

**PROPOSTA DE GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA
ÁREA URBANA DE LONDRINA-PR: O CASO DO PLUGIN
FREEWAT**
**GROUNDWATER MANAGEMENT IN THE URBAN AREA OF LONDRINA-PR:
THE CASE OF THE FREEWAT PLUGIN**

Lucas Francisco Rodrigues Tognato¹

André Celligoi²

Hermam Vargas Silva³

Maria Izabel Rodrigues Tognato⁴

Resumo: Este trabalho pauta-se na relevância da água para a vida, sobretudo pelos processos subterrâneos, que não podem ser vistos pelas pessoas, o que dificulta o seu entendimento. Por isso, propusemos um modelo político-administrativo de gestão do recurso hídrico subterrâneo pela aplicação do *plugin* FREEWAT. Desse modo, revisamos o arcabouço legal referente à gestão político-administrativa das águas subterrâneas nos níveis hierárquicos federal, estadual e municipal, com foco na municipalidade londrinense. Além disso, levantamos dados junto a órgãos oficiais, relativos ao meio físico-geográfico e às águas subterrâneas, captadas por meio de poços tubulares profundos. Estes dados foram processados pelo *software Quantum GIS* versão 2.18.21 *Las Palmas* aplicando o *plugin* mencionado, gerando um modelo da dinâmica hidrogeológica, bem como simulando cenários futuros passíveis de serem concretizados. Assim, propusemos tal modelo de gestão político-administrativa pela criação de um Sistema Municipal de Monitoramento de Recursos Hídricos Subterrâneos. Como resultados, os modelos hidrogeológicos gerados indicaram o controle do nível piezométrico na área investigada pela hidrografia e topografia, apontando para os principais padrões de fluxo com direcionamento nordeste e sudeste, acompanhando a hipsometria urbana e as bacias hidrográficas dos ribeirões Cafezal, Cambé, Jacutinga e Lindóia. Os cenários simulados apresentaram a influência sofrida pelo nível piezométrico, com a retirada d'água por poços e uma diminuição na carga hidráulica do aquífero nas regiões central e noroeste da área de estudo. Contudo, os cenários exibiram a manutenção da superfície piezométrica, denotando a possibilidade da

¹ Mestre em Geografia, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Geógrafo da prefeitura de Mandaguari-PR, lucastognato@gmail.com.

² Doutor em Geociências (Recursos Minerais e Hidrogeologia) pela Universidade de São Paulo (USP), Professor Associado na Universidade Estadual de Londrina (UEL), celligoi@uel.br.

³ Geólogo, engenheiro de segurança, mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), doutor em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), consultor e auditor ambiental, vargashermam@gmail.com.

⁴ Doutora em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, LAEL/PUC-SP, Professora Associada no Curso de Letras-Português/Inglês e no Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar Sociedade e Desenvolvimento (PPGSeD) na Universidade Estadual do Paraná (Unespar), *Campus* de Campo Mourão, maria.tognato@ies.unespar.edu.br.

continuidade de exploração das águas subterrâneas nos demais setores da urbe londrinense. Vale ressaltar que a proteção das áreas de recarga, assim como o desenvolvimento de políticas públicas e ações técnico-práticas de gestão e qualificação ambiental, são medidas fundamentais para evitar o rebaixamento no nível d'água, visto que a impermeabilização e a captação hídrica subterrânea desregrada no meio urbano atuam como obstáculos ao abastecimento do aquífero.

Palavras-chave: Água subterrânea. Gestão ambiental. Geoprocessamento. Geografia.

Abstract: This work focuses on the importance of water for life, especially for underground processes that cannot be seen by people, making them difficult to understand. Therefore, we proposed a political-administrative model for the management of groundwater resources through the application of the FREEWAT plugin. To this end, we reviewed the legal framework concerning the political-administrative management of groundwater at the federal, state, and municipal hierarchical levels, focusing on the municipality of Londrina. In addition, we collected data from official bodies regarding the physical-geographical environment and groundwater, extracted through deep tubular wells. These data were processed using Quantum GIS software version 2.18.21 *Las Palmas* with the aforementioned plugin, generating a model of hydrogeological dynamics and simulating feasible future scenarios. Thus, we proposed this political-administrative management model through the creation of a Municipal Groundwater Resources Monitoring System. As a result, the generated hydrogeological models indicated that the piezometric level in the investigated area is controlled by hydrography and topography, pointing to the main flow patterns directed northeast and southeast, following the urban hypsometry and the hydrographic basins of the Cafezal, Cambé, Jacutinga, and Lindóia streams. The simulated scenarios showed the influence on the piezometric level, with water withdrawal from wells and a decrease in the aquifer's hydraulic load in the central and northwestern regions of the study area. However, the scenarios showed the maintenance of the piezometric surface, indicating the possibility of continued groundwater exploitation in other sectors of the city of Londrina. It is worth noting that the protection of recharge areas, as well as the development of public policies and technical-practical actions for environmental management and qualification, are fundamental measures to prevent the lowering of the water table, since impermeabilization and unregulated groundwater extraction in the urban environment act as obstacles to the aquifer's replenishment.

Keywords: Groundwater. Environmental management. Geoprocessing. Geography.

1 INTRODUÇÃO

Considerando a relevância da água para a vida e o fato de que sua gestão demanda responsabilidade e qualidade tanto em relação à superfície, quanto no subterrâneo, este trabalho⁵ debruça o olhar para a dinâmica deste recurso ambiental no meio subterrâneo, considerado uma das principais fontes de tal recurso e que, apesar disso, é pouco compreendido pela população. Entendemos que a dificuldade de uma compreensão popular sobre tal dinâmica está associada à “invisibilidade” do recurso hídrico pelos olhos leigos, uma vez que tais processos não são vistos pelas pessoas, por ocorrerem no subterrâneo, o que dificulta o entendimento do assunto. Além disso, há lacunas na educação ambiental no que tange a este tema e, mesmo que haja políticas públicas que visem ao estabelecimento de relações entre conhecimento científico e população, o Ciclo da Água parece não ser tão claro para a população, em geral, no que se refere às águas subterrâneas.

Por essas razões, nossa pesquisa buscou compreender a dinâmica hidrogeológica da área urbana de Londrina-PR e, com isso, gerenciar as águas subterrâneas, a partir da aplicação do *plugin FREEWAT* no intuito de estimular o desenvolvimento da qualidade ambiental relacionada à matéria. Assim, com base neste objetivo mais amplo, tomamos como objetivos específicos, a) identificar as características fundamentais da Hidrogeologia da Área Urbana de Londrina-PR, bem como sua relação com os demais Elementos do Meio Físico da paisagem; b) desenvolver um modelo de representação da dinâmica hidrogeológica a partir da aplicação do *plugin FREEWAT* no *software QGIS* versão 2.18.21 *Las Palmas*; e, c) propor um Modelo de Gestão Político-Administrativa sobre tal dinâmica. No entanto, para a discussão neste trabalho, nos limitaremos a discorrer teoricamente sobre a temática proposta e descritivamente, quanto aos procedimentos metodológicos, em função do espaço para este trabalho. Diante do exposto, uma questão central norteia as reflexões deste trabalho, a saber: como se constitui a dinâmica hidrogeológica da área urbana de Londrina-PR e como gerenciar as águas subterrâneas nesse contexto de modo a tornar este

⁵ Este trabalho é resultado de uma dissertação de mestrado, defendida por Lucas Francisco Rodrigues Tognato, em 2022, pela Universidade Estadual de Londrina-PR, UEL.

conhecimento acessível à população? Daí a relevância deste trabalho, pois, ao lançar mão da abordagem geossistêmica⁶ para compreender a dinâmica da água subterrânea e a interação da sociedade nesta dinâmica, comunica o funcionamento desta para a população em geral de modo claro e consistente.

Para tanto, pautamos nossos estudos nos aportes da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) (Bertalanffy, 1973, 1977), da abordagem por cálculos matemáticos para representar a realidade estudada, bem como nos próprios manuais e tutoriais do *plugin FREEWAT* (Wang; Anderson, 1982; Anderson; Woessner, 1992); Safre, 2018; Freeze; Cherry, 2017), no que diz respeito à elaboração de um modelo conceitual de uma determinada área, em especial, no que se refere às fórmulas matemáticas relativas às águas subterrâneas.

No que concerne aos procedimentos metodológicos, revisamos o arcabouço legal referente à gestão político-administrativa das águas subterrâneas nos níveis hierárquicos federal, estadual e municipal, com foco na municipalidade londrinense. Além disso, levantamos dados junto a órgãos oficiais, relativos ao meio físico-geográfico e às águas subterrâneas, captadas por meio de poços tubulares profundos. Estes dados foram processados pelo *software Quantum GIS versão 2.18.21 Las Palmas* aplicando o *plugin* mencionado, gerando um modelo da dinâmica hidrogeológica, bem como simulando cenários futuros passíveis de serem concretizados. Com isso, propusemos tal modelo de gestão político-administrativa pela gestão do recurso hídrico subterrâneo, por meio da aplicação do *plugin FREEWAT*, a partir da criação de um Sistema Municipal de Monitoramento de Recursos Hídricos Subterrâneos.

Como resultados, os modelos hidrogeológicos gerados indicaram o controle do nível piezométrico na área investigada pela hidrografia e topografia, apontando para os principais padrões de fluxo com direcionamento nordeste e sudeste, acompanhando a hipsometria urbana e as bacias hidrográficas dos ribeirões Cafezal, Cambé, Jacutinga e Lindóia. Os cenários simulados apresentaram a influência sofrida pelo nível piezométrico, com a retirada d'água por poços e uma diminuição na carga hidráulica do aquífero

⁶ Trata-se de uma abordagem sob a influência da corrente francesa, que vem ganhando força no Brasil, a partir da área da Geografia, considerando-se Bertrand como principal autor (Oliveira; Marques Neto, 2019) (Ferreira; Neves, 2023).

nas regiões central e noroeste da área de estudo. Contudo, os cenários exibiram a manutenção da superfície piezométrica, denotando a possibilidade da continuidade de exploração das águas subterrâneas nos demais setores da urbe londrinense. Vale ressaltar que a proteção das áreas de recarga, assim como o desenvolvimento de políticas públicas e ações técnico-práticas de gestão e qualificação ambiental, são medidas fundamentais para evitar o rebaixamento no nível d'água, visto que a impermeabilização e a captação hídrica subterrânea desregrada no meio urbano atuam como obstáculos ao abastecimento do aquífero.

Em relação à organização textual, este texto foi sistematizado nas partes, a saber: introdução, fundamentação teórica e norteadora de nossos estudos, metodologia indicando os procedimentos utilizados no desenvolvimento de nossa pesquisa, discussão dos resultados das análises dos dados obtidos acerca da temática proposta e, por fim, as considerações finais como conclusão deste trabalho.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Perspectivas teóricas norteadoras deste estudo

Nesse sentido, a respeito do ciclo hidrológico, pautamos nossos estudos em Lopes (2007), ao defini-lo como um conjunto de várias fases constituídas por diversos caminhos por meio dos quais a água circula nos ambientes naturais. Tal ciclo envolve processos como “evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial, etc” (Lima, 2008). A Figura 1⁷ sintetiza graficamente o ciclo da água.

⁷ Na figura onde se lê “Dessublimação” e “Dom”, leia-se “Deposição” e “Sol”, respectivamente.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



Fonte: USGS (United States Geological Survey). Disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/o-ciclo-d-gua-water-cycle-portuguese?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects>. Acesso em: 10/06/2021.

Considerando tal dinâmica e sua relação intrínseca junto aos outros elementos físico-geográficos da paisagem, podemos compreendê-la a partir de uma perspectiva integradora. Diante do exposto, tomamos por base o defendido por Bertalanffy (1977, p. 53), ao ressaltar que

“É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferentes quando estudado isoladamente e quando tratado no todo” (Bertalanffy, 1977, p. 53).

Este tipo de abordagem integradora é denominada de análise sistêmica, pautada na Teoria Geral dos Sistemas (TGS), criada por Bertalanffy na década de 1970, por meio da qual o sistema aberto é valorizado em detrimento do sistema fechado, pois o primeiro, conforme nos explicam Otto e De Moraes (2019, p. 273), “[...] é tido como uma teoria interdisciplinar, constituído, essencialmente, pelos organismos vivos, cuja condição é manter um contínuo fluxo de entrada e saída de energia [...]”. Por outro lado, o segundo é justamente o estudo isolado das partes, consistindo num obstáculo à integração dos aspectos componentes da paisagem. Para estas autoras o

ciclo da água ocorre somente em função de trocas de matéria e energia, sendo apropriado considerá-lo como “um sistema aberto e não fechado”, uma vez que tais trocas “ocorrem a todo tempo” (Otto; De Moraes, 2019). Com isso, as autoras (2019, p. 275), definem o princípio geral da análise sistêmica como “uma visão integradora e dinâmica dos elementos que compõe o todo, formando uma unidade”. Desse modo, “os fenômenos que se manifestam no espaço podem se interagir, convergindo na manutenção do sistema, ou na alteração e modificação do mesmo”.

Diante disso, tal abordagem confunde-se com o objeto da Geografia ao considerar a integração e dinamismo entre os elementos da paisagem, denotando a importância da mesma para determinada ciência. Ademais, a partir dessa relação, surge o geossistema, baseado na ligação natureza-sociedade e, segundo Sotchava (1977, p. 2), com o intuito de estudar “[...] as conexões entre eles; não se deve restringir à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas, de preferência, projetar-se para o estudo de sua dinâmica, estrutura funcional, conexões, etc”. Ademais, Bertrand (1968), defende “que a abordagem geossistêmica seja feita de modo interdisciplinar”, especialmente quando ele salienta que o estudo global dos meios naturais deve ser conduzido e/ou orientado por profissionais de diferentes campos do conhecimento (Ferreira; Neves, 2023, p. 18). No que tange à definição do conceito de geossistema, Bertrand (2004, p. 146-147) explicita que

O geossistema corresponde a dados ecológicos relativamente estáveis. Ele resulta da combinação de fatores geomorfológicos (natureza das rochas e dos mantos superficiais, valor do declive, dinâmica das vertentes...), climáticos (precipitações, temperatura...) e hidrológicos (lençóis freáticos epidérmicos e nascentes, pH das águas, tempos de ressecamento do solo...). É o “potencial ecológico” do geossistema (Bertrand, 2004, p. 146-147).

Daí a importância de estudar a abordagem geossistêmica para compreender a dinâmica da água subterrânea e a interação da sociedade com tais questões, com vistas ao funcionamento desta de modo claro e consistente para a população.

Desta forma, a identificação da dinâmica hidrogeológica se faz necessária e, para além disso, a proposição de um modelo de gestão sobre o uso deste recurso ambiental essencial à vida. Nesse sentido, destacamos a

contribuição do *FREEWAT*, uma vez que este *plugin* permite tal identificação bem como a elaboração de projeções futuras diversas sobre o uso da água subterrânea, servindo como uma ferramenta valiosa à gestão de determinado recurso. Trata-se de uma plataforma destinada ao uso de modelagem hidrogeológica (Ferreira; Cirilo, 2025).

No que concerne ao panorama da gestão dos recursos hídricos, tomando por base os estudos defendidos em nossa pesquisa (Tognato, 2022), há que se considerar a necessidade de um olhar sobre tal gestão, bem como sobre a dinâmica das modelagens, especialmente em relação ao *plugin* proposto. Em vista disso, discorreremos sobre os três contextos que abrangem a gestão mencionada, a saber: o contexto federal, o estadual e o municipal.

Em relação ao contexto federal, está previsto que é de competência exclusiva da União legislar sobre águas (Inciso IV, Artigo 22), ainda que as águas superficiais e subterrâneas sejam consideradas bens dos Estados (Inciso I, Artigo 26). Com isso, a União estabelece normas gerais para os recursos hídricos enquanto os Estados regulamentam normas específicas, uma vez que o mesmo diploma legal atribui aos Estados, Distrito Federal e Municípios, em conjunto com a União, a competência comum (Artigo 23) e concorrente (Artigo 24) sobre a elaboração de legislações relativas à proteção do meio ambiente.

Para tanto, no âmbito federal, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) pela Lei Federal nº 9.433/1997 (Lei das Águas) e, com ela, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), caracterizado como o conjunto de órgãos e colegiados que concebe e implementa a PNRH (vide Figura 2). Cabe ressaltar que a unidade territorial de gestão dos recursos hídricos é a Bacia Hidrográfica. Tal sistema tem como principais objetivos: Coordenar a gestão integrada das águas; Arbitrar administrativamente os conflitos relacionados aos recursos hídricos; Planejar, regular e controlar o uso, bem como a recuperação dos corpos d'água; e, Promover a cobrança pelo uso da água. Além disso, é composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), pela Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental (SRQA), pela Agência Nacional de Águas (ANA), pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH), pelos Órgãos Gestores de Recursos Hídricos Estaduais (Entidades Estaduais), pelos

Comitês de Bacia Hidrográfica e pelas Agências de Água, conforme mostra a Figura 2.

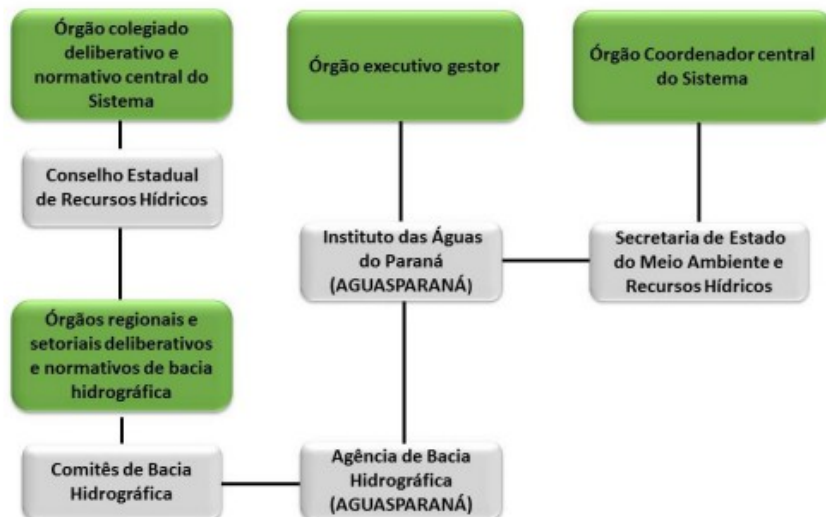
Figura 2 – Organograma: matriz e funcionamento do SINGREH



Fonte: O que é SINGREH? Adaptado de ANA, 2020.

Quanto ao contexto estadual, no caso do Estado do Paraná, considerando-se o caráter duplo da dominialidade dividida pela União e Estados sobre os recursos hídricos (superficiais e subterrâneos), existem marcos legais que suplementam aos estabelecidos no âmbito federal, de maneira a parametrizar as ações em território paranaense. Nesse sentido, há uma Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), instituída pela Lei Estadual nº 12.726/1999, e um Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRH), criado pelo mesmo diploma legal, que regulamentam e implementam, respectivamente, a gestão dos referidos recursos no Estado. O SEGRH, exibido na Figura 2, de forma semelhante ao SINGREH, é constituído pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH/PR), pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST), pelo Instituto das Águas do Paraná (ÁGUAS PARANÁ, atualmente integrante do Instituto Água e Terra - IAT), pelos Comitês de Bacia Hidrográfica e pelas Gerências de Bacia Hidrográfica, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Organograma: matriz e funcionamento do SEGRH
Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado do Paraná



Fonte: Leis Estaduais n° 12.726/1999 e n° 16.242/2009. Adaptado de PROGESTÃO, 2017.

No que se refere ao contexto municipal, de acordo com Tognato (2022) cabe ao município, conforme a Constituição Federal, agir sobre os recursos hídricos de modo a “proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas” (Inciso VI, Art. 23), além de “registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios” (Inciso XI, Art. 23), monitorando, no mínimo, a sua utilização de fato.

Sendo assim, como forma efetiva de agir sobre seu território quanto à gestão dos recursos hídricos, em especial os subterrâneos, a municipalidade deve exercer as suas competências (Quadro 1) administrativas, comuns-exclusivas, e legislativas, exclusivas-supletivas, através de instrumentos eficazes, como por exemplo o Plano Diretor e o respectivo Zoneamento Ambiental.

Quadro 1 – Competências municipais relacionadas às Águas

Competência do Município	Base Legal
Proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas.	Inciso VI, Art. 23 da CF; Lei Federal Complementar n° 140/2011.
Fiscalizar o cumprimento das normas ambientais por meio dos órgãos ambientais municipais.	Inciso VI, Art. 23 da CF; Inciso VI, Art. 6° da Lei Federal n° 6.938/1981; § 3°,

	Art. 17 da Lei Federal Complementar nº 140/2011.
Organizar e prestar os serviços públicos de interesse local, nos quais se inclui os serviços de saneamento: abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.	Inciso V, Artigo 30 da CF; Lei Federal nº 11.445/2007.
Promover o ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano; Utilizar todos os instrumentos previstos na Lei Federal nº 10.257/2002, com especial ênfase ao plano diretor e ao zoneamento ambiental, bem como definir espaços territoriais protegidos.	Inciso VIII, Art. 30 e Art. 182 da CF; Incisos IX e X, Art. 9º da Lei Federal Complementar nº 140/2011.
Executar e fazer cumprir no município as políticas nacionais, estaduais e municipais relacionadas à proteção do meio ambiente, exercendo a gestão dos recursos ambientais no âmbito de suas atribuições.	Incisos I, II e III, Art. 9º da Lei Federal Complementar nº 140/2011.
Promover a integração de programas e ações de órgãos e entidades da administração pública federal, estadual e municipal, relacionados à proteção e à gestão ambiental no município.	Inciso IV, Art. 9º da Lei Federal Complementar nº 140/2011.
Promover o desenvolvimento de estudos e pesquisas direcionados à proteção e à gestão ambiental, divulgando os resultados obtidos.	Inciso VI, Art. 9º da Lei Federal Complementar nº 140/2011.
Organizar e manter o Sistema Municipal de Informações sobre Meio Ambiente e prestar informações aos demais entes.	Incisos VII e VIII, Art. 9º da Lei Federal Complementar nº 140/2011.
Promover e orientar a educação e conscientização pública para a proteção do meio ambiente.	Inciso XI, Art. 9º da Lei Federal Complementar nº 140/2011.
Promover o licenciamento ambiental das atividades ou empreendimentos: de impacto ambiental de âmbito local, conforme tipologia definida pelo respectivo Conselho Estadual de Meio Ambiente, considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade; ou, localizados em unidades de conservação instituídas pelo Município, exceto em Áreas de Proteção Ambiental (APAs).	Inciso XIV, Art. 9º da Lei Federal Complementar nº 140/2011.
Participar da composição dos Comitês de Bacia Hidrográfica onde está situado totalmente ou em parte.	Inciso III, Art. 39 da Lei Federal nº 9.433/1997.
Promover a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estadual de recursos hídricos.	Art. 31 da Lei Federal nº 9.433/1997.
Formular a política pública de saneamento básico e prestar diretamente ou por delegação os serviços de saneamento, definindo o ente responsável pela regulação e fiscalização, bem como os seus procedimentos.	Art. 9º da Lei Federal nº 11.445/2007.
Elaborar os planos de saneamento básico de forma compatível com os planos de bacias hidrográficas nas quais estão inseridos e com o plano diretor municipal.	§ 3º, Art.19 da Lei Federal nº 11.445/2007.
Realizar a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados no seu respectivo território.	Art. 10 da Lei Federal nº 12.305/2010.
Contribuir de forma conjunta com a União e Estados	Art. 12 da Lei Federal nº 12.305/2010.

para a manutenção e organização do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir), fornecendo as informações necessárias sobre os resíduos sob sua esfera de competência.	
Elaborar os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos,	Art. 18 da Lei Federal nº 12.305/2010.
Fornecer no âmbito de sua competência, mediante convênio, as informações solicitadas pela coordenação do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS).	§ 3º, Art. 2º da Lei Federal nº 9.782/1999.
Exercer a vigilância da qualidade da água, em articulação com os responsáveis pelo controle da qualidade da água para consumo humano; Inspeccionar a qualidade da água no sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água.	Incisos I e III, Art. 12, Anexo XX da Portaria MS de Consolidação nº 5/2017.
Garantir informações à população sobre a qualidade da água para consumo humano e os riscos à saúde associados.	Incisos V e VI, Art. 12, Anexo XX da Portaria MS de Consolidação nº 5/2017.
Executar as diretrizes de vigilância da qualidade da água para consumo humano definidas no âmbito nacional e estadual.	Inciso VIII, Art. 12, Anexo XX da Portaria MS de Consolidação nº 5/2017.

Fonte: A competência do município na gestão das águas subterrâneas e a contribuição da hidrogeologia urbana. (Comunicação Pessoal)⁸

Em relação ao contexto investigado, como é o caso do município de Londrina, a gestão dos recursos hídricos subterrâneos é executada pela estrutura estadual, especialmente pelo IAT, considerando-se a competência legal do Estado para lidar com tal matéria. Desse modo, na estrutura do âmbito municipal há alguns entes relativos àquela preconizada pela PNRH para um sistema de gestão dos recursos hídricos, a saber: Secretaria Municipal do Ambiente (SEMA) e Conselho Municipal do Meio Ambiente (CONSEMMA). Porém, a municipalidade atua de forma meramente permissiva, emitindo, em um primeiro momento, alvará de perfuração e, após a regulamentação do licenciamento ambiental de atividades de impacto local (Lei Ordinária Municipal nº 10.849/2009) e a publicação do novo marco legal do saneamento básico (Lei Federal nº 14.026/2020). No segundo momento, é emitida uma autorização ambiental para perfuração (em substituição ao alvará). Em ambos os casos mediante concessão de outorga prévia pelo órgão competente

⁸ Informações fornecidas por Hermam Vargas Silva, em 08/10/2020.

(anteriormente a SUDERHSA, atualmente, o IAT) e ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) do Projeto do Poço.

Embora a competência legal para a gestão do recurso hídrico subterrâneo seja estadual (como visto anteriormente), há que se levar em conta que, quando do período anterior à Lei Federal nº 14.026/2020, havia uma restrição por parte do município à perfuração de poços para captação de águas subterrâneas na área urbana. Isso ocorreu em função do disposto no artigo 45 da Lei Federal nº 11.445/2007 (Política Nacional de Saneamento Básico), o qual estabelecia a conexão de “toda edificação urbana permanente [...] às redes públicas de abastecimento de água e esgotamento sanitário disponíveis”. Posteriormente à publicação do novo marco legal do saneamento básico, essa restrição foi excluída devido à possibilidade de utilização das águas subterrâneas por parte de edificações não-residenciais ou condomínios regidos pela Lei Federal nº 4.591/1964.

Considerando esta configuração da estrutura de gestão, entendemos que há a necessidade, no âmbito local, de criação e implementação dos entes faltantes, visando a satisfazer as demandas locais com uma organização que dê uma resposta célere e adequada à realidade local (observando os aspectos ambiental, econômico e social), haja vista a relevância do município investigado. Não obstante, Londrina possui alguns elementos legais/legislativos que abrem margem para atuação municipal sobre o tema águas subterrâneas (Ver Tognato, 2022). Contudo, vale ressaltar que se trata de elementos que demandam maior complementação e/ou desenvolvimento para proporcionar a efetiva atuação da municipalidade.

2.3 Metodologia e Resultados

Para o desenvolvimento deste estudo, quanto a sua natureza, utilizamos as abordagens qualitativa e quantitativa no sentido de contribuir para um maior entendimento dos dados obtidos e analisados, pois, como defende Creswell (2007), a junção de ambos os métodos de pesquisa é essencial para “expandir o entendimento de um método para outro, para convergir ou confirmar resultados de diferentes fontes de dados”.

Assim, a fim de atingir os objetivos propostos, realizamos os seguintes

procedimentos: a) levantamento bibliográfico; b) levantamento de dados em órgãos oficiais; c) processamento dos dados de águas subterrâneas, no *plugin FREEWAT* do *software QGIS* versão 2.18.21 *Las Palmas*; e, d) proposição de Modelo Alternativo de Gestão Político-Administrativa dos Recursos Hídricos Subterrâneos.

No que diz respeito ao levantamento bibliográfico, para além das pesquisas mencionadas, utilizamos, principalmente, as bases de pesquisa do *Google Acadêmico*, do *Leis Municipais*, do *Periódicos CAPES* e do *ScienceDirect*. Na primeira base, utilizamos os termos de pesquisa *Águas Subterrâneas*, *FREEWAT* e *Hidrogeologia em Londrina*, dos quais se obteve um quantitativo da ordem de 18.200, 595 e 946, respectivamente. Em relação à segunda, buscamos diplomas legais afetos ao tema no âmbito municipal, empregando as palavras *Recursos Hídricos*, *Águas Subterrâneas* e *Poços* para as quais alcançamos 13, 7 e 27 como resultado. No tocante à terceira base de pesquisa, buscamos bibliografias, a partir dos termos *Hidrogeologia*, *Gestão Hidrogeológica* e *FREEWAT*, resultando em mais de 50 por termo. Por fim, a última plataforma de pesquisa apresentou 81.294, 16 e 329.119 bibliografias para os termos *Groundwater Management*, *FREEWAT* e *Environmental Public Management*.

Quanto aos dados levantados em órgãos oficiais, tendo em vista o tema abordado, focamos naqueles com maior relação ao assunto e, com isso, maior probabilidade de obtenção das informações necessárias ao nossos estudos, tais como: Instituto Água e Terra (IAT); Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM, denominada Serviço Geológico do Brasil); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); e, a Prefeitura do Município de Londrina (PML).

No que tange ao IAT, foi obtido um arquivo *.xls*, por meio do sistema *ftp* (*File Transfer Protocol* - Protocolo de Transferência de Arquivo), com dados de 532 poços para a área total do município e 413 poços para a área urbana. Contudo, foram identificadas diversas informações faltantes neste

cadastro, inviabilizando a sua utilização nesta pesquisa.

Diante disso, buscamos apoio na base de dados do SIAGAS-CPRM da qual obtivemos um arquivo *.xls* contendo dados de 324 poços na área municipal e, destes, 240 poços na área urbana londrinense. Tais dados datam do ano de 2018, sendo o registro mais atualizado disponível na base em questão. Este cadastro apresentou as informações necessárias para a devida execução dos procedimentos no *plugin* utilizado, como por exemplo localização, profundidade total do poço, nível estático, nível dinâmico e vazão máxima de teste. Ainda assim, dentre os poços inseridos na área de estudo, 5 apresentaram coordenadas geográficas idênticas à algum outro poço cadastrado, estando relacionados com a manutenção, no cadastro, da informação de poços com a outorga vencida ou de poços que haviam sido encerrados e foram reativados sob novo processo.

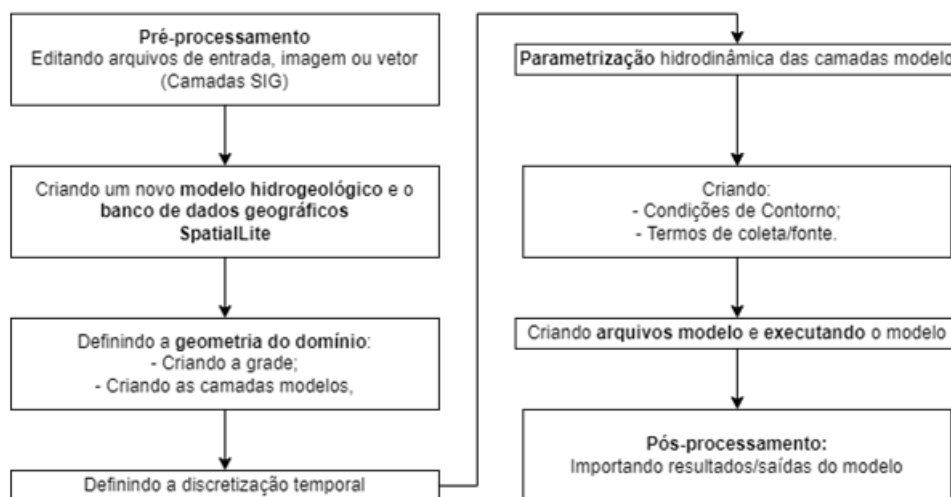
Destarte, são notáveis as diferenças entre os cadastros federal e estadual, sendo que o primeiro apresenta informação com maior qualidade enquanto o segundo a disponibiliza em maior quantidade. Contudo, o ponto de convergência entre eles, e que merece destacada atenção, é a existência de algumas informações inconsistentes, as quais podem gerar questionamentos sobre a confiabilidade de tais bancos de dados oficiais face à realidade confrontada.

Em relação ao IBGE, usamos arquivos no formato *shapefile* (*.shp*) relativos às bases político-administrativas utilizadas nas produções cartográficas, com exceção do Perímetro Urbano de Londrina que foi obtido do Portal SIGLON (Sistema de Informação Geográfica de Londrina), extraídos do *site* da Prefeitura Municipal de Londrina. Outras bases de dados empregadas foram o Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE), da qual obtivemos um arquivo *raster* proveniente do projeto *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* para fins hipsométricos, e o Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP, do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET), da qual coletamos um arquivo no formato tabular (*.xls*) aplicado na caracterização climática. Assim, ressaltamos que os dados climáticos são referentes ao ano de 2018, tendo em vista a compatibilização com os dados dos poços

tubulares utilizados (sendo atuais e datando do mesmo período).

No que diz respeito ao processamento dos dados obtidos, primeiramente, foi necessário preparar os dados oficiais cartograficamente para, então, aplicar o processo de modelagem de tais dados, a partir dos manuais e tutoriais do *FREEWAT*, inserindo-os de acordo com a sequência apresentada na Figura 4.

Figura 3 – Fluxograma de entrada de dados



Fonte: Adaptado de Borsi *et al.* (2019).

Para tanto, a tabela de dados dos Poços Tubulares Profundos de Londrina-PR, obtida do SIAGAS-CPRM, foi salva no formato *.csv* e aberta no *QGIS* como arquivo "Camada de Texto Delimitado" no formato *.shp* sob a geometria de pontos. Desse modo, utilizamos um algoritmo, *Add raster values to feature*, para assumir no *shape* dos poços o valor altimétrico do *raster* da hipsometria. Feito isto, foi executada a subtração, na Tabela de Atributos do *shape* dos poços, do valor da coluna da profundidade do nível estático em relação ao valor da coluna da cota altimétrica da boca dos poços. Assim, ficou estabelecida uma coluna com o valor do nível estático em metros sobre o nível do mar. O mesmo procedimento foi executado para o nível dinâmico. Com isso, procedemos à elaboração de *krigagem ordinária*⁹ (Câmara e Medeiros

⁹ Trata-se de um método de interpolação como uma técnica para se obter uma estimativa do valor de um atributo em locais não amostrados em uma mesma área ou região (Jakob; Young, 2006)

(1998) sobre os valores dos níveis estáticos e dinâmicos, utilizando o algoritmo *Ordinary kriging*.

Na sequência, iniciamos o processo de modelagem instruído pelos manuais e tutoriais do *FREEWAT* (BORSI *et al*, 2019). O primeiro passo foi a criação de uma pasta com arquivos à utilizar (.shp e/ou .csv). Em seguida, a criação do projeto no *QGIS* e, nele, a criação do Modelo no *FREEWAT*, prosseguindo com a criação da Grade e das Camadas do Modelo no próprio *plugin*. Desse modo, geramos centróides dos polígonos da camada que representa a litologia do Modelo Conceitual (camada "basalto") e, nos centróides, adicionamos os valores do *raster* de *krigagem* ordinária do nível estático utilizando o algoritmo *Add raster values to feature*. Assim, unimos o resultado com a camada "basalto" e atualização do valor da coluna "STRT", na camada "basalto", por meio da expressão "to_string" na Calculadora de Campo.

Com isso, aplicamos a seleção das células do Modelo Conceitual por meio do qual corre a hidrografia, utilizando o algoritmo Selecionar pela localização e, a partir disso, a atualização dos valores da coluna "STRT" das células selecionadas para "-1", indicando o "Specified Head". Nas células nas quais ocorrem poços, os valores da coluna "STRT" foram atualizados para "1", indicando o "Variable Head". Além disso, foi elaborada uma numeração dos 240 poços, conforme a data de perfuração, partindo do mais antigo para o mais recente.

Ademais, desenvolvemos uma outra camada para representar os poços, "pocos_well", na qual consta a informação das vazões máximas de teste de cada poço para cada célula da camada. Contudo, foi necessário executar cálculo de conversão dos valores, de m^3/hr para m^3/s (divisão do valor da célula por 3600), devido os valores originais da tabela do SIAGAS-CPRM estarem na primeira unidade (m^3/hr) e o *plugin* trabalhar com a segunda unidade (m^3/s).

Desse modo, produzimos um segundo modelo com a retirada de água do aquífero pelos poços e, a partir dele, executada a subtração do Segundo Modelo (Condição Alterada) pelo Primeiro Modelo (Condição Natural). Os períodos de estresse empregados foram de 01 (um) dia para a condição natural e 01 (um), 05 (cinco) e 10 (dez) anos para a condição alterada.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a relevância da água para a vida, e que sua gestão demanda responsabilidade e qualidade tanto na superfície, quanto no subterrâneo, esta pesquisa permitiu-nos olhar para a dinâmica deste recurso ambiental no meio subterrâneo, buscando compreender a dinâmica hidrogeológica da área urbana de Londrina-PR e, com isso, gerenciar as águas subterrâneas, a partir da aplicação do *plugin FREEWAT*.

De modo complementar, identificamos as características fundamentais da hidrogeologia da área urbana de Londrina-PR, bem como sua relação com os demais elementos do meio físico da paisagem. A partir desta identificação, procedemos ao desenvolvimento de um modelo de representação da dinâmica hidrogeológica na área de estudo pela aplicação do *plugin FREEWAT* no *software QGIS*. Tal *plugin* foi empregado para simular modelos da dinâmica hidrogeológica em condições naturais e alteradas, sendo que as condições alteradas dizem respeito à retirada d'água do Sistema Aquífero Serra Geral por meio de poços tubulares profundos.

Os modelos gerados indicaram o controle do nível piezométrico na área urbana de Londrina-PR pela hidrografia e a topografia, indicando que os principais padrões de fluxo verificados têm direcionamento nordeste e sudeste, acompanhando a hipsometria urbana e as bacias hidrográficas dos ribeirões Cafezal, Cambé, Jacutinga e Lindóia. Com isso, a proteção das áreas de recarga, quais sejam - espigões e topos não impermeabilizados e/ou cursos hídricos com respectivas áreas de preservação permanente - , é de extrema importância para evitar o rebaixamento no nível d'água na área de estudo, haja vista a impermeabilização presente no meio urbano que atua como um obstáculo ao abastecimento do aquífero.

Tais áreas estão intimamente associadas à relação geologia-pedologia, representada pelos contatos Formação Paranapanema-Latossolos, situados nos espigões e topos, e Formação Pitanga-Nitossolos, localizados sob os cursos hídricos e sobre falhas e/ou fraturas. Os cenários simulados

apresentam a influência sofrida pelo nível piezométrico, a partir da retirada d'água por poços, apontando uma diminuição na carga hidráulica do aquífero nas regiões central e noroeste da área de estudo, inspirando atenção. Com isso, entendemos que tais níveis de redução estejam associados à localização das indústrias no setor noroeste e ao adensamento urbano no setor central da área urbana de Londrina-PR, podendo gerar lineamentos e/ou novos direcionamentos de fluxo. Contudo, apesar de tal diminuição, os cenários exibem a manutenção da superfície piezométrica em toda a área de estudo, denotando a possibilidade da continuidade de exploração das águas subterrâneas nos demais setores da urbe londrinense.

Nesse contexto, destacamos o desempenho do *FREEWAT*, *plugin* caracterizado como ferramenta valiosa no processo de modelagem da dinâmica hidrogeológica, uma vez que, ao estar inserido no *QGIS*, permite a integração, manipulação e pós-processamento de dados georreferenciados para simulação da quantidade e qualidade da água, tanto superficiais como subterrâneas, em um Sistema de Informações Geográficas.

Assim, considerando os modelos gerados, propusemos um modelo de gestão político-administrativa sobre tal dinâmica, de modo que a municipalidade exerça as suas competências legais por meio de instrumentos eficazes, como o caso do Plano Diretor e do respectivo Zoneamento Ambiental, e de ações práticas sobre o assunto. Isso porque, ainda que as águas subterrâneas sejam bens do Estado, quando do seu uso em solo urbano, há a prerrogativa de um regramento por parte do ente municipal sobre tal atividade, visto que trata-se do seu território, mesmo que este regramento esteja mais associado ao acompanhamento e fiscalização da utilização do que com a deliberação, neste caso específico.

Portanto, o município pode ser considerado ente de destaque na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, sobretudo quanto ao monitoramento do uso destes, atuando nas dimensões ambiental, de saneamento básico e vigilância sanitária. No caso específico do município de Londrina-PR, a base legal municipal existente toma um caráter genérico e mais associado ao registro do que com a gestão propriamente dita. Desse modo, a gestão dos recursos hídricos, em especial os subterrâneos, é de responsabilidade do nível estadual, uma vez que a estrutura prevista pelo SINGREH e a legislação

pertinente assim o fazem, embora seja necessária a complementação para o devido funcionamento de tal sistema no quesito municipal. Daí a proposição da criação de um Sistema Municipal de Monitoramento dos Recursos Hídricos Subterrâneos. Para este sistema, sugerimos a composição por um quadro técnico habilitado (dotado de, no mínimo, um geógrafo e um geólogo) que realize ações e/ou processos de ordem técnico-prática, empregando o *plugin FREEWAT* como ferramenta de gestão, gerando produtos fundamentais para a colaboração com os entes federativos responsáveis pelo controle de tal recurso, podendo resultar numa fonte de receita à administração municipal e, com isso, qualificando a questão ambiental na área de estudo.

Ademais, em relação à questão central norteadora das reflexões deste trabalho, conforme apresentada na introdução deste texto, referente a como se constitui a dinâmica hidrogeológica da área urbana de Londrina-PR e como gerenciar as águas subterrâneas nesse contexto de modo a tornar este conhecimento acessível à população, entendemos a caracterização da área investigada realizada, de forma mais completa em nossa pesquisa (Tognato, 2022), e a questão da acessibilidade do conhecimento produzido com nossos estudos contribuem para uma maior compreensão acerca dos aspectos inerentes.

Enfim, com este trabalho, buscamos elucidar algumas questões de cunho hidrogeológico e político-administrativo sobre as águas subterrâneas na área urbana de Londrina-PR, bem como embasar e/ou nortear discussões acerca de investigações futuras sobre o domínio modelado no que tange às incertezas não solucionadas por esta pesquisa. O intuito é de que este estudo traga contributos relativos à questão ambiental, à tomada de decisões e elaboração de políticas públicas por agentes públicos e, sobretudo, à sociedade, especialmente, a partir do compartilhamento dos resultados aqui atingidos/identificados/obtidos, ainda que estes estejam assentados sob o prisma do ponto de vista de dois aspectos da realidade, o geográfico e o geológico.

REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **O PROGESTÃO NO PARANÁ: Síntese do Primeiro Ciclo do Programa (2013-2016)**. Agosto/2017. Disponível em: <http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/mapa/pr/progestao_pr_2015.pdf>. Acesso em: 23 out. 2020.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **O que é o SINGREH?**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos/o-que-e-o-singreh>>. Acesso em: 26 out. 2020.
- BERTALANFFY L. O significado da Teoria Geral dos Sistemas. In: BERTALANFFY, L. **A teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973, p. 52-81.
- BERTALANFFY L. O significado da Teoria Geral dos Sistemas. In: BERTALANFFY, L. **A teoria geral dos sistemas**. 3.ed. Petrópolis: Vozes, 1977.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia física global. Esboço metodológico. **Revista RAÍGA**, Editora UFPR, Curitiba – PR, n°. 8, P. 141 – 152, 2004.
- BORSI, I.; FOGLIA, L.; CANNATA, M.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E.; MEHL, S.; DE FILIPPIS, G.; CRIOLLO, R.; GHETTA, M.; CARDOSO, M.; VELASCO, V.; NEUMANN, J.; TOEGL, A.; SERRANO, A.; RIERA, C.; ROSSETTO, R. **FREEWAT User Manual**, Volume 0 – Reference Manual, version 1.2.0, November 14th, 2019.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, de 05 de outubro de 1988**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm> Acesso em: 03 out. 2020.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 08 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, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> Acesso em: 06 out. 2020.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, pp.3-11, 1998.
- CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha. - 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- FERREIRA, M. O.; NEVES, C. E. Abordagem Geossistêmica de Georges
- Revista Mundi Sociais e Humanidades**. Curitiba, PR, Dossiê FIPI, p.01-23, 2025.

Bertrand: perspectiva sobre o pensamento geográfica. **Revista Formação (Online)**, v. 30, n. 57, p. 7-30, 2023.

FERREIRA, T. S. G.; CIRILO, J. A. The Use of the FREEWAT Platform in Aquifer System Modeling: a Review. **Revista de Gestão - RGSA**, São Paulo (SP), v. 19, n. 4, p. e011572, 2025. DOI: 10.24857/rgsa.v19n4-039. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/11572>. Acesso em: 30 dec. 2025.

IAT - INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Plano Estadual de Recurso Hídricos**.

Disponível em:

<<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Plano-Estadual-de-Recursos-Hidricos-do-Para-na-PL-ERHPR>>. Acesso em: 25 out. 2020.

IAT - INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Plano Estadual de Recurso Hídricos - Resumo Executivo**. Disponível em:

<http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-03/resumo_executivo_plerh.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

IAT - INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Política Estadual de Recurso Hídricos**.

Disponível em:

<<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Politica-Estadual-de-Recursos-Hidricos>>.

Acesso em: 25 out. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2021. **Diário Oficial da União [República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, 26 ago. 2021. p. 119. Disponível em:

<https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2021/estimativa_dou_2021.pdf> Acesso em: 30 ago. 2021.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/#>

Acesso em: 10 nov. 2021.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. **Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais**, Belo Horizonte (MG). Associação Brasileira de Estudos Populacionais (ABEP), pp. 22, 2006.

LIMA, W. de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**.

Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Disponível em:

<http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2025. 2008.

LONDRINA. **Estrutura, Secretaria Municipal do Ambiente**. Disponível em:

<<https://portal.londrina.pr.gov.br/menu-oculto-ambiente/estrutura-ambiente>>

Acesso em: 05 nov. 2020.

LOPES, L.R.; VITAL, A.R.T.; FRANKEN, W.K.; FERREIRA, S.J.F.; MARQUES

FILHO, A.O.; FAJARDO, J.D.V.; OLIVEIRA, J.A.D. Interceptação e ciclagem de nutrientes em Floresta de Encosta na Amazônia Central. **Anais do I Simpósio**

de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste, Cuiabá. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), pp. 1-12, 2007.

OLIVEIRA, C. S.; NETO, R. M. Gênese da Teoria dos Geossistemas: uma discussão comparativa das escolas russo-soviética e francesa. **Revista RA'E GA**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 6 - 20, 2020.

OTTO, C. S.; DE MORAIS, E. M. B. Reflexões sobre a Análise Sistêmica na Geografia tendo o tema Água como Referência. **Para Onde!?**, Porto Alegre, RS, v. 12, n. 2, p. 271-280, nov. 2019. ISSN 1982-0003. Disponível em:

<<https://seer.ufrgs.br/paraonde/article/view/97560>>. Acesso em: 08 nov. 2021.

PARANÁ. **Lei Estadual nº 12.726, de 26 de novembro de 1999**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e adota outras providências. Disponível em:

<<https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=5849>> Acesso em: 06 out. 2020.

PARANÁ. **Resolução nº 061 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH/PR), de 09 de dezembro de 2009**. Aprova o Plano Estadual de Recursos

Hídricos e dá outras providências. Disponível em:

<https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/migrados/File/CERH/Resolucoes%20CERH/2009/resolucao_61_aprova_plerh_pr.pdf> Acesso em: 10 out. 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA (PML). Plano Diretor Participativo Municipal de LONDRINA, **Cap.3 Aspectos Ambientais**, 2008. Secretaria de Planejamento. Londrina, 2008. 99 Slides. Disponível em:

<http://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/ippul/apresentacao_pr_odoito_03.pps>. Acesso em 20 de jun de 2020.

SAFRE, A. L. S. Simulação numérica do fluxo das águas subterrâneas na Estação Ecológica de Santa Bárbara/SP. **Dissertação (Mestrado)**, Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu: 2018, 104 p.

SILVA DE OLIVEIRA, C.; NEVES, C. E. das; MARQUES NETO, R. A filosofia e o método da abordagem geossistêmica na Geografia Física. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 15, n. 3, p. 87–107, 2021. DOI:

10.5216/ag.v16i1.69191. Disponível em:

<https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/69191>. Acesso em: 30 dez. 2025.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de Geossistemas**. Métodos em questão. IG-USP. São Paulo, n.16, 1977, p. 1-52.

TOGNATO, L. F. R. Proposta Metodológica de Gestão das Águas Subterrâneas da Área Urbana de Londrina-PR a partir da aplicação do plugin FREEWAT. 2022. 86 f. **Dissertação (Mestrado em Geografia)** – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.