

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

USO EMERGENCIAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA DO RIO PARAOPÉBA-MG, EM UM CONTEXTO PÓS ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE BRUMADINHO

José Augusto Costa Gonçalves¹; Manuela Augusta Diniz Siqueira² & Alisson Pietro Santos Duarte³

Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira-MG

Abstract: Groundwater represents an alternative source of supply in situations where conventional collection systems are compromised, such as the rupture of dams. In this context, this study aims to approach the use of groundwater based on a case study carried out in the Paraopeba River basin/MG in a context of water crisis, triggered by the rupture of the B-I tailings dam, which subsequently caused the rupture of the B-IV and B-IV-A dams at the Córrego do Feijão mine, located in Brumadinho. Given the suspension of raw water collection from the Paraopeba River and as a way to meet water demands, groundwater was used to guarantee the right to access water in quantity and quality. Wells were drilled throughout the affected area, 151 of which were used for the development of this study.

Keywords Palavras-Chave – Aquifer Systems, Water Emergency, Deep Wells

Resumo: As águas subterrâneas representam uma alternativa de abastecimento em situações de comprometimento dos sistemas convencionais de captação, como o rompimento de barragens. Nesse contexto, o presente estudo tem por objetivo realizar uma abordagem acerca da utilização das águas subterrâneas a partir do estudo de caso realizado na bacia hidrográfica do rio Paraopeba/MG em um contexto de crise hídrica, desencadeada após o rompimento da Barragem de rejeitos B-I, ocasionando, em sequência, o rompimento das barragens B-IV e B-IV-A na mina Córrego do Feijão, localizada em Brumadinho. Diante da suspensão da captação de água bruta no rio Paraopeba e como forma de atender as demandas hídricas, as águas subterrâneas foram utilizadas como garantia ao direito de acesso à água em quantidade e qualidade. Foram perfurados poços em toda área afetada, sendo 151 deles utilizados para o desenvolvimento deste estudo.

Palavras-Chave – Sistemas Aquíferos, Emergência Hídrica, Poços Profundos

INTRODUÇÃO

Em 25 de janeiro de 2019 ocorreu o rompimento da Barragem I de rejeitos da Mina Córrego do Feijão (B-I), pertencente à empresa Vale S.A., localizada no município de Brumadinho, Minas Gerais. Diante do propósito da empresa em reparar os danos gerados e das obrigações legais contraídas, inúmeros foram os esforços para a minimização dos impactos que ocorreram, fazendo com que a empresa, Vale S.A., se estruturasse de forma a atender as comunidades impactadas. Para atender as demandas hídricas que surgiram após o rompimento, foi constituída a equipe de Águas Subterrâneas integrante da Gerência de Saneamento, pertencente à Diretoria de Reparação Socioeconômica da Vale S.A., vem trabalhando para garantir o direito de acesso à água em quantidade e qualidade através das águas subterrâneas. O objetivo deste estudo é a identificação dos problemas enfrentados na gestão das águas subterrâneas, avaliação do seu atual panorama e através do estudo de caso realizado na bacia do rio Paraopeba, conceber uma caracterização hidrogeológica do território impactado pelo rompimento da barragem de rejeitos.

METODOLOGIA

1,2,3) Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Rua Irmã Ivone Drumond, 200 - Distrito Industrial II, Itabira - MG, 35903-087
Telefone: (31) 3839-0800, Email Autor Correspondente: jaucosta@unifei.edu.br

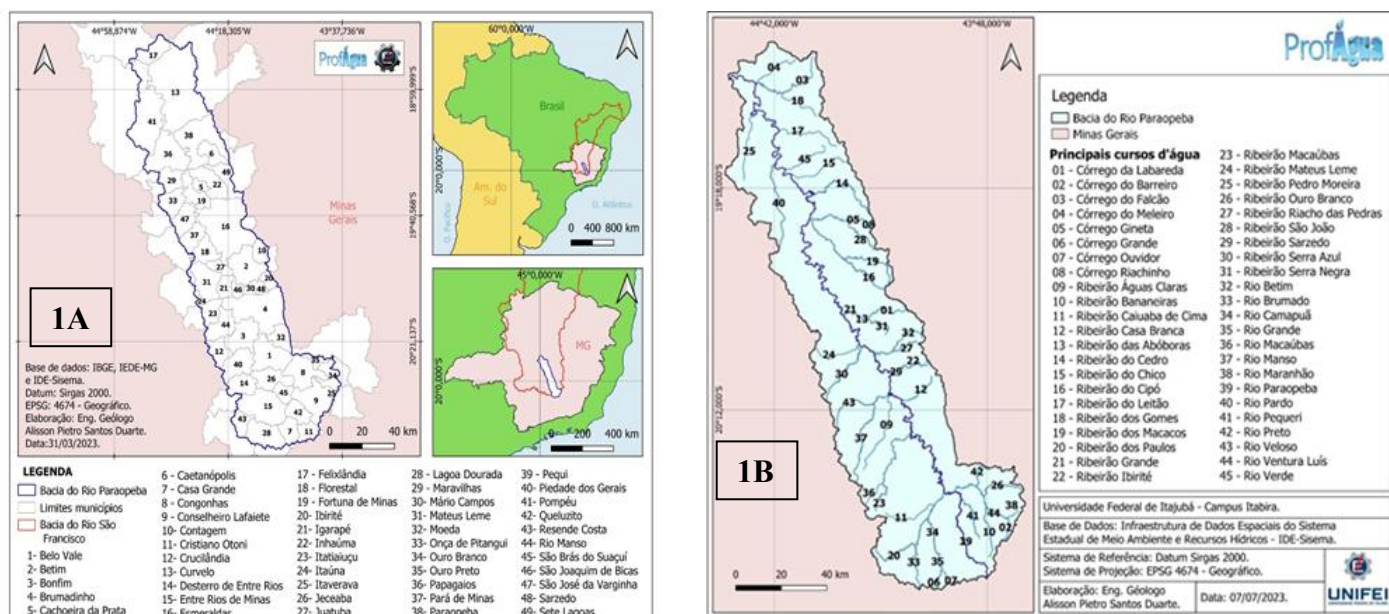
Aquisição do banco de dados constituíram de pesquisa bibliográfica com revisão de literatura. A confecção dos mapas foi realizada através do software ArcGis com a utilização das bases de dados disponíveis na plataforma IDE SISEMA. O inventário dos poços tubulares foi obtido a partir da base de dados do IGAM e através da expertise adquirida pela VALE S.A. Foram levantadas informações de 151 poços tubulares perfurados e/ou regularizados. Para o estudo, foram considerados dados de vazão, profundidade, entrada d'água, nível estático, nível dinâmico, rebaixamento e domínio hidrogeológico.

RESULTADOS

Caracterização da Área de Estudo

A bacia do rio Paraopeba, Figura 1A, e localiza-se na região metropolitana de Belo Horizonte, região sudeste do estado de Minas Gerais, com uma extensão de 12.054,25 km², corresponde a 5,14% do território da bacia do rio São Francisco (IGAM, 2024; COBRAPE, 2018). Da sua nascente no extremo sul da Serra do Espinhaço, no município de Cristiano Ottoni até o seu exutório no Rio São Francisco, entre os municípios de Pompéu e Felixlândia, o rio Paraopeba percorre 550 km. O corpo principal da bacia é o rio homônimo, seus afluentes de maior relevância são o Rio Maranhão, Rio Pequeri, Ribeirão Casa Branca, Ribeirão Grande na margem direita e Rio Brumado, Rio da Prata, Rio Macaúbas na margem esquerda, Figura 1B, (IGAM, 2013).

Figura 1A – Mapa da Bacia do Rio Paraopeba e seus municípios, Duarte 2023; Figura 1B – Mapa da Rede Hidrográfica da Bacia do Rio Paraopeba, Duarte 2023



Geologicamente, de acordo com Carvalho (2014), a bacia hidrográfica do rio Paraopeba encontra-se inserida na porção meridional do Cráton do São Francisco. Na área de estudo foram identificadas 44 unidades geológicas, conforme identificado na Figura 2. A bacia do Paraopeba é constituída de seis domínios hidrogeológicos: Sistema Aquífero Embasamento Cristalino, Sistema Aquífero Poroso/Fissural, Sistema Aquífero Cárstico (carbonatos/metacarbonatos), Sistema Aquífero Formações Cenozoicas, Sistema Aquífero Metassedimentos/Metavulcânicas e Sistema Aquífero Vulcânicas, Figura 3.

Figura 2 – Mapa das Unidades Geológicas da Bacia do Rio Paraopeba, Duarte, 2023

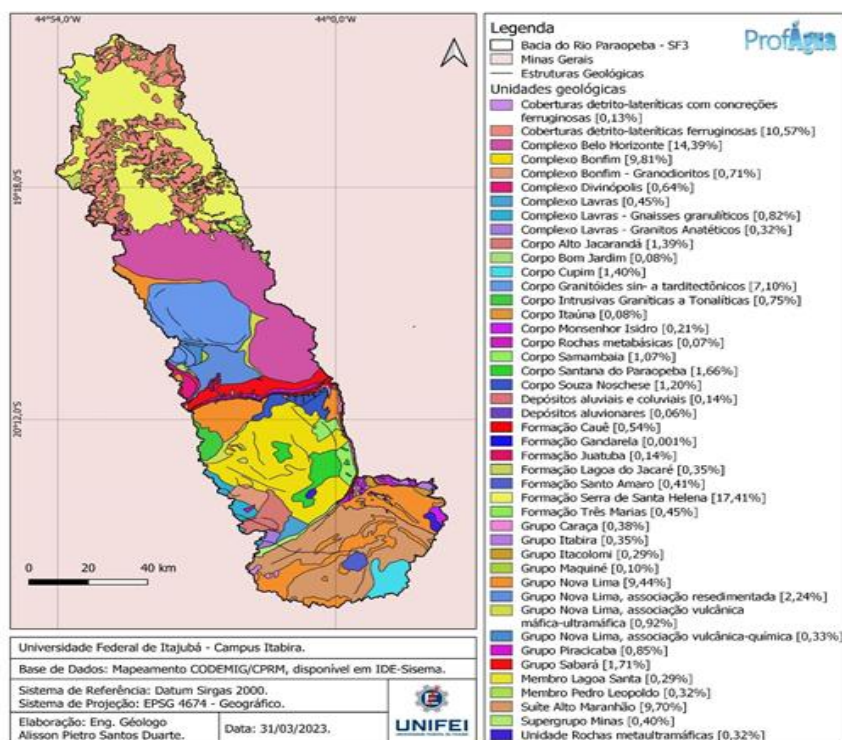
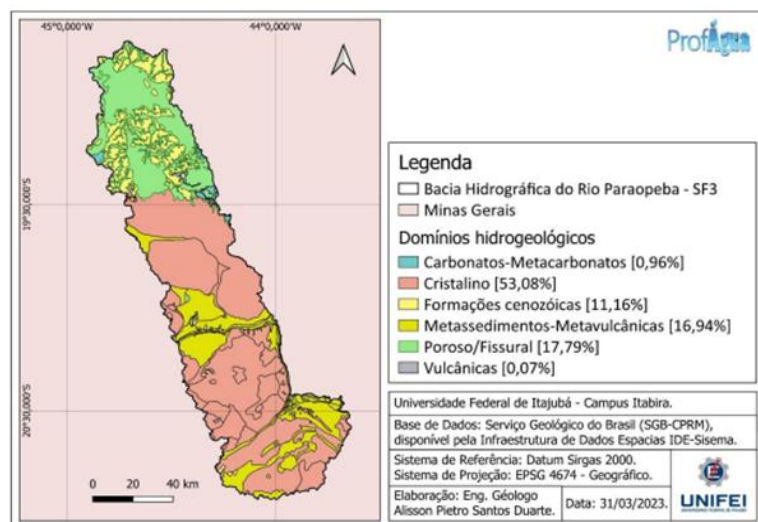


Figura 3 – Mapa dos Domínios Hidrogeológicos da Bacia do Rio Paraopeba, Duarte 2023



Dos 151 poços inventariados, 37,09% (56 poços) estão inseridos no Domínio Cristalino, 7,28% (11 poços) no Domínio das Formações Cenozoicas, 21,85% (33 poços) no Domínio Metassedimentos/Metavulcânicas e 33,78% (51 poços) no Domínio Poroso-fissural, não havendo ocorrência de poços nos Domínios Carbonatos/Metacarbonatos e das Rochas Vulcânicas.

Domínio Hidrogeológico Formações Cenozoicas

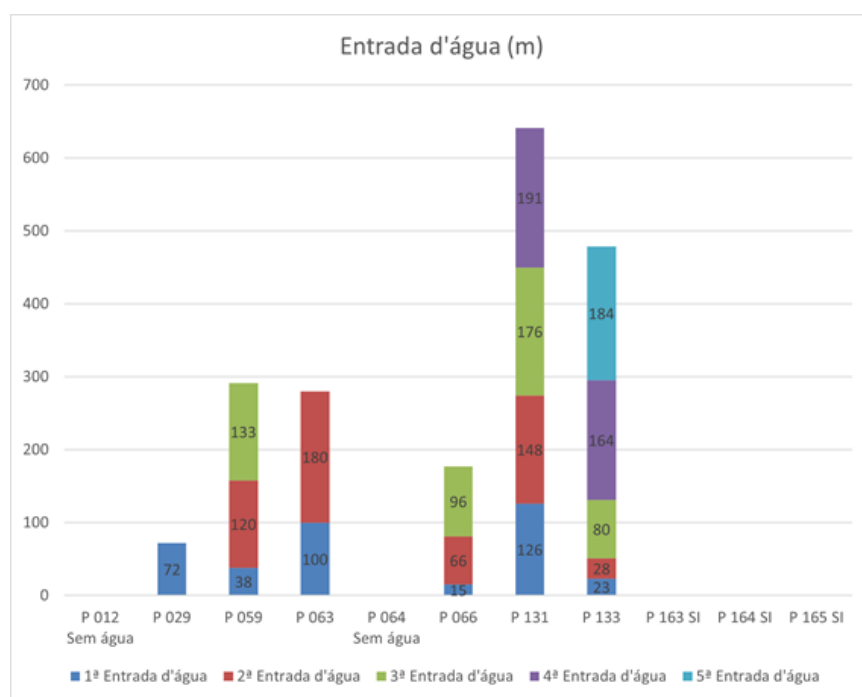
As Formações Cenozoicas são agrupamentos de rochas sedimentares de natureza e espessura diversas, com idade geológica recente, que recobrem outras mais antigas. Apresentam características de aquífero poroso, possuindo porosidade primária e elevada permeabilidade em terrenos arenosos, Tabela 1.

Tabela 1: Características dos poços das Formações Cenozoicas

Vazão (m³/h)	Vazão Específica	Profundidade (m)	Entrada d'água (m)
3,17 < Q > 43,42	0,02 < Qs > 3,15	85,00 < P > 201,00	15,00 < Fratura > 191,00
Média – 18,77	Média - 0,63	Média – 160,27	Média – 107,78

Para os poços avaliados neste domínio as entradas d'água (fraturas/fendas), são majoritariamente como mostrado na Figura 4, estas localizam-se entre 15 m e 191 m, tendo como média a profundidade de 107,78 m. Dentre os poços analisados neste domínio, dois deram seco e três não há informações.

Figura 4 – Gráfico de Entradas de Água (Fraturas/Fendas) para os poços das Formações Cenozoicas



A Tabela 2 mostra os valores dos parâmetros dos poços das Formações Cenozoicas. O nível dinâmico (ND), a profundidade atingida pelo nível d'água após dado período de bombeamento contínuo, variou entre 20,72 m e 118,74 m, apresentando uma média de 69,21 m. O nível estático (NE), variou 4,12 m e 65,39, tendo como média a profundidade de 18,64. Quanto ao rebaixamento do nível d'água, diferença entre o NE e ND, houve uma variação de 8,8 m a 97,6 m, com média de 50,58 m.

Tabela 2 – Parâmetros Hidrodinâmicos dos Poços das Formações Cenozoicas

Nível dinâmico (m)	Nível estático (m)	Rebaixamento (m)
20,72 < ND > 118,74	4,12 < NE > 65,39	8,80 < S > 97,60
Média – 69,21	Média – 18,64	Média – 50,58

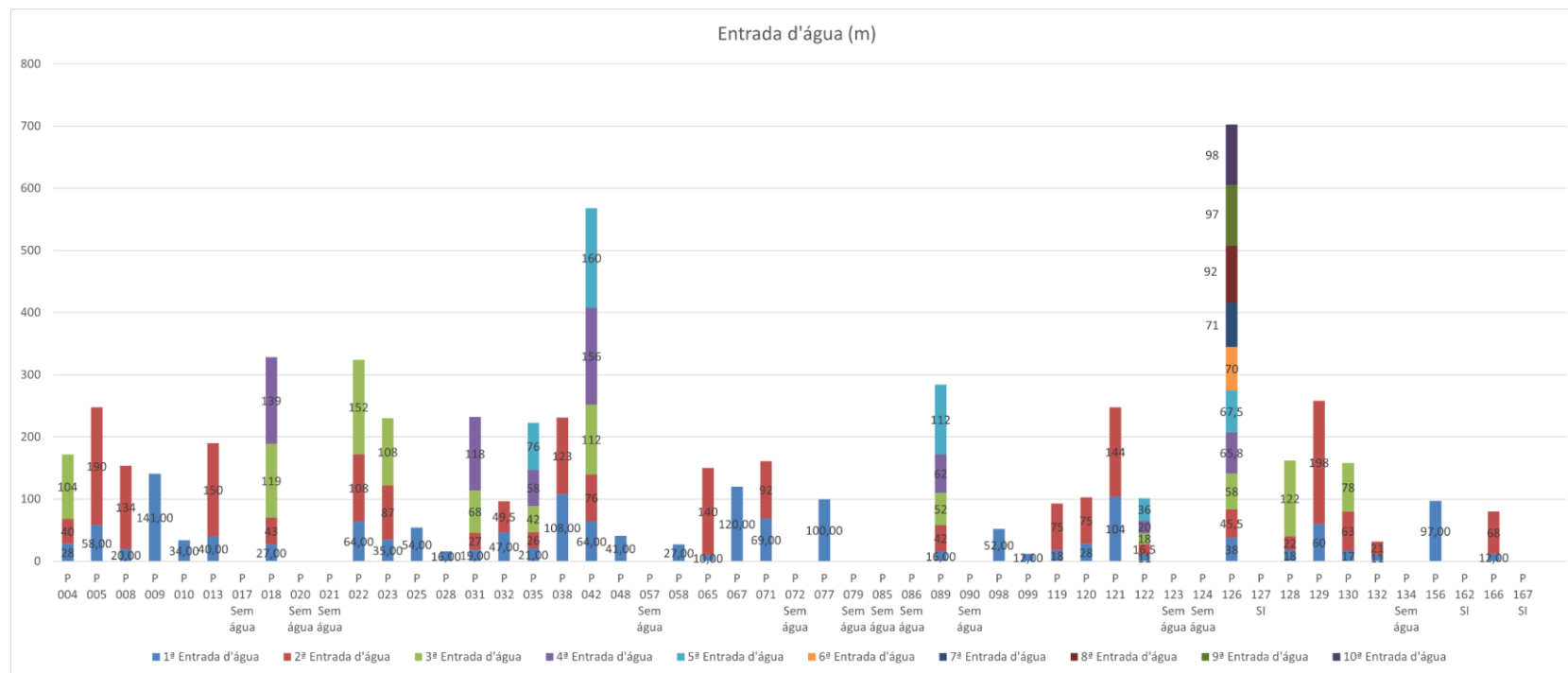
Domínio Hidrogeológico Poroso Fissural

Este domínio se constitui de pacotes de rochas sedimentares apresentando baixo a médio potencial hídrico, sendo enquadrado como um aquífero misto por possuir além do comportamento de aquífero granular com porosidade primária baixa/média, um comportamento fissural acentuado, com porosidade secundária de fendas e fraturas, (BOMFIM, 2010). Na Tabela 3, são apresentados valores característicos dos poços desse domínio. Na Figura 5, são mostrados todos os poços desse domínio com detalhamento das entradas d'água.

Tabela 3 - Características dos poços do Domínio Poroso Fissural

Vazão (m³/h)	Vazão Específica	Profundidade (m)	Entrada d'água (m)
0,20 < Q > 62,81	0,01 < Qs > 38,49	33,00 < P > 254,00	10,00 < Fratura > 198,00
Média – 18,81	Média – 3,53	Média – 160,40	Média – 69,15

Figura 5 - Gráfico de Entradas de Água (Fraturas/Fendas) para os poços dos Aquíferos do Sistema Poroso-fissural



Na Tabela 4, são apresentados os valores de parâmetros hidrodinâmicos dos poços no domínio hidrogeológico Poroso-Fissural. Observa-se que o nível dinâmico, profundidade atingida pelo nível d'água após dado período de bombeamento contínuo, variou entre 5,0 m e 151,70 m, apresentando uma média de 82,70 m.

Tabela 4 - Parâmetros Hidrodinâmicos dos Poços do Domínio Poroso Fissural

Nível dinâmico (m)	Nível estático (m)	Rebaixamento (m)
5,00 < ND > 151,70	0,00 < NE > 48,81	0,86 < S > 151,70
Média – 82,70	Média – 13,49	Média – 68,69

Domínio Hidrogeológico Metassedimentos/Metavulcânicas

Este domínio é constituído por xistos, filitos, metarenitos, metassiltitos, anfíbolitos, quartzitos, ardósias, metagrauvacas, metavulcânicas diversas etc. Como a porosidade primária é quase inexistente nestes tipos de rochas, a ocorrência de água subterrânea é dependente de uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, formando reservatórios descontínuos e de pequena extensão, (BOMFIM, 2010). A Tabela 5 são mostrados os valores dos poços do domínio hidrogeológico Metassedimentos/Metavulcânicas. As vazões variam entre 1,8 m³/h a 95,24 m³/h, com uma média de 12,47 m³/h. Quanto à profundidade, estas variam de 80 m a 236 m, com um média de 172,58 m.

Tabela 5 - Características dos poços do Domínio Metassedimentos/Metavulcânicas

Vazão (m³/h)	Vazão Específica	Profundidade (m)	Entrada d'água (m)
1,80 < Q > 95,24	0,02 < Qs > 3,04	80,00 < P > 236,00	21,00 < Fratura > 192,00
Média – 12,47	Média - 0,32	Média – 172,58	Média – 79,85

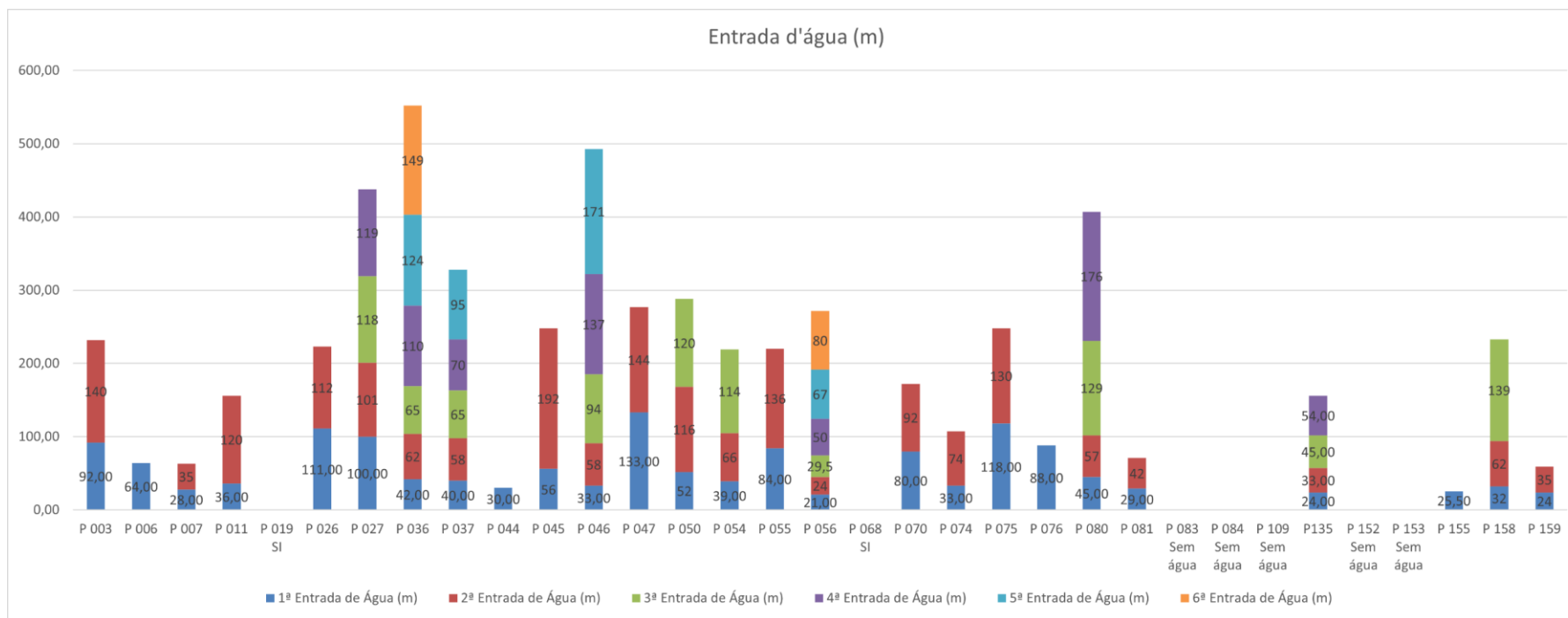
A Tabela 6 apresenta os valores dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços no domínio hidrogeológico Metassedimentos/Metavulcânicas. Observa-se que o nível dinâmico, profundidade atingida pelo nível d'água após dado período de bombeamento contínuo, variou entre 25,59 m e 134,65 m, apresentando uma média de 76,62 m. Para o nível estático, profundidade do nível d'água quando o poço se encontra em repouso, as variações ocorreram entre 0,6 m e 19,72 m, tendo como média a profundidade de 8,26 m. Quanto ao rebaixamento do nível d'água, diferença entre o NE e ND, houve uma variação de 19,55 m a 124,77 m, com média de 67,98 m.

Tabela 6 - Parâmetros Hidrodinâmicos dos Poços do Domínio Metassedimentos/Metavulcânicas

Nível dinâmico (m)	Nível estático (m)	Rebaixamento (m)
25,59 < ND > 134,65	0,6 < NE > 19,72	19,55 < S > 124,77
Média – 76,62	Média – 8,26	Média – 67,98

No que tange às entradas d'água, como demonstrado na Figura 6, estas localizam-se entre 21 m e 192 m, tendo como média a profundidade de 79,94 m. Dentre os poços analisados neste domínio, cinco não apresentaram água (poço seco) e para dois não há informações sobre a profundidade exata de entrada d'água.

Figura 6 - Gráfico de Entradas de Água (Fraturas/Fendas) para os poços dos Aquíferos do Sistema Metassedimentos/Metavulcânica



Domínio Hidrogeológico Cristalino

Este domínio é constituído de granitoides, gnaisses, granulitos, migmatitos e rochas básicas e ultrabásicas. Apresentam porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que remete a reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Existe uma tendência de que este domínio seja o de menor potencial hidrogeológico dentro todos que se relacionam aos aquíferos fissurais (BOMFIM, 2010). A Tabela 7 mostra os dados do domínio hidrogeológico Cristalino, demonstram que as vazões variam entre 0,23 m³/h a 63,51 m³/h, com uma média de 12,23 m³/h. Quanto à profundidade, estas variam de 60 m a 250,0 m, com um média de 168,64 m.

Tabela 7 - Características dos poços do Domínio Hidrogeológico Cristalino

Vazão (m ³ /h)	Vazão Específica(m ³ /h/m)	Profundidade (m)	Entrada d'água (m)
0,23 < Q > 63,51	0,01 < Q _e > 3,64	60,00 < P > 250,00	16,00 < Fratura > 231,00
Média – 12,23	Média – 0,37	Média – 168,64	Média – 77,30

A Tabela 8 apresenta os valores dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços no domínio hidrogeológico Cristalino. Observa-se que o nível dinâmico, profundidade atingida pelo nível d'água após dado período de bombeamento contínuo, variou entre 15,10 m e 213,87 m, apresentando uma média de 76,29 m. Para o nível estático, profundidade do nível d'água quando o poço se encontra em repouso, as variações ocorreram entre 0,10 m e 44,27 m, tendo como média a profundidade de 6,74. Quanto ao rebaixamento do nível d'água, diferença entre o NE e ND, houve uma variação de 2,50 m a 210,78 m, com média de 69,64 m.

Tabela 8 - Parâmetros Hidrodinâmicos dos Poços do Domínio Hidrogeológico Cristalino

Nível dinâmico (m)	Nível estático (m)	Rebaixamento (m)
15,10 < ND > 213,87	0,10 < NE > 44,27	2,50 < S > 210,78
Média – 76,29	Média – 6,74	Média – 69,64

No que tange às entradas d'água, conforme demonstrado na Figura 7, estas localizam-se entre 16,0 m e 231,0 m, tendo como média a profundidade de 77,30 m. Dentre os poços analisados neste domínio, oito não apresentaram água (poço seco).

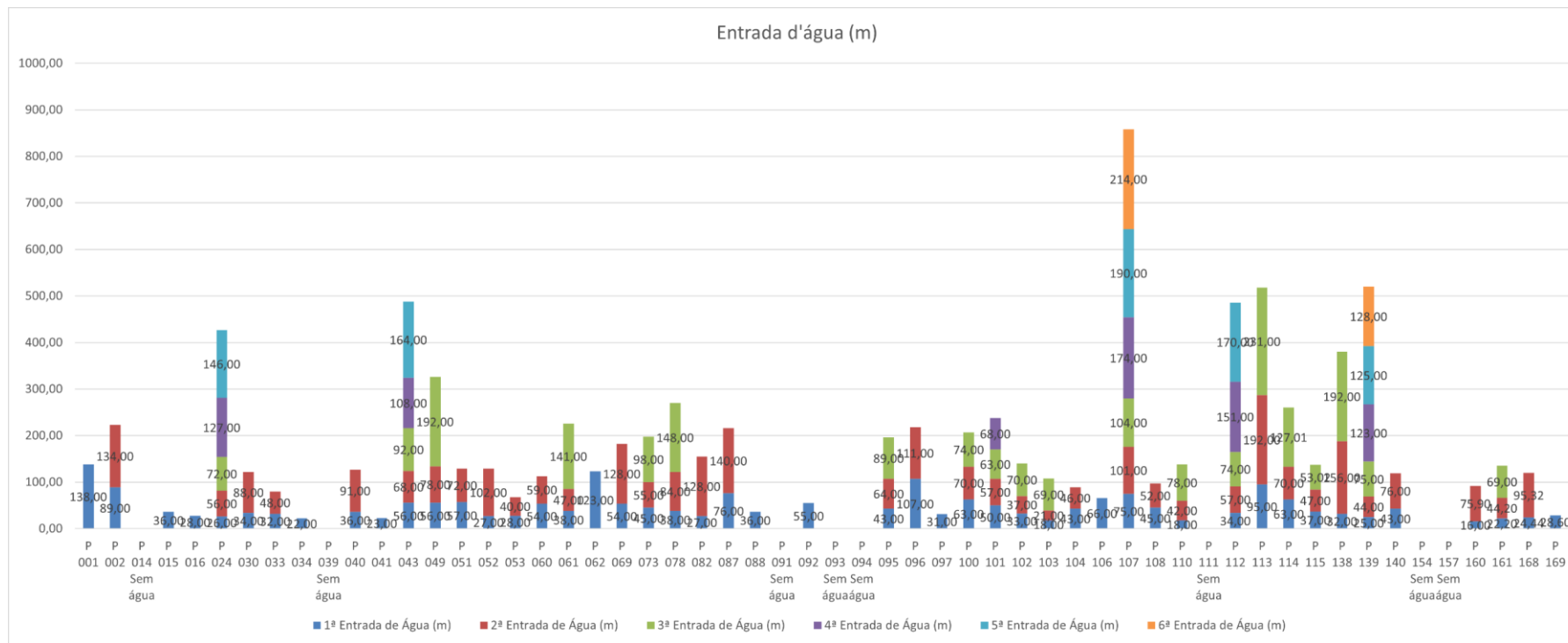
Domínio Hidrogeológico das Rochas Vulcânicas

Este domínio está assentado sobre rochas vulcânicas e metavulcânicas com baixo grau metamórfico, de natureza ácida a básica e comportamento tipicamente fissural. Espera-se um potencial hidrogeológico mais elevado do que ocorre no domínio dos metassedimentos/metavulcânicas (BOMFIM, 2010). Não são encontrados poços deste projeto neste domínio hidrogeológico.

Domínio Hidrogeológico das Rochas Vulcânicas

Esse sistema aquífero está inserido em terrenos de rochas calcárias e dolomíticas, tendo como principal característica a dissolução cárstica, propiciando a formação de cavernas, sumidouros, dolinas e outras erosões típicas. A água é comumente do tipo carbonatada, com alto teor de dureza (BOMFIM, 2010). Não são encontrados poços deste projeto neste domínio hidrogeológico.

Figura 7 - Gráfico de Entradas de Água (Fraturas/Fendas) para os poços dos Aquíferos do Sistema Cristalino



CONCLUSÕES

Em um contexto de emergência hídrica na bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, em decorrência do rompimento de uma barragem de rejeitos, as águas subterrâneas se mostraram como uma alternativa eficaz de garantia ao acesso à água em quantidade e qualidade.

Os resultados deste estudo trazem o recorte hidrogeológico dos domínios Formações Cenozoicas, Poroso-fissural, Metassedimentos/Metavulcânicas e Cristalino, trazendo ao mundo acadêmico/científico e profissional, contribuições acerca da hidrodinâmica e qualidade da água através dos poços inventariados.

O destaque comportamental hidrogeológico são dos poços pertencentes ao domínio Poroso-fissural, que apresentaram as maiores vazões médias, as fraturas de entrada d'água mais rasas e menores profundidades.

Ademais, o estudo também aborda a importância da implementação de políticas públicas que popularizem e disseminem o conhecimento sobre as águas subterrâneas, que ainda é muito precário no país. Infere-se que esse processo somado a uma atuação rigorosa dos órgãos ambientais, garantirá uma gestão mais eficiente na proteção dos recursos hídricos subterrâneos e no combate de problemas relacionados à superexploração e à contaminação dos aquíferos.

REFERÊNCIAS

- BOMFIM, L. F. C. 2010. Mapa de Domínios/Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil em Ambiente SIG: Concepção e Metodologia.
- CARVALHO, A. (2014). *Processos morfogenéticos e condicionantes associados aos eventos e entulhamento dos fundos de Vales de afluentes do médio/baixo rio Paraopeba/MG*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- COBRAPE - COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS. (2018). Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba/Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. São Paulo. 856 p.
- DUARTE, A. P. S. (2023). *Resiliência dos recursos hídricos pós-rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho, MG*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Itajubá, Itabira.
- IDE-SISEMA - SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS. (2021) Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
- IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Portal dos Comitês. (2024).
- IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Portal dos Comitês. (2013).

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP N°. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua apoio técnico científico aportado até o momento.