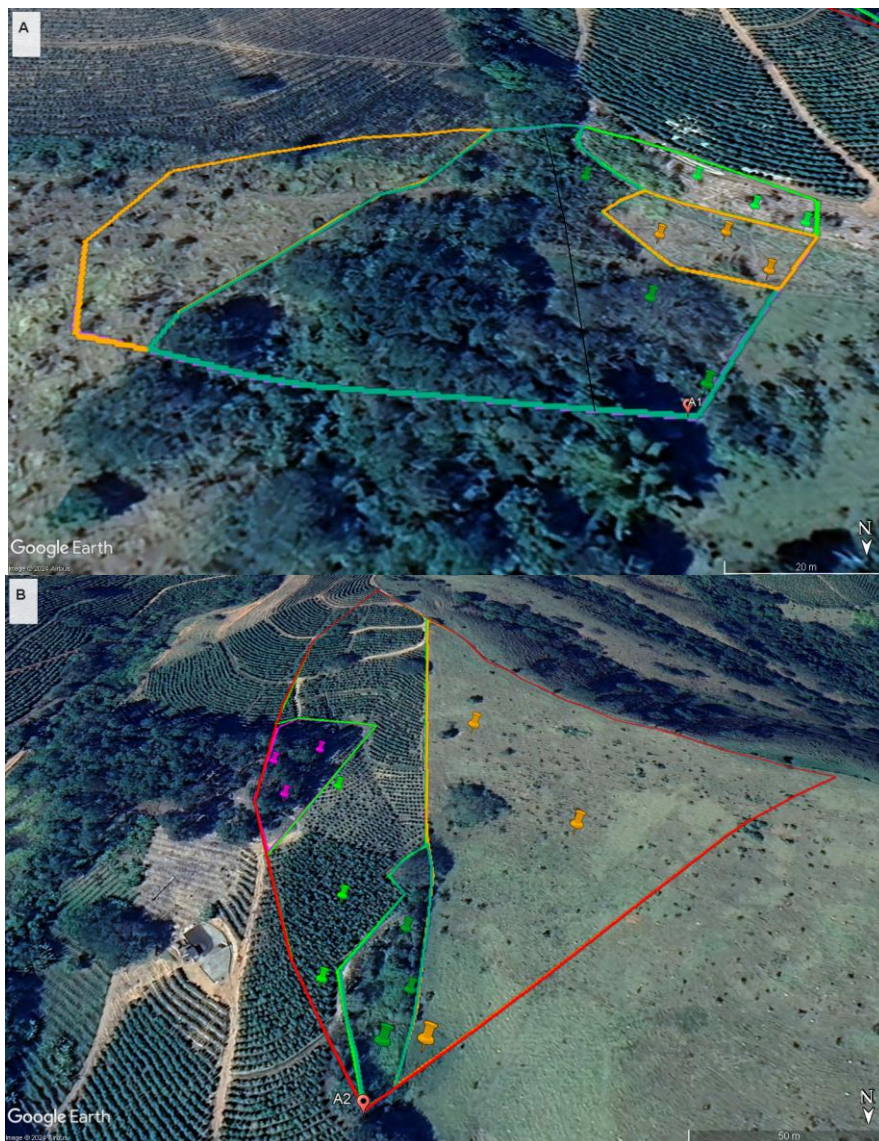
A resistência à penetração (RP) das nascentes A1 e A2 é detalhada nas figuras 2 e 3, respectivamente. Os pontos de avaliação da RP em cada uso do solo são mostrados na figura 1.

Na nascente A1 (Figura 2), a RP na área de APP foi de cerca de 8 MPa até 30 cm de profundidade, com um pico de 11,58 MPa aos 40 cm, limitado por rochas. No cultivo de café, a RP foi nula até 15 cm, subindo gradativamente até 5 MPa aos 30 cm e atingindo 6,07 MPa aos 50-55 cm. Na área de pastagem, a RP foi de 5 MPa nos primeiros 5 cm, variando entre 4 e 6 MPa, com um pico de 7,45 MPa entre 30 e 35 cm.

Na nascente A2 (Figura 3), a RP na área de APP variou entre 0 e 4 MPa nos primeiros 10 cm, aumentando para 4-5 MPa nas profundidades maiores, sem picos significativos. Na área de pastagem,

a RP aumentou para cerca de 6 MPa nos primeiros 10 cm, variando entre 4 e 6 MPa em profundidades maiores. No cultivo de eucalipto, a RP foi de 2 MPa nos primeiros 10 cm, com picos de 4 MPa a 13 cm, 6 MPa a 35 cm, 8 MPa a 45 cm, e 8,83 MPa a 55 cm. No cultivo de café, a RP foi de 2 MPa a 5 cm, com um pico de 5 MPa a 20 cm e o maior pico de 7,45 MPa a 55 cm.

Figura 1. Demarcação das diferentes áreas de cultivo e dos pontos de coleta para a análise de compactação do solo da área de recarga das nascentes A1 (A) e A2 (B).



Fonte: Próprio autor (2024).

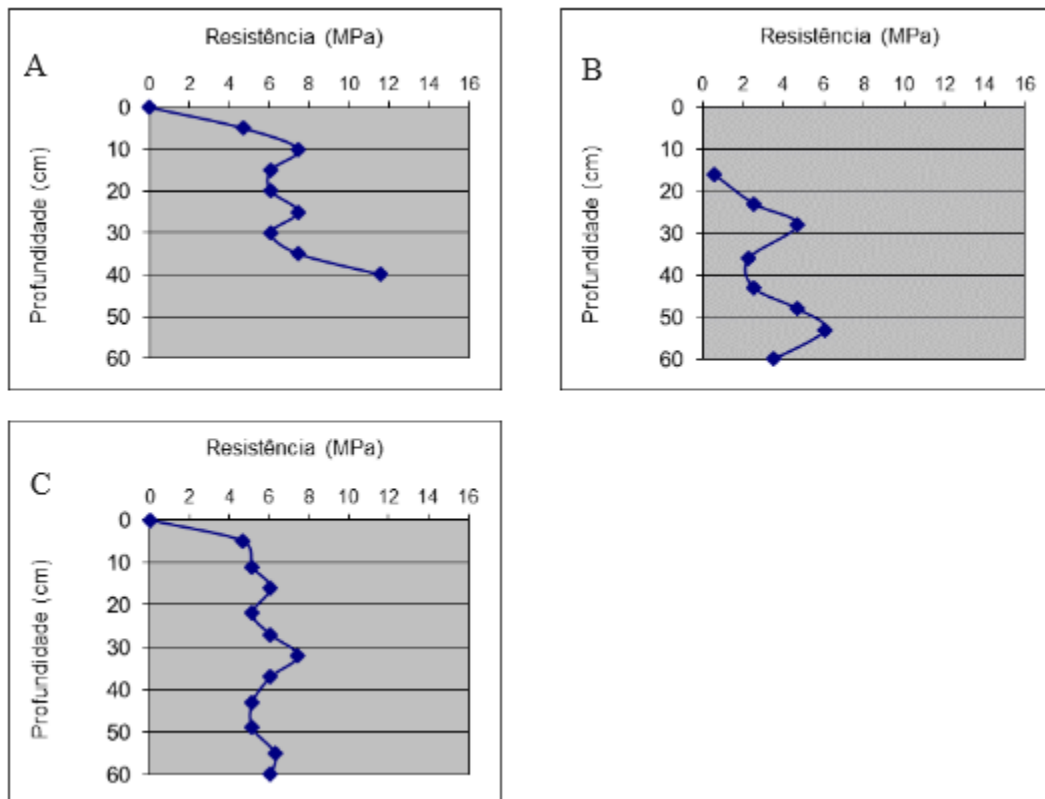
Segundo Araújo et al. (2010), a resistência à penetração (RP) pode ser classificada como moderada entre 1-2 MPa, alta entre 2-4 MPa e muito alta entre 4-8 MPa. Na área de preservação permanente (APP) da nascente A1 (Figura 2 A), a RP é muito alta desde os primeiros centímetros de profundidade, o que se deve à presença de rochas na área. Já na APP da nascente A2 (Figura 3), a RP é alta nos



**EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS**

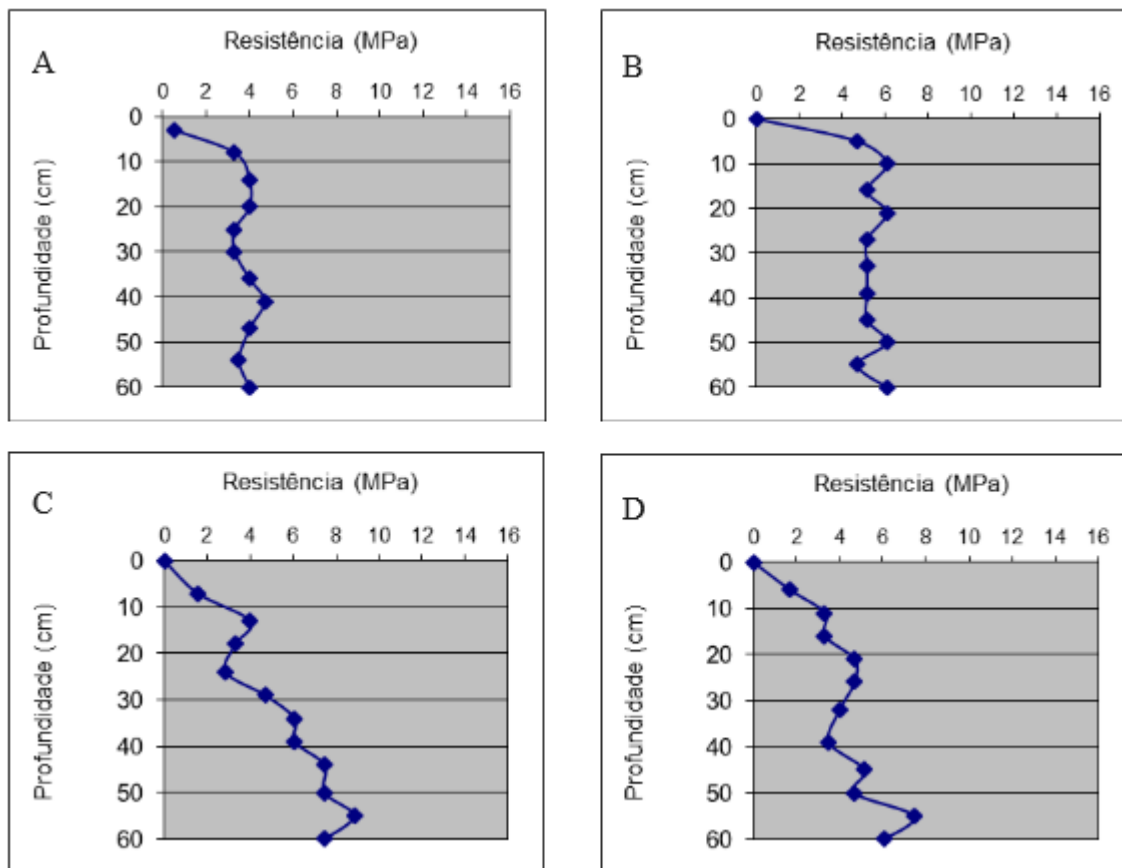
primeiros 10 cm, variando entre alta e muito alta nas demais profundidades. Esses valores indicam maiores impedimentos ao crescimento radicular das árvores, fator que interfere diretamente na reconstituição da APP. Na área de café recém-implantado da nascente A1 (Figura 2 B), a resistência foi moderada nos 15 cm iniciais, enquanto na área de café da nascente A2 (Figura 3 D), a RP foi alta. Nas demais profundidades, a RP variou entre alta e muito alta em ambas as áreas. A diferença nos 15 cm iniciais pode ser atribuída ao manejo do solo, pois, na área de café recém-implantado, houve revolvimento do solo e adição de matéria orgânica.

Figura 2 - Resistência à penetração para os diferentes usos do solo da nascente A1, determinados em Área de APP (A), Área de cultivo de café recém implantado (B) e Área de pastagem (C).



Fonte: Próprio autor (2024).

Figura 3- Resistência à penetração para os diferentes usos do solo da nascente A2, determinados em Área de APP (A), Área de pastagem (B), Área de cultivo de Eucalipto (C) e Área de cultivo de café (D).



Fonte: Próprio autor (2024).

A área de pastagem, presente nas áreas de recarga das nascentes A1 e A2, apresentou resistência à penetração (RP) muito alta desde os primeiros 5 cm de solo até os 60 cm de profundidade, como pode ser observado nas figuras 2C e 3B, respectivamente. De acordo com Bonnin et al. (2017), essa condição pode acarretar complicações no desenvolvimento de gramíneas. No cultivo de eucalipto (Figura 3 C), a RP foi moderada nos primeiros 10 cm de profundidade, mas nos demais níveis analisados, a RP foi considerada muito alta até os 60 cm.

Segundo Furquim *et al* (2020), a infiltração da água no solo é o processo responsável pelo abastecimento e manutenção dos níveis do lençol freático e dos aquíferos, de modo a se manterem constantes, esse processo ocorre pela ação da gravidade e pela capilaridade do solo, ou seja, sua capacidade de absorção de água nos poros ocupados por oxigênio, onde, os autores comprovaram cientificamente que solos com maiores resistências à penetração possuem menores taxas e velocidade de infiltração, dessa forma, ambas as áreas analisadas (A1 e A2) possuem barreiras e empecilhos a infiltração causada pelo alto índice de RP.

A análise da relação entre os dados pluviométricos mensais e a vazão das nascentes A1 e A2



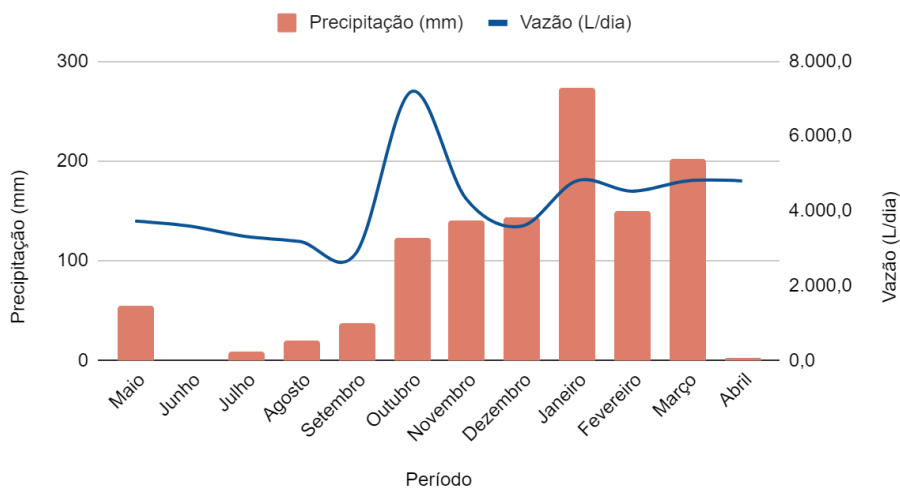
(Figura 4) revela um comportamento distinto de cada nascente em resposta às variações de precipitação, o que pode ser atribuído às características hidrológicas e ao uso do solo das áreas de recarga.

Em relação à nascente A1 (Figura 4A), observou-se que sua vazão mensal geralmente acompanha o padrão de precipitação de maneira suave, com exceção de um pico de vazão em outubro de 2023, quando atingiu 7.188,5 L/dia. Esse aumento não está diretamente relacionado a um aumento significativo na precipitação mensal, mas sim a um evento específico de chuva intensa de 41,6 mm nos dias 07 e 08 de outubro de 2023. Isso sugere que a nascente A1, devido às suas características hidrológicas, como a presença de uma camada impermeável de rocha com inclinação menor que a encosta, conforme descrito por Neves et al. (2014), pode ter uma resposta menos imediata às variações mensais de precipitação e mais sensível a eventos de chuva intensa localizados. A alta resistência à penetração (RP) do solo na área de recarga, juntamente com a barreira de penetração encontrada a 40 cm de profundidade na área de preservação permanente (APP), conforme evidenciado na Figura 2A, indica que o solo tem uma capacidade limitada de infiltração, confinando a água entre as rochas e reduzindo a influência direta da precipitação mensal na vazão.

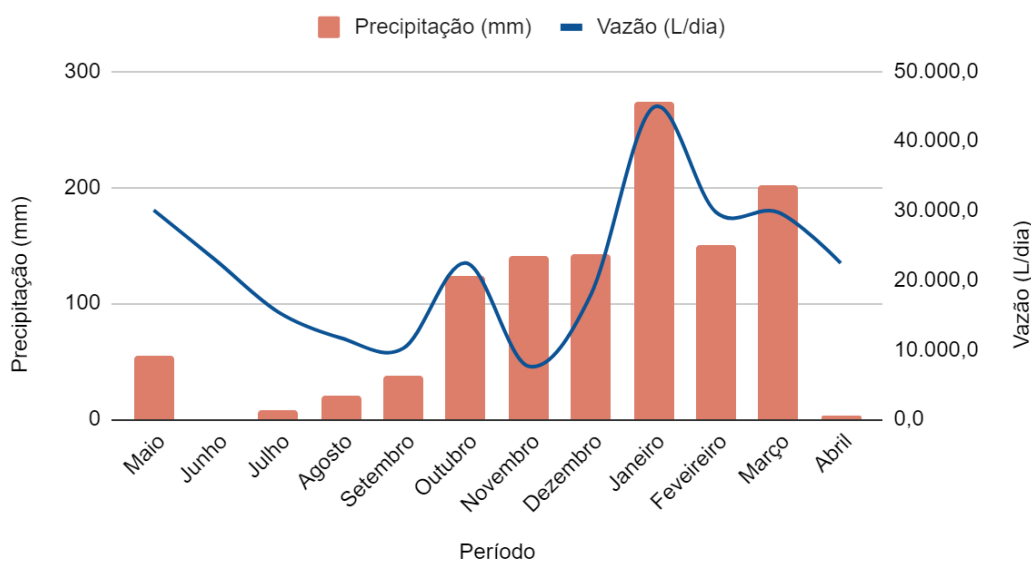
Por outro lado, a nascente A2 (Figura 4B) apresentou um comportamento mais abrupto em relação às variações de precipitação, com vazões variando de 7.637,8 L/dia em novembro de 2023 a 44.824,3 L/dia em janeiro de 2024. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de a nascente A2 ser classificada como uma nascente difusa, onde o lençol freático aflora em diversos pontos na porção de menor declividade do terreno, conforme descrito por Pinto et al. (2012). A proximidade entre a rocha impermeável e a superfície faz com que a vazão da nascente A2 seja diretamente influenciada pela precipitação. Durante os meses de maior precipitação, como janeiro de 2024, a maior disponibilidade de água superficial e a recarga do lençol freático resultaram em um aumento expressivo na vazão. No entanto, a grande área de pastagem associada à nascente A2, juntamente com o fato de não se tratar de um aquífero confinado, aumenta a perda de água por evaporação durante os períodos secos, resultando em quedas drásticas na vazão, como observado em novembro de 2023.

Figura 4 - Vazão em L/dia e Precipitação em mm/mês entre os meses de maio de 2023 e abril de 2024: (A) A1 (Nascente Pontual); (B) Nascente e Nascente A2 (Nascente Difusa).

(A)



(B)



Os resultados apresentados corroboram as descrições da literatura citada. Conforme apontado por Caetano e Barbosa (2019), as variações de precipitação entre 0 mm e 300 mm mensais em Inconfidentes são características do regime pluviométrico da região, e a ausência de eventos extremos durante o período estudado sugere que as flutuações na vazão das nascentes estão mais relacionadas à interação entre a precipitação e as características específicas das nascentes do que a eventos climáticos atípicos.

Portanto, a disparidade nos volumes de vazão entre as nascentes A1 e A2 pode ser atribuída principalmente ao tipo de nascente, às condições de uso do solo e às características hidrológicas das áreas de recarga. A nascente A1, sendo pontual e com uma área de recarga de alta RP, demonstra uma

resposta mais moderada e retardada às variações pluviométricas, enquanto a nascente A2, sendo difusa e localizada em uma área de menor declividade, apresenta maior sensibilidade às chuvas e maior variabilidade na vazão devido à sua maior exposição às perdas por evaporação e à rápida recarga superficial.

## CONCLUSÕES

As nascentes A1 e A2, apesar de estarem na mesma região, apresentam diferenças hidrológicas e ambientais que afetam sua qualidade e vazão. A nascente A1, com melhor conservação e maior cobertura de vegetação nativa, mostra uma vazão mais estável e menor sensibilidade a variações pluviométricas, devido à alta resistência à penetração do solo. Já a nascente A2, em estado de conservação razoável e com maior uso agrícola na área de recarga, apresenta maior variabilidade na vazão, influenciada por menor infiltração de água e maior exposição a perdas por evaporação. Portanto, o tipo de nascente, uso do solo, resistência à penetração e cobertura vegetal são cruciais para a qualidade ambiental e a vazão das nascentes, destacando a importância da proteção e manejo das áreas de recarga.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. O; *et al.* Avaliação da resistência à penetração de solos submetidos a manejo florestal de vegetação nativa da chapada do Araripe. In: Congresso brasileiro de Águas Subterrâneas, XVI; 2010, São Paulo. **Anais eletrônicos** [...] São Paulo: Águas Subterrâneas, 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23075>. Acesso em: 22 jul. 2024.

BONNIN, J.J; *et al.* Distribuição espacial da resistência mecânica à penetração do solo e da velocidade de infiltração da água num campo esportivo. In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola, XLVI; 2017, Maceió. **Anais** [...] Maceió, CONBEA, 2017.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm). Acesso em: 5 fev. 2024.

CAETANO, A. L. ; BARBOSA, F. S. Probabilidade de Ocorrência de chuvas Extremas para a Região de Inconfidentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

CRUZ, Tatiana; *et al.* Evolução do uso da terra e da cobertura vegetal nas sub-bacias hidrográficas pioneiras do projeto “Conservador das Águas” (2006-2018). **Revista Agroambiental**, v. 12, n.1, 2020.



DIAS, J.S; *et al.* Caracterização do Estado de Conservação de Nascentes do Córrego da Pindaíba/MG. **Revista Internacional de Ciências**, vol. 12, n. 01, 2022.

FURQUIM, L. C; *et al.* Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivos integrados e em área de pastagem degradada. **Colloquium Agrariae**, v.16, n.5, 2020.

LEAL, M. S; *et al.* Caracterização Hidroambiental de Nascentes. **Revista Ambiente e Água**, vol. 12, n. 1, 2017.

MARCONATO, Alexandre. **Dinâmica da vazão em áreas de nascente do IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes**. 2023. 39 p. Trabalho de conclusão de curso - Bacharelado em Engenharia Ambiental, Instituto Federal do Sul de Minas, Inconfidentes, 2023.

MARMONTEL, C. V. F; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n.2, 2015.

NEVES, L.S; *et al.* Nascentes, áreas de preservação permanentes e restauração florestal: histórico da degradação e conservação no Brasil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.7, n.3, 2014.

PINTO, L. V. A; *et al.* Estudos das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Florestalis**, n.65, 2004.

SANTOS, F. E; *et al.* Gestão ambiental e as inferências nos recursos hídricos: um diagnóstico do Rio Espreado em Soledade/RS. **Gestão e Regionalidade**, v.39, 2023.

SOUZA, V. A. S; *et al.* Dinâmica do desmatamento na Amazônia e seus impactos na hidrologia: bacia do Rio Machado - Rondônia / Brasil. **Ciência Florestal**, v.29, n. 3, 2019.

STOLF R. Penetrômetro de Impacto Stolf- programa computacional de dados em Excel-VBA.

ZABOTTO, Alessandro. Estudos sobre impactos ambientais: uma abordagem contemporânea. **Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais**, Botucatu, 2019.