



RODRIGO MARQUES DORNELAS

**PROPOSTA DE COMPENSAÇÃO AMBIENTAL
ECONÔMICA DAS ÁREAS REABILITADAS COM
RESTRIÇÃO DE USO POR CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM MINAS GERAIS**

LAVRAS - MG

2026

RODRIGO MARQUES DORNELAS

**PROPOSTA DE COMPENSAÇÃO AMBIENTAL ECONÔMICA DAS ÁREAS
REABILITADAS COM RESTRIÇÃO DE USO POR CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
programa de Pós-Graduação em
Tecnologias e Inovações
Ambientais, área de concentração
Restauração e Conservação de
Ecossistemas, para a obtenção do
título de Mestre.

Prof. DSc. Yuri Lopes Zinn
Orientador

**LAVRAS – MG
2026**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Dornelas, Rodrigo Marques.

Proposta de Compensação Ambiental Econômica das Áreas Reabilitadas com
Restrição de Uso por Contaminação das Águas Subterrâneas em Minas Gerais /
Rodrigo Marques Dornelas. - 2026.

51 p.

Orientador: Yuri Lopes Zinn

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2026.
Bibliografia.

1. Valoração da água. 2. Política de recursos hídricos. 3. Gestão dos recursos
hídricos. I. Zinn, Yuri Lopes. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

RODRIGO MARQUES DORNELAS

**PROPOSTA DE COMPENSAÇÃO AMBIENTAL ECONÔMICA DAS ÁREAS
REABILITADAS COM RESTRIÇÃO DE USO POR CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM MINAS GERAIS**

**PROPOSAL FOR ECONOMIC ENVIRONMENTAL COMPENSATION OF
REHABILITATED AREAS WITH RESTRICTED USE DUE TO GROUNDWATER
CONTAMINATION IN MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
programa de Pós-Graduação em
Tecnologias e Inovações
Ambientais, área de concentração
Restauração e Conservação de
Ecossistemas, para a obtenção do
título de Mestre.

APROVADA em 26 de janeiro de 2026

DSc. Yuri Lopes Zinn UFLA

DSc. Júnior César Avanzi UFLA

Dr^a. Cibele Mally de Souza FEAM

Documento assinado digitalmente
 YURI LOPES ZINN
Data: 29/05/2026 07:10:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. DSc. Yuri Lopes Zinn
Orientador

**LAVRAS – MG
2026**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais pela oportunidade de realização deste mestrado e pela excelência do ensino oferecido ao longo desta trajetória. Sou grato pelo ambiente acadêmico estimulante, pela qualidade da formação proporcionada e pela ampliação da minha compreensão acerca das questões ambientais, permitindo uma visão mais crítica e abrangente dos desafios existentes, bem como das ferramentas e soluções necessárias para enfrentá-los.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Yuri Zinn, expresso minha profunda gratidão pela paciência, dedicação, disponibilidade e pelos valiosos ensinamentos compartilhados ao longo de toda esta trajetória acadêmica. Seu acompanhamento e suas orientações foram essenciais em todas as etapas do desenvolvimento deste estudo, contribuindo não apenas para a realização desta pesquisa, mas também para o meu crescimento acadêmico e profissional. Agradeço ainda pela confiança depositada em meu trabalho, pelo incentivo e pelos conhecimentos que certamente levarei para toda a minha carreira.

Aos membros da banca examinadora, expresso minha sincera gratidão pela disponibilidade, atenção e pelas valiosas contribuições oferecidas ao longo da avaliação deste trabalho. As observações, sugestões e considerações apresentadas foram fundamentais para o aprimoramento, direcionamento e consolidação desta pesquisa, contribuindo de maneira significativa para sua qualidade e conclusão.

Aos colegas de curso, deixo meu sincero agradecimento pelo companheirismo, pela amizade e por todos os momentos compartilhados ao longo desta trajetória. A convivência harmoniosa, as trocas de experiências e os aprendizados construídos em conjunto tornaram essa caminhada mais enriquecedora e significativa. Sou grato também pelo apoio, pelos incentivos e pela motivação constante, especialmente nos momentos mais desafiadores, contribuindo para que eu seguisse em frente e alcançasse esta conquista.

Aos meus pais, João e Margarete, expresso minha mais profunda gratidão por todo o amor, apoio e incentivo ao longo desta trajetória. Agradeço por sempre acreditarem na minha capacidade de superar mais este desafio, mesmo nos momentos mais difíceis, oferecendo palavras de encorajamento, confiança e serenidade. Sou igualmente grato pelas orações, pela

presença constante e pelo apoio incondicional, que foram fundamentais para que eu alcançasse esta conquista.

À minha esposa, Roberta, pela compreensão nos momentos de ausência e pelo apoio inestimável no desenvolvimento deste estudo, sem o qual não teria sido possível alcançar este resultado.

Sou grato por todas as oportunidades proporcionadas pelas experiências vividas ao longo desta trajetória, assim como por todas as pessoas que, direta ou indiretamente, foram essenciais para que eu concluísse mais esta etapa da minha vida.

“O sucesso depende de onde está a intenção”
Napoleon Hill

RESUMO

As águas subterrâneas são muito utilizadas para o abastecimento público urbano no Brasil e em Minas Gerais, em razão de sua boa qualidade natural e uma maior estabilidade frente às secas e à variabilidade climática. Apesar da sua relevância, o uso das águas subterrâneas enfrenta desafios importantes, como a insuficiência de monitoramento adequado e a contaminação crescente pelas atividades antrópicas. Devido à ausência de regulação e normatização específicas e direcionadas ao método de cálculo da compensação financeira sobre a contaminação das águas subterrâneas, no gerenciamento das áreas contaminadas no Estado de Minas Gerais, foi proposta uma metodologia para estimar um valor a ser imposto aos responsáveis pelas contaminações. Tal compensação se justifica pela privação da utilização desse recurso pela sociedade, durante o período de restrição do uso proposto para algumas áreas reabilitadas no Estado. O método proposto se baseia no cálculo dos volumes de águas subterrâneas com restrição do uso em decorrência de um polígono de restrição, definido pelo alcance de uma pluma de contaminação, identificada nos estudos de investigação ambiental a partir de amostragens e monitoramentos realizados nos locais de interesse. A soma dos volumes de águas subterrâneas com restrição de uso resulta no volume total que é multiplicado pelo preço público de valor monetário em reais, referentes às tarifas fixadas pelos Comitês de Bacia Hidrográfica, multiplicados pelo período de restrição de uso das águas das áreas reabilitadas com contaminação. Como resultado final deste trabalho espera-se indicar ao responsável pela contaminação e a sociedade, o valor econômico devido à restrição do seu uso e assim, atender às disposições legais previstas na Política Nacional de Recursos Hídricos e na Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, que reconhece às águas subterrâneas como um bem econômico, social e ecológico.

Palavras-chave: valoração da água; política de recursos hídricos; gestão dos recursos hídricos.

ABSTRACT

Groundwater is widely used for urban public water supply in Brazil and Minas Gerais due to its good natural quality and greater stability in the face of droughts and climate variability. Despite its importance, the use of groundwater faces significant challenges, such as insufficient monitoring and increasing contamination from human activities. Due to the absence of specific regulations and standards for calculating financial compensation for groundwater contamination in the management of contaminated areas in the State of Minas Gerais, a methodology was proposed to estimate a value to be imposed on those responsible for the contamination. This compensation is justified by the deprivation of the use of this resource by society during the period of restricted use proposed for some rehabilitated areas in the State. The proposed method is based on calculating the volumes of groundwater with restricted use in a restriction polygon, defined by the reach of a contamination plume, identified in environmental investigation studies, by sampling and monitoring carried out in the areas of interest. The sum of the volumes of groundwater with restricted use results in a total volume, which is multiplied by the monetary value in reais (Brazilian currency), referring set by the Hydrographic Basin Committees, multiplied by the period of restricted use of the waters in the rehabilitated areas. As a final result of this work, it is expected to indicate to those responsible value due to the restriction of groundwater use and thus comply with the legal provisions of the National Water Resources Policy and the State Water Resources Policy of Minas Gerais, which recognize groundwater as an economic, social, and ecological asset.

Keywords: water valuation, water resources policy, water resources management

INDICADORES DE IMPACTO

As águas subterrâneas desempenham papel estratégico para a segurança hídrica, o abastecimento público, o desenvolvimento econômico e a manutenção dos ecossistemas, especialmente em regiões urbanas e industriais. Nesse contexto, a contaminação desse recurso compromete não apenas sua disponibilidade para consumo humano, mas também sua função ambiental, social e econômica. O presente estudo propõe uma metodologia simplificada aplicada ao contexto do Estado de Minas Gerais para estimar a compensação ambiental econômica decorrente da restrição de uso das águas subterrâneas em áreas reabilitadas contaminadas. A pesquisa apresenta potencial de impacto técnico, ambiental, institucional e social, ao contribuir para o aprimoramento da gestão de áreas contaminadas e para a valorização econômica dos recursos hídricos subterrâneos. Os principais impactos esperados com o desenvolvimento e aplicação da metodologia proposta são: fortalecimento da gestão ambiental das áreas contaminadas no Estado de Minas Gerais, por meio da incorporação de critérios quantitativos para estimativa da compensação ambiental econômica associada à indisponibilidade das águas subterrâneas; apoio técnico aos órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos na definição de mecanismos de responsabilização ambiental e recuperação de danos associados à contaminação dos aquíferos; incentivo à adoção de medidas preventivas e corretivas pelos responsáveis por atividades potencialmente poluidoras, ampliação da integração entre a gestão de áreas contaminadas e a Política Nacional de Recursos Hídricos, reconhecendo a água subterrânea como um recurso natural dotado de valor econômico; contribuição para a proteção da saúde pública, ao reforçar a importância do monitoramento e controle da qualidade das águas subterrâneas utilizadas para abastecimento humano; disponibilização de uma metodologia técnica passível de aplicação em outros estados brasileiros, especialmente em regiões com elevado número de áreas contaminadas e dependência do uso de águas subterrâneas; estímulo ao desenvolvimento de políticas públicas voltadas à proteção dos aquíferos e ao financiamento de ações de monitoramento, recuperação ambiental e segurança hídrica. Do ponto de vista acadêmico e científico, o estudo contribui para o avanço das discussões relacionadas à valoração econômica ambiental, ao gerenciamento de áreas contaminadas e à proteção das águas subterrâneas, áreas ainda pouco exploradas na literatura científica nacional. Além disso, a metodologia proposta apresenta potencial para subsidiar futuras pesquisas relacionadas à compensação ambiental, à modelagem hidrogeológica e à gestão integrada dos recursos hídricos.

IMPACT INDICATORS

Groundwater plays a strategic role in water security, public supply, economic development, and the maintenance of ecosystems, especially in urban and industrial regions. In this context, the contamination of this resource compromises not only its availability for human consumption, but also its environmental, social, and economic functions. This study proposes a simplified methodology applied to the context of the State of Minas Gerais to estimate the economic environmental compensation resulting from groundwater use restrictions in rehabilitated contaminated areas. The research presents potential technical, environmental, institutional, and social impacts by contributing to the improvement of contaminated area management and to the economic valuation of groundwater resources. The main expected impacts from the development and application of the proposed methodology are: strengthening environmental management of contaminated areas in the State of Minas Gerais through the incorporation of quantitative criteria for estimating economic environmental compensation associated with groundwater unavailability; providing technical support to environmental agencies and water resource managers in defining mechanisms for environmental accountability and remediation of damages associated with aquifer contamination; encouraging the adoption of preventive and corrective measures by those responsible for potentially polluting activities; expanding the integration between contaminated area management and the Brazilian National Water Resources Policy, recognizing groundwater as a natural resource with economic value; contributing to the protection of public health by reinforcing the importance of monitoring and controlling the quality of groundwater used for human supply; providing a technical methodology that can be applied in other Brazilian states, especially in regions with a high number of contaminated areas and strong dependence on groundwater use; and encouraging the development of public policies aimed at aquifer protection and the financing of monitoring, environmental remediation, and water security actions. From an academic and scientific perspective, the study contributes to advancing discussions related to environmental economic valuation, contaminated area management, and groundwater protection, which are still underexplored topics in the national scientific literature. Furthermore, the proposed methodology has the potential to support future research related to environmental compensation, hydrogeological modeling, and integrated water resources management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação esquemática do ciclo hidrológico.	17
Figura 2: Percentual de ocorrência de grupos de substâncias químicas de interesse nas áreas contaminadas cadastradas.	19
Figura 3: Percentual de áreas contaminadas cadastradas associadas a cada uma das fontes primárias.....	20
Figura 4: Etapas de gerenciamento de áreas contaminadas.....	21
Figura 5: Exemplo de cálculo da área do polígono de restrição inserido no software Google Earth Pro.....	32
Figura 6: Projeção do polígono de restrição no eixo vertical.....	33
Figura 7: Exemplo de Classes de enquadramento dos corpos d'água afetados pelo polígono de restrição.	356
Figura 8: Exemplo de tipo de solo afetado pelo polígono de restrição..	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais legislações e implicações imputadas ao responsável causador da poluição ambiental.	25
Quadro 2: Preços Públicos Unitários.....	35
Quadro 3: Síntese dos resultados do cálculo dos volumes de água subterrânea com restrição de uso e da compensação ambiental econômica nas áreas analisadas.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos.....	15
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1	A importância das águas subterrâneas.....	16
3.2	Panorama das Áreas Contaminadas no Estado de Minas Gerais.....	18
3.3	Etapas da Investigação de Áreas Contaminadas	20
3.4	Responsabilidade Ambiental do Poluidor e Penalidades Aplicáveis – Embasamento Legal.	25
3.5	Valoração econômica da água subterrânea	26
3.5.1	Cobrança pelo uso da água no Estado de Minas Gerais	27
4	METODOLOGIA	29
4.1	Etapas de cálculo adaptadas ao contexto das áreas contaminadas com restrição de uso no Estado de Minas Gerais.	31
4.1.1	Etapa 1: Cálculo da área representativa da restrição de uso das águas subterrâneas (plano horizontal).....	31
4.1.2	Etapa 2: Cálculo da área representativa da restrição de uso das águas subterrâneas (plano vertical).....	32
4.1.3	Etapa 3: Cálculo do volume representativo de água subterrânea contaminada com restrição de uso.	33
4.1.4	Etapa 4: Cálculo do volume total de água subterrânea contaminada com restrição de uso em função do tempo	34
4.1.5	Etapa 5: Cálculo do valor da compensação ambiental econômica das áreas reabilitadas com restrição de uso por contaminação das águas subterrâneas.....	34
4.2	Validação da Metodologia de cálculo adaptada ao contexto das áreas contaminadas com restrição de uso no Estado de Minas Gerais	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	44
	APÊNDICE A – Planilha de Dados	48

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população urbana no Brasil, é possível prever um aumento da demanda no consumo de água para atender essa população, tornando esse bem ambiental cada vez mais escasso e conseqüentemente, mais valioso.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2025), a demanda por água no Brasil tem apresentado um crescimento constante ao longo dos anos, especialmente nos setores de abastecimento urbano, industrial e na agricultura irrigada. A previsão é que, até 2040, a retirada de água no Brasil aumente 42%, passando de 1.947 m³/s para 2.770 m³/s. Isso significa 26 trilhões de litros a mais por ano retirados dos mananciais. Esses números mostram a importância de planejar bem o uso da água, para evitar crises e garantir que ela esteja disponível para diferentes necessidades, especialmente com os efeitos das mudanças climáticas no ciclo da água.

Segundo dados da ANA (2021), 43% das sedes urbanas são abastecidas exclusivamente por mananciais superficiais e 40% são abastecidas exclusivamente por mananciais subterrâneos, enquanto 17% possuem abastecimento misto. Esse crescimento pode, em muitos casos, resultar em uma maior degradação da qualidade das águas destinadas ao consumo humano, sendo esse uso considerado como prioritário em situações de escassez.

O aumento do consumo intensifica a pressão sobre esses recursos, pois eleva a retirada de água e pode reduzir sua capacidade de diluição de poluentes. Além disso, a maior demanda por bens e serviços amplia a geração de efluentes domésticos, industriais e agrícolas, que frequentemente retornam aos corpos hídricos com contaminantes. Esse processo pode favorecer fenômenos como a eutrofização, processo de enriquecimento excessivo de nutrientes na água que provoca proliferação de algas e redução do oxigênio (VON SPERLING, 2014; TUNDISI & TUNDISI, 2011), comprometendo ainda mais a qualidade da água disponível para consumo humano.

Em Minas Gerais, a Lei nº 13.199 de 1999, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, apresenta como um dos seus instrumentos a cobrança sobre o uso dos recursos hídricos, impondo encargos pelo uso da água, àquele que consome, utilize ou cause a sua poluição, respeitando as peculiaridades de cada bacia hidrográfica. A necessidade de estabelecer mecanismos de compensação ambiental econômica decorre das limitações impostas ao uso das águas subterrâneas em determinadas áreas, em função da presença de contaminação

que compromete sua qualidade para o consumo humano. Mesmo após a adoção de medidas de controle e recuperação ambiental, podem persistir concentrações de substâncias acima dos padrões de potabilidade, o que resulta em restrições ao uso desse recurso e gera impactos sociais, ambientais e econômicos para a coletividade, essa situação pode gerar uma compensação sobre a restrição do uso da água e atender a Política Nacional de Recursos Hídricos, que reconhece a água como um bem econômico e orienta que o usuário receba uma indicação de seu valor real.

Propõe-se o desenvolvimento do cálculo de compensação ambiental econômica, instrumento utilizado para reparar ou equilibrar os impactos decorrentes da restrição ou degradação de recursos ambientais, por meio de medidas financeiras ou equivalentes que visam mitigar prejuízos ambientais, sociais e econômicos associados à limitação de seu uso (SÃO PAULO, 2009), a ser aplicada aos responsáveis pelas áreas reabilitadas que mantêm restrições de uso decorrentes da contaminação das águas subterrâneas.

A proposta busca contribuir para o aprimoramento da gestão descentralizada dos recursos hídricos subterrâneos em Minas Gerais, fortalecendo a atuação integrada entre órgãos gestores, usuários e instâncias participativas, como os comitês de bacia hidrográfica, na proteção desse patrimônio ambiental e na garantia da saúde da população.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo adaptar e aplicar a metodologia proposta por Bertolo *et al.* (2019) para quantificar a compensação ambiental econômica a ser imposta aos responsáveis pela contaminação das águas subterrâneas, em função da privação da utilização desse recurso pela sociedade, durante o período da restrição de uso nas áreas reabilitadas no Estado de Minas Gerais.

2.2 Objetivos Específicos

* Levantar as áreas que foram reabilitadas com restrição de uso das águas subterrâneas em decorrência da permanência de concentrações de contaminantes acima dos padrões de

potabilidade, impedindo seu uso pela sociedade durante o período definido para o alcance desses padrões.

* Calcular, por meio da adaptação do método utilizado por Bertolo *et al.* (2019), a compensação ambiental econômica devida pelos responsáveis por cada área reabilitada com restrição de uso das águas subterrâneas no Estado de Minas Gerais, cuja utilização permaneceu inviabilizada durante o período da restrição estabelecida.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A importância das águas subterrâneas

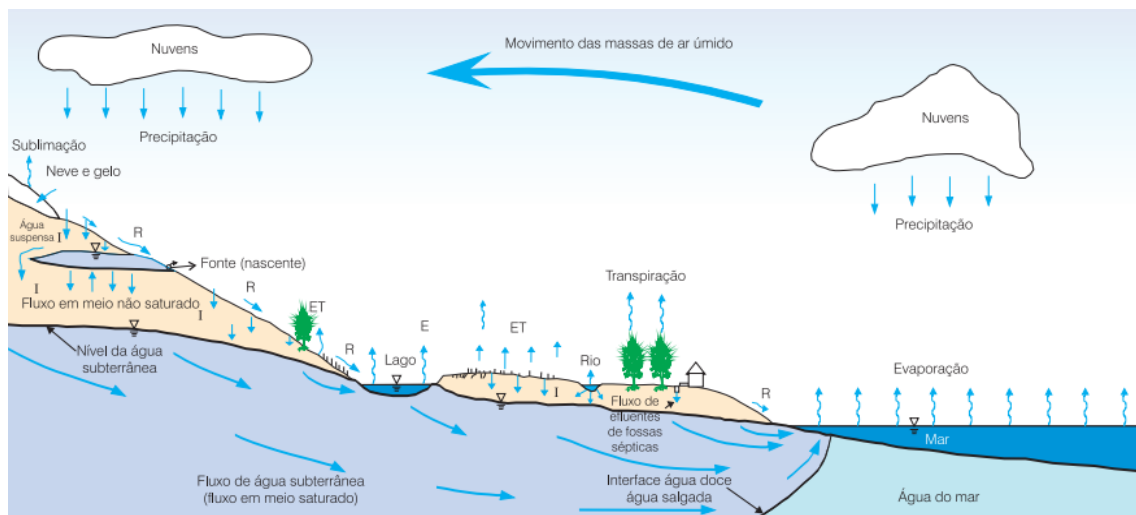
As águas subterrâneas são recursos hídricos localizados sob a superfície terrestre, preenchendo os poros de rochas e sedimentos em formações geológicas subterrâneas denominadas aquíferos, originando-se das águas das chuvas, dos rios e lagos que infiltram no subsolo. Sua importância é considerada crítica para a segurança hídrica global, pois representam 97% da água doce e líquida disponível no planeta, tornando os aquíferos o maior reservatório de água potável para a humanidade (HIRATA *et al*, 2019).

A Unesco (2022), enfatiza que as águas subterrâneas desempenham um papel crucial no abastecimento público, principalmente em regiões áridas ou semiáridas, onde os recursos hídricos superficiais são limitados, tornando-as muitas vezes a principal ou única fonte de água potável. As águas subterrâneas possuem importância estratégica para o desenvolvimento de um país, pois são essenciais para o fornecimento de água a milhares de pessoas, viabilizam a irrigação agrícola e a produção de alimentos, atendem a diversos processos industriais e contribuem para a preservação de ecossistemas relevantes. Sua utilização de forma sustentável, favorece o desenvolvimento regional, impulsiona a economia, auxilia na redução da pobreza e promove melhores condições de vida, dignidade e bem-estar para a população (HIRATA *et al*, 2019).

Conforme Filho (2008), compreender o papel da água subterrânea no ciclo hidrológico como parte fundamental do ambiente natural é fundamental para uma abordagem integrada dos estudos ambientais (Figura 1). Como parte do ciclo hidrológico, as águas subterrâneas constituem uma parcela da água precipitada que atinge o solo e infiltra no subsolo,

desempenhando um papel crucial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos (ABAS, 2025).

Figura 1: Representação esquemática do ciclo hidrológico.



Fonte: FEITOSA *et al.*, 2008.

As águas subterrâneas desempenham um papel importante no ciclo da água, pois ajudam a regular a quantidade, a distribuição e a qualidade da água disponível no planeta. Elas oferecem diversos serviços ambientais, além do consumo humano, como a preservação dos aquíferos, o equilíbrio dos ecossistemas e a manutenção da vida (ANA, 2022).

Segundo Monção *et al.* (2021), considerando as diversas crises relacionadas ao sistema de abastecimento, como a degradação das águas superficiais, a escassez de reservas hídricas e o crescimento desordenado das cidades, entre outros fatores, as águas subterrâneas surgem como um recurso estratégico para ajudar o suprimento cotidiano e a minimizar a ocorrência de eventuais crises hídricas.

Embora as águas subterrâneas estejam mais protegidas e apresentem volumes superiores aos das águas superficiais, elas também são vulneráveis à exploração inadequada e à contaminação decorrente das atividades humanas. A contaminação das águas subterrâneas está associada às atividades realizadas na superfície, que lançam substâncias capazes de degradá-las ou mesmo à construção inadequada de captações subterrâneas, que permitem o ingresso de contaminantes em poços, na fonte da contaminação ou no aquífero (HIRATA, 2009).

A qualidade das águas subterrâneas é afetada pelas características inerentes ao aquífero, e por fatores externos, que geralmente vêm de ações humanas. No caso das características internas, as águas que passam por rochas e sedimentos, os quais possuem características físicas

e químicas distintas e podem ocasionar mudanças na composição química, ao se equilibrar com o ambiente. A forma como os minerais reagem e o tempo que a água leva para passar por essas rochas influenciam na sua composição final. Essa interação pode causar problemas que tornam as águas subterrâneas impróprias para certos usos, o que é chamado de contaminação natural. Já os fatores externos vêm de um manejo inadequado das atividades humanas, como o uso excessivo de fertilizantes na agricultura, acidentes ambientais, descarte incorreto de lixo e vazamentos de tanques subterrâneos de combustíveis (HIRATA, 2009).

Segundo Bertolo et al. (2019), os aquíferos – formações geológicas subterrâneas que armazenam e permitem a circulação de água – vêm apresentando uma deterioração crescente ao longo dos anos em razão das atividades antrópicas, destacando-se as áreas contaminadas em ambientes urbanos e industriais, onde há intensa utilização das águas subterrâneas em poços privados. Existe ainda uma carência de ações mais efetivas de proteção das águas subterrâneas pelos tomadores de decisão e pela sociedade civil. Essa lacuna está diretamente relacionada à falta de conhecimento do valor e do papel estratégico das águas subterrâneas, não apenas para o abastecimento da população em geral, mas também para o equilíbrio e funcionamento das demais funções no meio ambiente.

3.2 Panorama das Áreas Contaminadas no Estado de Minas Gerais

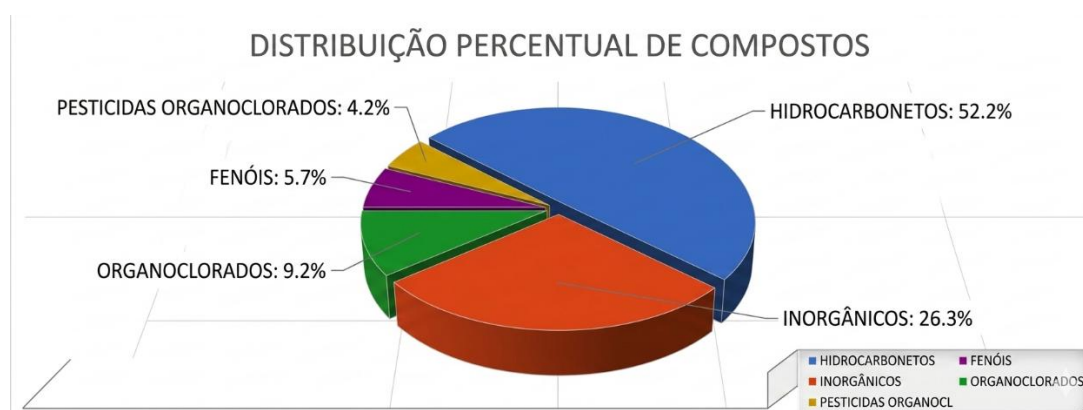
No ano de 2024, havia o registro de 762 (setecentos e sessenta e duas) áreas contaminadas e áreas reabilitadas no território de Minas Gerais (FEAM, 2024), sendo constatado um aumento das áreas reabilitadas no estado, que saltaram de 296 no ano de 2023 para 309 em 2024, segundo a Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM). Dessas áreas, parte são gerenciadas pela FEAM e parte pelas prefeituras. Das áreas gerenciadas pela FEAM, em quase a sua totalidade não foi cobrada compensação referente ao período em que o recurso hídrico permaneceu contaminado. Além disso, em algumas áreas já reabilitadas para uso as concentrações dos contaminantes nas águas subterrâneas ainda perduram até sua atenuação natural, processo no qual ocorre a redução gradual das concentrações por meio de mecanismos naturais físicos, químicos e biológicos, ao longo do tempo, até que sejam atingidos níveis compatíveis com os padrões estabelecidos para o uso pretendido (CETESB, 2017; USEPA, 1999).

As atividades relacionadas a postos de combustíveis, incluindo o comércio varejista de combustíveis e revendedores de gasolina, álcool e diesel, representam a atenuação natural maior

número de empreendimentos com áreas contaminadas cadastradas no Estado de Minas Gerais, somando aproximadamente 72% do total das atividades. A maioria desses empreendimentos localizam-se na região central do Estado e cerca de 35% pertencem à Belo Horizonte e Betim (FEAM, 2024).

Os hidrocarbonetos aromáticos (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos – BTEX) e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), são os principais grupos de contaminantes encontrados nas áreas contaminadas em Minas Gerais (Figura 2). Estes compostos orgânicos, fazem parte da composição química das substâncias presentes principalmente nos combustíveis e derivados de petróleo, incluídos os solventes, óleos e graxas.

Figura 2: Percentual de ocorrência de grupos de substâncias químicas de interesse nas áreas contaminadas cadastradas.

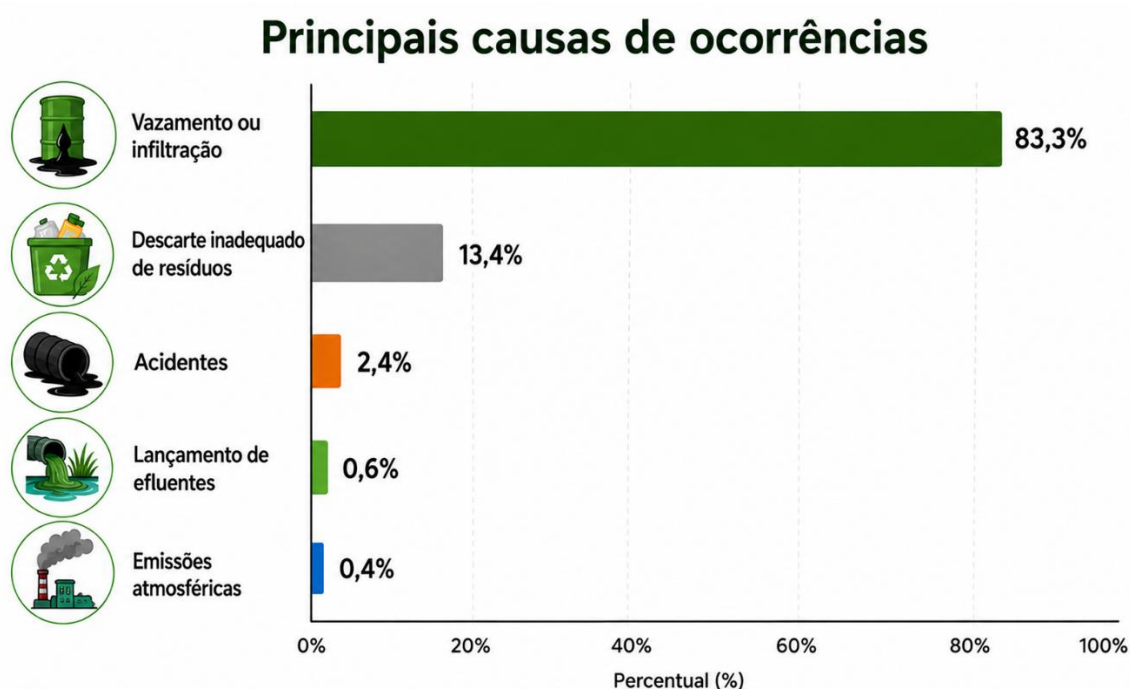


Fonte: FEAM, 2024.

As contaminações causadas pelas substâncias inorgânicas, principalmente os metais e semi-metais, estão presentes em 26% dos casos. Esses contaminantes estão frequentemente associados à lixiviação de resíduos e a efluentes industriais dispostos inadequadamente, além da liberação destes elementos da matriz do solo ou da rocha, devido à solubilização desses metais. Essas ocorrências também estão vinculadas às atividades minerárias no Estado (FEAM, 2024).

Os recursos ambientais mais afetados pelos contaminantes são o solo e águas subterrâneas. Na maior parte das ocorrências, ambos são afetados conjuntamente, uma vez que grande parte das contaminações são causadas por vazamentos ou infiltrações de produtos no solo e subsolo, atingindo as águas subterrâneas (Figura 3) (FEAM, 2024).

Figura 3: Percentual de áreas contaminadas cadastradas associadas a cada uma das fontes primárias.



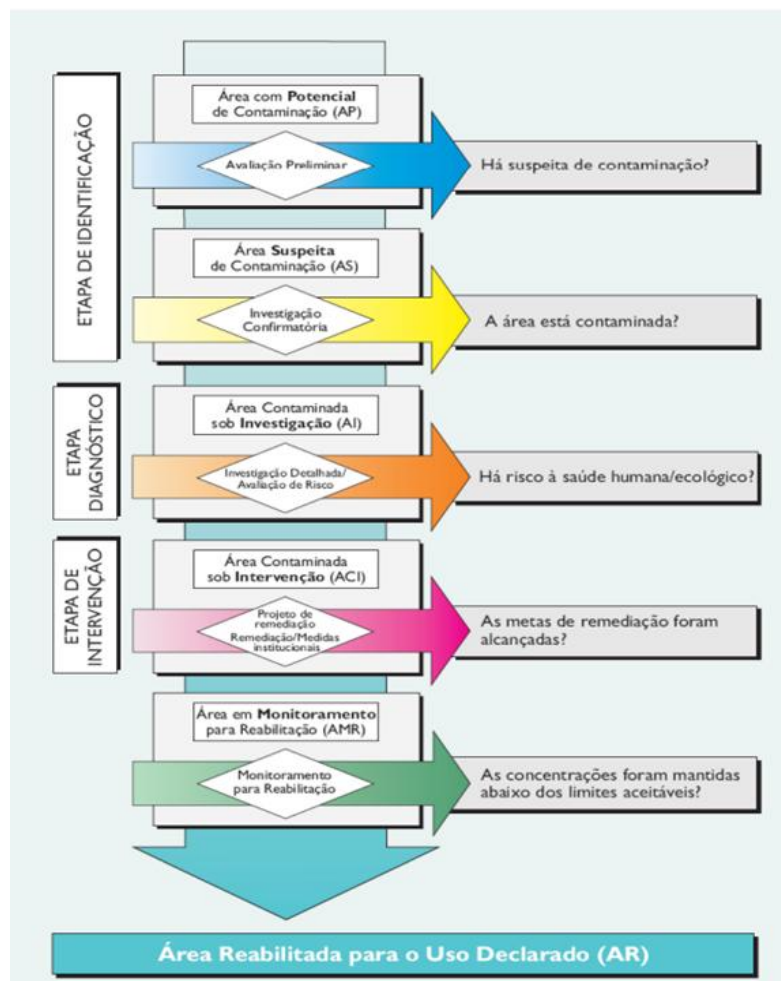
Fonte: FEAM, 2024.

3.3 Etapas da Investigação de Áreas Contaminadas

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM n.º 116, de 2008, que dispõe sobre a declaração de informações relativas à identificação de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas no Estado de Minas Gerais, uma área contaminada é definida como qualquer espaço — seja terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria — que apresente concentrações de substâncias químicas, identificadas por meio de estudos, capazes de causar ou com potencial de causar impactos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outros bens a proteger.

Conforme a legislação estadual, Deliberação Normativa COPAM/CERH n.º 02, de 2010, que Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas, o gerenciamento de áreas contaminadas envolve três etapas principais: diagnóstico, intervenção e reabilitação, que devem ser aplicadas conforme o grau de risco e o nível de informações disponíveis sobre cada local investigado (Figura 4).

Figura 4: Etapas de gerenciamento de áreas contaminadas.



Fonte: MINAS GERAIS, 2010.

O passivo ambiental corresponde ao conjunto de danos ambientais acumulados ao longo do tempo em decorrência de atividades humanas, que demandam ações de recuperação, monitoramento ou compensação ambiental, visando à redução dos riscos ao meio ambiente e à saúde pública (CETESB, 2017). Nesse contexto, a avaliação e o gerenciamento de passivos ambientais em solo e água subterrânea, no Estado de Minas Gerais, seguem um conjunto de normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), destacando-se a série ABNT NBR 15515, que estabelece os procedimentos técnicos para identificação, investigação, avaliação de risco, intervenção e monitoramento de áreas com suspeita ou confirmação de contaminação por substâncias químicas.

Essa série de normas é subdividida em diferentes partes, cada uma correspondente a uma etapa do processo investigativo. A ABNT NBR 15515-1 trata da Avaliação Preliminar, orientando o planejamento das etapas iniciais de investigação, com base no histórico da área,

nas possíveis fontes de contaminação e nas características ambientais locais. A ABNT NBR 15515-2 refere-se à Investigação Confirmatória, descrevendo os procedimentos necessários para confirmar ou não a existência de contaminação. Já a ABNT NBR 15515-3 aborda a Investigação Detalhada, estabelecendo diretrizes para a caracterização da contaminação e sua delimitação espacial, fornecendo subsídios técnicos para a avaliação de risco à saúde humana e ao meio ambiente.

A Investigação Detalhada indica a necessidade da realização de um prognóstico com o objetivo de estimar a evolução de uma pluma de contaminação ao longo do tempo, principalmente da fase dissolvida e se a mesma irá atingir algum receptor durante o prazo da sua ocorrência, podendo ser utilizados modelos matemáticos que representam graficamente o fluxo e o transporte de contaminantes.

A Resolução CONAMA nº 420 de 2009, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas e seu Artigo nº 25, estipula que uma área será declarada pelo órgão ambiental competente como Área Contaminada sob Investigação (AI) quando forem constatadas, por meio de investigação confirmatória, concentrações de substâncias químicas no solo ou nas águas subterrâneas superiores aos valores de investigação. Esses valores correspondem a concentrações que, quando ultrapassadas, indicam a existência de potenciais riscos à saúde humana, considerando um determinado cenário de exposição.

Conforme estabelecido na referida resolução, na etapa de identificação, serão identificadas as áreas que apresentam evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação, através de uma avaliação preliminar com base na inspeção do local e nos dados históricos levantados. Nos casos em que forem encontrados indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, sob a responsabilidade do responsável pela área investigada, com o objetivo de comprovar a presença de substâncias de origem antrópica no solo ou na água subterrânea, em concentrações capazes de representar riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana.

A comprovação da ocorrência de substâncias em concentrações superiores aos padrões definidos como de risco à saúde humana somente é validada por meio dos resultados das análises das amostras de solo e águas subterrâneas coletadas na área de interesse da investigação. Essas análises devem ser realizadas por laboratórios credenciados, segundo as normas técnicas vigentes, garantindo a competência e a confiabilidade dos resultados obtidos.

Segundo a Deliberação Normativa nº 02 da COPAM/CERH, de 2010, após a investigação confirmatória detectar a presença de substâncias químicas com concentrações acima dos valores de investigação normatizados, deve-se realizar a investigação detalhada e a avaliação de risco. Tais etapas têm como objetivo avaliar as características da fonte de contaminação e do meio afetado, identificar os contaminantes presentes e delimitar as dimensões da área afetada e das plumas de contaminação, fornecendo informações para as ações de intervenção necessárias.

Segundo a Resolução CONAMA nº 420/2009, a etapa de intervenção compreende a execução das ações de controle voltadas à eliminação ou à redução dos riscos identificados na etapa de diagnóstico à níveis aceitáveis. Essa etapa inclui o monitoramento da eficácia das medidas implementadas e considera o uso atual e futuro da área, em conformidade com as normas técnicas em vigor.

De acordo com a Deliberação Normativa nº 02 da COPAM/CERH, de 2010, após a atingimento das metas de intervenção propostas, com a eliminação ou redução dos riscos à níveis aceitáveis à saúde humana, dá-se início aos monitoramentos para a reabilitação da área. Comprovados o atendimento desses quesitos, a área será declarada pelo órgão ambiental competente como reabilitada para o uso declarado.

Nos termos do Artigo nº 19, da Deliberação Normativa nº 02 da COPAM/CERH, de 2010, a restrição dos usos e ocupação do solo e das águas superficiais e subterrâneas constitui uma alternativa de intervenção aplicável ao processo de reabilitação de áreas contaminadas. Essa medida se mostra eficaz ao limitar ou impedir o contato direto da população e do meio ambiente com os contaminantes presentes, reduzindo a possibilidade de exposição e, conseqüentemente, os riscos à saúde humana. Dessa forma, a restrição de uso permite o controle do risco associado à contaminação, viabilizando a reabilitação da área para um uso específico, mesmo quando a remoção completa dos contaminantes não é tecnicamente viável ou demanda longo período para sua atenuação natural.

Ao finalizar as etapas previstas no gerenciamento de áreas contaminadas em Minas Gerais, uma área pode ser considerada reabilitada mesmo que ainda sejam constatadas concentrações remanescentes de contaminantes, desde que tais valores não representem riscos à saúde humana – concentrações abaixo dos valores de investigação – considerando o uso atual ou pretendido da área, visto que diferentes formas de uso e ocupação resultam em distintos níveis de exposição aos contaminantes, os quais podem implicar riscos diferenciados à saúde humana.

Segundo Bertolo et al. (2019), durante o processo de gerenciamento de uma área contaminada, ocorre a mensuração das dimensões e intensidades da contaminação nos diversos meios – solo, água e ar – impactados. Dessa forma, são identificados os receptores (indivíduos, grupos de pessoas ou estruturas) afetados pela contaminação e procede-se à quantificação dos riscos associados.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 05, de 2017, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas e dá outras providências, nos termos do Artigo 2º, define que as áreas de restrição e controle correspondem àquelas em que há necessidade de disciplinar as intervenções em águas subterrâneas e as atividades potencialmente poluidoras, com vistas à proteção, conservação, recuperação e o uso sustentável desses recursos. Estabelece ainda em seu Artigo 8º, que a delimitação da área de restrição devido a contaminação de origem antrópica, será definida de acordo com os dados obtidos na investigação detalhada, prevista na Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 02, de 2010.

De acordo com a Decisão de Diretoria nº 038/2017/C da CETESB, deverá ser especificado o(s) aquífero(s), os volumes de cada aquífero (a área e a profundidade) e o tempo de duração da medida de restrição de uso de água subterrânea, baseado nas análises realizadas nas etapas de investigação da área e na modelagem matemática de fluxo e transporte das substâncias químicas analisadas.

A partir do prognóstico da evolução espacial da(s) pluma(s) ao longo do tempo, exigido na realização do estudo de investigação detalhada, segundo a ABNT NBR15.515-3, baseado na utilização de modelos matemáticos de fluxo e transportes dos contaminantes de interesse definidos na caracterização da contaminação da área investigada, é definido um polígono de restrição formado por quatro pares de coordenadas geográficas, de modo a abranger toda a área prognosticada de influência da pluma de contaminação.

Como etapa final, a recuperação da área contaminada se efetua por meio de ações de remediação e intervenções para adequação do uso do solo, descritas no Plano de Intervenção. No processo de remediação, são implementadas ações com o objetivo de acelerar a redução das concentrações dos contaminantes até que se atinjam as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs). Estas ações são complementadas por medidas de controle institucional, viabilizando o uso seguro da área com a presença de contaminantes em concentrações que não apresentam um risco calculado, desde que observadas determinadas precauções. (BERTOLO et al, 2019).

3.4 Responsabilidade Ambiental do Poluidor e Penalidades Aplicáveis – Embasamento Legal.

Uma pessoa física ou jurídica, causadores de poluição em uma área, estão sujeitas a diferentes formas de punição. Essas sanções podem ir desde multas administrativas e apreensão de bens até penas de reclusão ou detenção, quando configurados crimes ambientais. Também podem ser aplicadas restrições de direitos, como a suspensão de atividades ou a proibição de firmar contratos com o poder público. Além disso, o responsável é obrigado a reparar o dano ambiental, o que pode envolver a recuperação da área afetada e a realização de serviços em benefício da comunidade (BRASIL, 1998).

O Quadro 1, descreve as principais legislações e implicações que são imputadas ao responsável causador de uma poluição ambiental:

Quadro 1: Principais legislações e implicações imputadas ao responsável causador da poluição ambiental.

Legislações		Implicações e Penalidades
Constituição Federal de 1988	Art. 225, § 3º	Sanções penais e administrativas; Obrigação de reparar os danos causados
Lei Federal nº 6.938/81 (Política Nacional de Meio Ambiente)	Art. 4 e 14	Multa simples ou diária; Perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais; Perda ou suspensão de participação em linhas de financiamento; Suspensão de sua atividade; Obrigação de indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros
Lei Federal nº 9.605, de 12/02/1998 “Lei de Crimes Ambientais”	Art. 54, § 1º e 2º	Detenção e Reclusão
Decreto Estadual nº 47.837, de 09/01/2020	Código nº 114 do Anexo 1	Multa Gravíssima

Fonte: Elaboração própria, a partir da legislação federal e estadual aplicável ao Estado de Minas Gerais.

De acordo com BERTOLO et al. (2019), fundamentado nos princípios da Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), o poluidor é responsável pelo ressarcimento dos prejuízos decorrentes da contaminação ambiental desde sua constatação até a completa recuperação do recurso, abrangendo também o período em que sua utilização pela população permanece restrita.

Um dos fundamentos da Lei Nº 9.433/97, Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), classifica a água como um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, além de trazer como um dos seus instrumentos de gestão a cobrança pelo uso de recursos hídricos, de forma a fazer com que a sociedade reconheça a água como bem econômico e dotado de valor financeiro.

A definição de formas de cobrança pelo uso da água é uma das responsabilidades dos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs). Esses comitês são formados por representantes do governo estadual e municipal, da sociedade civil e dos usuários de água, que trabalham juntos para discutir e decidir sobre o uso e a preservação da água em cada bacia hidrográfica. No Estado de Minas Gerais, do total de 36 comitês inicialmente formados, há atualmente 34 comitês instituídos, em virtude de uma unificação, sendo um para cada circunscrição hidrográfica existente (IGAM, 2025).

Conforme a Deliberação Normativa CERH-MG nº 66, de 17 de novembro de 2020, as Circunscrições Hidrográficas (CHs) constituem instâncias de planejamento e gestão dos recursos hídricos que atuam de forma integrada às Unidades Estratégicas de Gestão (UEGs) às quais estão vinculadas. Seu propósito é assegurar aos usuários e aos gestores o acesso às principais informações técnicas, bem como à definição da regionalização administrativa dos recursos hídricos no Estado de Minas Gerais.

3.5 Valoração econômica da água subterrânea

Segundo Andrade (2010), a valoração ambiental consiste nas estimativas de valores econômicos associados aos impactos decorrentes de danos ou degradações ambientais. A valoração ambiental é fruto de um conjunto de instrumentos que oferecem suporte à gestão ambiental. Essa abordagem é fundamental para estimar e atribuir valores monetários aos serviços ecossistêmicos, aos bens naturais e aos impactos ambientais, seja de forma preventiva ou corretiva (MOTA, 1997, 2006).

A valoração econômica da água subterrânea é um instrumento eficaz para preencher a lacuna existente entre a restauração da qualidade desse recurso, obtida por meio das ações

referentes ao gerenciamento de uma área contaminada e a reparação integral dos danos ambientais exigidas pela legislação. Os recursos financeiros advindos da aplicação deste instrumento poderiam ser investidos em projetos voltados para a melhoria dos recursos hídricos subterrâneos e a proteção da saúde pública (BERTOLO *et al.*, 2019).

A valoração não se configura como uma medida punitiva contra o responsável legal pela área contaminada, mas como um instrumento técnico que viabiliza a obtenção de recursos adicionais para complementar as iniciativas de gestão de áreas contaminadas pelo poder público, proporcional à extensão do problema ambiental gerado (BERTOLO *et al.*, 2019).

Estudos de valoração que adotam a água subterrânea como um recurso suscetível a riscos devido a ocorrências de áreas contaminadas são pouco comuns na literatura científica (BERTOLO *et al.*, 2019). Os casos mais comuns referentes à valoração dos recursos ambientais impactados pelas atividades antrópicas, são relacionados à biodiversidade, as florestas e aos corpos de águas superficiais (MOTTA, 1997).

O método da valoração das águas subterrâneas pode ser conduzido simultaneamente ao processo de gerenciamento de uma área contaminada, devido à necessidade de dados sobre o ambiente físico e a contaminação para quantificar o volume de água impactado. Essas informações ficam disponíveis após a conclusão da etapa de Investigação Detalhada, quando os limites e taxas de propagação das plumas, assim como as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs) e o Plano de Intervenção (englobando ações de remediação e/ou controle institucional), serão definidos (BERTOLO *et al.*, 2019).

A adoção dessas metodologias pelo poder público pode significar um avanço na proteção dos recursos hídricos e na saúde pública, já considerando que são necessários recursos financeiros para desenvolver projetos de monitoramento e avaliação hidrogeológica, especialmente nas áreas dependentes da utilização das águas subterrâneas e que foram contaminadas (BERTOLO, 2017).

Segundo BERTOLO *et al.* (2019), de modo geral, a valoração econômica da água subterrânea é obtida pela multiplicação do volume de água utilizado em um determinado período, pelo valor unitário cobrado por essa água, em relação às suas diferentes funções e serviços.

3.5.1 Cobrança pelo uso da água no Estado de Minas Gerais

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos constitui uma forma de valoração ambiental, uma vez que atribui valor econômico a um recurso natural essencial, reconhecendo sua

importância ecológica, social e produtiva. No Brasil, esse princípio está fundamentado na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 1997, que estabelece a água como um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, e prevê a cobrança pelo seu uso como um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, visando incentivar o uso racional e sustentável desse recurso (BRASIL, 1997). Nesse contexto, a cobrança pelo uso da água não possui apenas caráter arrecadatório, mas também educativo e regulatório, contribuindo para a internalização dos custos ambientais associados à utilização dos recursos hídricos, em consonância com os princípios da valoração econômica ambiental e do usuário-pagador (ANA, 2014; MOTTA, 1998).

A Lei nº 9.433/97, conhecida como “Lei das Águas”, possui como objetivos principais: promover o uso eficiente da água, garantir a sustentabilidade do uso, incentivar o investimento em despoluição, obter recursos para a recuperação das bacias hidrográficas brasileiras e demonstrar o real valor econômico da água ao seu usuário (ANA, 2025).

Essa cobrança não se caracteriza como um imposto ou taxa comum, mas uma remuneração pelo uso da água, definido como um bem de domínio público, de forma a garantir que esse recurso tão importante seja utilizado de forma justa, consciente e sustentável, determinando que todos os usuários que façam captação, lançamento de efluentes ou a sua utilização em processos produtivos, arquem com o valor estabelecido (ANA, 2025).

A Lei nº 13.199, de janeiro de 1999, referente à Política Estadual de Recursos Hídricos, estabelece, como um dos seus instrumentos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos (CRH), vinculada às disponibilidades quantitativas e qualitativas da água e às peculiaridades das bacias hidrográficas. Essa cobrança é aplicada aos usuários que utilizam, consomem ou poluem os recursos hídricos, com vistas, dentre outros objetivos, à proteção das águas contra ações que comprometam seus usos atuais e futuros, além de reconhecer a água como bem econômico, indicando ao usuário o seu valor real. A lei também adota como um dos seus fundamentos, o reconhecimento da unidade do ciclo hidrológico em suas três fases que se interconectam e ocorrem simultaneamente: superficial, subterrânea e atmosférica, evidenciando a relevância dos recursos hídricos subterrâneos na disponibilidade de água à sociedade.

Segundo o Decreto nº 48.160, de 2021, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos (CRH), que pertencem ao Estado de Minas Gerais, é uma forma de gestão prevista na Política Estadual de Recursos Hídricos, aplicada a todos os usuários que utilizam esses recursos e precisam de outorga em todo o território do Estado.

A Deliberação Normativa CERH-MG nº 68, de 2021, define como o Preço Público Unitário (PPUcap) o valor monetário em reais (R\$), aplicado à quantidade de água, em metros

cúbicos, referente a derivação, captação ou extração outorgada. Esses valores variam segundo as condições críticas de disponibilidade hídrica local, em zonas definidas de acordo com o enquadramento dos corpos de água e áreas de conflito, disponíveis para ser consultadas no sítio eletrônico da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), conforme definido no seu artigo 6º:

I – Zona A: áreas de conflito (DAC) associadas a bacias de contribuição a cursos d'água de Classe Especial e Classe 1;

II – Zona B: áreas de conflito (DAC);

III – Zona C: bacias de contribuição a cursos d'água de Classe Especial e Classe 1 ou captação subterrânea;

IV – Zona D: demais áreas.

A Portaria IGAM nº 36, de 26 de dezembro de 2024, estabelece os preços unitários para o cálculo da cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais, nos termos do Decreto Estadual nº 48.160, referente ao exercício 2024, considerando as diretrizes gerais apresentadas na Deliberação Normativa CERH-MG nº 68/2021, assim como as circunscrições hidrográficas referente ao uso das águas.

4 METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento das 309 áreas reabilitadas, desde o início do gerenciamento das áreas contaminadas do Estado de Minas Gerais (sem registro temporal) até o ano de 2024, sendo selecionado desse quantitativo, um total de 58 áreas reabilitadas com restrição de uso pela Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais – FEAM. Esse resultado foi obtido por meio de pesquisa realizada na Lista de Áreas Contaminadas e Reabilitadas do ano de 2024, disponível no sítio eletrônico da FEAM e no banco de dados do Sistema de Informação de Áreas Contaminadas – SIAC, de uso restrito da FEAM. A partir dessas análises, foram identificados os polígonos de restrição de uso propostos pelos responsáveis das 58 áreas reabilitadas com restrição de uso, através das respectivas coordenadas georreferenciadas disponíveis nos estudos de Investigação Detalhada dessas áreas, obtidos por meio dos relatórios encaminhados pelos responsáveis técnicos das áreas contaminadas monitoradas pela FEAM.

Em seguida, no *software Google Earth Pro*, foi realizada a delimitação do polígono de restrição, após a inserção das coordenadas georreferenciadas correspondentes, possibilitando o cálculo automático da área em metros quadrados. Com base nas informações obtidas no estudo de Investigação Detalhada, identificou-se a profundidade que a contaminação atingiu no eixo vertical na água subterrânea, confirmada essa contaminação pelos resultados das análises laboratoriais do meio investigado.

Com base nas análises dos dados disponíveis nos relatórios referentes às etapas de investigação das áreas contaminadas, encaminhados à FEAM, foi considerado o tempo de duração da medida de restrição de uso de água subterrânea informado nesses documentos. A partir dessas informações, procedeu-se ao cálculo do volume total de água subterrânea contaminada submetida à restrição de uso ao longo do período estabelecido.

Para a aplicação do método de cálculo sugerido para o calcular o valor da compensação ambiental econômica das áreas reabilitadas com restrição de uso em decorrência da contaminação das águas subterrâneas, foi adotado o valor do Preço Público Unitário para captação de água (PPUcap) aplicado na cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais, definidos pela Portaria IGAM Nº 36, de dezembro de 2024, e estabelecido por cada comitê de bacia hidrográfica conforme a zona de criticidade onde a área de restrição se encontra, dessa forma, foi utilizada como base a equação geral apresentada abaixo, para dimensionar o valor da água subterrânea em função do seu serviço de provisão (recursos fornecidos pelos ecossistemas), proposta por Bertolo et al. (2019). Considerou-se como o custo de substituição (R\$), o PPUcap referente às águas subterrâneas que foram inabilitadas para o consumo humano pela área de restrição e, portanto, passíveis de tarifação conforme o uso para o abastecimento público.

$$VA = V_{cont} * R\$ \text{ (Equação 1)}$$

onde:

VA = Valor da Água (em R\$);

Vcont = Volume de água contaminada em um aquífero (em m³);

R\$ = Custo de substituição da água (em R\$/ m³).

A Equação 2, apresentada abaixo, foi utilizada como referência para calcular o volume de água subterrânea afetada pelo polígono de restrição em decorrência da contaminação. A mesma equação foi utilizada por Bertolo *et al.* (2019) para calcular volume de água subterrânea

em uma pluma de contaminação, obtido pela medição da área e espessura da pluma e da porosidade total do aquífero onde se encontra a pluma, sendo expressa da seguinte forma:

$$V_{pluma} = V_{aqcont} * n \text{ (Equação 2)}$$

onde:

V_{aqcont} = volume de aquífero contaminado (com concentrações acima dos valores de investigação). Representa a área da pluma vezes a sua espessura média (L^3);

n = porosidade total do aquífero ($L^3.L^{-3}$).

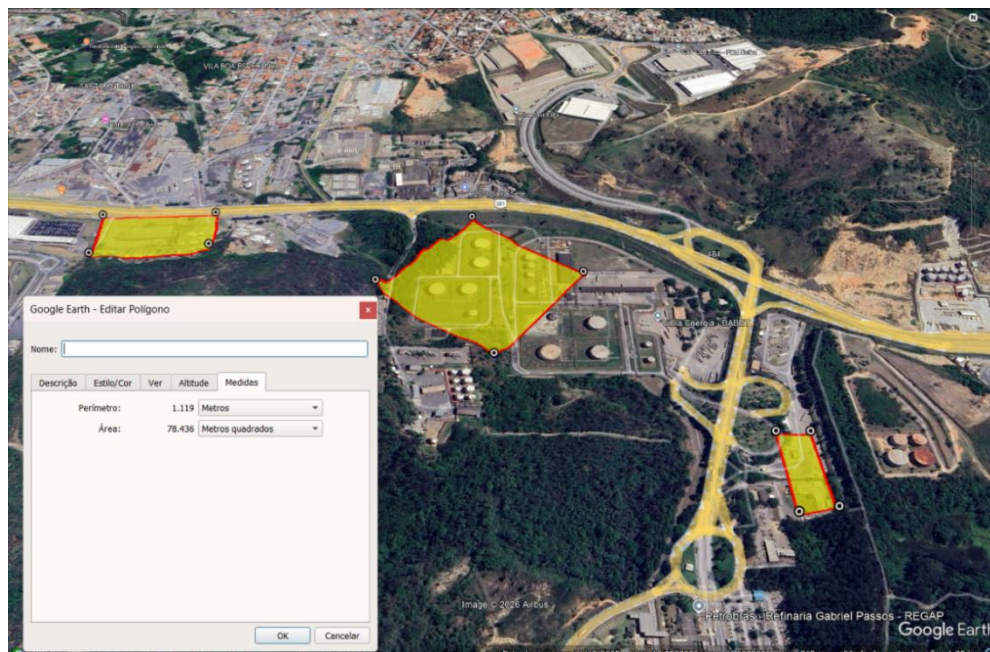
A partir das duas equações supracitadas, utilizadas por Bertolo *et al* (2009), foi adaptada a metodologia de cálculo ao contexto das áreas contaminadas com restrição de uso no Estado de Minas Gerais, organizada em cinco etapas, a saber:

4.1 Etapas de cálculo adaptadas ao contexto das áreas contaminadas com restrição de uso no Estado de Minas Gerais.

4.1.1 Etapa 1: Cálculo da área representativa da restrição de uso das águas subterrâneas (plano horizontal).

Por meio da utilização do *software Google Earth Pro*, ou semelhante, calcula-se a área (A_r), em metros quadrados, referente ao polígono de restrição proposto, através do fechamento dos vértices definidos pelos pares de coordenadas georreferenciadas relativas à latitude e longitude (Figura 5).

Figura 5: Exemplo de cálculo da área do polígono de restrição inserido no software Google Earth Pro

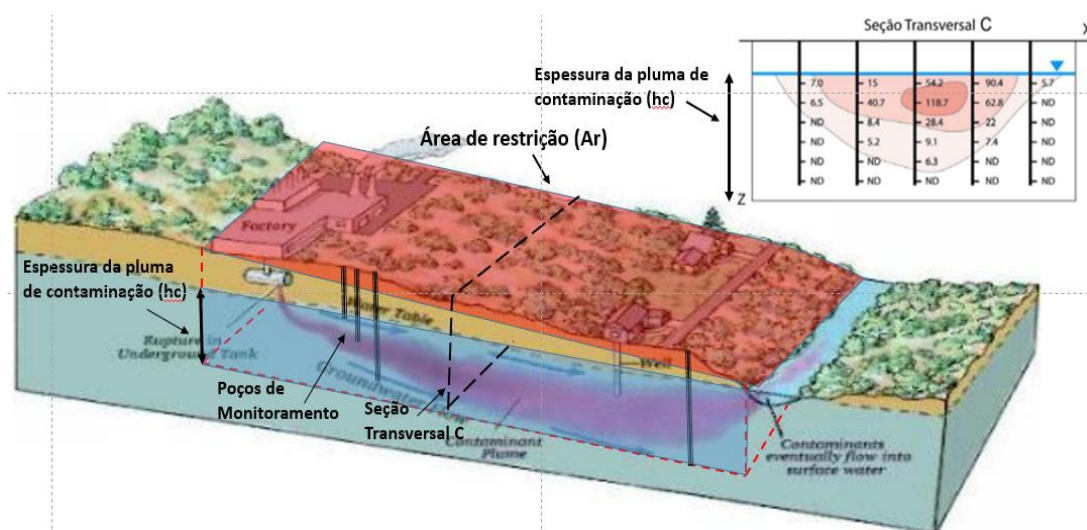


Fonte: Elaboração própria, a partir software Google Earth Pro.

4.1.2 Etapa 2: Cálculo da área representativa da restrição de uso das águas subterrâneas (plano vertical).

Utilizando-se o polígono definido na etapa anterior, fez-se a sua projeção no plano vertical, de modo o abranger toda a área verticalmente impactada pela contaminação, ou seja, a espessura da pluma de contaminação (h_c), dada em metros, limitada pela maior profundidade referente ao ponto de coleta da água subterrânea no poço de monitoramento, após a estabilização do nível d'água, onde foi comprovada a ausência de concentrações das substâncias químicas acima dos Valores de Investigação (VI) (Figura 6). Essa comprovação foi obtida através das análises dos resultados emitidos pelos laboratórios credenciados, atestando a ausência de contaminantes nas amostras coletadas das águas subterrâneas no poço de monitoramento investigado.

Figura 6: Projeção do polígono de restrição no eixo vertical



Fonte: Elaboração própria adaptado da EPA.

4.1.3 Etapa 3: Cálculo do volume representativo de água subterrânea contaminada com restrição de uso.

O cálculo do volume representativo de água subterrânea contaminada com restrição de uso (V_{rest}), baseado na Equação 2, utilizada por Bertolo *et al.* (2019), foi realizado por meio da multiplicação da área de restrição definida no plano horizontal (A_r), pela espessura da pluma de contaminação (h_c) e pela porosidade total do aquífero (n), informadas no estudo de investigação detalhada, conforme a fórmula abaixo:

$$V_{rest} = A_r * h_c * n \text{ (Equação 3)}$$

onde:

V_{rest} = volume representativo de água subterrânea contaminada com restrição de uso (m^3)

A_r = área do polígono de restrição de uso das águas subterrâneas (m^2)

h_c = pela espessura da pluma de contaminação (m)

n = porosidade total do aquífero afetado pela pluma de contaminação

A utilização da porosidade total (n) se justifica devido a capacidade de representar tanto as zonas de fluxo estagnado quando as de fluxo móvel, específico para cada tipo de solo que forma o aquífero. O fluxo subterrâneo ocorre predominantemente em poros interconectados denominados zonas de fluxo móvel, responsáveis pelo transporte advectivo de água e contaminantes. Entretanto, parte da água permanece armazenada em poros isolados ou de baixa

conectividade, caracterizando zonas de fluxo estagnado, onde o transporte ocorre principalmente por difusão. Nesse contexto, a porosidade total (n) representa o conjunto de todos os vazios do meio poroso, incluindo tanto as regiões de fluxo móvel quanto as de fluxo estagnado, refletindo a capacidade total de armazenamento de água do aquífero.

4.1.4 Etapa 4: Cálculo do volume total de água subterrânea contaminada com restrição de uso em função do tempo

Considerando que, ao longo do tempo de restrição de uso, novos volumes de água subterrânea deixam de estar disponíveis para captação na área delimitada pelo polígono de restrição (A_r), faz-se necessário estimar o volume total de água subterrânea contaminada indisponibilizada, em função do tempo (V_t). Esse cálculo foi obtido pela multiplicação do volume representativo de água subterrânea contaminada com restrição de uso em metros cúbicos (V_{rest}), previamente calculado pela Equação 3, multiplicado pelo tempo de duração da restrição de uso das águas em anos, conforme a fórmula abaixo:

$$V_t = V_{rest} * t \text{ (Equação 4)}$$

onde:

V_t = volume total de água subterrânea contaminada com restrição de uso em função do tempo em anos ($m^3.a$)

V_{rest} = volume representativo de água subterrânea contaminada com restrição de uso. (m^3)

t = tempo de duração da restrição de uso das águas subterrâneas (ano)

4.1.5 Etapa 5: Cálculo do valor da compensação ambiental econômica das áreas reabilitadas com restrição de uso por contaminação das águas subterrâneas

Propõe-se que o valor econômico das águas subterrâneas indisponíveis para o consumo humano decorrente da restrição de uso, utilize por analogia, os preços unitários de captação aplicados na cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais para o exercício 2024. Esses valores foram definidos na Portaria IGAM nº 36, de dezembro de 2024, referente ao Preço Público Unitário para captação de água (PPUcap) e elaborado em cada Comitê de Bacia Hidrográfica, de acordo com a zona de criticidade e a circunscrição hidrográfica onde se localiza a área de restrição. Considera-se que as águas subterrâneas abrangidas pela área de restrição, poderiam ser utilizadas para o consumo humano e, portanto,

passíveis de tarifação conforme o uso para o abastecimento público. Um exemplo da aplicação dessas tarifas é ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2: Preços Públicos Unitários

Finalidade	Zonas	PPUcap (R\$/m³)	Circunscrição hidrográfica
Abastecimento Público	A	0,0355	do alto São Francisco (SF1)
	B	0,0355	
	C	0,0355	
	D	0,0355	

Fonte: Portaria IGAM Nº 36, de dezembro de 2024

Para determinar em qual zona está inserida a área de restrição, foi utilizado o Geovisualizador da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais (IDE-Sisema/MG), disponível no sítio eletrônico institucional. No ambiente do IDE-Sisema, foram habilitadas no tópico “Restrição Ambiental” as camadas: “Enquadramento de Corpos D’Água (IGAM)” referente a todas as bacias e “Conflitos por Recursos Hídricos (IGAM)”. Em seguida, foi importado o arquivo georreferenciado do *software Google Earth Pro* contendo o polígono de restrição. A partir da sobreposição dessas camadas temáticas com o polígono de restrição, foram identificadas as classes de enquadramento dos corpos d’água afetados pela área de restrição e detectada a zona de criticidade correspondente, conforme critérios estabelecidos no artigo 6º da Deliberação Normativa CERH-MG Nº 68, de 2021(Figura 7).

Figura 7: Exemplo de Classes de enquadramento dos corpos d’água afetados pelo polígono de restrição.



Fonte: IDE-SISEMA (múltiplas camadas temáticas), 2025. Elaboração própria.

Para calcular o valor da compensação ambiental econômica das áreas reabilitadas com restrição de uso por contaminação das águas subterrâneas foi utilizada como referência a Equação 1, conforme Bertolo *et al.* (2019). Esse valor foi obtido por meio da Equação 4, que utiliza o volume total de água subterrânea contaminada com restrição de uso em função do tempo (V_t), multiplicado pelo Preço Público Unitário para captação de água (PPUcap), em relação a zona de criticidade e a circunscrição hidrográfica onde se localiza a área de restrição, definido pela Portaria IGAM N° 36, de dezembro de 2024:

$$\text{Valor}_{\text{comp}} = V_t * \text{PPUcap} \text{ (Equação 5)}$$

onde:

$\text{Valor}_{\text{comp}}$ = valor proposto para a compensação ambiental econômica das áreas reabilitadas com restrição de uso por contaminação das águas subterrâneas

V_t = volume total de água subterrânea contaminada com restrição de uso em função do tempo

PPUcap = Preço Público Unitário (PPUcap), em relação a zona de criticidade e a circunscrição hidrográfica onde se localiza a área de restrição.

4.2 Validação da Metodologia de cálculo adaptada ao contexto das áreas contaminadas com restrição de uso no Estado de Minas Gerais

Para validar a metodologia de cálculo proposta, adaptada a partir das equações utilizadas por Bertolo *et al.* (2009; 2019) ao contexto do Estado de Minas Gerais, procedeu-se à sua aplicação prática sobre as 58 áreas reabilitadas com restrição de uso até 2024.

A 58 áreas constituem a base empírica para a validação da metodologia, uma vez que abrangem diferentes tipologias de contaminantes, condições hidrogeológicas e restrições impostas pela legislação ambiental e aprovadas pelo órgão ambiental. A aplicação sequencial das cinco etapas metodológicas permitiu verificar a consistência e a aplicabilidade do método em cenários reais.

Foram utilizados os dados oficiais disponíveis nos estudos de Investigação Detalhada, nas bases geoespaciais do IDE-Sisema e na portaria IGAM relativa ao Preço Público Unitário para captação da água (PPUcap), para assegurar a fundamentação técnica da metodologia, bem como demonstrar sua coerência com o processo decisório do gerenciamento ambiental das áreas contaminadas.

É importante ressaltar que, entre as 58 áreas reabilitadas com restrição de uso analisadas, 51 não apresentaram nos estudos de Investigação Detalhada a informação sobre o tempo estimado de duração da restrição de uso das águas subterrâneas (t). Diante dessa ausência de dados, para esses casos, adotou-se o período de 2 e 10 anos como referência. Esses períodos foram definidos com base nas recomendações apresentadas nos estudos de Foster *et al.* (2002) e Carvalho & Hirata (2012), que sugerem que para as contaminações por hidrocarbonetos leves de petróleo pode ser considerado o tempo de 2 anos por apresentarem uma degradação natural mais rápida, por outro lado, uma década constitui um intervalo de segurança suficiente para que ocorram processos de atenuação natural de contaminantes mais persistentes e de degradação mais complexa.

Os dados sobre porosidade do aquífero apresentaram a mesma lacuna de informações em 25 áreas. Diante da indisponibilidade de registros nos estudos de Investigação Detalhada sobre os valores da porosidade foi assumido um valor por tipo de solo, conforme estudo de Ribeiro *et al.* (2007). Para identificar os tipos de solos das 25 áreas foi utilizado o IDE-Sisema/MG, habilitado o tópico “Solos” e a camada “Mapa de Solos de Minas Gerais” e em seguida, foram importados os arquivos do *Google Earth Pro* contendo os polígonos de restrição e através dessas áreas plotadas, foi identificado o tipo de solo a que pertencem (Figura 8).

Figura 8: Exemplo de tipo de solo afetado pelo polígono de restrição.



Fonte: IDE-SISEMA (Mapa de Solos), 2025.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da metodologia às 58 áreas reabilitadas com restrição de uso, resultou na quantificação de volumes expressivos de água subterrânea indisponibilizados, bem como na estimativa do respectivo valor econômico associado à perda temporária desse recurso. As áreas analisadas apresentaram grande heterogeneidade espacial, com superfícies variando de 434 m² a 2.080.000 m², diferentes características hidrogeológicas e classes de enquadramento das bacias, além de tempos de restrição variados (Quadro 3).

Os volumes representativos de água subterrânea contaminada (V_{rest}) variaram de aproximadamente 781 m³ a 22.963.200 m³, enquanto os volumes totais indisponibilizados ao longo do período analisado (V_t) oscilaram entre 1.937 m³ e 34.444.800 m³, evidenciando o efeito combinado da área superficial, da espessura da pluma de contaminação (h_c), da porosidade total (n) e do tempo de restrição (t). Destaca-se que áreas com maior extensão territorial e maiores períodos de restrição — particularmente aquelas com $t \geq 10$ anos — concentraram os maiores volumes indisponibilizados, mesmo quando os valores da porosidade intrínseca ao aquífero teve um valor entre o máximo e o mínimo.

A valoração econômica associada à indisponibilidade da água subterrânea resultou em valores individuais que variaram de R\$ 68,78 a R\$ 1.222.790,40 culminando em um valor total acumulado de R\$ 4.001.698,64 para o conjunto das áreas analisadas. Observa-se que poucas áreas de grande extensão e longo tempo de restrição foram responsáveis por parcela

significativa do valor total estimado, indicando uma distribuição assimétrica dos impactos econômicos decorrentes da contaminação (Apêndice A).

As informações constantes no Apêndice A, resumidas através do Quadro 3, evidenciam a elevada variabilidade dos volumes indisponibilizados e dos valores econômicos estimados para as áreas avaliadas, destacando a influência determinante do tempo de restrição sobre o montante final da compensação ambiental.

Quadro 3: Síntese dos resultados do cálculo dos volumes de água subterrânea com restrição de uso e da compensação ambiental econômica nas áreas analisadas

Indicador	Resultado
Número total de áreas avaliadas	58
Área mínima avaliada (m ²)	434
Área máxima avaliada (m ²)	2.080.000
Classe de bacia predominante	Classe 2
Intervalo de porosidade total (n)	0,30 – 0,50
Intervalo de espessura da pluma de contaminação – hc (m)	2 – 30
Intervalo de tempo de restrição (anos)	1,5 – 15
Volume representativo mínimo – Vrest (m ³)	781,2
Volume representativo máximo – Vrest (m ³)	22.963.200
Volume total mínimo indisponibilizado – Vt (m ³)	1.937,52
Volume total máximo indisponibilizado – Vt (m ³)	34.444.800
Valor mínimo de compensação ambiental (R\$)	68,78
Valor máximo de compensação ambiental (R\$)	1.222.790,40
Valor total estimado de compensação ambiental (R\$)	4.001.698,64

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados do estudo (2025).

Nota: Na ausência de informação específica para parte das áreas avaliadas, foram assumidos valores para o tempo de restrição e porosidade total conforme referências técnicas da literatura.

O cálculo da compensação ambiental econômica das águas subterrâneas indisponibilizadas nas 58 áreas reabilitadas com restrição de uso em Minas Gerais evidencia a necessidade de avanços significativos frente ao atual cenário de gestão das áreas contaminadas no Estado. Os resultados obtidos demonstram que, apesar da reabilitação formal das áreas, persiste um passivo ambiental mensurável, materializado em volumes expressivos de água subterrânea que permanecem indisponíveis em razão da manutenção de concentrações de

contaminantes acima dos padrões de potabilidade. Os volumes representativos calculados (Vrest) variaram de centenas a dezenas de milhões de metros cúbicos, com volumes totais indisponibilizados ao longo do período de restrição (Vt) atingindo até 34.444.800 m³, o que evidencia o grande impacto negativo das contaminações na qualidade e uso desse recurso para a população.

O predomínio de áreas relacionadas ao setor de combustíveis — aproximadamente 72% do total de casos (FEAM, 2024) — reforça um padrão já identificado em estudos nacionais sobre áreas contaminadas, como apontado por Hirata *et al.* (2019), que destacam os hidrocarbonetos derivados de combustíveis como uma das principais fontes de contaminação dos aquíferos urbanos. A análise dos resultados evidencia que esse grupo de atividades concentra parte significativa dos volumes indisponibilizados de águas subterrâneas das áreas de restrição e dos valores econômicos estimados como pode ser comprovado no Apêndice A, indicando que atividades de distribuição e armazenamento de combustíveis, ainda que pontuais em termos de área superficial, podem gerar impactos volumétricos relevantes quando associadas a aquíferos com maior porosidade ou espessura saturada. Nesse sentido, a metodologia apresentada dialoga diretamente com o princípio do “poluidor-pagador”, previsto na Lei nº 9.433/1997, ao permitir quantificar de forma objetiva o prejuízo imposto à sociedade pela indisponibilidade do recurso hídrico subterrâneo, alinhando-se ao entendimento de Bertolo *et al.* (2019) de que o valor econômico da água deve incorporar os custos decorrentes da degradação e do tempo de indisponibilidade.

A utilização do Preço Público Unitário para captação de água (PPUcap) como parâmetro de valoração mostrou-se uma inovação metodológica relevante ao permitir a conversão dos volumes indisponibilizados em valores monetários. Embora o PPUcap tenha como finalidade original a tarifação de usos autorizados de captação, sua aplicação por analogia ao volume indisponível aproxima-se das recomendações de Mota (1997; 2006), que defende instrumentos econômicos capazes de traduzir danos ambientais em valores monetários compreensíveis e operacionalizáveis. Comparativamente, Bertolo (2017) argumenta que a ausência de mecanismos específicos para valorar a água subterrânea impactada constitui uma lacuna na gestão ambiental, lacuna que o presente estudo contribui para suprir no contexto mineiro. Essa aproximação conceitual também se alinha às diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei nº 13.199/1999), que reconhece a água como bem econômico.

A metodologia também se mostrou compatível com a abordagem integrada do ciclo hidrológico defendida por Filho (2008) e Hirata *et al.* (2019), ao evidenciar que a indisponibilidade da água subterrânea repercute não apenas sobre o abastecimento humano,

mas sobre a interação dos elementos do meio ambiente (clima, solo, vegetação, seres vivos), além da possibilidade de afetar economia regional. Em perspectiva, enquanto esses autores ressaltam a importância estratégica dos aquíferos para a segurança hídrica, os resultados obtidos neste estudo demonstram que a indisponibilidade temporária de grandes volumes pode representar perdas socioeconômicas relevantes, especialmente em municípios cuja dependência de águas subterrâneas é elevada, conforme destacado pela ANA (2021; 2025).

Um dos pontos críticos identificados durante a aplicação da metodologia refere-se à ausência de informações sobre o tempo estimado de duração da restrição de uso em 51 das 58 áreas analisadas. Essa lacuna impôs a adoção de um período de referência que, no presente estudo, mostrou-se determinante para os resultados finais, uma vez que o tempo de restrição foi responsável por amplificar significativamente os volumes totais indisponibilizados e os valores econômicos calculados. Nesse contexto da ausência dessa variável adotou-se o período de dois e dez anos como referência, conforme recomendado nos estudos de Foster *et al.*, (2002 apud Bertolo *et al.*, 2019) e Carvalho e Hirata (2012). Comparativamente, enquanto esses autores destacam que a atenuação natural pode demandar longos intervalos temporais para a redução efetiva das concentrações de contaminantes, Bertolo *et al.* (2019) enfatizam a necessidade de modelagens hidrogeológicas mais robustas para estimar a evolução temporal das plumas.

Ainda nesse contexto, atribuiu-se um valor para a porosidade total dos aquíferos em 25 áreas para proceder com a validação dos cálculos referente a compensação econômica. Tais valores foram baseados no estudo de Ribeiro *et al.* (2007), que indicam valores médios de porosidade para algumas classes de solo. Destaca-se que a avaliação *in loco* da porosidade total é uma técnica analítica bem estabelecida, geraria um resultado mais preciso e representativo das características físicas do solo na área avaliada, mesmo porque várias áreas antropizadas apresentam compactação considerável.

A definição da área de restrição realizada através do fechamento dos vértices de um polígono é uma simplificação das características reais da topografia e hidrografia da região, podendo causar uma subestimação ou, de maior relevância administrativa e judicial, uma superestimação dos valores obtidos com o cálculo proposto, motivando apelações.

Ainda, atualmente o uso da água subterrânea tem seu uso proibido em muitas regiões que já possuem rede pública de abastecimento, como forma proteção sanitária e ambiental, mas são crescentes as limitações que as concessionárias enfrentam para suprir a demanda total de água da sociedade e dessa forma, a utilização de poços privados desempenha um importante papel para a segurança hídrica urbana (HIRATA *et al.*, 2019).

As limitações metodológicas evidenciadas reforçam a necessidade do Estado de Minas Gerais, por meio de seus órgãos ambientais, especialmente a FEAM, estabelecer e exigir, nos Estudos de Investigação Detalhada, a apresentação de informações hidrogeológicas mínimas e tecnicamente consistentes, tais como a estimativa do tempo de restrição de uso das águas subterrâneas e a caracterização dos parâmetros físicos dos aquíferos. A ausência desses dados compromete a robustez das estimativas volumétricas e da quantificação da compensação econômica, ao impor a adoção de valores de referência e hipóteses simplificadoras, ampliando as incertezas e reduzindo a confiabilidade dos resultados. Nesse sentido, o fortalecimento das exigências técnicas no processo de gerenciamento de áreas contaminadas constitui uma medida essencial para assegurar maior precisão, transparência e segurança técnica na aplicação da metodologia proposta nesse estudo.

Por fim, ao aplicar e validar a metodologia em 58 áreas reais, o estudo demonstra que o cálculo da compensação ambiental econômica pode se consolidar como instrumento estruturante para o gerenciamento de áreas contaminadas em Minas Gerais. O método incorpora uma dimensão econômica que aproxima a gestão ambiental das práticas de valoração recomendadas por Andrade (2010) e por organismos internacionais, como a UNESCO (2022). A padronização dos cálculos e a simplicidade conceitual das etapas, favorece a sua utilização e a potencial adoção pelo órgão ambiental estadual.

Assim, a discussão dos resultados evidencia que a metodologia proposta é tecnicamente consistente e pode ser utilizada como um importante instrumento na gestão das águas subterrâneas contaminadas do Estado, atendendo aos princípios legais e conceitos técnicos inerentes à hidrogeologia.

6 CONCLUSÃO

A aplicação dessa metodologia sobre as 58 áreas reabilitadas com restrição de uso viabiliza a comprovação prática de que o procedimento proposto é capaz de estimar, de forma padronizada e simplificada, o valor da compensação ambiental decorrente da indisponibilidade das águas subterrâneas.

A metodologia apresentada não estima de forma precisa os volumes de água subterrânea indisponibilizados, tampouco atribui um valor econômico absoluto a esse recurso. Ainda assim, configura-se como uma ferramenta capaz de fornecer valores estimados dos impactos ambientais nas águas subterrâneas.

Os valores econômicos obtidos não devem ser interpretados como definitivos a serem cobrados aos responsáveis legais das áreas contaminadas, mas como uma base inicial para subsidiar tomadas de decisão referentes a finalização do processo de gerenciamento ambiental, uma vez que, evidenciam o custo econômico da restrição do uso das águas subterrâneas nessas áreas.

REFERÊNCIAS

ABAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **O que são águas subterrâneas?** Disponível em: <https://www.abas.org/educacao/o-que-sao-aguas-subterraneas/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Cobrança pelo uso de recursos hídricos**. 80 p. il. -- (Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos; v.7). Brasília, DF: ANA, 2014.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Cobrança**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/cobranca>. Acesso em: 30 ago. 2025.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Governança das águas subterrâneas: desafios e caminhos**. 202 p.: il. Brasília, DF: ANA, 2022.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Plataforma Interativa Atlas Águas e Esgotos**. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasaguas>. Acesso em: 30 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15515-1: passivo ambiental em solo e água subterrânea — Parte 1: avaliação preliminar. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15515-2: passivo ambiental em solo e água subterrânea — Parte 2: investigação confirmatória. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15515-3: passivo ambiental em solo e água subterrânea — Parte 3: investigação detalhada. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BERTOLO, Reginaldo Antônio. **Bases técnicas para a gestão de áreas contaminadas por solventes organoclorados em aquíferos fraturados**. 2018. Tese (Livre-docência) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/44/tde-16032018-095039/>. Acesso em: 06 dez. 2023.

BERTOLO, R. A., Hirata, R., & Aly Junior, O. (2019). **Método de Valoração da Água Subterrânea Impactada por Atividades Contaminantes no Estado de São Paulo**. *Águas Subterrâneas*, 33(3), 303–313. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i3>. Acesso em: 06 dez. 2023.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=1&legislacao=115509>. Acesso em: 06 dez. 2023.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 02 set. 1981.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 06 dez. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 13 fev. 1998.

CARVALHO, A. M.; HIRATA, R. **Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo**. Geologia USP. Série Científica, v. 12, n. 1, p. 53–70, 2012.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Áreas contaminadas: o que são áreas contaminadas**. São Paulo, [s.d.]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/o-que-sao-areas-contaminadas/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decisão de Diretoria nº 038/2017, de 07 de fevereiro de 2017. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (MG). Deliberação Normativa CERH-MG nº 68, de 2021. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=53592>. Acesso em: 25 ago. 2025.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (MG). Deliberação Normativa COPAM nº 116, de 27 de junho de 2008. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7974>. Acesso em: 25 fev. 2025.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de áreas contaminadas**. Belo Horizonte: FEAM, 2024. 12 p. Disponível em: <https://feam.br/documents/d/feam/inventario-ac-2024-pdf>. Acesso em: 23 jan. 2025.

FEITOSA, Fernando A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM; LABHID, 2008.

FILHO, João Manoel. **Ocorrência das águas subterrâneas**. In: FEITOSA, Fernando A. C. et al. (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM; LABHID, 2008.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environmental agencies**. Washington, DC: World Bank, 2002.

HIRATA, R. Recursos hídricos. In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

HIRATA, Ricardo et al. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Comitês de Bacias Hidrográficas**. Belo Horizonte: IGAM, 2025. Disponível em: <https://igam.mg.gov.br/w/comites-de-bacias-hidrograficas>. Acesso em: 30 ago. 2025.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Portaria IGAM nº 36, de 26 de dezembro de 2024. Belo Horizonte: IGAM, 2024. Disponível em: <https://www.igam.mg.gov.br>. Acesso em: 23 ago. 2025.

MENEZES, J. P.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R.; NEVES, M. A. **Correlation between land use and groundwater quality**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 19, n. 2, p. 173–186, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000200008>. Acesso em: 06 dez. 2023.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). Deliberação Normativa COPAM nº 02, de 8 de setembro de 2010. Estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: COPAM, 2010.

MINAS GERAIS. Decreto nº 47.837, de 09 de janeiro de 2020. Dispõe sobre a tipificação e classificação das infrações às normas de proteção ao meio ambiente e aos recursos hídricos e estabelece procedimentos administrativos de fiscalização e aplicação das penalidades no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 2020.

MINAS GERAIS. Decreto nº 48.160, de 24 de março de 2021. Regulamenta a cobrança pelo uso de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/48160/2021/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/13199/1999/>. Acesso em: 23 jan. 2025.

MONÇÃO, A. G.; VELOSO, R. B. **A importância das águas subterrâneas para a gestão integrada dos recursos hídricos: captação, controle e monitoramento na bacia do rio Verde Grande**. Águas Subterrâneas, Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas, 2021.

MOTA, R. S. Manual para a valoração econômica de recursos ambientais. Rio de Janeiro: IPEA; PNUD; CNPq, 1997. Disponível em: <https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-para-valoracao-economica-de-recursos-ambientais.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2023.

RIBEIRO, Kátia Daniela; MENEZES, Stélio Maia; MESQUITA, Maria da Glória Bastos de Freitas; SAMPAIO, Fabrício de Menezes Telo. **Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG**. Ciência e Agrotecnologia, v. 31, n. 4, p. 1167–1175, 2007.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009. Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas e dá providências correlatas. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 2009.

SETHY, S. N.; SYED, T. H.; KUMAR, A. **Evaluation of groundwater quality in parts of the Southern Gangetic Plain using water quality index**. Environmental Earth Sciences, v. 75, n. 11, p. 1-14, 2016.

APÊNDICE A – Planilha de Dados

Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Ar em m²	Baci v	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
798	FCA - FERROVIA CENTRO ATLÂNTICA S/A - ACIDENTE DE UBERABA	Uberaba	Ferrovia	-19.659.578	-47.903.923	434	GD8	Classe 2	4	0,45	10	C	0,0355	781,2	7812	R\$ 277,33	
798				-19.659.356	-47.903.701												
798				-19.659.439	-47.903.618												
798				-19.659.662	-47.903.840												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
319	A CHEQUER	Carlos Chagas	Postos de Combustíveis e Afins	-17.704.316	-40.763.258	1589	MU1	Classe 2	5	0,5	2	C	0,0355	3972,5	7945	R\$ 282,05	
319				-17.704.341	-40.762.523												
319				-17.704.488	-40.763.278												
319				-17.704.530	-40.762.534												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
11	ALPHAVILLE A P COM. SERV. E REPRES LTDA	Carmo do Cajuru	Postos de Combustíveis e Afins	-20.184423°	-44.776348°	1143	SF2	Classe 2	8,55	0,5	2	C	0,0355	4886,325	9772,65	R\$ 346,93	
11				-20.184337°	-44.776530°												
11				-20.184906°	-44.776476°												
11				-20.184887°	-44.776650°												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
162	MARIA AMÉLIA FERREIRA MARTINS E CIA LTDA (ANTIGO - FRANCISCO FERREIRA MARTINS & CIA LTDA)	Mercês	Postos de Combustíveis e Afins	-21.197.427	-43.341.337	2153	PS2	Classe 2	5	0,5	2	C	0,0355	5382,5	10765	R\$ 382,16	
162				-21.197.552	-43.341.220												
162				-21.198.170	-43.341.589												
162				-21.197.738	-43.341.777												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
186	MODERNA AUTO POSTO LTDA	Martinho Campos	Postos de Combustíveis e Afins	-19.323.839	-45.235.165	7344	SF2	Classe 1	14	0,5	2	C	0,0355	51408	102816	R\$ 3.649,97	
186				-19.323.993	-45.234.470												
186				-19.324.688	-45.235.376												
186				-19.324.843	-45.234.671												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
199	COMÉRCIO DE COMBUSTÍVEIS E LUBRIFICANTES POSTO NAVES EIRELI	Santa Juliana	Postos de Combustíveis e Afins	-19311602	-47529659	5046	PN2	Classe 2	4	0,45	2	C	0,0355	9082,8	18165,6	R\$ 644,88	
199				-19311767	-47530102												
199				-19312176	-47530149												
199				-19311752	-47529243												
199	-19312124	-47529391															
199	-19312290	-47529833															
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
819	COMERCIAL SALQUER LTDA	Montes Claros	Postos de Combustíveis e Afins	-16718748	-43860516	2461	SF10	Classe 2	3,44	0,45	2	C	0,0355	3809,628	7619,256	R\$ 270,48	
819				-16719075	-43860415												
819				-16719112	-43860750												
819				-16719126	-43861137												
819	-16718864	-43861111															
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
339	POSTO ATLAS LTDA - EPP	São João Del Rei	Postos de Combustíveis e Afins	-21.137631	-44.263709	702	GD2	Classe 3	3	0,46	2	C	0,0355	968,76	1937,52	R\$ 68,78	
339				-21.137576	-44.263574												
339				-21.138037	-44.263447												
339				-21.138055	-44.263553												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
67	AUTO POSTO RODO DE LEOPOLDINA	Leopoldina	Postos de Combustíveis e Afins	-21533484	-42637917	1476	PS2	Classe 2	7,55	0,49	2	C	0,0355	5460,462	10920,92	R\$ 387,69	
67				-21533726	-42637817												
67				-21533895	-42638258												
67				-21533653	-42638368												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
1099	PETROBRÁS DISTRIBUIDORA S/A - BABET /TEBET	Betim	Postos de Combustíveis e Afins	-19956010	-44097972	78436	SF3	Classe 2	3	0,35	2	C	0,0355	82357,8	164715,6	R\$ 5.847,40	
1099				-19958105	-44099604												
1099				-19957436	-44095871												
1099				-19959540	-44097503												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
363	POSTO DOM SILVERIO LTDA	Dom Silvério	Postos de Combustíveis e Afins	-20162169	-42965307	1477	DO1	Classe 2	3	0,5	2	C	0,0355	2215,5	4431	R\$ 157,30	
363				-20162165	-42965010												
363				-20162590	-42965005												
363				-20162593	-42965301												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
82	BR METAL USINAGEM E SERVIÇOS	Itaúna	Postos de Combustíveis e Afins	-20.072.901	-44.579.543	3439	SF2	Classe 3	14	0,4	6	C	0,0355	19258,4	115550,4	R\$ 4.102,04	
82				-20.072.881	-44.578.883												
82				-20.073.406	-44.578.939												
82				-20.073.452	-44.579.360												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
212	RAÍZEN COMBUSTÍVEIS S/A	BETIM	Postos de Combustíveis e Afins	-19.956.286	-44.102.869	33076	SF3	Classe 2	8	0,46	3	C	0,0355	121719,68	365159	R\$ 12.963,15	
212				-19.957.560	-44.102.598												
212				-19.957.726	-44.104.693												
212				-19.956.401	-44.104.981												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
593	IMA INDÚSTRIA DE MADEIRAS IMUNIZADAS	Contagem	Atividades Florestais e Processamento de Madeira	-19938302	-44028282	183858	SF5	Classe 3	2	0,31	10	C	0,0355	113991,96	1139920	R\$ 40.467,15	
71				-19942721	-44023440												
72				-19937295	-44025795												
73				-19943675	-44025889												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
186	NOVELIS DO BRASIL LTDA ATERROS INDUSTRIAIS	Ouro Preto	Indústria Metalúrgica	-20.408.462	-43.559.082	11253	DO1	Classe 2	30	0,4	10	C	0,0355	1350276	13502760	R\$ 479.347,98	
77	ATERROS INDUSTRIAIS E DOMÉSTICOS			-20.408.874	-43.556.150												
76				-20.411.383	-43.559.898												
78				-20.411.490	-43.556.131												
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
237	Posto Petrofiltros Ltda.	Campo Belo	Postos de Combustíveis e Afins	-20.900.395	-45.268.560	8308	GD3	Classe 2	4,59	0,46	2	C	0,0355	17541,511	35083,02	R\$ 1.245,45	
81		-20.900.818	-45.269.391														
82		-20.901.510	-45.269.027														
83		-20.901.073	-45.268.216														
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
187	NOVELIS DO BRASIL LTDA	Ouro Preto	Indústria Metalúrgica	-20.412.474	-43.525.538	10214	DO1	Classe 2	7	0,4	10	C	0,0355	28599,2	285992	R\$ 10.152,72	
86					-20.412.567												-43.524.505
87					-20.413.090												-43.525.665
88					-20.413.152												-43.524.566
Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)	
824	TRIANI E CIA LTDA	São Pedro dos Ferros	Postos de Combustíveis e Afins	-20.163.778	-42.521.785	2469	DO1	Classe 2	3	0,5	2	C	0,0355	3703,5	7407	R\$ 262,95	
91					-20.164.502												-42.521.736
92					-20.164.470												-42.521.545
93					-20.163.775												-42.521.584

94	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
95	341	Posto Curva do Retiro Ltda	Nova Lima	Postos de Combustíveis e Afins	-20.078120°	-43.982697°	14849	SF5	Classe 1	10	0,5	2	C	0,0355	74245	148490	R\$ 5.271,40
96					-20.077659°	-43.981981°											
97					-20.076616°	-43.982680°											
98					-20.077023°	-43.983555°											
99	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
100	1089	Brito & Rodrigues Ltda	Pouso Alegre	Postos de Combustíveis e Afins	-22.239.868	-45.881.655	2382	GD5	Classe 2	3	0,46	2	C	0,0355	3287,16	6574,32	R\$ 233,39
101					-22.239.680	-45.881.295											
102					-22.239.572	-45.881.178											
103					-22.239.291	-45.881.361											
104					-22.239.560	-45.881.857											
105	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
106	795	F. P. Auto Posto Ltda Nome Fantasia: Posto Veredas	Comendador Gomes	Postos de Combustíveis e Afins	-19.691.632	-49.084.541	558	GD8	Classe 2	8	0,45	2	C	0,0355	2008,8	4017,6	R\$ 142,62
107					-19.691.818	-49.084.677											
108					-19.691.899	-49.084.577											
109					-19.691.878	-49.084.464											
110					-19.691.649	-49.084.391											
111	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
112	27 a 33	ARCELOR MITTAL - ITAÚNA SIDERURGICA	Itaúna	Indústria Metalúrgica	-20.065.790	-44.595.322	323280	SF2	Classe 3	2	0,46	2	C	0,0355	297417,6	594835,2	R\$ 21.116,65
113					-20.069.149	-44.594.013											
114					-20.069.258	-44.586.792											
115					-20.065.212	-44.587.769											
116	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
117	337	Posto Cidade Nova	Betim	Postos de Combustíveis e Afins	-19.965.399	-44.197.988	17268	SF3	Classe 2	4	0,46	2	C	0,0355	31773,12	63546,24	R\$ 2.255,89
118					-19.964.793	-44.195.707											
119					-19.963.981	-44.196.074											
120					-19.964.611	-44.197.524											
121	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
122	352	POSTO E CASA MUZZI LTDA	Nova Era	Postos de Combustíveis e Afins	-19.728.416	-43.013.450	6913	DO2	Classe 2	3,1	0,5	2	C	0,0355	10715,15	21430,3	R\$ 760,78
123					-19.728.976	-43.013.433											
124					-19.729.569	-43.013.989											
125					-19.729.459	-43.014.677											
126	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
127	1073	BIOSEV S.A.	LAGOA DA PRATA	Postos de Combustíveis e Afins	-20.078.087	-45.566.429	3699	SF1	Classe 2	9	0,46	2	C	0,0355	15313,86	30627,72	R\$ 1.087,28
128					-20.078.396	-45.565.952											
129					-20.078.846	-45.566.279											
130					-20.078.529	-45.566.756											
131	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
132	1342	POSTO PANAMERA LTDA	Betim	Postos de Combustíveis e Afins	-19.965.975	-44.182.383	3516	SF3	Classe 2	10,3	0,31	2	C	0,0355	11226,588	22453,18	R\$ 797,09
133					-19.965.561	-44.182.238											
134					-19.965.675	-44.181.713											
135					-19.966.138	-44.181.522											
136	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
137	1486	NOVELIS DO BRASIL LTDA (Área da Fábrica)	Ouro Preto	Indústria Metalúrgica	-20.399.630	-43.524.102	355012	DO1	Classe 2	12	0,4	10	C	0,0355	1704057,6	17040576	R\$ 604.940,45
138					-20.403.733	-43.521.244											
139					-20.395.900	-43.516.666											
140					-20.393.697	-43.517.755											
141	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
142	188	Novelis do Brasil Ltda – Morro do Minério	Ouro Preto	Indústria Metalúrgica	-20.410.902	-43.521.949	351201	DO1	Classe 2	12	0,4	10	C	0,0355	1685764,8	16857648	R\$ 598.446,50
143					-20.407.723	-43.525.005											
144					-20.409.531	-43.515.150											
145					-20.405.037	-43.520.239											
146	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
147	807	FCA - FERROVIA CENTRO ATLÂNTICA S/A TRENS TURÍSTICOS	São João Del Rei	Ferrovia	-21.131.259	-44.250.808	30559	GD2	Classe 3	7	0,46	2	C	0,0355	98399,98	196800	R\$ 6.986,40
148					-21.131.638	-44.250.681											
149					-21.133.530	-44.257.682											
150					-21.133.782	-44.257.401											
151	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
152	1487	Gerdau Aços Longos S.A.	Contagem	Indústria Metalúrgica	-19.925.967	-44.078.843	466805	SF5	Classe 1	6	0,42	2	C	0,0355	1176348,6	2352697	R\$ 83.520,75
153					-19.924.131	-44.071.716											
154					-19.927.947	-44.068.751											
155					-19.930.355	-44.079.983											
156	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m³)	Vt (m³)	Valorcomp (R\$)
157	245	Petrolim Ltda.	Nova Lima	Postos de Combustíveis e Afins	-19.985.489	-43.844.879	2333	SF5	Classe 2	4	0,3	2	C	0,0355	2799,6	5599,2	R\$ 198,77
158					-19.985.454	-43.844.704											
159					-19.985.301	-43.844.613											
160					-19.985.358	-43.844.364											
161					-19.985.631	-43.844.270											
162					-19.985.876	-43.844.642											

251	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
252	1393	POSTO RODRIGUES MACEDO LTDA	Córrego Danta	Postos de Combustíveis e Afins	-19.665.820	-46.056.846	4579	SF4	Classe 2	9	0,46	2	C	0,0355	18957,06	37914,12	R\$ 1.345,95
253					-19.666.483	-46.056.986											
254					-19.666.386	-46.057.550											
255					-19.665.706	-46.057.400											
256	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
257	1121	Irmãos Alcantara Cia Ltda.	Uberlândia	Postos de Combustíveis e Afins	-18.902.916	-48.280.606	2186	PN2	Classe 2	3	0,45	2	C	0,0355	2951,1	5902,2	R\$ 209,53
258					-18.903.330	-48.280.486											
259					-18.903.427	-48.280.987											
260					-18.903.021	-48.280.984											
261	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
262	865	Petrobrás Distribuidora S/A CABET	Betim	Postos de Combustíveis e Afins	-19.961.018	-44.093.165	8352	SF3	Classe 2	9	0,46	5	C	0,0355	34577,28	172886,4	R\$ 6.137,47
263					-19.961.015	-44.092.630											
264					-19.962.383	-44.093.157											
265					-19.962.380	-44.092.622											
266	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
267	931	POSTO PÁDUA DE MELO COMÉRCIO E SERVIÇOS EIRELI	Alpinópolis	Postos de Combustíveis e Afins	-20.863.900	-46.385.451	1521	GD7	Classe 2	4	0,4	2	C	0,0355	2433,6	4867,2	R\$ 172,79
268					-20.863.957	-46.385.125											
269					-20.864.288	-46.385.541											
270					-20.864.325	-46.385.513											
271					-20.864.390	-46.385.292											
272	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
273	1261	REDE DE POSTOS SETE ESTRELAS LTDA.	Itajubá	Postos de Combustíveis e Afins	-22.425.846	-45.466.404	1900	GD5	Classe 2	7,4	0,46	2	C	0,0355	6467,6	12935,2	R\$ 459,20
274					-22.426.145	-45.466.114											
275					-22.426.089	-45.466.706											
276					-22.426.406	-45.466.435											
277	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
278	827	USIMINAS - USINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS	Ipatinga	Indústria Metalúrgica	-19.491.553	-42.536.401	49493	DO2	Classe 2	15	0,3	2	C	0,0355	222718,5	445437	R\$ 15.813,01
279					-19.490.306	-42.535.677											
280					-19.491.661	-42.533.057											
281					-19.492.908	-42.533.780											
282	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
283	1890	NOVELIS DO BRASIL LTDA	Ouro Preto	Indústria Metalúrgica	-20.388.882	-43.517.864	92556	DO1	Classe 2	12	0,4	10	C	0,0355	444268,8	4442688	R\$ 157.715,42
284					-20.386.196	-43.515.437											
285					-20.387.446	-43.512.646											
286					-20.389.794	-43.514.741											
287					-20.388.220	-43.515.465											
288	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
289	828	USIMINAS - USINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS	Ipatinga	Indústria Metalúrgica	-19.485.251	-42.521.289	155756	DO2	Classe 2	26	0,3	2	C	0,0355	1214896,8	2429794	R\$ 86.257,67
290					-19.484.181	-42.521.610											
291					-19.483.411	-42.518.794											
292					-19.484.581	-42.518.509											
293					-19.483.804	-42.511.932											
294					-19.485.361	-42.510.213											
295	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
296	294	PETROVIA COMÉRCIO DE COMBUSTÍVEIS LTDA	Conselheiro Lafaiete	Postos de Combustíveis e Afins	-20.658.710	-43.786.828	2926	SF3	Classe 2	6	0,5	2	C	0,0355	8778	17556	R\$ 623,24
297					-20.649.628	-43.787.802											
298					-20.658.439	-43.786.821											
299					-20.658.336	-43.787.685											
300	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
301	297	PLÁSTICOS MUELLER S/A INDÚSTRIA E COMÉRCIO	Matosinhos	Indústria Química	-19.560.397	-44.089852°	61824	SF5	Classe 2	14	0,32	10	C	0,0355	276971,52	2769715	R\$ 98.324,89
302					-19.560387°	-44.087862°											
303					-19.557772°	-44.087800°											
304					-19.557710°	-44.089809°											
305	Código	NOME EMPREENDIMENTO	Cidade	Atividade	Latitude	Longitude	Área em m²	Bacia	Bacia	hc	n	t (anos)	Zona	PPUcap	Vrest (m3)	Vt (m3)	Valorcomp (R\$)
306	18	ANGLOGOLD ASHANTI MINERAÇÃO LTDA - DEPÓSITO MADEIRAS	Nova Lima	Mineração			2080000	SF5	Classe 2	24	0,46	1,5	C	0,0355	22963200	34444800	R\$ 1.222.790,40
307	19																
308																	
309																	
310																	
																TOTAL:	R\$ 4.001.698,64

Fonte: Autoria própria