

USO INTENSIVO DO AQUIFERO CÁRSTICO EM COLOMBO-PR ATRAVÉS DE POÇOS TUBULARES: RISCOS E DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

*INTENSIVE USE OF THE KARST AQUIFER IN COLOMBO-PR THROUGH TUBULAR
WELLS: RISKS AND CHALLENGES FOR WATER SUSTAINABILITY*

*USO INTENSIVO DEL ACUÍFERO KÁRSTICO EN COLOMBO-PR A TRAVÉS DE POZOS
TUBULARES: RIESGOS Y DESAFÍOS PARA LA SOSTENIBILIDAD HÍDRICA*

Ana Carolina Kowalski Friesen¹
André Francisco Matsuno Da Frota²

Resumo

A exploração intensiva dos recursos hídricos no município de Colombo, Paraná, tem gerado impactos ambientais e socioeconômicos devido à superexploração do aquífero cárstico local. O rebaixamento do nível freático, subsidência do solo e degradação da qualidade da água são algumas das consequências desse processo. As mudanças climáticas, como os períodos de estiagem prolongados entre 2019 e 2021, agravam a situação, tornando ainda mais urgente a gestão sustentável desses recursos. O objetivo deste trabalho é analisar os efeitos da superexploração do aquífero, identificar estratégias de gestão sustentável e propor medidas baseadas em estudos hidrogeológicos e políticas públicas, utilizando abordagem qualitativa e quantitativa. A pesquisa visa contribuir para o planejamento eficaz e sustentável da exploração da água subterrânea na região, fornecendo subsídios para a preservação do aquífero cárstico.

Palavras-chave: superexploração; aquífero cárstico; gestão sustentável; impactos ambientais; mudanças climáticas.

Abstract

The intensive exploitation of water resources in the municipality of Colombo, Paraná, has caused environmental and socioeconomic impacts due to the overexploitation of the local karst aquifer. Groundwater level decline, land subsidence, and water quality degradation are some of the consequences of this process. Climate change, such as the prolonged drought periods between 2019 and 2021, has worsened the situation, making the sustainable management of these resources even more urgent. This study aims to analyze the effects of aquifer overexploitation, identify sustainable management strategies, and propose measures based on hydrogeological studies and public policies, using both qualitative and quantitative approaches. The research seeks to contribute to the effective and sustainable planning of groundwater exploitation in the region, providing support for the preservation of the karst aquifer.

Keywords: overexploitation; karst aquifer; sustainable management; environmental impacts; climate change.

Resumen

La explotación intensiva de los recursos hídricos en el municipio de Colombo, Paraná, ha generado impactos ambientales y socioeconómicos debido a la sobreexplotación del acuífero kárstico local. El descenso del nivel freático, la subsidencia del suelo y la degradación de la calidad del agua son algunas de las consecuencias de este proceso. El cambio climático, como los períodos de sequía prolongados entre 2019 y 2021, agrava la situación, haciendo aún más urgente la gestión sostenible de estos recursos. El objetivo de este trabajo es analizar los efectos de la sobreexplotación del acuífero, identificar estrategias de gestión sostenible y proponer medidas basadas en estudios hidrogeológicos y políticas públicas, utilizando un enfoque cualitativo y cuantitativo. La investigación

¹ Bacharel em Geografia no Centro Universitário Internacional Uninter.

² Professor no Centro Universitário Internacional Uninter.

busca contribuir a la planificación eficaz y sostenible de la explotación del agua subterránea en la región, proporcionando insumos para la preservación del acuífero kárstico.

Palabras clave: sobreexplotación; acuífero kárstico; gestión sostenible; impactos ambientales; cambio climático.

1 Introdução

A exploração intensiva dos recursos hídricos tem se tornado um grande desafio para a gestão ambiental e urbana, especialmente em regiões onde os aquíferos cársticos desempenham um papel fundamental no abastecimento de água. No município de Colombo, Paraná, a crescente demanda por água tem levado à superexploração do aquífero local, resultando em impactos ambientais e socioeconômicos significativos. O rebaixamento do nível freático, a subsidência do solo e a degradação da qualidade da água são algumas das consequências desse processo, afetando tanto a população quanto os ecossistemas que dependem desse recurso. Diante dessa realidade, torna-se essencial compreender os efeitos dessa superexploração e identificar estratégias eficazes para garantir a sustentabilidade do aquífero a longo prazo. Além disso, as recentes mudanças climáticas, como os períodos de estiagem prolongados entre 2019 e 2021, agravam a situação, tornando ainda mais urgente a necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos da região.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo analisar os impactos ambientais e socioeconômicos da superexploração do aquífero cárstico em Colombo, identificando estratégias para a sua gestão sustentável. Para isso, pretende-se investigar as principais causas e consequências da extração excessiva de água subterrânea, avaliar os efeitos desse estresse sobre a qualidade e disponibilidade hídrica e propor medidas de regulamentação e manejo baseadas em estudos hidrogeológicos e políticas públicas existentes.

A metodologia adotada combina abordagens qualitativas e quantitativas. O estudo baseia-se em revisão bibliográfica, pesquisa documental e análise de dados secundários provenientes de órgãos como o IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e o Instituto Água e Terra do Paraná (IAT-PR). A interpretação dos resultados será realizada por meio de análise estatística. Dessa forma, busca-se uma compreensão ampla dos impactos da superexploração do aquífero, fundamentando propostas para um manejo sustentável.

A fundamentação teórica do estudo considera pesquisas sobre aquíferos cársticos e a importância da gestão hídrica sustentável. Estudos como os de Stevanović e Stevanović (2021, p. 13-14) destacam o papel crucial dessas formações na segurança hídrica global. Além disso, Mantovani, Fritzsons e Werege (2016, p. 191-204) discutem os desafios do abastecimento de água em áreas urbanas e Lisboa e Bonacim (2002, p. 2-17) analisam os impactos ambientais da

captação intensiva de água subterrânea. No contexto geológico, Andrade, Mariano e Gomes (2018, p. 48-57) descrevem as características do aquífero Karst, que abastece a Região Metropolitana de Curitiba, enquanto Vestena, Kobiyama e Santos (2002, paginação irregular) abordam os problemas da subsidência do solo associados à extração excessiva de água.

Este trabalho está estruturado de forma a fornecer uma visão abrangente do tema. Inicialmente, apresenta-se o contexto da pesquisa, seguido da metodologia adotada para a coleta e análise dos dados. Em seguida, são discutidos os impactos ambientais e socioeconômicos da superexploração do aquífero, relacionando-os à fundamentação teórica. Por fim, propõem-se estratégias para a gestão sustentável deste recurso hídrico, contribuindo para o desenvolvimento de políticas públicas e ações voltadas à preservação do aquífero cárstico. Espera-se que os resultados desta pesquisa auxiliem na conscientização sobre a importância da preservação dos recursos hídricos, fornecendo subsídios para um planejamento mais eficaz e sustentável da exploração da água subterrânea na região.

2 Metodologia

A metodologia adotada para este trabalho foi de abordagem qualitativa e quantitativa, com caráter bibliográfico e documental. A pesquisa buscou compreender os impactos da superexploração do aquífero cárstico em Colombo, Paraná, e propor estratégias para sua gestão sustentável, utilizando uma revisão de literatura e análise de documentos oficiais. A pesquisa bibliográfica envolveu a seleção de artigos científicos, livros e relatórios sobre a gestão de recursos hídricos e aquíferos cársticos, priorizando publicações mais recentes. A pesquisa documental focou na coleta de portarias e legislações relacionadas à exploração hídrica subterrânea em âmbito nacional, estadual e municipal. Foram usados dados do IBGE, como o Censo 2022, informações da Prefeitura de Colombo e relatórios do IPARDES (2023, p. 2-51). Também foram utilizadas fontes de dados sobre clima e estiagem na região, como o estudo de CNA (Confederação de Agricultura e Pecuária no Brasil) e da ANA (Agência Nacional De Águas). O livro de Reinhard Maack, fez-se presente para auxílio e compreensão de aspectos fisiográficos do Paraná. A pesquisa quantitativa foi realizada com a coleta de registros de portarias do IAT relacionadas à exploração de águas subterrâneas no município de Colombo, entre os anos de 2018 e 2024, e envolveu documentos como Anuências, Outorgas Prévias, Outorgas de Direito e de Uso Independente de Outorga relacionados a perfurações subterrâneas em Colombo.

Dessa forma, a pesquisa combinou a revisão e análise de fontes bibliográficas e documentais, com ênfase na coleta e interpretação de dados atualizados sobre o uso e gestão da água em Colombo, Paraná.

3 Revisão bibliográfica/estado da arte

3.1 Localização

Colombo é um município brasileiro localizado no estado do Paraná, integrando a Região Metropolitana de Curitiba, também chamada de Grande Curitiba. Situada a aproximadamente 18 km da capital paranaense, Colombo possui uma área total de 197,58 km², dos quais 59,41 km² correspondem à zona urbana e 138,17 km² à zona rural (IBGE, 2022, sem paginação). O município faz divisa com Rio Branco do Sul ao norte, Bocaiúva do Sul a nordeste, Pinhais ao sul, Quatro Barras a sudeste, Campina Grande do Sul a leste, Curitiba a sudoeste e Almirante Tamandaré a oeste. Localiza-se a 25°17'30" de latitude sul e 49°13'27" de longitude oeste, a uma altitude de 1.027 metros.

As principais vias de acesso que conectam o município de Colombo a outras cidades e estados do país desempenham um papel fundamental na mobilidade regional. A BR-116, no sentido São Paulo, atravessa a parte sul do município, proporcionando ligação a Campina Grande do Sul e Quatro Barras, onde se encontra a conexão com a Estrada da Graciosa. No sentido sul, a rodovia segue em direção a Curitiba, permitindo o acesso a importantes rodovias como a BR-277, BR-376 e BR-476. A BR-476, também conhecida como Estrada da Ribeira, corta Colombo no sentido norte-sul, conectando o município a Bocaiúva do Sul ao norte e à BR-116 e Curitiba ao sul. Já a PR-417, denominada Rodovia da Uva, é uma via essencial que liga a sede do município à capital do estado, Curitiba. Além disso, a PR-509, ou Contorno Norte Interno, estabelece a conexão entre a PR-417 (Rodovia da Uva) e a PR-92 (Rodovia dos Minérios). Por fim, o Contorno Norte Externo liga a sede de Colombo ao município vizinho de Almirante Tamandaré, contribuindo para a integração viária da região.

3.2 Aspectos gerais

Em 2022, Colombo contava com uma população estimada de 232.212 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 1.175,28 habitantes por quilômetro quadrado. A projeção do IBGE para 2024 é que a população de Colombo chegue a 240.720 habitantes (IBGE, 2022, sem paginação).

Segundo dados do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2021, p. 29-51), a distribuição do Produto Interno Bruto (PIB) de Colombo reflete uma diversidade econômica, com participações significativas dos setores de serviços, indústria e agropecuário. o Produto Interno Bruto (PIB) do município atingiu R\$ 4,95 bilhões, sendo que a maior parte do Valor Adicionado Bruto (VAB) provém do comércio e serviços (R\$ 2,06 bilhões), seguido pela indústria (R\$ 1,08 bilhão) e pela administração pública (R\$ 1,03 bilhão). A agropecuária, embora menos expressiva, contribuiu com R\$ 111,2 milhões para a economia local. A produção mineral em Colombo apresenta relevância econômica, especialmente na extração de rochas carbonáticas e brita. Esses dados demonstram que Colombo possui uma economia dinâmica, impulsionada principalmente pelo setor terciário, com forte participação do comércio e serviços, e pelo setor secundário, com indústrias de transformação bem estabelecidas.

3.3 Aspectos fisiográficos

3.3.1 Relevo e altitude

A paisagem que observamos atualmente é fruto de milhões de anos de evolução e de transformações geológicas contínuas. O relevo e o solo de Colombo têm sua origem na Era Pré-Cambriana, um período que se estendeu de aproximadamente 2 bilhões a 600 milhões de anos atrás. A região está inserida nas unidades geomorfológicas conhecidas como Planalto de Curitiba e Planalto Dissecado de Tunas do Paraná, caracterizadas por superfícies suavemente onduladas, áreas de dissecação acentuada e presença de formações geológicas antigas (Leivas; França, 2019, p. 26-27).

O relevo do município é marcado por uma combinação de terrenos elevados e vales profundos, moldados por processos erosivos ao longo do tempo. A topografia varia entre planaltos suavemente inclinados e regiões mais acidentadas, resultado da ação de agentes externos como a chuva e os rios que cortam o território. Além disso, a presença de formações cársticas em algumas áreas contribui para a ocorrência de cavernas e dolinas, fenômenos comuns em solos calcários. Esses aspectos do relevo influenciam diretamente o uso da terra, a ocupação urbana e as atividades econômicas desenvolvidas no município (Leivas; França, 2019, p. 27-31).

Localizado no Primeiro Planalto, Colombo é considerado bastante ondulado com altitudes variando de 893 à 1.201, tendo como ponto culminante o Morro da Cruz.

3.3.2 Geologia e solos

As rochas da Era Pré-Cambriana, presentes na região de Colombo, incluem gnaisses-migmatíticos, filitos, quartzitos, metassedimentos, mármore calcíticos e dolomíticos, que desempenham um papel fundamental na formação e manutenção do Aquífero Carste, além de possibilitarem a existência de grutas, como a Gruta do Bacaetava. Esses tipos de rochas, juntamente com o relevo local, contribuem para as características geológicas e hidrológicas da região.

No Brasil, são reconhecidas treze ordens de solo, porém nem todas estão presentes no estado do Paraná. Em Colombo, identificam-se sete tipos principais de solo, cada um com suas variações. Entre eles, destacam-se os Neossolos, Latossolos (nas classificações Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro), Argissolos, Nitossolos, Cambissolos e Organossolos. Essas características edáficas influenciam diretamente a vegetação e o uso do solo no município (Leivas; França, 2019, p. 29). Os solos de Colombo apresentam textura argilosa e são bem desenvolvidos, caracterizando-se por horizontes A e B profundos. Na base das encostas, predominam os Cambissolos distróficos, enquanto nas superfícies aplainadas dos vales ocorrem Cambissolos latossólicos álicos, Cambissolos argilosos e Cambissolos hidromórficos gleyzados, frequentemente associados a formações geológicas compostas por filitos e mármore (Hindi *et al.*, 2002, p. 3).

Colombo tem como rochas mais antigas, Arqueano- Proterozóico Inferior, rochas do embasamento cristalino caracterizadas por gnáisses-migmatíticos, com intercalações variadas de metassedimentos. Sobre o embasamento temos o Supergrupo Açungui é composto pelas seguintes unidades geológicas: Grupo Itaiacoca, Formação Água Clara, Grupo Votuverava (Subgrupo Lajeado e Subgrupo Ribeira), Formação Capiu e Grupo Setuva (Campanha; Sadowski, 1999, sem paginação).

Os mármore dolomíticos da Formação Capiu, pertencente ao Grupo Açungui, formam a base litológica do "Aquífero Karst", essencial para a manutenção dos sistemas hídricos subterrâneos na região. Esses mármore, característicos da formação, são fundamentais para a estruturação do aquífero, permitindo o armazenamento e a movimentação da água subterrânea (Hindi *et al.*, 2002, p. 5).

3.3.3 Hidrografia

O município de Colombo possui uma ampla rede de riachos que deságuam nos principais rios da região, como descrevem Leivas e França (2019, p. 32), continuam citando os que entre os principais rios do município, destacam-se o Rio Bacaetava, que recebe as águas do Rio Água Comprida; o Rio Capivari, alimentado pelo Arroio Rathiel e pelo Ribeirão das Onças; o Rio Canguiri; o Rio Palmital, que recebe contribuição do Rio Cachoeira; além do Rio Morro Grande, Rio Atuba e Rio Arroio Arruda. Os principais rios de Colombo são alimentados por uma rede interligada de riachos e rios menores, que, em nível regional, integram duas grandes bacias hidrográficas: a do Rio Iguaçu e a do Rio Ribeira. A Bacia do Iguaçu se subdivide em quatro sub-bacias: Atuba, Barigui, Iraí e Palmital. Já a Bacia do Ribeira conta com uma única sub-bacia, a do Rio Pardo. Essas bacias hidrográficas abrangem diversos bairros do município, e sua distribuição pode ser observada em mapas específicos da região.

Leivas e França (2019, p. 34) mostram que a sub-bacia do Rio Barigui é a menor bacia do município, com uma área de 3,6 km², abrangendo apenas o bairro Uvaranal, na divisa com o município de Almirante Tamandaré. O principal rio dessa sub-bacia, o Rio Barigui, não atravessa o território de Colombo. Já as águas da Bacia do Rio Capivari abastecem a Bacia do Ribeira, situada ao norte do município. As demais bacias hidrográficas de Colombo contribuem para a Bacia do Alto Iguaçu, que, por sua vez, abastece o Rio Paraná, localizado ao sul. A Bacia do Rio Canguiri se destaca por ser a única protegida por uma Área de Proteção Ambiental (APA) do Iraí. A sub-bacia do Rio Atuba, que faz divisa com Almirante Tamandaré e Curitiba, foi utilizada até a década de 1970 para a captação de água. No entanto, devido à poluição, foi abandonada como manancial de abastecimento.

O município de Colombo possui uma significativa reserva de água subterrânea, conhecida como o Aquífero Carste, além da água superficial. Esse aquífero está associado a rochas carbonáticas, que são compostas por minerais como a calcita (CaCO₃) e a dolomita (CaMg(CO₃)₂). A extensão lateral do Aquífero Carste é de aproximadamente 15 km, com uma área total de 4.500 km², abrangendo vários municípios, como Campo Magro, Campo Largo, Almirante Tamandaré, Itaperuçu, Rio Branco do Sul, Colombo, Bocaiúva do Sul, Cerro Azul, Tunas do Paraná, Doutor Ulisses, Adrianópolis, além de Castro e Ponta Grossa, situados ao norte da Região Metropolitana de Curitiba (Leivas; França, 2019, p. 36)

Leivas e França (2019, p. 36) ainda colocam que em Colombo, o Aquífero Carste está localizado ao norte, na Sub-bacia do Ribeira, em áreas rurais, e ocupa cerca de 8.677 hectares, representando aproximadamente 44% do território municipal. Já os outros bairros de Colombo estão localizados em uma unidade aquífera diferente, chamada de Pré-Cambriana. Essa unidade

é um depósito de água subterrânea que se formou durante a Era Pré-Cambriana e possui uma origem distinta da do Aquífero Karst.

3.3.4 Vegetação

A vegetação do estado do Paraná é predominantemente composta pelo Bioma Mata Atlântica, abrangendo diferentes formações vegetais conhecidas como fitofisionomias. Entre elas, destacam-se a Floresta Ombrófila Densa, a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Ombrófila de Terras Baixas, que variam em nomenclatura e extensão conforme a classificação adotada. O município de Colombo está inserido nesse bioma e apresenta duas fitofisionomias principais: a Floresta Ombrófila Mista, com suas variações, e os Campos Naturais (Leivas; França, 2019, p. 40).

A Floresta Ombrófila Mista se caracteriza por sua vegetação composta por espécies de folhas largas e perenes, além de elevada umidade devido às chuvas frequentes ao longo do ano. Essa formação florestal é marcada pela presença do Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*), espécie símbolo da região. Em Colombo, essa fitofisionomia apresenta variações conforme a altitude e a proximidade de corpos d'água, sendo classificada em diferentes tipos como Floresta Ombrófila Mista Aluvial – Associada à rede hidrográfica ao sul do município, na divisa com Pinhais. Floresta Ombrófila Mista Montana – Ocorre em altitudes entre 400 e 1.000 metros, principalmente ao norte, em direção às divisas com Bocaiúva do Sul e Rio Branco do Sul. Floresta Ombrófila Mista Submontana que é encontrada em diferentes áreas do município, em altitudes inferiores a 400 metros. Floresta Ombrófila Mista Altomontana presente em pontos mais elevados de Colombo, acima de 1.000 metros de altitude. Além da Floresta Ombrófila Mista, Colombo também abriga áreas de Campos Naturais, uma fitofisionomia de ocorrência restrita no Paraná, cobrindo menos de 8,4% da vegetação do estado. Esses campos são caracterizados por vegetação rasteira composta por gramíneas e arbustos lenhosos, formando um ambiente aberto. No município, os Campos Naturais estão concentrados na região central, sudoeste e oeste, em áreas limítrofes com os municípios de Campina Grande do Sul, Piraquara, Quatro Barras, Pinhais, Curitiba e Almirante Tamandaré (Leivas; França, 2019, p. 41).

3.3.5 Clima

Segundo Maack (2017, p. 244) Colombo enquadra-se na chamada Zona de Clima Quente-Temperado Subtropical, fresco até no frio do Inverno, no Primeiro Planalto Paranaense.

Na classificação de W. Köppen Cfb: sempre úmido, clima pluvial quente- temperado, o mês mais quente <22°C, onze meses >10°, raramente neve.

Em Colombo, o período mais quente do ano se estende por aproximadamente 3,8 meses, entre 30 de novembro e 24 de março, quando as temperaturas máximas diárias ultrapassam, em média, os 24 °C. Fevereiro é o mês de maior calor, apresentando temperaturas médias que variam entre 18 °C e 25 °C. Já a estação mais fria perdura por cerca de 2,9 meses, de 13 de maio a 10 de agosto, caracterizando-se por temperaturas máximas diárias abaixo de 20 °C. O ápice do frio ocorre em julho, quando as temperaturas oscilam entre 10 °C e 19 °C, tornando esse o mês mais frio do ano na cidade (Climatempo, 2025, sem paginação).

A precipitação em Colombo apresenta uma distribuição variável ao longo do ano, com os meses de verão concentrando os maiores índices pluviométricos. Janeiro se destaca como o mês mais chuvoso, registrando uma média de 242 mm de precipitação, seguido por fevereiro, com 195 mm. A partir de março, há uma redução gradativa, atingindo o menor volume de chuvas em agosto, quando a média mensal é de 72 mm. Os meses de outono e inverno apresentam os menores índices pluviométricos do ano, com abril registrando 76 mm e julho 88 mm, caracterizando um período mais seco. No entanto, a precipitação volta a aumentar gradualmente a partir de setembro, atingindo 129 mm e mantendo-se relativamente constante até dezembro, quando os valores voltam a subir para 168 mm. As médias climatológicas apresentadas foram calculadas a partir de uma série de dados observados ao longo de 30 anos, o que permite identificar padrões e tendências no comportamento do clima da região.

3.4 Definições e legislação

Segundo a Constituição Federal de 1988 art. 20

São bens da União: III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais. IX - os recursos minerais, inclusive os do subsolo.

Art. 26 - Incluem-se entre os bens dos Estados: I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União (Brasil, 1988, sem paginação)

Segundo definição do IAT (Instituto Água e Terra do Paraná, ca2022, sem paginação), aquífero é uma formação geológica em que a água pode ser armazenada e que possua permeabilidade suficiente para permitir seu escoamento. Portanto, para ser considerado um aquífero, uma rocha ou sedimento deve ter porosidade suficiente para armazenar água, e os poros ou espaços vazios possuírem dimensões suficientes para permitir que a água escoe de um

lugar a outro, sob a ação de um diferencial de pressão hidrostática. Na Resolução CONAMA nº 396 de 03/04/2008 art. 2º “aquífero: corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos;” e “águas subterrâneas: águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo;”

De acordo com a lei 9.433/97 Art. 49.

Constitui infração das normas de utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos: I - derivar ou utilizar recursos hídricos para qualquer finalidade, sem a respectiva outorga de direito de uso; II - iniciar a implantação ou implantar empreendimento relacionado com a derivação ou a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que implique alterações no regime, quantidade ou qualidade dos mesmos, sem autorização dos órgãos ou entidades competentes (Brasil, 1997, sem paginação)

Aquíferos Cársticos são aquíferos formados em rochas carbonáticas, considerados de porosidade secundária. Constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado, onde as fraturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem atingir aberturas muito grandes, criando verdadeiros rios subterrâneos. No Estado do Paraná, um exemplo típico desse aquífero ocorre na região metropolitana de Curitiba, abrangendo principalmente os municípios de Almirante Tamandaré, Colombo, Campo Magro, Rio Branco do Sul, Campo Largo e Bocaiúva do Sul (IAT, ca2022, sem paginação).

As águas subterrâneas apresentam características únicas que as diferenciam das águas superficiais. Um de seus principais atributos é o armazenamento elevado, que ocorre em grandes volumes no subsolo, permitindo uma ampla distribuição territorial. O fluxo das águas subterrâneas é lento, medido em centímetros por dia, o que resulta em um longo tempo de residência, permitindo que essas águas se estabilizem e mantêm uma qualidade pouco variável ao longo do tempo. Além disso, as águas subterrâneas possuem um caráter tridimensional, ou seja, estão distribuídas em diferentes profundidades no solo, o que as torna mais difíceis de acessar de forma uniforme (ANA, 2020, p. 14).

Por serem armazenadas em um meio heterogêneo, segundo a ANA (2020, p. 38-39), as águas subterrâneas apresentam variações em termos de composição, dependendo das características geológicas da região. Apesar de sua qualidade ser geralmente constante, essas águas são moderadamente vulneráveis à contaminação, com riscos que podem ser minimizados por uma gestão adequada. No entanto, uma vez contaminadas, a descontaminação das águas subterrâneas é uma tarefa difícil e, em muitos casos, pode ser considerada inviável. O

aproveitamento dessas águas é, por sua vez, modular e progressivo, permitindo que o uso seja ajustado conforme a necessidade.

Já as águas superficiais têm um armazenamento reduzido e fluxo rápido, medido em metros por segundo, o que resulta em um curto tempo de residência. Esse tipo de água tende a ser concentrado em territórios específicos, com maior variabilidade meteórica, ou seja, sua quantidade e qualidade são fortemente influenciadas pelas condições climáticas e pelas chuvas. As águas superficiais também apresentam uma qualidade mais variável, com maior suscetibilidade à contaminação devido à proximidade com fontes de poluição, como resíduos industriais e urbanos. Por outro lado, a descontaminação das águas superficiais é menos onerosa e mais viável em comparação às águas subterrâneas, embora ainda exija grandes investimentos em infraestrutura. O aproveitamento dessas águas, por sua vez, requer grandes obras, como barragens e sistemas de tratamento, para garantir a potabilidade e a distribuição adequada (ANA, 2020, p. 42).

Essas diferenças entre águas subterrâneas e superficiais evidenciam a importância de uma gestão cuidadosa e estratégica dos recursos hídricos, considerando as particularidades de cada tipo de água e as necessidades locais.

A Resolução N.º 03 / 2010 do Conselho Gestor dos Mananciais da Região Metropolitana de Curitiba – CGM – RMC (2010) aprovou a criação da Câmara Técnica para a Gestão Integrada da Região do Aquífero Karst na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), com a finalidade de exercer funções consultivas em relação aos órgãos do poder executivo municipal, estadual e federal. A Câmara terá competências deliberativas para a gestão do espaço relacionado ao Aquífero Karst na RMC, com o objetivo de promover uma administração eficaz, coordenada e sustentável dos recursos hídricos subterrâneos da região, garantindo a proteção e a preservação do aquífero, além de incentivar a integração entre as diversas esferas de governo e a sociedade civil. No Decreto Estadual 3.411/2008 art. 10 fica estabelecido:

Para fins de gestão, controle e proteção, obrigatoriamente deverão ser analisados e aprovados pelo Grupo Integrado de Apoio Técnico - GIAT os processos de licenciamento ambiental cujos empreendimentos, obras ou serviços estarão localizados em Áreas de Interesse de Mananciais da RMC, tais como a extração de água subterrânea na área de abrangência do Aquífero Subterrâneo Karst, cujo processo deverá ser precedido de análise técnica que considere os riscos geológicos e a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas, em especial em relação às ocupações pré-existentes (Paraná, 2008, sem paginação)

A Lei Orgânica do município de Colombo Lei nº 1.705/2022 que Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo Municipal de Colombo e dá outras providências no seu art. 15 parágrafo 3º:

Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo, e toda a legislação ambiental e urbanística municipal, observarão obrigatoriamente a legislação estadual condizente à preservação do Aquífero Karst e das bacias de mananciais metropolitanos, como as diretrizes e requisitos estabelecidos pelos Decretos Estaduais nº 4.435/2016 e nº 745/2015, bem como suas alterações, ou outros que venham a substituí-los (Colombo, 2022, sem paginação)

Em seu art. 17 item IV “controlar, recuperar e preservar áreas de fragilidade ambiental, incluindo as áreas de mananciais e do Aquífero Karst;”. No art. 18 parágrafo 1º:

Todas as atividades nas áreas de fragilidade ambiental deverão atender à legislação estadual condizente à preservação do Aquífero Karst e das bacias de mananciais metropolitanos, como os Decretos Estaduais Nº 4.435/2016 e Nº 745/2015, bem como suas alterações, evitando-se a contaminação do meio físico e a sobrecarga do solo cárstico.” Ainda no art. 18 parágrafo 2º “As políticas públicas e a gestão de usos e da ocupação do solo rural de Colombo nas áreas de fragilidade ambiental, terão como objetivos: III - vetar usos e formas de ocupação do solo potencialmente poluidores, em especial os que ameaçam a qualidade dos recursos hídricos do Aquífero Karst e das bacias de mananciais; IV - proibir o uso de agrotóxicos, adubos e agroquímicos capazes de produzir poluição química e bacteriológica nas áreas de influência direta e indireta do Aquífero Karst (Colombo, 2022, sem paginação)

Ainda na Lei nº 1.705/2022 considerando áreas de Alta Fragilidade Ambiental e do Aquífero Karst no art. 33, 34, 35 e 36 fazem-se considerações a respeito do uso e a ocupação do solo em Colombo onde devem se considerar áreas de alta fragilidade ambiental, incluindo bacias de mananciais e áreas de influência do Aquífero Karst, sujeitas a restrições. A ocupação dessas áreas deve seguir legislações estaduais, exigências de licenciamento ambiental e normas da Câmara Técnica de Gestão Integrada do Aquífero Karst.

3.5 Aquífero cárstico e riscos ambientais

Como esclarecido anteriormente, o clima em Colombo é subtropical úmido porém, há algumas décadas e mais enfaticamente há pouco menos de 10 anos o clima tem mudado substancialmente, como relatado pela CNA (Confederação de Agricultura e Pecuária no Brasil), no final de 2019, já se desenhava um cenário de seca que se estendeu por 2020. Ao encerrar 2021 e iniciar 2022, a crise foi ainda mais grave, com perdas de produtividade que chegam a 75% em algumas regiões, impactando fortemente a cultura agrícola do Estado. No período de 2019 a 2021 segundo o agrometeorologista Marshall Santos em entrevista para a CNA o Paraná estava sob os efeitos do La Niña. Entre 2019 e 2021, o Paraná enfrentou uma crise hídrica, reconhecida pela Agência Nacional de Águas (ANA), que declarou escassez quantitativa de recursos hídricos. A ANA se apoiou em um Alerta de Emergência Hídrica emitido pelo Sistema

Nacional de Meteorologia (SNM) em maio de 2021, devido à previsão de chuvas abaixo da média entre junho e setembro daquele ano.

Através de um levantamento de dados feito no portal do IAT usando-se de relatórios mensais, entre os anos de 2018 e 2024, a perfuração de poços subterrâneos em Colombo seguiu um padrão crescente de movimentações, envolvendo anuências, outorgas prévias, outorgas de direito e Uso independente de Outorga. Em 2018, foram registradas 5 outorgas de direito. No ano seguinte, houve um aumento significativo, totalizando 12 outorgas de direito. Em 2020, ocorreram 9 movimentações, sendo 6 outorgas de direito e 3 anuências prévias. Já em 2021, as movimentações chegaram a 30 poços, dentre estas com 9 anuências concedidas. No ano de 2022, foram registradas 27 movimentações de perfurações de poços, das quais 9 foram anuências. Em 2023, o número de movimentações foi de 21 poços, com 8 anuências concedidas. Finalmente, em 2024, foram 18 movimentações, incluindo 7 anuências. Esses números demonstram uma atividade constante de perfuração de poços subterrâneos no município, refletindo a demanda crescente pelo uso dos recursos hídricos subterrâneos (IAT, ca2025, sem paginação)

Os aquíferos cársticos são formados por processos complexos que envolvem fatores litoestruturais, geomorfológicos, biológicos e climáticos, modificando as características hidrogeológicas originais da rocha, como a porosidade e a condutividade hidráulica. Nesses aquíferos, o armazenamento e o fluxo da água ocorrem em condutos gerados pela dissolução das rochas carbonáticas, causada pela circulação de água enriquecida em dióxido de carbono ao longo de fraturas e planos de acamamento. Como a distribuição dessas fraturas e superfícies de acamamento é geralmente irregular, os aquíferos cársticos apresentam um meio altamente heterogêneo e anisotrópico, resultando em variações significativas na movimentação da água subterrânea (Hindi *et al.*, 2002, p. 6). A recarga do aquífero cárstico ocorre principalmente por infiltração difusa, tanto autogênica quanto alogênica, a partir da precipitação atmosférica que se infiltra através do manto de intemperismo. O tempo necessário para que a precipitação influencie a variação do nível da água no aquífero é relativamente curto, com uma média de aproximadamente 45 dias na bacia do Fervida e 75 dias na bacia do Tumiri. Embora se reconheça o potencial hídrico armazenado, ainda há incertezas quanto ao volume de água que pode ser extraído sem causar impactos ambientais e sociais, o que representa um dos principais desafios para a exploração do aquífero (Hindi *et al.*, 2002, p. 7).

Em relação aos contaminantes de origem antropogênica, os poços perfurados na região e analisados como o da bacia do Tumiri e da bacia do Fervida apresentaram concentrações de bactérias coliformes totais de 7,4 NMP e 121,1 NMP, respectivamente. O poço de Fervida

apresentou teores de NO_3^- de 8,3 mg/l e 10,1 mg/l. Os níveis de nitrato (NO_3^-) encontrados no poço P-12 (Fervida), de 8,3 mg/l e 10,1 mg/l, estão próximos do limite estabelecido pela OMS de 10 mg/l para água potável. Esses valores indicam possível contaminação por esgoto ou fertilizantes, sendo importante o monitoramento e, se necessário, o tratamento da água para garantir a segurança no consumo (Hindi *et al.*, 2002, p. 8).

Entre 1995 e 1998, a região enfrentou vários casos de subsidência e colapso de terreno nas bacias dos rios Tumiri e Fervida, resultando em rachaduras em estradas e danos em residências. Esses fenômenos foram associados ao bombeamento de poços, mas os efeitos climáticos também não podem ser descartados, já que não há dados suficientes para correlacionar a precipitação com a variação do nível de água no aquífero (Hindi *et al.*, 2002, p. 9). O bombeamento de poços de testes provocou o secamento de fontes importantes, e outras, afetando o abastecimento doméstico e a irrigação. Além disso, o bombeamento dos poços, analisados por Hindi *et al.* em (2002, p. 9) causou o secamento de uma fonte e solapamentos no terreno, impactando pequenas propriedades, houve rachaduras e depressões aparecendo em ruas. A exploração excessiva do aquífero cárstico resultou também na degradação da qualidade da água subterrânea e no comprometimento de atividades como a piscicultura. Os lagos de piscicultura solaparam e tornaram-se sumidouros, o que afeta diretamente a qualidade da água subterrânea.

4 Considerações finais

O aquífero, embora coberto por um espesso manto de intemperismo, é altamente vulnerável devido à sua elevada taxa de infiltração. Para reduzir os riscos de contaminação, é essencial elaborar um mapa de vulnerabilidade que considere o uso e a ocupação de cada área. O intervalo de 60 dias entre as precipitações e a variação do nível da água destaca a sensibilidade do aquífero a substâncias contaminantes, especialmente devido ao uso intensivo de defensivos e fertilizantes na agricultura. Além disso, os métodos de locação de poços devem ser revisados para evitar riscos geotécnicos e ambientais, com o apoio de levantamentos geofísicos para detectar cavidades saturadas. Perímetros de proteção para as captações devem ser estabelecidos conforme as normas da Portaria n.º 231/98-DNPM.

As fontes naturais devem ser estudadas para avaliar a viabilidade de obras de regularização e proteção, com o objetivo de captar esses mananciais para o abastecimento público. A metodologia atual para determinar parâmetros hidráulicos e a vazão de exploração de poços baseia-se em ensaios de bombeamento, como os métodos de Theis e Cooper-Jacob.

No entanto, esses métodos convencionais não consideram as condições naturais do aquífero, o que torna os resultados imprecisos e limitados às proximidades do poço, dificultando a aplicação dos parâmetros a outras áreas do mesmo compartimento. Para determinar a reserva explorável, é necessário realizar um balanço hídrico de cada compartimento hidrogeológico, levando em conta as entradas e saídas do sistema, separando os componentes do aquífero freático (manto de alteração) e cárstico. A partir desse cálculo, pode-se definir o volume extraível e, conseqüentemente, a localização e o número de poços necessários.

A perfuração de poços artesianos no Paraná é regulamentada por legislações específicas que visam assegurar a qualidade e a sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos. A Lei Federal nº 9.433/97 estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, determinando que a perfuração ou operação de poços sem as devidas autorizações constitui infração passível de penalidades. No âmbito estadual, o Instituto Água e Terra (IAT) é o órgão responsável pela gestão e fiscalização dos recursos hídricos. Conforme a Portaria IAT nº 143/2021, empresas e profissionais autônomos que atuam na perfuração de poços tubulares devem realizar cadastro junto ao IAT para obter regularização e autorização prévia para suas atividades. Entretanto, observa-se que diversas empresas têm operado sem a presença de profissionais habilitados, como geólogos, que deveriam atuar como responsáveis técnicos. Essa prática não apenas infringe as normativas vigentes, mas também compromete a qualidade e a segurança das obras de perfuração. Além disso, muitas dessas empresas oferecem serviços a preços reduzidos, porém sem as devidas autorizações de perfuração (anuência prévia) e sem a outorga para o uso da água, procedimentos obrigatórios para a legalidade da operação.

Diante desse cenário, é fundamental que as autoridades competentes intensifiquem a fiscalização e a aplicação de penalidades às empresas que não cumprem as exigências legais. A atuação de profissionais qualificados e habilitados, como geólogos, é essencial para garantir a segurança e a eficiência na exploração dos aquíferos, assegurando a sustentabilidade dos recursos hídricos para as futuras gerações.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **ANA declara situação crítica de escassez quantitativa dos recursos hídricos da Região Hidrográfica do Paraná**. ANA: Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-declara-situacao-de-escassez-quantitativa-dos-recursos-hidricos-da-regiao-hidrografica-do-parana>. Acesso em 02 fev. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Enquadramento dos corpos d'água em classes**. ANA: Brasília, 2020. Disponível em:

https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/encarte_enquadramento_conjuntura2019.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

ANDRADE, R. R. de; MARIANO, I.; GOMES, J. V. P. Os impactos ambientais decorrentes da exploração do Aquífero Karst na região de Colombo/PR. **Revista das Faculdades Santa Cruz**, v. 2, n. 2., 2015. UniSantaCruz ; Future Publishers Group: Curitiba, 2015. Disponível em: <https://periodicos.unisantacruz.edu.br/index.php/revusc/article/view/41>. Acesso em 10 dez. 2024.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 01 mar. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Portaria n.º 231, de 31 de julho de 1998. **Diário Oficial da União**: Brasília, 1998. Disponível em: https://www.dnmpm-pe.gov.br/Legisla/Port_231_98.htm. Acesso em: 04 mar. 2025.

BRASIL. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em 21 fev. 2025.

CAMPANHA, G. A. da C.; SADOWSKI, G. R. Tectonics of the southern portion of the Ribeira belt (Apiaí Domain). **Precambrian Research**, v. 98, p. 31-51, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(99\)00027-3](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(99)00027-3). Acesso em: 28 jan. 2025.

CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Colombo, BR**. Climatedpo: [S. L], 2025. Disponível em: <https://www.climatedpo.com.br/climatologia/1307/colombo-pr> Acesso em: 20 fev, 2025.

COLOMBO (PR). Lei n.º 1.705, de 2022. Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo Municipal de Colombo e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Colombo**: Colombo, 2022. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-colombo-pr> Acesso em: 20 fev. 2025.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Diagnóstico da seca no Paraná aponta prejuízos bilionários**. CNA: Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/diagnostico-da-seca-no-parana-aponta-prejuizos-bilionarios>. Acesso em: 01 mar. 2025

CONSELHO GESTOR DOS MANANCIAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (CGM – RMC). **Resolução n.º 03 / 2010**. [s. n]: Curitiba, 2010. Disponível em: https://www.amep.pr.gov.br/sites/comec/arquivos_restritos/files/documento/2019-11/resolucao_03_2010_conselhogestor.pdf Acesso em: 12 fev. 2025.

HINDI, E. C. *et al.* Características hidrogeológicas do aquífero cárstico em Colombo (PR) e impactos ambientais resultantes da sua exploração. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 2002.

Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22841>. Acesso em: 14 out. 2025.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA (IAT). **Aquífero**. IAT: Curitiba, ca2022. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Aquifero>. Acesso em: 22 jan. 2025.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA (IAT). **Consultar outorgas**. IAT: Curitiba, ca2025. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Consultar-outorgas>. Acesso em: 02 mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Colombo – Panorama – Censo 2022**. IBGE: Brasil, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/colombo/panorama>. Acesso em: 22 jan. 2025.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Caderno estatístico**. Prefeitura Municipal de Colombo: Colombo, 2023. Disponível em: <https://prefeitura.colombo.pr.gov.br/wp-content/uploads/2023/05/Ipardes-Colombo.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2025.

LEGISWEB. **Resolução CONAMA nº 396 de 03/04/2008**. LEGISWEB LTDA: Limeira, 2025 Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=108784#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20classifica%C3%A7%C3%A3o%20e,subterr%C3%A2neas%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.&text=Considerando%20que%20o%20art>. Acesso em: 14 fev. 2025

LEIVAS, P. T.; FRANÇA, K. C. **Colombo verde e sustentável: vida e meio ambiente**. Secretaria Municipal do Meio Ambiente: Colombo, 2019. Disponível em: https://www.conexaoambiental.pr.gov.br/sites/conexao-ambiental/arquivos_restritos/files/documento/2019-10/colombo_verde_e_sustentavel.pdf. Acesso em 12 jan. 2025.

LISBOA, Á. A. *et al.* Uso sustentável aquífero carste de Curitiba. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22829> Acesso em 11 dez. 2024.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Editora UEPG: Ponta Grossa, 2017.

MANTOVANI, L. E.; FRITZSON, E.; WREGGE, M. S. Aspectos hidrológicos e hidrogeológicos da bacia do rio ferveda, aquífero carste, Colombo, Paraná. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S. l.], v. 37, p. 190–206, 2016. DOI: 10.5380/raega.v37i0.41564. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/41564>. Acesso em: 7 fev. 2025.

PARANÁ. Decreto nº 3.411, de 10 de setembro de 2008. Declara as Áreas de Interesse de Mananciais de Abastecimento Público para a Região Metropolitana de Curitiba e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Paraná**: Curitiba, 2008. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/pr/decreto-n-3411-2008-parana-declara-as-areas-de-interesse-de-mananciais-de-abastecimento-publico-para-a-regiao-metropolitana-de-curitiba-e-da-outras-providencias> Acesso em: 20 fev. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE COLOMBO. **Dados gerais.** Prefeitura Municipal: Colombo, 2024. Disponível em: <https://prefeitura.colombo.pr.gov.br/dados-gerais-colombo/> Acesso em 28 jan. 2025.

STEVANOVIĆ, Z.; STEVANOVIĆ, A. M. Monitoring as the Key Factor for Sustainable Use and Protection of Groundwater in Karst Environments — An Overview. **Sustainability**, v. 13, n. 10, p. 5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/SU13105468> Acesso em: 10 dez 2024.

VESTENA, L. R.; KOBİYAMA, M.; SANTOS, L. J. C. Considerações sobre gestão ambiental em áreas cársticas. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S. l.], v. 6, 2002. DOI: 10.5380/raega.v6i0.18518. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/18518>. Acesso em: 7 fev. 2025.

Data de submissão: 07/07/2025

Data de aceite: 08/08/2025