

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

PSA para aquíferos em SP: lições da Alemanha e França

Bartira Elia

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Bacharela em Gestão Ambiental

**Piracicaba
2025**

BARTIRA ELIA

PSA para aquíferos em SP: lições da Alemanha e França

Orientador:
Prof. Dr. **PLINIO BARBOSA DE CAMARCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Bacharela em Gestão Ambiental

**Piracicaba
2025**

DEDICATÓRIA

Agradeço, antes de tudo, ao meu filho, Gustavo, minha maior motivação para retomar os estudos e seguir minha vocação de compreender e cuidar das questões ambientais.

Aos meus pais, meu amor e gratidão por tornarem tudo isso possível, com incentivo e apoio incondicional. Minha mãe, sempre atenta e generosa. Meu pai, atento e sábio, foi meu guia em tantos momentos, compartilhando conhecimento e tranquilidade sempre que precisei.

À minha amiga, professora Danielle Denny, por ser mentora e porto seguro durante toda essa jornada, oferecendo não apenas orientação acadêmica, mas também apoio e amizade verdadeira.

Ao meu orientador, Plínio Barbosa de Camargo, pela confiança, paciência e acolhimento, acreditando em mim e na minha trajetória como pesquisadora.

E ao GEPURA – Grupo de Estudos para o Uso Racional da Água da ESALQ/CENA-USP – pelo privilégio de ter-me permitido fazer parte do grupo, cuja contribuição foi essencial para o meu crescimento pessoal e profissional.

Muito obrigada!

EPÍGRAFE

“Música Submersa

Não quero ser o grande rio caudaloso
que figura nos mapas.
Quero ser o cristalino fio d’água
que canta e murmura
na mata silenciosa.”

Helena Kolody

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	2
1.2 Objetivo.....	3
1.3 Justificativa	3
2. MATERIAIS E MÉTODOS	4
3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: IMPORTÂNCIA, GESTÃO E DESAFIOS NO ESTADO DE SÃO PAULO	5
3.1. Arcabouço teórico, legal e institucional	5
3.2. Panorama das águas subterrâneas em São Paulo.....	10
3.3. Principais ameaças e pressões	12
3.4. Gestão das águas subterrâneas no Estado de São Paulo	16
4 PSA: CONCEITOS, FUNDAMENTOS E EXPERIÊNCIAS	18
4.1. Definição e princípios do PSA.....	18
4.2. Evolução do PSA no Brasil	19
4.3. Experiências nacionais em PSA para recursos hídricos	20
4.4. Decreto nº 66.549/2022 para proteção de águas subterrâneas através de PSA.....	22
5 MODELOS INTERNACIONAIS DE PSA PARA PROTEÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	25
5.1. Paris – proteção de mananciais por meio de incentivos a agricultores	25
5.2. Munique – proteção de aquíferos com compensação financeira direta a produtores rurais	27
5.3. Análise comparativa dos modelos de PSA de Paris e Munique	28
6 PSA PARA PROTEÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO	30
6.1. Critérios gerais para seleção de áreas prioritárias	30
6.2. Seleção de área potencial.....	34
6.3. Estruturação, parcerias e possíveis fontes de financiamento	38
6.4. Resultados esperados e recomendações	40
6.5. Indicadores de sucesso e monitoramento	41
7 CONCLUSÃO	42
7.1. Síntese do modelo de PSA proposto.....	42
7.2. Resultados esperados.....	43

7.3. Recomendações para implementação.....	44
7.4. Limitações	44
7.5. Perspectivas futuras	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	53

RESUMO

PSA para aquíferos em SP: lições da Alemanha e França

As águas subterrâneas constituem um recurso estratégico vital para o abastecimento hídrico no Estado de São Paulo, especialmente em face das mudanças climáticas e da crescente demanda urbana, agrícola e industrial. A gestão sustentável dessas águas é crucial para garantir a segurança hídrica a longo prazo, diante dos desafios relacionados à superexploração e à contaminação por atividades antrópicas, como o uso inadequado de agrotóxicos e a disposição irregular de resíduos e efluentes. Analisa-se a viabilidade de contratos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) direcionados a pequenos agricultores, fundamentando-se em experiências internacionais da França e da Alemanha, que demonstram a eficácia dos incentivos econômicos e das compensações financeiras para a preservação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos, através da adoção de práticas agrícolas que promovam a sustentabilidade ambiental, tais como a produção orgânica, agroecológica, biológica, entre outras, procurando-se adaptar suas lições para o contexto paulista e detalhando o arcabouço legal vigente, especialmente o Decreto Estadual nº 66.549/2022. Propõe-se a implementação no Aquífero Bauru, dada sua elevada vulnerabilidade à contaminação, e analisa-se o município de Bauru como estudo de caso, considerando sua dependência significativa de águas subterrâneas para o abastecimento público e a expressiva presença da agricultura na região. A escolha do município também se fundamenta na estrutura institucional local, que inclui uma prefeitura atuante e comitês de bacia hidrográfica capazes de apoiar o monitoramento ambiental e a governança dos recursos hídricos. O modelo proposto integra critérios técnicos para seleção de áreas prioritárias, mecanismos financeiros adequados, monitoramento rigoroso e envolvimento efetivo dos produtores rurais e instituições públicas. Os resultados esperados abrangem a melhoria substancial da qualidade da água subterrânea, redução da contaminação por poluentes agrícolas, fortalecimento da inclusão social por meio da capacitação técnica e geração de renda para pequenos e médios produtores, além do aprimoramento da governança hídrica local, promovendo o desenvolvimento sustentável da região. Recomenda-se a integração com o projeto SACRE (Soluções Integradas de Água para Cidades Resilientes), que contempla soluções tecnológicas e de gestão para resiliência hídrica, e a implementação de sistemas robustos de monitoramento integrados a políticas públicas. Apesar das limitações relacionadas ao financiamento e adesão dos agricultores, o PSA para a proteção da qualidade das águas subterrâneas apresenta-se como um instrumento promissor para a gestão hídrica sustentável no Estado de São Paulo.

Palavras-chave: águas subterrâneas, Pagamento por Serviços Ambientais, PSA, gestão de recursos hídricos, agricultura sustentável

ABSTRACT

PES for groundwater in São Paulo: lessons from Germany and France

Groundwater is a vital strategic resource for water supply in the State of São Paulo, especially in light of climate change and growing urban, agricultural and industrial demand. Sustainable management of these waters is crucial to ensuring long-term water security, given the challenges related to overexploitation and contamination by anthropogenic activities, such as the inappropriate use of pesticides and the irregular disposal of waste and effluents. The feasibility of Payment for Environmental Services (PES) contracts aimed at small farmers is analysed, based on international experiences in France and Germany, which demonstrate the effectiveness of economic incentives and financial compensation for the preservation of groundwater quality, through the adoption of agricultural practices that promote environmental sustainability, such as organic, agroecological, biological production, among others, seeking to adapt their lessons to the context of São Paulo and detailing the current legal framework, especially State Decree No. 66,549/2022. Implementation in the Bauru Aquifer is proposed, given its high vulnerability to contamination, and the municipality of Bauru is analysed as a case study, considering its significant dependence on groundwater for public supply and the significant presence of agriculture in the region. The choice of municipality is also based on the local institutional structure, which includes an active city government and river basin committees capable of supporting environmental monitoring and water resource governance. The proposed model integrates technical criteria for selecting priority areas, adequate financial mechanisms, rigorous monitoring, and effective involvement of rural producers and public institutions. The expected results include a substantial improvement in groundwater quality, a reduction in contamination by agricultural pollutants, the strengthening of social inclusion through technical training and income generation for small and medium-sized producers, and the improvement of local water governance, promoting the sustainable development of the region. Integration with the SACRE (Integrated Water Solutions for Resilient Cities) project is recommended, which includes technological and management solutions for water resilience, and the implementation of robust monitoring systems integrated with public policies. Despite limitations related to financing and farmer participation, the PSA for groundwater quality protection is a promising tool for sustainable water management in the State of São Paulo.

Keywords: groundwater, Payment for Environmental Services, PES, water resource management, sustainable agriculture

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Potencialidades Hídricas Subterrâneas no Estado de São Paulo (fonte: Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2013).....	10
Figura 2 – Mapa de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (fonte: Rocha, 2006).....	11
Figura 3 – Localização dos pontos de monitoramento da Rede de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2004-2006 (fonte: CETESB, 2013).....	12
Figura 4 – Índice de Potencial Poluidor e Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo 2004-2006 (fonte: Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2013)	13
Figura 5 – Contaminação com Nitrato nos aquíferos do Estado de São Paulo (fonte: Varnier, 2023).....	14
Figura 6 – Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Poluição no Estado de São Paulo (fonte: Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2013)	15
Figura 7 – Mapa Geológico do Estado de São Paulo (fonte: Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2013).....	30
Figura 8 – Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (fonte: adaptado de Oliveira et al., 1999).....	31
Figura 9 – Domínios Hidrogeológicos do Estado de São Paulo (fonte: adaptado de DAEE, 2013).....	32
Figura 10 – Cobertura florestal e o uso e ocupação do solo no Estado de São Paulo (fonte: adaptado de INPE, 2024).....	32
Figura 11 – Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos agrupadas por Região Hidrográfica do Estado de São Paulo (fonte: SigRH, 2021).....	33
Figura 12 – Sistema Aquífero Bauru (fonte: adaptado de Albuquerque et al., 2016).....	34
Figura 13 – Zonas de proteção de poços tubulares para captação de água (fonte: Foster et al., 2016).....	35
Figura 14 – Uso de Água Subterrânea para Abastecimento Público (fonte: CETESB, 2023)	36
Figura 15 – Regionalização de Diretrizes de Utilização e Proteção das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (fonte: Governo do Estado de São Paulo, 2005)	37
Figura 16 – Fases de estruturação de um esquema de PSA (fonte: Tosto et al., 2023)	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CBH-TB	Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha
CBH-TJ	Comitê de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Comitê PCJ	Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari, Jundiaí
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAE	Departamento de Água e Esgoto
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico
IGc/USP	Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo
LEBAC	Laboratório de Estudos de Bacias
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde
PFPSA	Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNPSA	Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais
POP	Poluentes Orgânicos Persistentes
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
RIMAS	Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SACRE	Soluções Integradas de Água para Cidades Resilientes
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIGRH	Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SP ÁGUAS	Agência de Águas do Estado de São Paulo
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
USP	Universidade de São Paulo
ZSCE	Zonas Sujeitas a Restrições Ambientais

1 INTRODUÇÃO

A humanidade enfrenta atualmente um contexto de polícrises (Okonjo-Iweala, 2025), principalmente por conta das mudanças climáticas, pela poluição ambiental e pela perda acelerada da biodiversidade, incluindo a desertificação e degradação dos solos (UNFCCC, 2022). Isso reflete os limites do atual modelo de desenvolvimento, historicamente estruturado sobre a exploração intensiva dos recursos naturais, a destruição dos ecossistemas e a ampliação das desigualdades sociais, impactando diretamente o ciclo hidrológico, tanto com relação ao acesso à água de qualidade, como gerando um cenário de insegurança hídrica que afeta tanto a saúde pública quanto a produção de alimentos e os equilíbrios ecológicos.

Esse contexto demanda um novo modelo econômico (Raworth, 2017) capaz de implementar uma bioeconomia circular sustentável (UNEP-CCC, 2025) que favoreça a transformação ecológica (MF, 2025). A água assume uma centralidade estratégica não apenas por sua função vital, mas por estar no centro das disputas por segurança ambiental, alimentar e climática. No Brasil, e particularmente no Estado de São Paulo, os aquíferos subterrâneos desempenham papel crucial no abastecimento urbano, agrícola e industrial, sendo responsáveis pelo fornecimento de água para mais de dois terços dos municípios (ANA, 2024). Contudo, esses recursos vêm sendo crescentemente pressionados pela superexploração, urbanização desordenada, poluição difusa, uso excessivo de agrotóxicos e alterações no uso e ocupação do solo, que comprometem os processos de recarga e a qualidade da água subterrânea.

A crise hídrica, portanto, não se restringe a uma dimensão ambiental ou técnica, mas envolve diretamente o campo dos direitos, inclusive dos Direitos Humanos e da Gestão Ambiental para articular as possibilidades de proteção e gestão integrada dos recursos hídricos, especialmente nas regiões onde a degradação dos aquíferos ameaça a segurança hídrica das populações.

O direito à água deve ser colocado no centro das políticas públicas de financiamento climático e de incentivos, conforme sublinham organizações como a OCDE e a OMC, dado seu papel fundamental na garantia da segurança hídrica e na adaptação às mudanças climáticas. Isso requer o fortalecimento de instrumentos como o Pagamento por Serviços Ambientais, direcionados especialmente à

conservação de áreas de recarga de aquíferos, proteção de nascentes e valorização de práticas sustentáveis no meio rural. Esses mecanismos são estratégias concretas para enfrentar os desafios interligados do século XXI, promovendo a resiliência dos ecossistemas e a justiça social no acesso à água, um recurso essencial para a saúde pública, a produção alimentar e o equilíbrio ambiental em contextos de crises climáticas e ambientais globais.

1.1 Contextualização

As águas subterrâneas desempenham um papel estratégico e vital no abastecimento hídrico do Estado de São Paulo, sendo responsáveis, total ou parcialmente, pelo fornecimento de água à grande parte dos municípios paulistas e suprimindo demandas domésticas, urbanas, agrícolas e industriais (Barbour et al., 2004). Dados do DAEE (SP Águas) e da CETESB indicaram que, em 2023, aproximadamente 72% dos municípios do estado dispunham desse recurso para suprir, integral ou parcialmente, suas necessidades de abastecimento (ANA, 2024; CETESB, 2023), evidenciando sua importância diante do crescimento populacional, da expansão das cidades e do desenvolvimento das atividades produtivas.

Essa fonte de água é considerada crucial não apenas para garantir a segurança hídrica de grandes centros urbanos, mas também para populações vulneráveis, pequenas cidades e comunidades afastadas das redes públicas de abastecimento (Hirata et al., 2019). No entanto, as águas subterrâneas de São Paulo enfrentam crescentes ameaças, tais como a superexploração dos aquíferos e a contaminação advinda de atividades antrópicas, especialmente pelo uso inadequado de agrotóxicos, resíduos industriais mal gerenciados, infiltração de esgoto doméstico, falta de saneamento rural e mudanças no uso do solo.

Diante desse cenário, a gestão sustentável dos aquíferos paulistas tornou-se fundamental para assegurar a disponibilidade e a qualidade da água a longo prazo. Essa gestão exige a integração entre políticas públicas, monitoramento hidrogeológico eficiente, fiscalização e medidas de proteção das áreas de recarga, de modo a evitar conflitos pelo uso, riscos de contaminação e superexploração.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho consiste em analisar contratos de Pagamento por Serviços Ambientais voltados a pequenos agricultores no Estado de São Paulo, fundamentando-se em experiências internacionais exitosas, notadamente as implementadas na França e na Alemanha, que extrapolam os modelos do PSA brasileiro, que está centrado na proteção quantitativa e qualitativa das águas superficiais.

Na França, destacam-se experiências de PSA para a melhora da qualidade das águas subterrâneas pelo envolvimento de produtores rurais nas proximidades de mananciais, com a implementação de contratos que remuneram agricultores por práticas agrícolas sustentáveis que preservam as áreas de recarga hídrica e reduzem a erosão e a poluição dos recursos hídricos.

Na Alemanha, o PSA integra uma ampla legislação ambiental que estabelece diretrizes para o controle do uso e proteção das águas subterrâneas, promovendo práticas agrícolas, como a agricultura orgânica, alinhadas à conservação hídrica e o fortalecimento de políticas públicas. A experiência alemã também enfatiza a articulação institucional e sustentabilidade financeira.

A partir dessas experiências, propõe-se avaliar a aplicabilidade desses mecanismos econômicos em políticas pública que incentivem a adoção de práticas ambientais na área agrícola para a proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos no Estado de São Paulo, especialmente o Decreto Estadual nº 66.549/2022, que disciplina o PSA em âmbito estadual.

1.3 Justificativa

A adoção de contratos de Pagamento por Serviços Ambientais é um instrumento eficaz para a conservação dos aquíferos, ao promover incentivos econômicos que estimulam a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e a responsabilidade socioambiental dos produtores rurais (Wunder, 2015). A relevância do tema reside na necessidade da adoção de práticas resilientes face aos desafios contemporâneos relacionados a adaptação às mudanças climáticas (Hirata et al., 2025), segurança hídrica e à segurança alimentar, incentivando a sustentabilidade

local do produtor rural. No contexto do Estado de São Paulo, tal mecanismo está previsto no arcabouço legal vigente, especialmente o Decreto Estadual nº 66.549/2022 que define diretrizes, estruturas de gestão, critérios de elegibilidade e formas de pagamento por serviços ambientais para ações de proteção, recuperação e valorização dos serviços ecossistêmicos, como conservação de recursos hídricos, restauração de áreas degradadas, manutenção da biodiversidade, manejo sustentável e adoção de soluções baseadas na natureza (Governo do Estado de São Paulo, 2018).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Optou-se por adotar uma abordagem teórica baseada em revisão sistemática e crítica da literatura, fundamentando-se em fontes acadêmicas, legais e institucionais, com o objetivo de analisar a viabilidade de contratos de Pagamento por Serviços Ambientais voltados à proteção das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. A revisão inclui textos escritos em três línguas: português, francês e inglês, o que ampliou o espectro de análises e permitiu contemplar um conjunto diversificado de perspectivas e experiências internacionais.

Foram selecionados e analisados artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros que tratam dos fundamentos teóricos, desafios e inovações relacionados a PSA e gestão de águas subterrâneas. Destacam-se os casos de Paris, na França, e Munique, na Alemanha, entre as experiências internacionais avaliadas. A seleção do material bibliográfico foi realizada mediante buscas criteriosas em bases de dados como *Scielo*, *Web of Science*, *Google Scholar* e repositórios institucionais, utilizando palavras-chave específicas nos três idiomas, relacionadas a “águas subterrâneas”, “pagamento por serviços ambientais”, “PSA”, “proteção de aquíferos”, “agricultura sustentável” e “gestão de recursos hídricos”.

Além disso, a pesquisa também considerou legislação brasileira, incluindo o Decreto Estadual nº 66.549/2022, bem como normativas estaduais e federais pertinentes à gestão dos recursos hídricos e PSA. Outros documentos complementares, como relatórios técnicos e estudos de caso produzidos por órgãos

ambientais, comitês de bacia hidrográfica, organizações não governamentais e organismos multilaterais, foram incorporados para enriquecer a análise.

A análise dos textos seguiu critérios rigorosos de relevância, atualidade e adequação ao contexto específico do Estado de São Paulo, priorizando publicações dos últimos dez anos e experiências amplamente reconhecidas internacionalmente. Os dados e argumentos extraídos da literatura foram organizados conforme os tópicos do sumário, permitindo uma discussão estruturada dos principais conceitos, desafios, avanços e perspectivas para a implementação dos contratos de PSA no domínio das águas subterrâneas.

Por se tratar de um estudo teórico, não foram realizadas coletas de dados primários, entrevistas ou trabalho de campo. O método adotado visa oferecer uma síntese crítica e comparativa do conhecimento existente, proporcionando subsídios para recomendações políticas e apontando lacunas que poderão orientar pesquisas futuras.

3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: IMPORTÂNCIA, GESTÃO E DESAFIOS NO ESTADO DE SÃO PAULO

3.1. Arcabouço teórico, legal e institucional

A água foi reconhecida como um direito humano fundamental pela Assembleia Geral das Nações Unidas por meio da Resolução 64/292 (UN, 2010), a qual declara que o acesso à água potável segura e ao saneamento é essencial para a realização de todos os demais direitos humanos. Este direito passou a ser interpretado não apenas como acesso físico ao recurso, mas também como um conjunto de dimensões que compreendem disponibilidade, qualidade, acessibilidade física e econômica, aceitabilidade cultural e não discriminação. Envolve, portanto, políticas públicas eficazes que garantam o fornecimento contínuo, a qualidade sanitária e o acesso universal, especialmente por populações vulnerabilizadas (Granziera; Denny, 2016).

Enrique Leff propõe uma racionalidade ambiental crítica, na qual a água é compreendida como bem comum e patrimônio socioecológico, opondo-se à sua apropriação privada (Leff, 2018). Amartya Sen, por sua vez, entende que o

acesso à água deve ser considerado uma liberdade substantiva básica, necessária para o exercício de outras capacidades humanas e, portanto, deve ser tratado como um direito subjetivo justiciável e não apenas como um serviço público (Sen, 1991).

A Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988) estabelece o fundamento legislativo para a gestão das águas no Brasil, dispondo em seus artigos 20, III, e 26, I, que as águas subterrâneas são bens de domínio exclusivo dos Estados, enquanto as águas superficiais podem ser consideradas de domínio da União ou dos Estados, dependendo de sua extensão territorial e característica:

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;

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;

A proteção das águas subterrâneas no Estado de São Paulo está apoiada em um complexo arcabouço legal e institucional que contempla normas federais, estaduais e regulamentações específicas emanadas por órgãos ambientais e de gestão de recursos hídricos. Essa estrutura é fundamental para assegurar o uso sustentável e a conservação desses recursos.

No âmbito nacional, a Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, reconhecendo-as como parte integrante dos recursos hídricos a serem geridos de forma integrada e sustentável. A lei estabelece que o uso dos recursos hídricos subterrâneos está sujeito à outorga pelo poder público, considerando essa outorga um mecanismo essencial para o controle, monitoramento e uso racional das águas subterrâneas (Brasil, 1997). Além disso, a lei prevê sanções para infrações relacionadas à captação ou uso dessas águas sem a devida autorização, e enfatiza a necessidade de planejamento e proteção ambiental desses recursos para garantir sua disponibilidade às gerações presentes e futuras:

Art. 49. Constitui infração das normas de utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos:

V - perfurar poços para extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização;

A Resolução CONAMA nº 396/2008 define que as águas subterrâneas são “águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo” e dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento da qualidade das águas subterrâneas, estabelecendo parâmetros para prevenção da poluição e controle da disposição de resíduos e efluentes no solo (CONAMA, 2008).

A Resolução CONAMA nº 420/2009 dispõe sobre a importância do solo para a proteção preventiva das águas subterrâneas e estabelece critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, bem como diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (CONAMA, 2009):

Art. 3º A proteção do solo deve ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da sua funcionalidade ou, de maneira corretiva, visando restaurar sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos.

Parágrafo único. São funções principais do solo:

II - manter o ciclo da água e dos nutrientes;

IV - agir como filtro natural, tampão e meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas e organismos;

V - proteger as águas superficiais e subterrâneas;

No cenário estadual, a Lei Estadual nº 6.134/1988, é a principal norma que regula a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas em São Paulo. Essa lei prevê o estabelecimento de áreas de proteção em torno dos locais de extração, a fiscalização do uso das águas subterrâneas pelos órgãos estaduais competentes, e define mecanismos para evitar a poluição e garantir a sustentabilidade dos mananciais (Governo do Estado de São Paulo, 1988):

Artigo 4.º - As águas subterrâneas deverão ter programa permanente de preservação e conservação, visando ao seu melhor aproveitamento.

§ 1.º - A preservação e conservação dessas águas implicam em uso racional, aplicação de medidas contra a sua poluição e manutenção do seu equilíbrio físico, químico e biológico em relação aos demais recursos naturais.

§ 2.º - Os órgãos estaduais competentes manterão serviços indispensáveis à avaliação dos recursos hídricos do subsolo, fiscalizarão sua exploração e adotarão medidas contra a contaminação dos aquíferos e deterioração das águas subterrâneas.

§ 3.º - Para os efeitos desta lei, considera-se poluição qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas, que

possa ocasionar prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações, comprometer o seu uso para fins agropecuários, industriais, comerciais e recreativos e causar danos à fauna e flora naturais.

Complementarmente, o Decreto Estadual nº 32.955/1991 dispõe sobre a implementação das medidas e procedimentos para a implementação das diretrizes estabelecidas na lei, incluindo a regulamentação da perfuração, utilização e monitoramento dos poços profundos, além do controle das fontes geradoras de contaminação (Governo do Estado de São Paulo, 1991a). O decreto atribui responsabilidades específicas a órgãos como o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (atual SP Águas) e a Secretaria Estadual do Meio Ambiente, promovendo a atuação integrada para a proteção efetiva dos recursos hídricos subterrâneos no Estado de São Paulo:

Artigo 1º - Cabe ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE a administração das águas subterrâneas do Estado, nos campos da pesquisa, captação, fiscalização, extração e acompanhamento de sua interação com águas superficiais e com o ciclo hidrológico.

Parágrafo único - O Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE manterá serviços indispensáveis à avaliação dos recursos hídricos subterrâneos, ao conhecimento do comportamento hidrológico dos aquíferos, ao controle e à fiscalização da extração.

Artigo 8.º - Cabe à CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental prevenir e controlar a poluição das águas subterrâneas, para o que manterá os serviços indispensáveis.

Artigo 9.º - Cabe à Secretaria da Saúde a fiscalização das águas subterrâneas destinadas a consumo humano, quanto ao atendimento aos padrões de potabilidade.

Artigo 10 - Cabe ao Instituto Geológico a execução de pesquisa e estudos geológicos e hidrogeológicos, o controle e arquivo de informações dos dados geológicos dos poços, no que se refere ao desenvolvimento do conhecimento dos aquíferos e da geologia do Estado.

Artigo 11 - As entidades e os órgãos mencionados nesta Seção poderão recorrer a outros organismos governamentais, para a aplicação das disposições deste decreto.

Artigo 12 - Ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos caberá baixar normas complementares, necessárias ao cumprimento deste decreto.

A CETESB opera a rede estadual de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, além de estabelecer diretrizes técnicas e procedimentos para avaliação e manejo de áreas contaminadas e proteção de aquíferos. Por exemplo, Decisão de Diretoria da CETESB nº 195, de 23 de novembro de 2005, que dispõe

sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências (CETESB, 2005).

Além disso, o SP Águas é responsável pela outorga dos direitos de uso das águas subterrâneas no Estado, em consonância com a Política Estadual de Recursos Hídricos, Lei Estadual nº 7.663/1991, com diretrizes e normas para o uso, proteção, conservação, recuperação e controle das águas superficiais e subterrâneas no Estado de São Paulo, visando o desenvolvimento sustentável através da articulação institucional entre órgãos gestores, usuários e sociedade para assegurar a participação e o controle social na gestão dos recursos hídricos estaduais (Governo do Estado de São Paulo, 1991b). A Portaria DAEE nº 1.636/2017 disciplina sobre condições administrativas para protocolo e tramitação de requerimentos de cadastros e de outorgas de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, de domínio do Estado de São Paulo (DAEE, 2017).

No que tange à prevenção e controle da poluição ambiental no Estado de São Paulo, destacam-se diversas normas legais que fundamentam as políticas públicas voltadas à proteção do meio ambiente. A Lei Estadual nº 119/1973 dispõe sobre a criação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), encarregada do planejamento, execução e operação dos serviços públicos de saneamento básico em todo o território paulista, assegurando a autonomia dos municípios e prevenindo a poluição das águas (Governo do Estado de São Paulo, 1973). A Lei Estadual nº 13.542/2009 complementa este arcabouço, regulamentando aspectos específicos relativos ao controle da poluição ambiental, incluindo procedimentos e responsabilidades para mitigação de impactos (Governo do Estado de São Paulo, 2009). Ademais, a Lei Estadual nº 997/1976 estabelece normas para o uso racional dos recursos naturais, incluindo medidas para a proteção dos corpos d'água (Governo do Estado de São Paulo, 1976b), enquanto o Decreto Estadual nº 8.468/1976 detalha aspectos técnicos e administrativos para a execução dessas políticas, promovendo o controle efetivo das fontes de poluição e a conservação ambiental no âmbito estadual (Governo do Estado de São Paulo, 1976a).

O conjunto dessas normativas constitui a base jurídica indispensável para a promoção da gestão integrada da qualidade ambiental e a salvaguarda das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Adicionalmente, documentos correlatos, disponíveis no portal institucional da CETESB, oferecem subsídios referenciais sobre a temática, embora as informações neles contidas estejam atualizadas apenas até o ano de 2008 (CETESB, 2008).

3.2. Panorama das águas subterrâneas em São Paulo

A disponibilidade de água subterrânea no Estado de São Paulo (Figura 1) desempenha papel essencial no abastecimento humano, industrial e agrícola, representando, em diversos municípios, a principal ou única fonte hídrica.

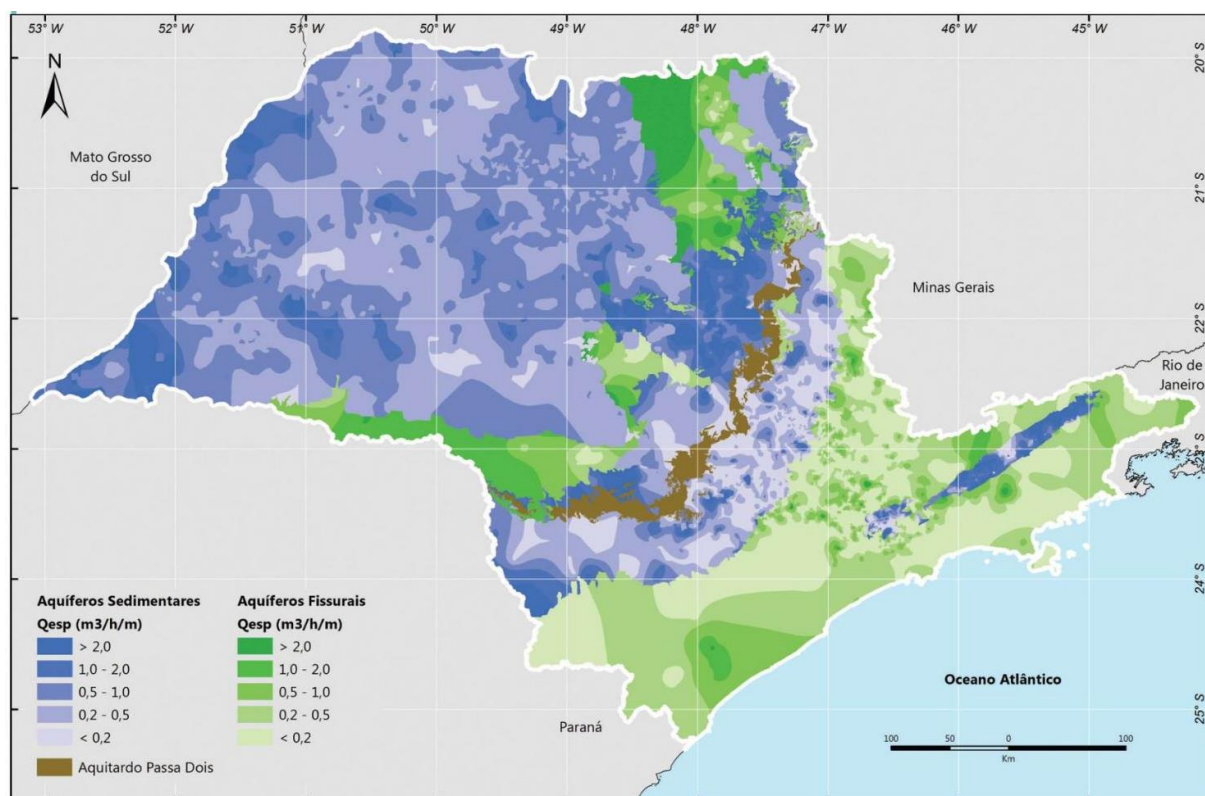


Figura 1 - Potencialidades Hídricas Subterrâneas no Estado de São Paulo (fonte: Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2013)

Estima-se que cerca de 72% dos municípios paulistas possuem poços tubulares para seu abastecimento (ANA, 2024; CETESB, 2023), evidenciando sua relevância socioeconômica e ambiental. Este recurso tem sido essencial para suprir as demandas crescentes, especialmente em regiões onde as reservas superficiais

são insuficientes, destacando-se como elemento estratégico para a segurança hídrica estadual e a sustentabilidade das atividades produtivas (Hirata et al., 2019).

A diversidade dos aquíferos paulistas, em termos de natureza e produtividade, reflete a complexidade da gestão das águas subterrâneas no Estado de São Paulo e, ainda, constituem parte dos principais sistemas hidrogeológicos do Brasil. Entre eles destacam-se o Sistema Aquífero Guarani, o Sistema Aquífero Serra Geral, o Sistema Aquífero Bauru, o Sistema Aquífero Tubarão, o Sistema Aquífero Taubaté e o Sistema Aquífero Cristalino (Figura 2). Esses mananciais apresentam recarga natural a partir da infiltração da água das chuvas, e contribuem para a manutenção das vazões de base dos rios paulistas, especialmente durante os períodos de estiagem (DAEE, 2023).

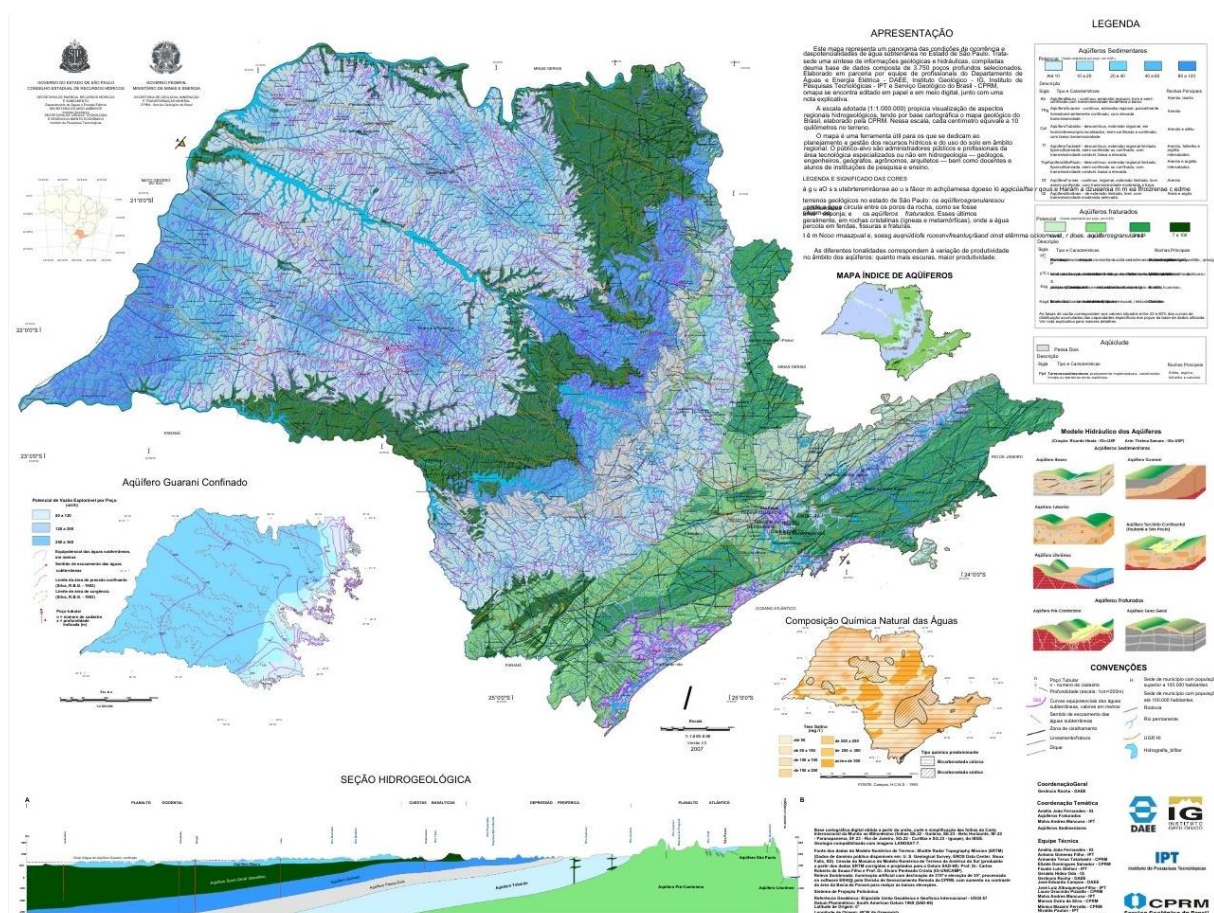


Figura 2 – Mapa de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (fonte: Rocha, 2006)

De acordo com o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS/SGB), em dezembro de 2023, o Estado de São Paulo contabilizava aproximadamente 147.000 poços cadastrados, entre ativos, inativos e em

construção, correspondendo à maior concentração de poços do país (Figura 3). Essa densidade reflete tanto a elevada demanda hídrica associada à intensa urbanização e industrialização quanto a disponibilidade de estruturas geológicas favoráveis à exploração subterrânea (Freddo Filho, 2023).

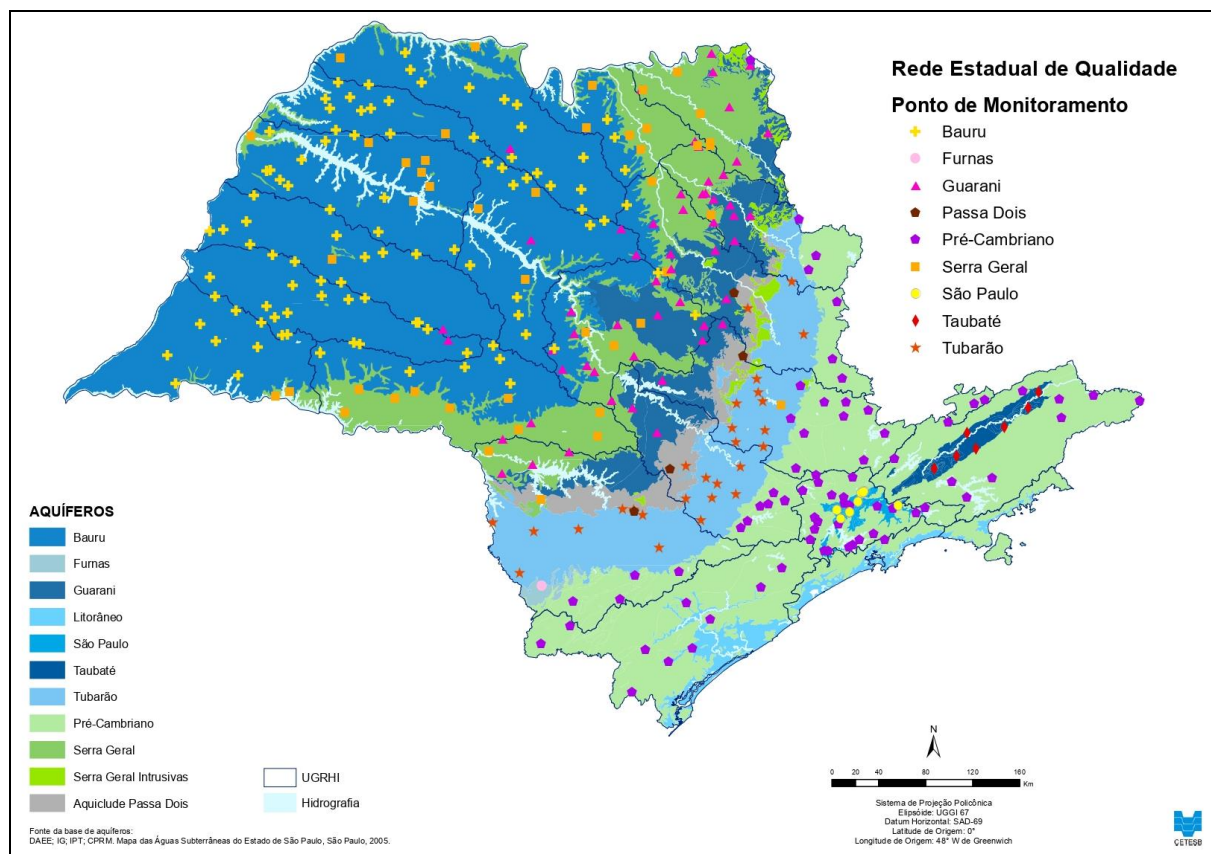


Figura 3 – Localização dos pontos de monitoramento da Rede de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2004-2006 (fonte: CETESB, 2013)

3.3. Principais ameaças e pressões

Os aquíferos subterrâneos no Estado de São Paulo enfrentam múltiplas ameaças decorrentes da intensa urbanização, expansão industrial, agricultura intensiva e deficiências na infraestrutura de saneamento básico, conforme destacado por Hirata et al. (2025). Essas pressões, aliadas à necessidade de adaptação às mudanças climáticas, apresentam risco significativo para a quantidade e a qualidade das águas subterrâneas, comprometendo seu uso sustentável e a segurança hídrica regional.

Estudos indicam que a recarga natural dos aquíferos pode sofrer redução drástica em função do aumento da temperatura e da irregularidade na

distribuição das chuvas, somadas ao uso excessivo da água subterrânea, o que intensifica a vulnerabilidade desses reservatórios (Hirata et al., 2025). A superexploração dos aquíferos configura-se como uma preocupação central na gestão das águas subterrâneas, em especial nas áreas urbanas densamente povoadas, como Ribeirão Preto, Bauru, Presidente Prudente e Vale do Paraíba. Nesses locais, a extração intensiva para abastecimento público, industrial e irrigação tem causado rebaixamentos significativos dos níveis piezométricos, com quedas que atingem dezenas de metros (IGc/USP, 2023). Tais condições acarretam riscos à sustentabilidade do recurso, incluindo a escassez das águas subterrâneas e a perda da capacidade de armazenamento, comprometendo a disponibilidade hídrica para as gerações futuras.

A qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo (Figura 4) está ameaçada por diversas fontes de contaminação química e microbiológica provenientes de múltiplas origens antrópicas.

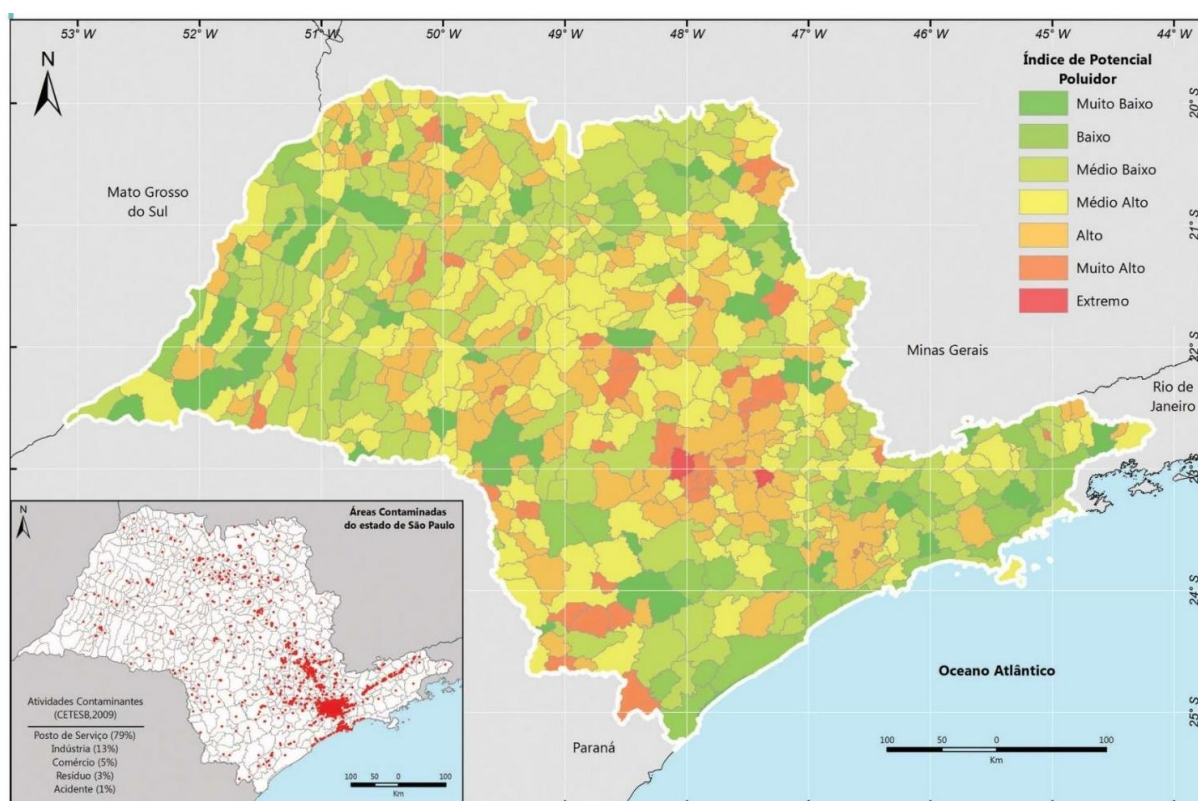


Figura 4 – Índice de Potencial Poluidor e Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo 2004-2006 (fonte: Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2013)

Dentre as principais destacam-se os vazamentos e infiltrações da rede de esgoto doméstico, falta de saneamento rural, disposição irregular de resíduos

sólidos em lixões e efluentes industriais. A utilização inadequada de agrotóxicos e fertilizantes na agricultura também figura entre os principais fatores de contaminação difusa, impactando a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos (CETESB, 2013).

Segundo Varnier (2023), a gravidade da contaminação por nitrato no Sistema Aquífero Bauru está associada principalmente à falta de manutenção das redes e aos vazamentos de esgoto, inclusive em poços de abastecimento público (Figura 5). A autora ressalta que o nitrato é o contaminante mais recorrente em aquíferos no mundo, apresenta elevada mobilidade, pode levar mais de um século para ser removido do ambiente após cessadas as fontes de poluição e, em concentrações acima do padrão de potabilidade, está associado a riscos à saúde humana, como metemoglobinemia e alguns tipos de câncer, conforme parâmetros da Organização Mundial da Saúde (CETESB, 2023; Varnier et al., 2019).

Em termos de gestão, Varnier (2023) enfatiza a necessidade de cadastro e regularização dos poços junto aos órgãos outorgantes, bem como de programas de comunicação social que incentivem a população a monitorar e legalizar as captações, considerando o elevado índice de poços tubulares clandestinos no país.

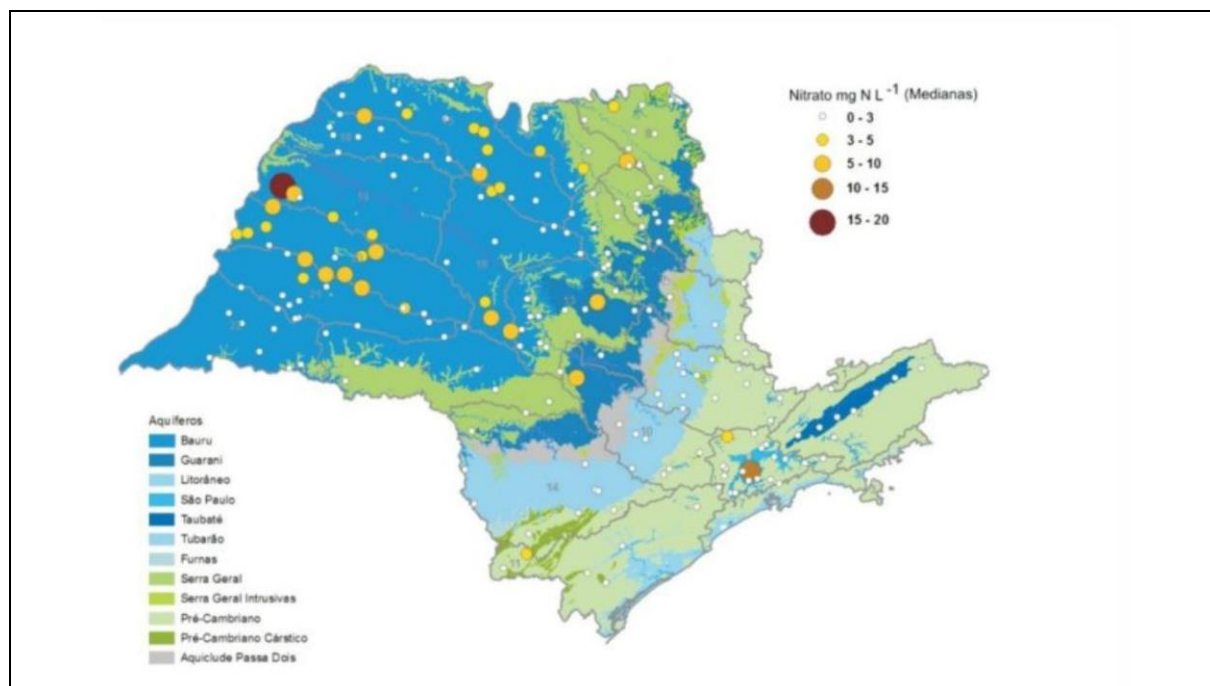


Figura 5 – Contaminação com Nitrato nos aquíferos do Estado de São Paulo (fonte: Varnier, 2023)

Segundo o Projeto SACRE (2022), outras causas podem ser apontadas como causadoras da contaminação por nitrato no Aquífero Bauru, como a lixiviação de fertilizantes nitrogenados, com elevada incidência em áreas urbanas e agrícolas (CETESB, 2023).

Além do nitrato, as águas estão sujeitas à contaminação por outros poluentes como metais pesados (chumbo, cádmio, arsênio), solventes orgânicos e hidrocarbonetos provenientes de atividades comerciais e industriais, além de agrotóxicos e poluentes orgânicos persistentes (POP) usados na agricultura intensiva (CETESB, 2013). Essas substâncias, muitas vezes presentes em concentrações que superam os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira na Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 (Brasil, 2021b) e Resolução do CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009 (CONAMA, 2009), comprometem a qualidade hídrica, dificultam o tratamento da água para consumo e acarretam consequências ambientais e socioeconômicas.

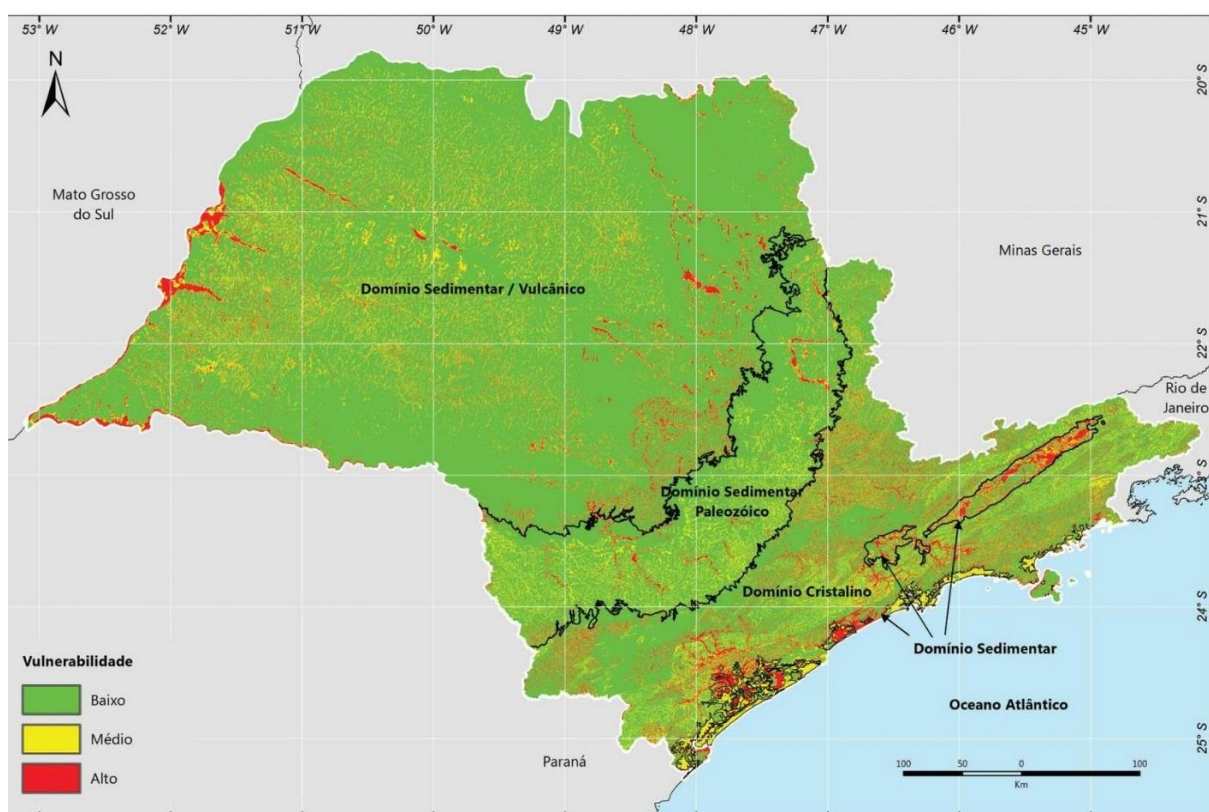


Figura 6 – Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Poluição no Estado de São Paulo (fonte: Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2013)

Outro fator relevante é a vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação, que varia conforme a geologia local e a profundidade do aquífero

(Figura 6). Aquíferos rasos ou aflorantes, estão diretamente expostos a fontes difusas de poluição, agravadas por processos de urbanização desordenada e insuficiência do saneamento (CETESB, 2013; IGc/USP, 2023).

Condições climáticas também funcionam como pressão sobre os aquíferos. A crise climática global vem provocando mudanças nos padrões pluviométricos, reduzindo a recarga natural dos aquíferos e acarretando maior estresse hídrico, principalmente em períodos prolongados de seca (Hirata et al., 2025). Estudos recentes indicam que áreas do Estado, sobretudo o Sistema Aquífero Bauru-Caiuá, terão diminuição significativa no volume recarregado até o final do século, agravando os riscos de escassez (Agência FAPESP, 2025).

Para controlar esses impactos, existem mecanismos como a outorga, que é a autorização formal para uso de recurso hídrico, regulando e limitando a captação para assegurar a sustentabilidade do aquífero. Sua regulamentação está prevista na Portaria DAEE nº 1.630, de 30 de maio de 2017, que dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa para obtenção de manifestação e outorga de direito de uso e de interferência em recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo. No entanto, a instalação de poços sem outorga revela a falta de conscientização dos usuários e representa um problema sério, pois essa ação descontrolada pode levar ao rebaixamento dos níveis freáticos e consequentes conflitos pelo uso dos recursos.

Sendo assim, a fiscalização é outro instrumento crucial, responsável por monitorar o cumprimento das normas, evitar extrações ilegais e coibir a instalação de poços sem outorga, prática que compromete a gestão integrada dos sistemas aquíferos.

3.4. Gestão das águas subterrâneas no Estado de São Paulo

Como exposto, a situação das águas subterrâneas paulistas revela um quadro de intensa utilização, demanda crescente e necessidade constante de fiscalização, essencial para assegurar a sustentabilidade dos aquíferos diante da pressão urbana, agrícola e industrial.

O monitoramento quantitativo e qualitativo das águas subterrâneas em São Paulo é realizado de forma integrada pelo SP Águas (antigo DAEE) e pela CETESB, em cooperação com a ANA e o Serviço Geológico do Brasil (SGB). O SP Águas opera a Rede Estadual de Monitoramento de Águas Subterrâneas, composta por mais de 300 poços de observação distribuídos nas 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs) do Estado. Essa rede é parte da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), coordenada nacionalmente pelo SGB, e tem como finalidade acompanhar a variação dos níveis piezométricos e identificar tendências de disponibilidade hídrica (DAEE, 2023; ANA, 2023).

Em termos qualitativos, a CETESB é responsável pela Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas, implementada desde 1992. Atualmente, o monitoramento abrange 375 pontos (poços de captação de água), contemplando tanto aquíferos livres como confinados (CETESB, 2023). Os principais parâmetros avaliados incluem condutividade elétrica, nitrato, metais e compostos orgânicos voláteis. Dados recentes apontam que aproximadamente 25% dos poços apresentam algum indício de contaminação, principalmente por nitrato e compostos orgânicos derivados de atividades urbanas e industriais (CETESB, 2023).

A gestão das águas subterrâneas em São Paulo está diretamente relacionada ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH), conforme a Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei Estadual nº 7.663/1991). Essa gestão prevê o uso racional das águas subterrâneas e a outorga de direito de uso emitida pelo SP Águas, considerando os limites de recarga dos aquíferos e a interdependência com os rios superficiais. Estudos têm identificado áreas onde a interação rio-aquífero é mais intensa, como nas regiões de Ribeirão Preto, Bauru, Presidente Prudente e Vale do Paraíba, tornando-as prioritárias para a implementação de medidas integradas de gestão e proteção (DAEE, 2023).

O avanço tecnológico recente permitiu a instalação de sistemas de telemetria em parte dos poços de monitoramento operados pelo SP Águas e SGB, com transmissão em tempo real de níveis d'água subterrânea e parâmetros de qualidade para o sistema Hidro-Telemetria da ANA (2024). Essa iniciativa é pioneira,

reforçando o uso de dados contínuos na gestão preventiva e no planejamento de outorgas.

4 PSA: CONCEITOS, FUNDAMENTOS E EXPERIÊNCIAS

4.1. Definição e princípios do PSA

Encontra-se a definição de pagamento por serviços ambientais no Art. 2º, IV, da Lei nº 14.119/2021 como uma “transação de natureza voluntária, mediante a qual um pagador de serviços ambientais transfere a um provedor desses serviços recursos financeiros ou outra forma de remuneração, nas condições acertadas, respeitadas as disposições legais e regulamentares pertinentes” (Brasil, 2021a). Trata-se de um instrumento econômico que busca reconhecer e remunerar os provedores desses serviços ambientais, ou ecossistêmicos, que também estão definidos no mesmo texto legal como “benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais” (Brasil, 2021^a).

O PSA fundamenta-se em princípios essenciais como a voluntariedade na assinatura dos contratos estabelecidos entre os beneficiários dos serviços ambientais e a administração pública, garantindo que a negociação ocorra de forma transparente e consensual (Ferraz et al., 2019). Outro princípio fundamental é a adicionalidade, que impõe que as ações incentivadas pelo PSA sejam além das obrigações legais ou das práticas convencionais já adotadas, assegurando, assim, ganhos ambientais reais e efetivos. A mensurabilidade é igualmente crucial, ao exigir que os benefícios ambientais sejam quantificados ou qualificados, possibilitando a avaliação da efetividade dos programas. A formalização dos contratos de PSA reveste-se de particular importância, pois estabelece direitos e deveres claros para as partes envolvidas, assegura mecanismos de pagamento, monitoramento e fiscalização, e cria incentivos econômicos concretos para a conservação dos recursos naturais (Ferraz et al., 2019).

De fato, a Lei nº 14.119/2021 é considerada um marco regulatório federal que consolidou e unificou diretrizes anteriormente fragmentadas em iniciativas estaduais, municipais e em ações promovidas por comitês de bacias

hidrográficas, atendendo à necessidade de uma padronização nacional (Camargo Neto et al., 2025). Apesar de não apresentar uma temática completamente inédita, uma vez que experiências já vinham sendo implementadas em âmbitos regionais e internacionais, a regulamentação e operacionalização da nova política nacional envolvem desafios complexos, dada a diversidade de atores, contextos e a necessidade de articulação dos instrumentos institucionais. Assim, a legislação prevê mecanismos que buscam garantir a efetividade do PSA, incluindo o estabelecimento de contratos formais entre provedores e beneficiários de serviços ambientais, além da criação de instâncias para monitoramento, avaliação e governança dos programas (Brasil, 2021).

4.2. Evolução do PSA no Brasil

O PSA no Brasil evoluiu significativamente nas últimas duas décadas que precederam a Lei nº 14.119/2021, destacando-se por ser um mecanismo inovador de política ambiental e rural. Inicialmente a Lei nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), previa como um dos instrumentos para sua aplicação, Art. 9º, V, incentivos à adoção de tecnologias voltadas à melhoria ambiental (Brasil, 1981). Posteriormente, a Lei nº 11.284/2006 incluiu o inciso XIII ao mesmo artigo, que acrescentou os instrumentos econômicos, como “concessão florestal, servidão ambiental, seguro ambiental e outros” (Brasil, 2006). Mas foi apenas com a Lei nº 12.651/2012, Código Florestal Brasileiro, que o PSA foi formalmente instituído na legislação federal (Brasil, 2012).

O desenvolvimento foi impulsionado por experiências pioneiras na região sudeste, como o Programa Produtor de Água da Agência Nacional de Águas (ANA, 2023), estabelecido em 2005, que se tornou referência nacional e internacional para incentivos financeiros vinculados à proteção hídrica (Ferraz et al., 2019). Projetos e experiências a nível nacional, como o Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (Proambiente) e o Bolsa Floresta, merecem destaque na implementação do PSA na Amazônia, iniciados a partir de 2006. Essas iniciativas vinculam serviços ambientais relacionados ao carbono, à qualidade da água, ao solo e à biodiversidade, realizando pagamentos condicionados à redução do desmatamento, adoção de

melhores práticas agrícolas e captura de carbono (Wunder, 2015). No âmbito estadual do Amazonas, tanto o Proambiente quanto o Bolsa Floresta se configuram como os programas de maior relevância em termos de aplicação de esquemas de PSA, tendo o Bolsa Floresta se consolidado como um modelo inovador de incentivo à conservação florestal e melhoria da qualidade de vida das populações locais, alcançando significativos resultados socioambientais (Wunder, 2015).

Paralelamente, houve avanços em marcos legais e políticas públicas estaduais e federais que buscam regulamentar e fomentar o PSA, incluindo a formulação de diversos projetos de lei para criar uma política nacional específica. O crescimento científico e acadêmico do tema também é expressivo, com ampliação dos estudos sobre mecanismos de avaliação, valoração ambiental e estruturas institucionais para apoiar a implementação efetiva do PSA (Ferraz et al., 2019).

Contudo, apesar do potencial do PSA como instrumento para fomentar a conservação ambiental, sua implementação no Brasil ainda enfrenta desafios significativos que limitam sua eficácia e alcance. Entre os principais obstáculos destacam-se a ausência de padronização nos critérios técnicos para a avaliação e mensuração dos serviços ambientais, o que compromete a uniformidade e a comparabilidade dos resultados entre diferentes programas e regiões (Eloy; Coudel, 2013). Ademais, a continuidade financeira de alguns projetos de PSA permanece incerta, dada a dependência de fontes variadas e, frequentemente, temporárias de financiamento, o que dificulta a sustentabilidade a longo prazo dessas iniciativas. Outro desafio crítico refere-se à inclusão social dos pequenos produtores rurais, que, muitas vezes, enfrentam barreiras de acesso devido a exigências burocráticas, limitações técnicas e falta de capacitação, o que pode resultar em exclusão ou participação marginal nesse mecanismo (Eloy; Coudel, 2013).

4.3. Experiências nacionais em PSA para recursos hídricos

No Brasil, diversas iniciativas concretas têm avançado na implementação de Pagamento por Serviços Ambientais voltados à conservação dos recursos hídricos.

O Programa Produtor de Água, gerido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, é um dos exemplos mais consolidados, atuando em várias bacias hidrográficas estratégicas do país. Tem como objetivo principal reduzir a erosão e o assoreamento dos mananciais hídricos em áreas rurais, promovendo a conservação do solo, a recuperação de áreas degradadas, a proteção de nascentes e o saneamento ambiental. Dado que os benefícios ambientais dessas ações ultrapassam os limites das propriedades privadas, o programa prevê o pagamento proporcional pelo serviço ambiental prestado, calculado com base no custo de oportunidade e na avaliação dos impactos positivos gerados (ANA, 2023). Para serem elegíveis ao programa, os projetos devem estar enquadrados na categoria de proteção hídrica, envolvendo práticas voltadas à melhoria da qualidade e quantidade da água, a inclusão de agricultores familiares, o planejamento em bacias hidrográficas, e a implementação de sistemas de monitoramento que quantifiquem os benefícios ambientais (Ferraz et al., 2019).

O projeto Conservador de Águas, implantado no município de Extrema-MG, situado no espigão sul da Serra da Mantiqueira, região de Mata Atlântica, foi pioneiro no programa Produtor de Águas da ANA (ANA, 2023). O município é um dos quatro municípios mineiros que fazem parte de uma bacia responsável por dois terços do volume de água fornecida para o Sistema Cantareira, integrante de um dos maiores complexos de abastecimento de água do mundo. O município adotou um modelo de pagamento por serviço ambiental que aplica os princípios do usuário-pagador e do provedor-recebedor. Assim, apoia-se o proprietário rural que investir na preservação de mananciais e da qualidade dos recursos hídricos, através de uma remuneração ou compensação financeira, que, ao mesmo tempo em que preserva a qualidade dos recursos, melhora um pouco a renda das famílias rurais participantes do projeto (Prefeitura Municipal de Extrema, 2025).

No Brasil, diversas iniciativas regionais de PSA voltadas aos recursos hídrico, porém, a maioria dessas ações não tem como foco principal a qualidade das águas subterrâneas. De forma geral, os programas priorizam atividades como o reflorestamento e a conservação de matas ciliares, as quais são reconhecidas por contribuírem significativamente para a melhoria da qualidade das águas superficiais. Essas intervenções tendem a visar prioritariamente o aumento da quantidade de

água disponível, por meio da proteção das nascentes e da melhoria da capacidade de recarga hídrica (Ferraz et al., 2019).

4.4. Decreto nº 66.549/2022 para proteção de águas subterrâneas através de PSA

Com base na Lei nº 14.119/2021, é possível fundamentar o PSA como um instrumento abrangente para a proteção dos recursos hídricos no Brasil, apesar de não estar explicitamente contemplado.

Conforme disposto no Art. 4º, inciso V, da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), um de seus objetivos primordiais é “incentivar medidas para garantir a segurança hídrica em regiões submetidas a escassez de água para consumo humano e a processos de desertificação” (Brasil, 2021). Complementarmente, o Art. 7º, inciso III, determina que o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA) deve promover ações de “conservação e melhoria da quantidade e da qualidade da água, especialmente em bacias hidrográficas com cobertura vegetal crítica importantes para o abastecimento humano e para a dessedentação animal ou em áreas sujeitas a risco de desastre” (Brasil, 2021).

O fundamento legal voltado a proteção específica das águas subterrâneas está previsto no inciso VI do Artigo 7º, que determina que o PFPSA promova ações de “manejo sustentável de sistemas agrícolas, agroflorestais e agrossilvopastoris que contribuam para captura e retenção de carbono e conservação do solo, da água e da biodiversidade” (Brasil, 2021). Esta disposição reforça a importância de práticas integradas e sustentáveis que, além de conservar os ecossistemas, garantem a proteção dos aquíferos, essenciais para o abastecimento humano, atividade agrícola e manutenção dos ecossistemas (Wunder, 2015).

Em 2022, o Estado de São Paulo regulamentou a Lei nº 14.119/2021 por meio do Decreto nº 66.549/2022, que estabeleceu a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PEPSA), o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PPSA) e o Cadastro Estadual de Projetos de Pagamento por Serviços Ambientais (Governo do Estado de São Paulo, 2022).

O Decreto Estadual, no Art. 4º, enumera as “ações que contribuam para a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmico” (Governo do Estado de São Paulo, 2022). Em especial sobre os recursos hídricos, destaca-se:

Artigo 4º - São ações que contribuem para a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos, de que trata o artigo 3º deste decreto:

I - proteção, conservação e restauração de ecossistemas terrestres, fluviais, lacustres, de transição e marinhos e a promoção dos serviços ecossistêmicos a eles associados em Unidades de Conservação da Natureza e em terras privadas;

II - proteção e conservação de remanescentes de vegetação nativa em áreas rurais, urbanas e periurbanas, especialmente em áreas de elevada importância para a conservação da biodiversidade, da água e do solo;

III - restauração de vegetação nativa, inclusive em áreas sob proteção legal;

IV - recuperação de áreas degradadas;

V - manejo sustentável de florestas multifuncionais e sistemas agrícolas, agroflorestais e agrossilvipastoris que contribuam para a captura e retenção de carbono e para a proteção e conservação da biodiversidade, dos recursos hídricos e do solo;

VI - adoção de Soluções Baseadas na Natureza em áreas rurais, urbanas e periurbanas para a conservação dos recursos hídricos e do solo e para a prevenção de desastres naturais;

(...)

Todas essas iniciativas podem servir como base para a formulação de um projeto de Pagamento por Serviços Ambientais voltado à proteção das águas superficiais, conforme vem sendo desenvolvido.

Contudo, é nos incisos V e VI que se identificam os fundamentos que justificam a adoção de contratos de PSA para preservação da qualidade das águas subterrâneas. Apesar de não explicitar o termo “águas subterrâneas” as ações podem ser voltadas ao estímulo de proprietários rurais para a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, especialmente aquelas que visam eliminar o uso de fertilizantes nitrogenados e agroquímicos.

Tais diretrizes, associadas ao manejo sustentável de sistemas agrícolas e à implementação de Soluções Baseadas na Natureza em áreas rurais, destinam-se à proteção e à conservação do solo e dos recursos hídricos, com ênfase na manutenção da qualidade das águas subterrâneas.

As soluções baseadas na natureza podem ser definidas como “como soluções que, de alguma forma, se inspiraram, copiaram ou tomaram como base processos naturais para gerar benefícios sociais, ambientais e econômicos para a sociedade” (Fraga; Sayago, 2021).

Nesse sentido, o estímulo à expansão dos sistemas agroflorestais poderia ser considerado uma solução baseada na natureza, em se tratando de “uma estratégia promissora à conversão dos agricultores que ocupam essas áreas com vistas a uma agricultura mais sustentável, que associe a geração de renda com a recuperação da capacidade de produzir água” (Fraga; Sayago, 2021).

No cenário internacional, diversos países têm adotado experiências bem-sucedidas na implementação soluções baseadas na natureza, incluindo projetos de PSA voltados à proteção de recursos hídricos, incluindo as águas subterrâneas. Em estudo recente conduzido por Lithgow et al. (2024), foram avaliadas dez práticas sustentáveis aplicáveis a bacias hidrográficas prioritárias no México, com ênfase nos benefícios ambientais, econômicos e sociais decorrentes de sua implementação. Entre as práticas destacadas, a restauração de vegetação ripária, o manejo aprimorado de pastagens e o uso de cercas vivas demonstraram impacto positivo na conectividade da paisagem e na capacidade de sequestro de carbono, ao mesmo tempo em que favorecem a infiltração hídrica e a conservação do solo. Embora algumas dessas práticas apresentem baixa viabilidade financeira no curto prazo, sua relevância social e ambiental justifica a criação de mecanismos compensatórios, como os PSA para fomentar a adoção de práticas que aumentam a recarga de aquíferos e a proteção das águas subterrâneas, promovendo a sustentabilidade hídrica regional. A análise de custo-benefício social aplicada no estudo demonstra que a internalização dos benefícios ambientais — como o valor do carbono e da conectividade ecológica — amplia significativamente a atratividade dessas intervenções em termos de políticas públicas e investimentos sustentáveis condicionada a avaliação econômica e biofísica no planejamento territorial para orientar a alocação eficiente de recursos, preenchendo falhas de mercado.

5 MODELOS INTERNACIONAIS DE PSA PARA PROTEÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

5.1. Paris – proteção de mananciais por meio de incentivos a agricultores

Na França, os PSA são usados como dispositivos econômicos que visam restaurar um sistema de sinais econômicos que oriente os agricultores para comportamentos mais virtuosos do ponto de vista ambiental, orientando-se na transição para a agroecologia (Brèche et al., 2019). Essas ações têm foco na proteção das áreas críticas para a recarga dos aquíferos e redução da poluição difusa advinda da agricultura, além da conservação das matas ciliares e demais vegetações ripárias que contribuem para a manutenção da qualidade e quantidade das águas subterrâneas.

Exemplos desse modelo são encontrados em diversas regiões da França, sobretudo em bacias hidrográficas estrategicamente relevantes para o abastecimento humano e a preservação ambiental. Entre esses, destaca-se a cidade de Vittel, que implementou um programa de PSA voltado à redução da poluição por nitratos nos aquíferos adjacentes, fundamentais para assegurar a qualidade da água mineral local (Wunder; Wertz-Kanounnkoff, 2009). Outro caso relevante é o de Lons-le-Saunier, cuja iniciativa de PSA enfatiza a gestão participativa e sustentável dos recursos hídricos, envolvendo agricultores e demais atores locais em contratos voluntários que estimulam práticas agrícolas menos poluentes e a conservação das áreas de recarga dos aquíferos (Eau de France, 2023). Contudo, a análise a seguir centralizar-se-á na experiência da cidade de Paris, que apresenta particularidades relevantes no contexto da proteção das águas subterrâneas por meio de PSA.

A cidade de Paris, embora dependa principalmente das águas superficiais para o seu abastecimento, também integra fontes de águas subterrâneas no seu sistema hidráulico (Eau de Paris, 2024). A qualidade dessas águas é uma grande preocupação, especialmente diante dos riscos de contaminação relacionados às atividades agrícolas e industriais nas áreas periurbanas e rurais que abastecem a capital francesa. Para garantir a preservação dos recursos hídricos, Paris implementou um conjunto de políticas e práticas inovadoras centradas na colaboração com os agricultores e na promoção de práticas sustentáveis (Barataud et al., 2014).

As autoridades locais, por meio da agência Eau de Paris e em parceria com vários sindicatos regionais de água, instituíram medidas incentivadoras para que os agricultores adotem práticas agrícolas respeitadas ao meio ambiente. Essas medidas incluem o acompanhamento rigoroso das práticas agrícolas e o apoio técnico com o objetivo de reduzir o uso de insumos químicos, como pesticidas e fertilizantes sintéticos, principais vetores de poluição dos lençóis freáticos.

Entre 2015 e 2020, essas ações contribuíram para duplicar as áreas de agricultura biológica nas zonas de abastecimento das captações, atingindo cerca de 17% da superfície em questão, com uma dinâmica de conversão notável (Eau de Paris, 2024). Os resultados são expressivos para a proteção dos recursos hídricos: os dispositivos de ajuda agrícola implementados pela Eau de Paris permitiram uma redução de 77% na quantidade de pesticidas utilizados na região (Eau de Paris, 2024).

Embora Paris não disponha de dispositivos formais tão abrangentes, como o caso de Munique que veremos adiante, as políticas regionais incentivam fortemente a conversão das terras agrícolas para técnicas mais orgânicas e menos intensivas. Contratos ambientais e arrendamentos rurais ambientais permitem a preservação de terras cultivadas de acordo com normas agrícolas exigentes, com objetivos específicos de limitação da contaminação das águas subterrâneas e manutenção da biodiversidade (Eau de Paris, 2024). Essa orientação favorece uma transição gradual, mas eficaz, para uma agricultura mais sustentável, que conta com apoio técnico e financeiro.

Em torno das fontes de água subterrânea, são estabelecidos perímetros de proteção rigorosos, limitando ou proibindo o uso de produtos químicos e práticas agrícolas intensivas. Esses perímetros, definidos de acordo com a regulamentação nacional sobre a água, cobrem as zonas de alimentação das captações e inscrevem-se numa lógica de prevenção da poluição difusa. Fazem parte integrante dos documentos de urbanismo e são essenciais para garantir a qualidade da água destinada ao consumo público. Além disso, as zonas sujeitas a restrições ambientais (ZSCE) completam este dispositivo, visando ações específicas para prevenir a degradação das águas subterrâneas a médio e longo prazo (Montginoul, 2011).

5.2. Munique – proteção de aquíferos com compensação financeira direta a produtores rurais

Munique, uma das maiores cidades da Alemanha, depende fortemente de águas subterrâneas e superficiais para seu abastecimento (Appleton, 2002). Em 1992, verificou-se que a concentração média de nitrato na água subterrânea da área de captação aumentou de cerca de 6 mg/L em 1974 para aproximadamente 15 mg/L, valor que motivou a adoção do programa de agricultura orgânica para a proteção dos aquíferos (Grolleau; McCann, 2012).

Este programa adotado pela cidade de Munique é um sistema formal de acordos permanentes com os agricultores locais, visando incentivar a adoção da agricultura biológica como a prática agrícola principal para reduzir a poluição das águas subterrâneas. Esses acordos envolvem: compensação financeira e incentivos diretos, promoção da agricultura orgânica e boas práticas agrícolas e proteção de áreas sensíveis (Grolleau; McCann, 2012).

Sobre a compensação financeira e incentivos diretos, basicamente funciona com a adesão dos agricultores ao programa, recebendo pagamentos anuais por hectare que ajudam a cobrir os custos associados à transição para práticas agrícolas ecológicas (Grolleau; McCann, 2012). Em 2010 foram assinados 220 contratos, com aportes financeiros significativos: os agricultores receberam cerca de 280 euros por hectare por ano nos seis primeiros anos, seguido por uma compensação reduzida de aproximadamente 230 euros por hectare nos doze anos seguintes (Grolleau; McCann, 2012).

Além disso o programa enfatiza a conversão da agricultura tradicional para a agricultura orgânica e a promoção de boas práticas agrícolas, como uso de técnicas que minimizam a lixiviação de nitratos no solo, consideradas essenciais para proteger os recursos hídricos (Grolleau; McCann, 2012). Para isso, são oferecidos serviços técnicos e assessoramento especializado para auxiliar os produtores rurais na adoção dessas práticas, aumentando a confiança e a aceitação dos agricultores (Grolleau; McCann, 2012).

Por fim, destaca-se a proteção de áreas sensíveis, assim as áreas próximas às zonas de captação de água subterrânea foram delimitadas como zonas de proteção, com restrições rigorosas ao uso de fertilizantes e pesticidas químicos.

Essa medida regulatória complementa os incentivos econômicos, criando um quadro integrado de proteção ambiental para os aquíferos (Barataud et al., 2014).

Resultados apontam redução expressiva de nitrato e pesticidas na água subterrânea após a implementação dos contratos com agricultores. Em um período de cerca de duas décadas, a concentração de nitrato, que vinha crescendo, caiu para algo da ordem de 7 mg/L, representando uma redução de 80% (Grolleau; McCann, 2012), e pesticidas foram reduzidos a níveis muito baixos, permitindo manter a potabilidade sem instalação de tratamento avançado adicional. O sucesso do modelo de Munique é atribuído à combinação de incentivos financeiros substanciais, forte cooperação entre autoridades municipais e agricultores, e suporte técnico contínuo. Além disso, a cultura agrícola alemã, caracterizada pela aceitação e demanda por produtos orgânicos, facilitou a implementação das práticas agrícolas sustentáveis (Appleton, 2002).

5.3. Análise comparativa dos modelos de PSA de Paris e Munique

O PSA emerge como um instrumento eficaz para a proteção de recursos hídricos, especialmente das águas subterrâneas, em contextos urbanos europeus distintos (Barataud et al., 2014). A análise comparativa entre os modelos implementados em Paris, França, e Munique, Alemanha, revela diferentes estruturas institucionais, formas contratuais, práticas agrícolas incentivadas, mecanismos financeiros e estratégias educacionais, as quais refletem as especificidades ambientais, culturais e socioeconômicas de cada local.

Quanto à dependência da água subterrânea para abastecimento, Paris, embora dependa majoritariamente de águas superficiais para seu abastecimento, integra fontes de águas subterrâneas em seu sistema hidráulico, cuja qualidade é alvo do PSA devido a riscos oriundos das atividades periurbanas e rurais (Eau de Paris, 2024). Em contraste, Munique depende fortemente das águas subterrâneas, tornando a proteção das qualidade dessas águas prioridade central no planejamento hídrico local (Appleton, 2002).

Os tipos de contrato também são distintos. No modelo parisiense, as políticas ambientais são aplicadas por meio de contratos ambientais e

arrendamentos rurais ambientais que promovem a conservação da biodiversidade e limitam a contaminação da água, com uma abordagem mais indireta e gradual. Já Munique implementa contratos formais de adesão voluntária vinculando diretamente pagamentos anuais por hectare aos agricultores, estabelecendo obrigações claras e incentivos econômicos explícitos (Grolleau; McCann, 2012).

Em relação do tipo de práticas agrícolas incentivada no PSA, Paris estimula práticas agroecológicas e a conversão gradual para a agricultura orgânica, promovendo a redução do uso de fertilizantes e pesticidas através de suporte técnico e monitoramento contínuo, visando a proteção das áreas de recarga dos aquíferos (Barataud et al., 2014). Munique enfatiza a transição para a agricultura biológica como prática principal, complementada por boas práticas agrícolas que minimizam a lixiviação de nitratos, apoiadas por assistência técnica especializada (Grolleau; McCann, 2012).

Outro contraponto importante diz respeito aos aportes financeiros. Os incentivos financeiros em Paris são indiretos, consistindo em apoio técnico e contratos que possibilitam o estabelecimento de modelos agrícolas sustentáveis, com foco na gestão participativa (Wunder, 2015). Em Munique, destaca-se a compensação financeira direta aos agricultores, com pagamentos anuais significativos que cobrem os custos da transição para práticas agrícolas sustentáveis, resultando em alta adesão e impacto efetivo na melhora da qualidade hídrica (Appleton, 2002; Barataud et al., 2014).

Por fim, nota-se que ambos os modelos valorizam a educação ambiental e a assistência técnica. Paris concentra-se orientação contínua para estimular a adoção de tecnologias e métodos ecológicos (Eau de Paris, 2024). Em Munique, a presença de serviços técnicos e assessoramento especializado cria um ambiente de confiança e suporte que facilita a aceitação e implementação das práticas recomendadas pelos agricultores (Grolleau; McCann, 2012).

A comparação entre os modelos parisiense e muniquense evidencia que, apesar das diferenças estruturais, ambos adotam estratégias de preservação da qualidade das águas subterrâneas que combinam práticas agrícolas voltadas à sustentabilidade, incentivos econômicos, desenvolvimento técnico e educação ambiental. Os modelos analisados oferecem contribuições relevantes para a

elaboração de contratos de PSA direcionados à melhoria da qualidade das águas subterrâneas no Brasil, podendo ser adaptados às especificidades e diversidades das realidades regionais brasileiras.

6 PSA PARA PROTEÇÃO DA QUALIDADE DOS AQUÍFEROS EM SÃO PAULO

6.1. Critérios gerais para seleção de áreas prioritárias

O estudo sobre a viabilidade de implementação do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) para a proteção da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo terá como ponto de partida a identificação e seleção de áreas prioritárias para intervenções ambientais. Este enfoque inicial possibilitará a concentração de esforços e recursos em regiões estratégicas, fundamentais para a conservação e a proteção dos aquíferos mais vulneráveis.

Inicialmente, a seleção considerou múltiplos aspectos, abrangendo as características geológicas e geomorfológicas; o aspecto pedológico; os parâmetros hidrológicos e a cobertura florestal e o uso e ocupação do solo.

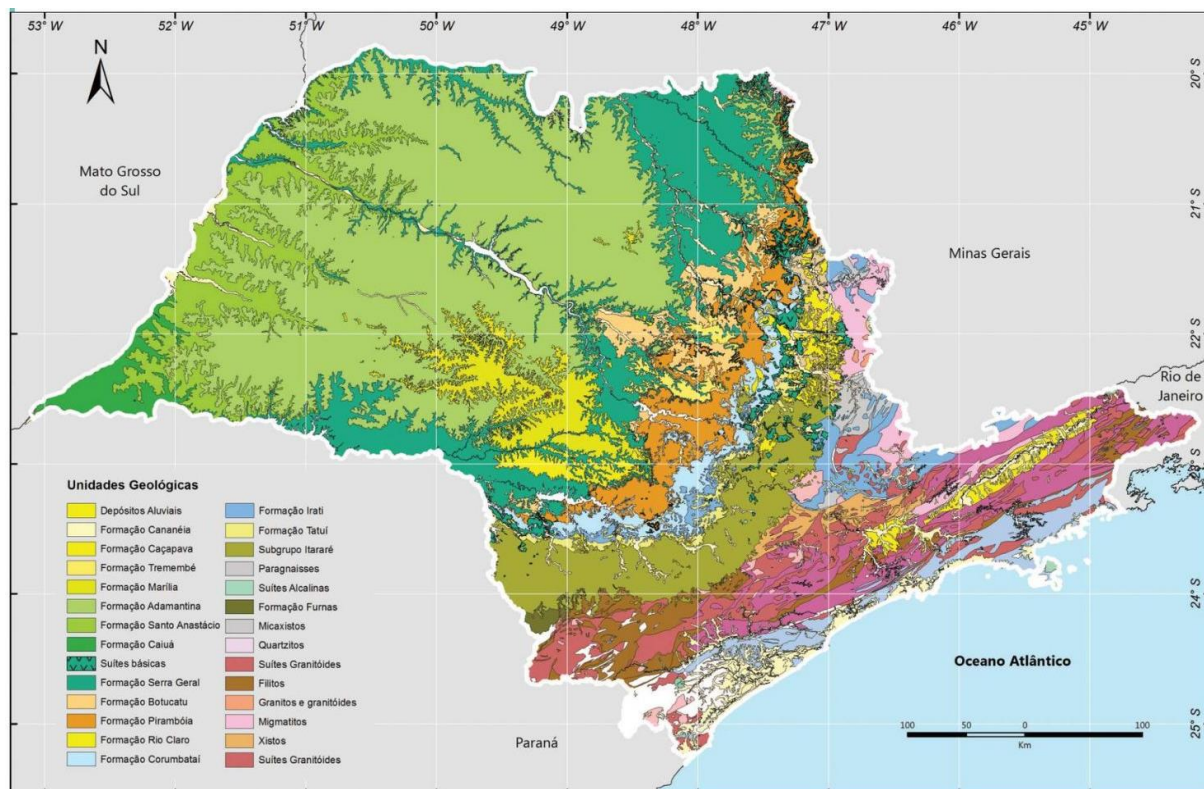


Figura 7 – Mapa Geológico do Estado de São Paulo (fonte: Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2013)

As características geológicas (Figura 7) e geomorfológicas, determinam a permeabilidade e recarga dos aquíferos. O aspecto pedológico (Figura 8), relacionado à capacidade dos solos em reter e filtrar contaminantes. Os parâmetros hidrológicos (Figura 9), indicam a dinâmica do fluxo e armazenamento da água subterrânea e, por fim, o aspecto da cobertura florestal e o uso e ocupação do solo (Figura 10), influencia diretamente sobre a infiltração e qualidade da água.

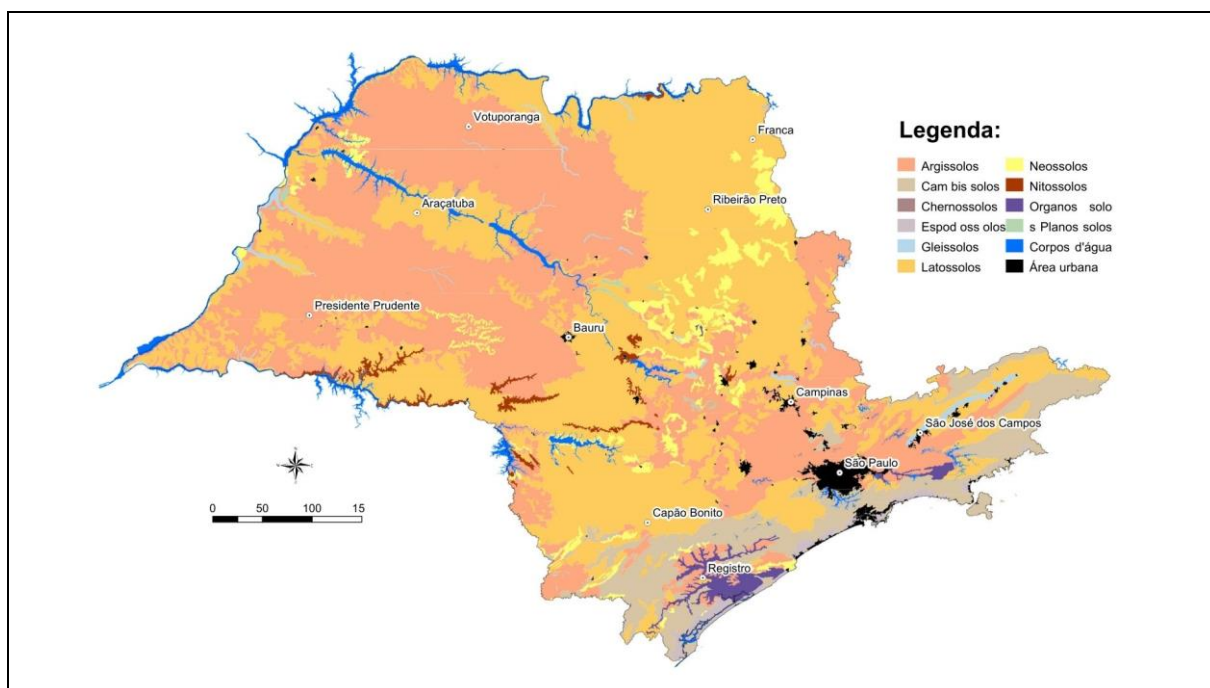


Figura 8 – Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (fonte: adaptado de Oliveira et al., 1999)

Outros fatores também podem influenciar a viabilidade dos projetos de PSA, como fatores econômicos, sociais e institucionais (Gjorup, 2016). Critérios de elegibilidade estabelecem condições mínimas para participação, como a localização da propriedade em áreas da bacia hidrográfica selecionada para proteção, a comprovação da posse ou propriedade, além do compromisso do produtor em adotar os manejos conservacionistas estipulados (Ferraz et al., 2019). Simultaneamente, critérios de priorização ponderam elementos desejáveis, como alta densidade de drenagem, presença de nascentes e áreas de preservação permanente, maior cobertura florestal nativa, menor índice de urbanização e relevância para a conectividade da paisagem e biodiversidade local (Ferraz et al., 2019). Por exemplo, áreas que promovem a formação de corredores ecológicos ou localizadas em sub-bacias abastecedoras de sistemas públicos de água são consideradas prioritárias.

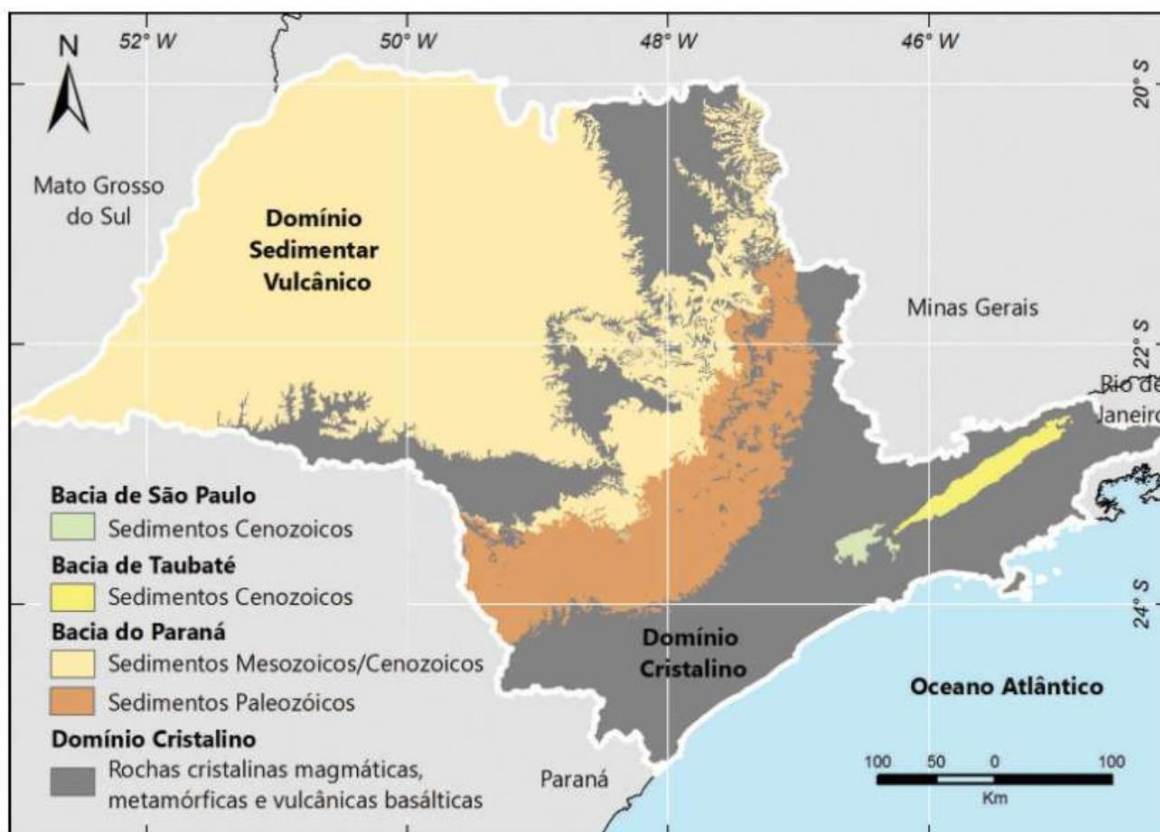


Figura 9 – Domínios Hidrogeológicos do Estado de São Paulo (fonte: adaptado de DAEE, 2013)

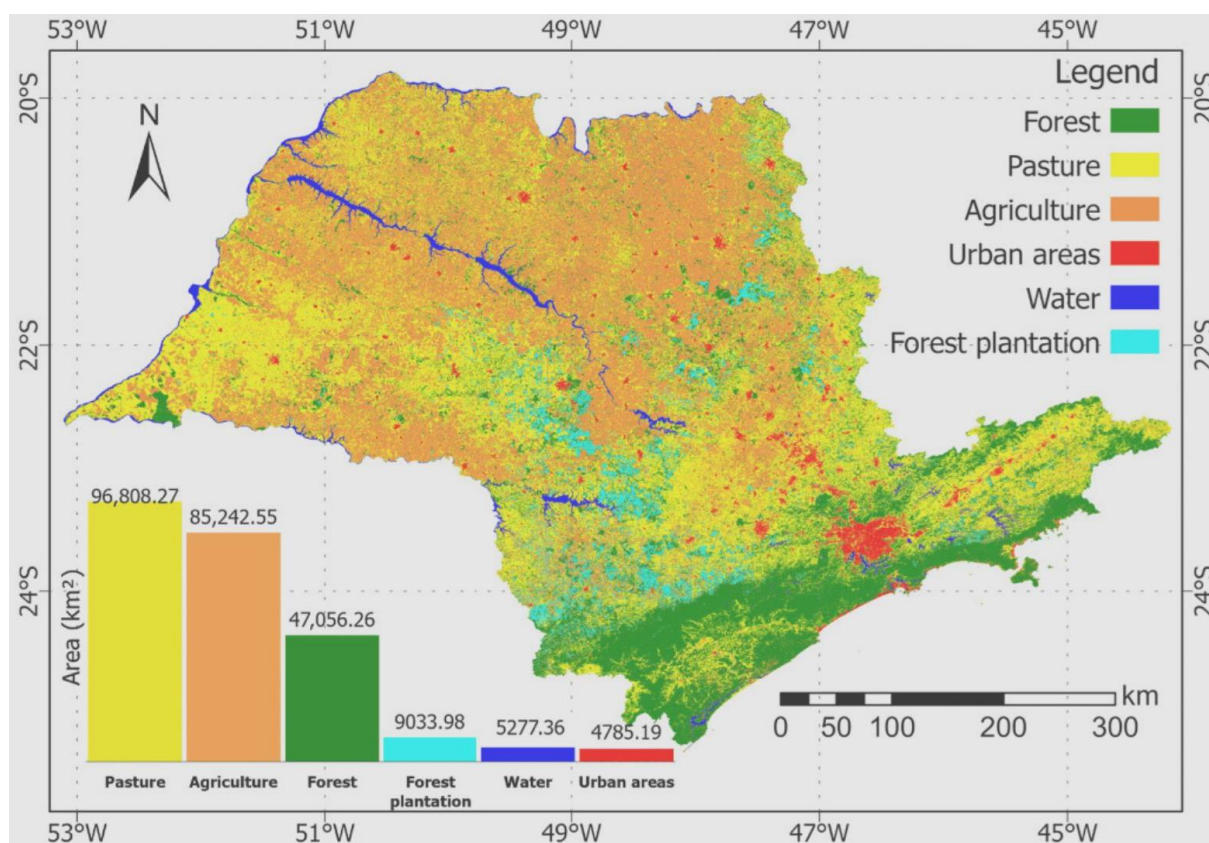


Figura 10 – Cobertura florestal e o uso e ocupação do solo no Estado de São Paulo (fonte: adaptado de INPE, 2024)

Em relação aos aspectos socioeconômicos e operacionais, priorizam-se regiões onde predomina a agricultura familiar, visto que estas comunidades dependem diretamente dos recursos hídricos e podem beneficiar-se economicamente com a implementação do PSA, potencializando a conservação aliada ao desenvolvimento sustentável (Ferraz et al., 2019). A predisposição dos produtores rurais para adotar práticas sustentáveis deve ser avaliada, assim como a existência de suporte técnico para assegurar a adequada implementação e acompanhamento das ações (ANA, 2023).

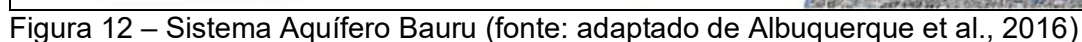


Figura 11 – Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos agrupadas por Região Hidrográfica do Estado de São Paulo (fonte: SigRH, 2021)

Por fim, deve-se considerar a estrutura da prefeitura local e a existência de um comitê de bacia hidrográfica ativo na região (Figura 11), uma vez que essas instituições, além de possuírem recursos financeiros, desempenham papel fundamental na formulação e implementação de estratégias efetivas para a proteção dos recursos hídricos. Os comitês de bacia funcionam como órgãos colegiados descentralizados, com participação paritária do poder público, sociedade civil e usuários, promovendo a gestão integrada dos recursos hídricos em suas respectivas unidades territoriais (Comitê PCJ). Eles são responsáveis pela elaboração dos planos de recursos hídricos e pela definição de metas que orientam

6.2. Seleção de área potencial

Destaca-se por sua ampla distribuição geográfica e pela profundidade relativamente rasa, característica de aquífero freático, ou seja, não confinado. Dessa forma a recarga do Aquífero Bauru é feita diretamente pela precipitação pluvial. Tem como base de drenagem os rios Paranapanema, Tietê, Grande e Paraná, e suas malhas de afluentes em toda a área de afloramento. “O aquífero funciona, em geral, como reservatório regulador do escoamento dessa rede fluvial” (CETESB, 2023).



Essa proximidade com a superfície torna-o mais suscetível à contaminação, demandando cuidados especiais na gestão e proteção ambiental. Além disso, essa característica implica menores investimentos em infraestrutura para exploração e, em grande parte da área, a água apresenta boa qualidade para consumo humano. (CETESB, 2013).

A vulnerabilidade hidrogeológica do aquífero, acentuada por sua constituição arenosa e alta permeabilidade, favorece a infiltração rápida de contaminantes, incluindo nitratos e agrotóxicos provenientes das atividades agrícolas intensivas, o que ressalta a necessidade de intervenções priorizadas e eficazes para controle desses impactos (CETESB, 2013).

A área do Aquífero Bauru também apresenta diversidade nos usos do solo e fragmentação da cobertura vegetal, fatores que potencializam riscos de erosão e contaminação difusa, correspondendo a um ambiente propício para a aplicação de políticas integradas de conservação através de contratos de PSA (Ferraz et al., 2019).

Alguns autores sugerem o estabelecimento de zonas de proteção desses aquíferos não confinados, como Foster et al. (2006). Esses autores sugerem 5 zonas de proteção em relação ao perímetro de poços de captação baseados em distância e tempo de trânsito para sua proteção (Figura 13).

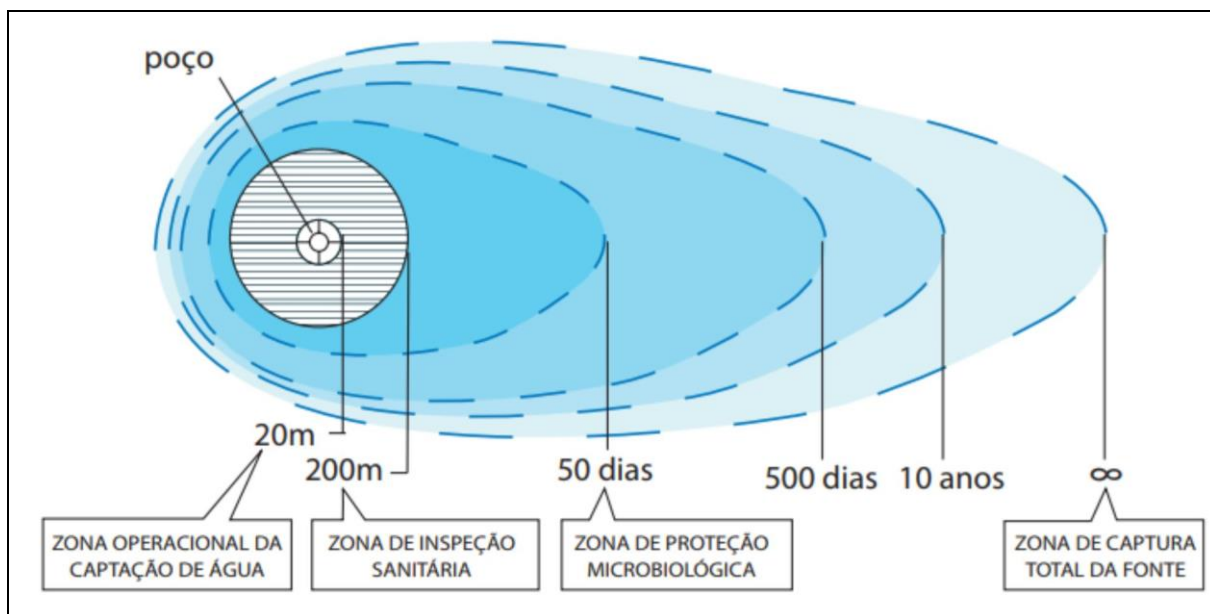


Figura 13 – Zonas de proteção de poços tubulares para captação de água (fonte: Foster et al., 2016)

Albuquerque et al. (2016) ressalta que a delimitação desse perímetro de proteção deve ser adaptado para cada local de captação de água, pois cada poço tubular tem sua própria característica. Além disso, “vários países definiram subdivisões da Zona de Contribuição, estabelecendo graus de restrições ao uso e ocupação do solo em função da proximidade do poço” (Iritani; Esaki, 2012) e isso vale para o Brasil, que possui legislação rigorosa a respeito. Assim, para além das restrições obrigatórias por lei, a ideia seria ampliar a área de proteção de forma preventiva ao se adotar projetos de PSA para proteção da qualidade das águas subterrâneas.

Do ponto de vista socioeconômico, uma das possibilidades para implementação do PSA seria a cidade de Bauru, localizada no Aquífero Bauru. A cidade está entre as que se destacam por serem diretamente abastecidas por águas subterrâneas, dependendo fortemente desse recurso para suprir suas demandas urbanas e agrícolas (CETESB, 2013; DAEE, 2023). (Figura 14)

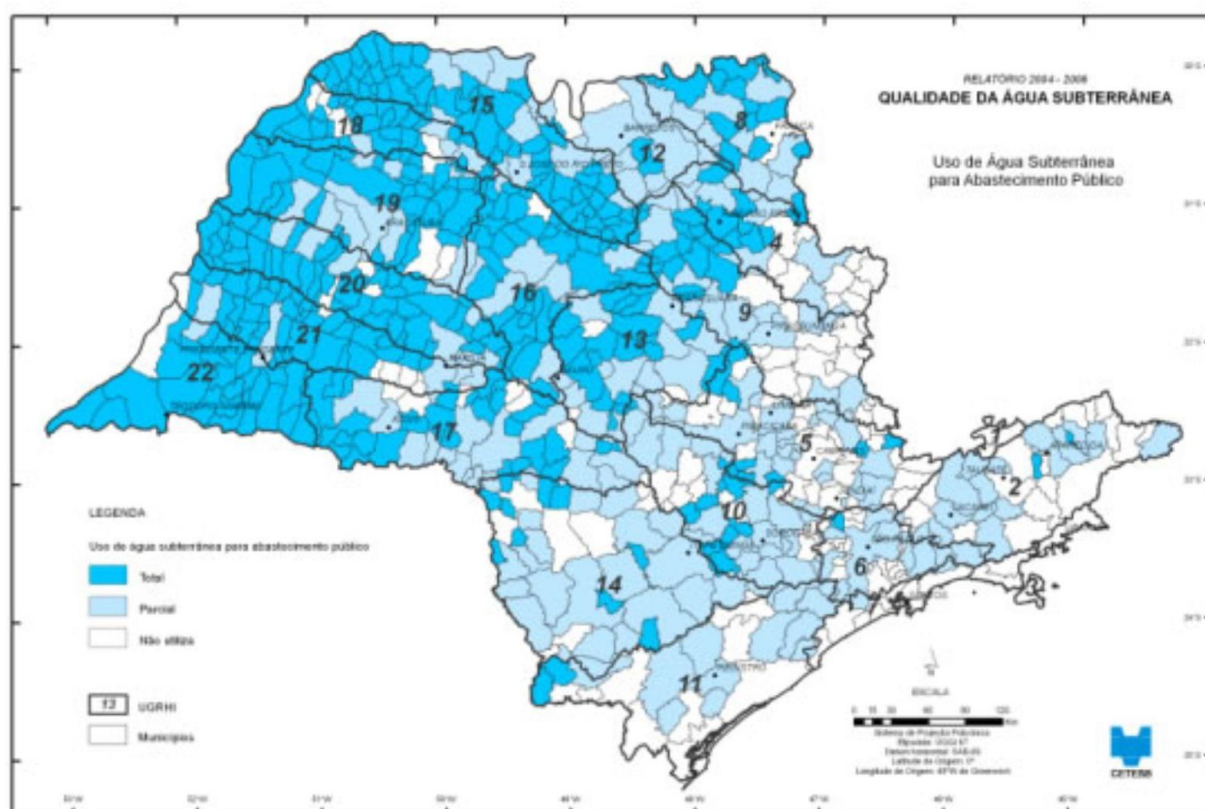


Figura 14 – Uso de Água Subterrânea para Abastecimento Público (fonte: CETESB, 2023)

Além de destacar como uma das áreas prioritárias para intervenções voltadas à proteção das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, a região do

município de Bauru está localizada em uma região com stress hídrico (Figura 15), indicando uma situação crítica quanto à disponibilidade e qualidade dos recursos subterrâneos.

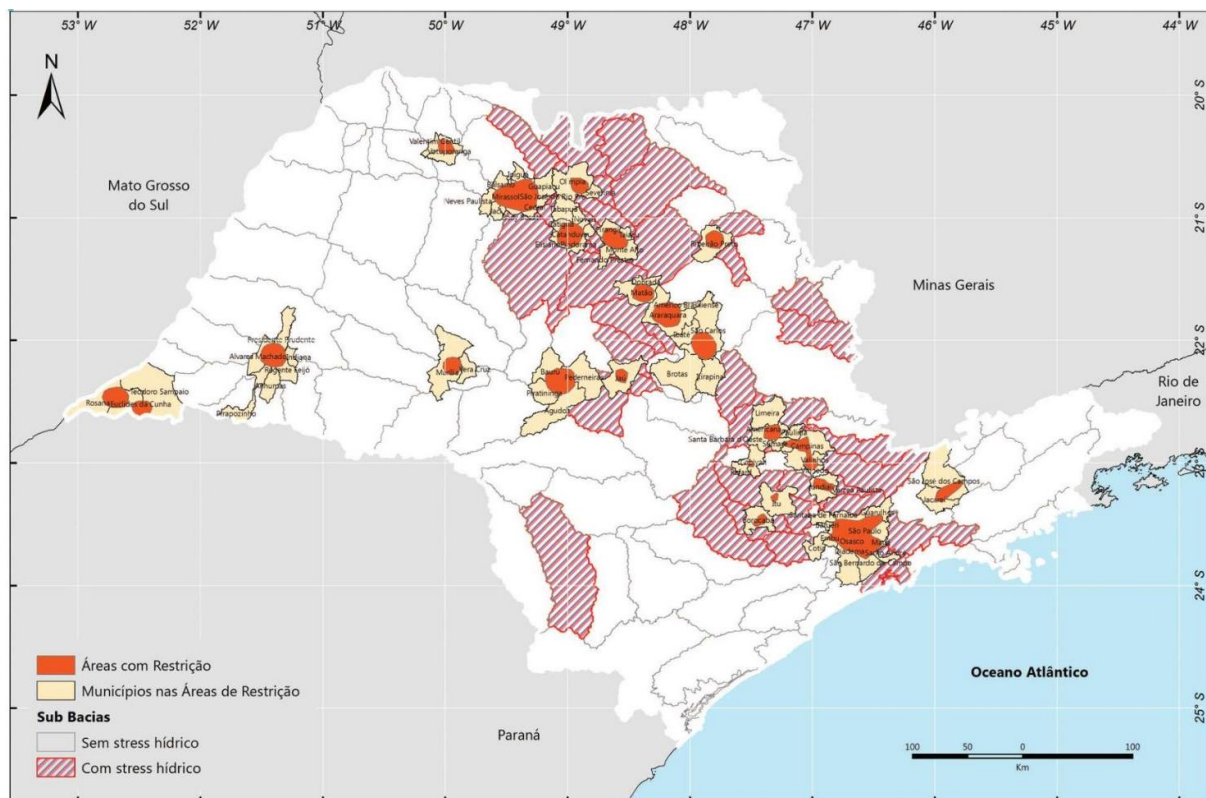


Figura 15 – Regionalização de Diretrizes de Utilização e Proteção das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (fonte: Governo do Estado de São Paulo, 2005)

A cidade de Bauru apresenta forte presença tanto da agricultura familiar quanto da agricultura comercial, segmentos capazes de se beneficiarem diretamente dos incentivos econômico-ambientais providos pelo PSA (Prefeitura Municipal de Bauru, 2024). Cerca de 80% da área do município está localizada na zona rural, abrigando um grande número de propriedades rurais de pequena, média e micro escala que atuam na agricultura familiar, produzindo diversos alimentos e agregando valor à produção local (Prefeitura Municipal de Bauru, 2024). Além disso, Bauru possui uma dinâmica agroindustrial significativa, incluindo setores consolidados como açúcar e álcool, biocombustíveis, alimentos, calçados, papel e celulose, evidenciando a presença de atividades comerciais e industriais relacionadas ao agro (Prefeitura Municipal de Bauru, 2024). A Secretaria Municipal de Agricultura e Abastecimento de Bauru desenvolve programas de apoio e extensão rural, visando o fortalecimento do setor agropecuário e a melhoria da qualidade de vida no meio rural. Assim, a existência de uma estrutura inicial

consolidada de governança hídrica e monitoramento da qualidade das águas facilitaria o acompanhamento dos resultados e a mobilização dos atores envolvidos no processo.

O município de Bauru está inserido em duas bacias hidrográficas de relevância estadual: a do Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré (CBH-TJ) e a do Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha (CBH-TB). Esses colegiados constituem instâncias deliberativas e participativas destinadas à gestão dos recursos hídricos, reunindo representantes do poder público, dos setores usuários e da sociedade civil (DAE-Bauru, s.d.).

No que se refere ao abastecimento público, a cidade é atendida por captação superficial no rio Batalha e por poços tubulares profundos que exploram o Sistema Aquífero Guarani. Entretanto, Bauru destaca-se entre os municípios paulistas mais suscetíveis aos períodos de estiagem, apresentando recorrentes episódios de crise hídrica (Projeto SACRE, 2022). Como consequência desse quadro, foram perfurados mais de 400 poços tubulares particulares em 2021, destinados à captação de água do Sistema Aquífero Bauru. (Projeto SACRE, 2022).

6.3. Estruturação, parcerias e possíveis fontes de financiamento

Tosto et al. (2023) propõe um esquema de estruturação de projetos de PSA (Figura 16), envolvendo três fases principais: diagnóstico, desenho e implementação.

A primeira fase, diagnóstico, consiste na avaliação dos ecossistemas e identificação dos serviços ambientais prioritários, análise dos agentes envolvidos e proposição de alternativas para a melhoria da gestão ambiental. Esse diagnóstico é essencial para avaliar a viabilidade do PSA e orienta o planejamento e implementação subsequentes.

A fase seguinte, o desenho, envolve a definição dos pagadores e beneficiários, além da estruturação da governança institucional que assegura a participação justa, os direitos e deveres dos envolvidos e o funcionamento do arranjo financeiro. A governança deve contemplar mecanismos para resolução de conflitos e garantir transparência.

Por fim, a implementação compreende a execução, o monitoramento e a avaliação contínua do programa, com a utilização de indicadores ecológicos e socioeconômicos que assegurem a efetividade das ações. Nessa fase, surge a necessidade de mobilizar várias fontes de parceria e financiamento, tanto públicas quanto privadas, visando maior efetividade e sustentabilidade. É fundamental a participação interinstitucional e o engajamento comunitário, com comunicação constante e adaptação tecnológica para garantir a sustentabilidade do PSA ao longo do tempo. Esses processos devem ser conduzidos de forma participativa, transparente e baseada em informações científicas sólidas, garantindo que as medidas adotadas promovam efetivamente a conservação e melhoria dos serviços ecossistêmicos.

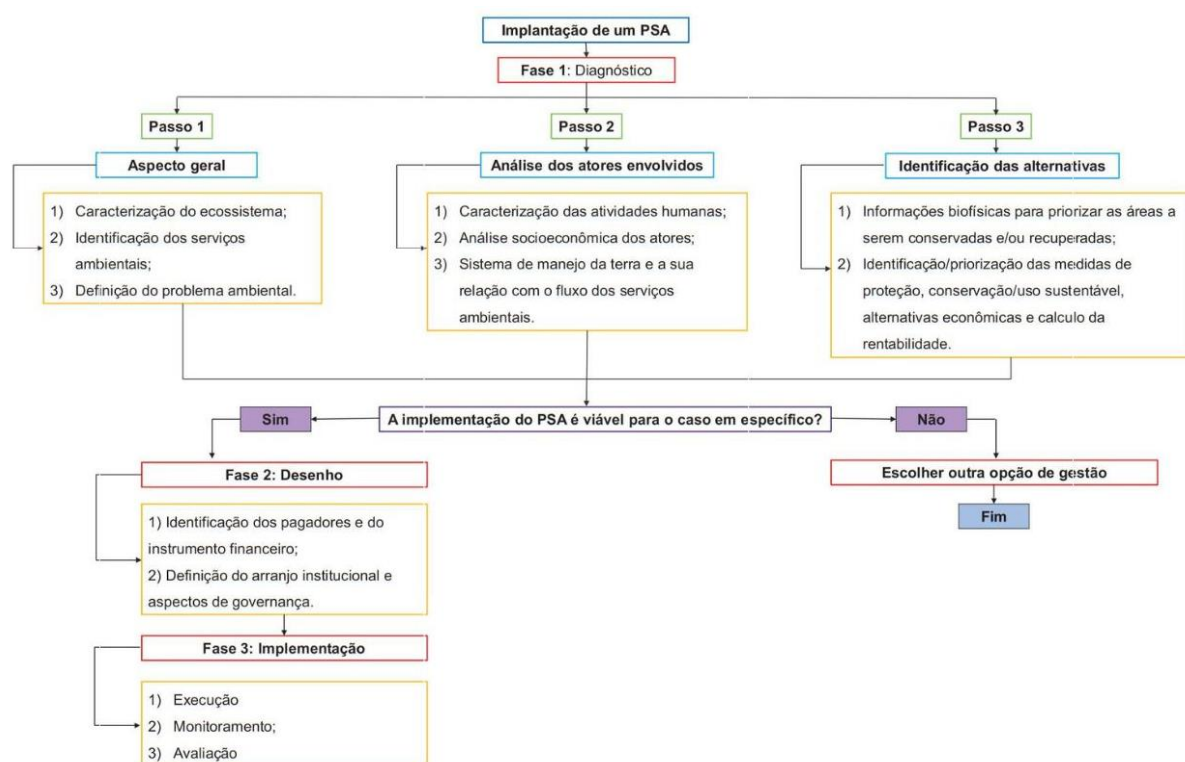


Figura 16 – Fases de estruturação de um esquema de PSA (fonte: Tosto et al., 2023)

Em primeiro lugar, o financiamento estatal pode ser viabilizado por meio dos Comitês de Bacia Hidrográfica que atuam diretamente na região, a exemplo do Comitê das Bacias Hidrográficas Tietê-Jacaré (CBH-TJ) e do Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha (CBH/TB). Estes órgãos, além de articuladores institucionais, desempenham papel relevante na priorização de ações ambientais, podendo encaminhar projetos para obtenção de apoio financeiro junto ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo (FEHIDRO), que já destina recursos

específicos à gestão integrada e conservação dos recursos hídricos subterrâneos, contemplando inclusive contratos de PSA nos municípios dependentes do Aquífero Bauru (DAEE, 2023).

No âmbito privado, destaca-se a participação de concessionárias do sistema de abastecimento de água local, diretamente beneficiadas por esse tipo de programa, cujo envolvimento pode ser fundamental para ampliar a escala e a sustentabilidade financeira do projeto. Além disso, o engajamento da Prefeitura Municipal de Bauru é pertinente como parceira central, à semelhança do bem-sucedido modelo adotado pelo Programa Conservador das Águas em Extrema-MG, que associa poder público local com proprietários rurais e demais atores estratégicos para viabilizar iniciativas de PSA. Adicionalmente, destacam-se fundos internacionais e parcerias com organizações não governamentais ambientais, que são cada vez mais relevantes no financiamento de projetos de conservação hídrica no Brasil. Tais fontes podem ser acessadas mediante a apresentação de propostas bem estruturadas e monitoramento rigoroso, ampliando assim o potencial de captação para ação local de proteção das águas subterrâneas (Ferraz et al., 2019).

6.4. Resultados esperados e recomendações

Os resultados esperados de um projeto piloto de Pagamento por Serviços Ambientais voltado principalmente à proteção da qualidade das águas subterrâneas no Aquífero Bauru são muitos, apresentando impactos significativos tanto no âmbito ambiental quanto socioeconômico local.

Primeiramente, projeta-se uma melhoria substancial na qualidade da água subterrânea pela redução de sua contaminação causada por nitratos, agrotóxicos e demais poluentes associados às práticas agrícolas intensivas predominantes na região (Varnier et al., 2020; IPT, 2018). Essa mitigação não apenas assegura o abastecimento público e as necessidades ecológicas, como também contribui para a preservação dos ecossistemas aquáticos vinculados (Hirata et al., 2019).

Além do aspecto ambiental, o projeto visa promover a inclusão social ao incentivar a adoção de práticas agrícolas sustentáveis por pequenos e médios

produtores rurais, criando oportunidades para a geração de renda extra e o aprimoramento da capacitação técnica. A valorização de boas práticas ambientais na produção agrícola, como a produção orgânica, agroecológica, biológica dentre outras, representa uma possibilidade de agregação de valor econômico, remunerando melhor os agricultores que terão acesso a mercados diferenciados (Phalan et al., 2011).

Ademais, a iniciativa fortalece a governança local dos recursos hídricos mediante a articulação entre produtores, órgãos públicos e demais atores envolvidos, contribuindo para uma gestão integrada e participativa dos aquíferos. Portanto, o engajamento contínuo dos agricultores é fundamental para a efetividade do programa, devendo ser estimulado por meio de programas de educação ambiental. Os contratos assinados devem ser claros e transparentes, assegurando compensações financeiras compatíveis com os custos e benefícios gerados, aliados a treinamentos e suporte técnico constante, fomentando a capacitação e autonomia dos produtores rurais (Barataud et al., 2014).

Para alcançar os resultados esperados, recomenda-se a integração com as ações propostas pelo projeto Soluções Integradas para Cidades Resilientes (SACRE), uma iniciativa de pesquisa aplicada financiada pela FAPESP e conduzida por pesquisadores da USP, Unesp e outras instituições. Esse projeto visa reduzir a vulnerabilidade hídrica da região de Bauru, afetada por crises de abastecimento e contaminações, mediante o desenvolvimento de soluções tecnológicas, de gestão e governança ambiental integradas (Projeto SACRE, 2022).

Por fim, recomenda-se a implementação de um sistema de acompanhamento ambiental no PSA para a proteção da qualidade das águas subterrâneas, capaz de incorporar indicadores precisos da qualidade da água subterrânea nos resultados do projeto, o que poderia ser útil na mensuração dos resultados obtidos.

6.5. Indicadores de sucesso e monitoramento

Os indicadores de sucesso e monitoramento para contratos de PSA voltados à proteção da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo

iniciam-se por parâmetros qualitativos de avaliação da água nos poços existentes, mediante o levantamento dos principais parâmetros de potabilidade definidos pelas normas estaduais e nacionais, com destaque para substâncias relevantes como o nitrato, metais pesados e agrotóxicos. O acompanhamento desses indicadores, integrados à Rede de Monitoramento coordenada por órgãos como DAEE e CETESB, permitiria construir uma série histórica para verificação do cumprimento das práticas conservacionistas adotadas pelos produtores rurais participantes e constatar se houve ou não melhoria na qualidade das águas subterrâneas na região escolhida.

Do ponto de vista socioeconômico, é imprescindível monitorar a taxa de adesão dos produtores agrícolas ao programa, a remuneração por hectare, grau de satisfação dos participantes e o nível de envolvimento comunitário, os quais fortalecem o engajamento e a legitimidade social do projeto, elementos fundamentais para a sustentabilidade a longo prazo (Ferraz et al., 2019).

Por fim, a avaliação da gestão do programa deve contemplar a eficiência administrativa, incluindo o cumprimento dos contratos, a transparência na gestão dos recursos financeiros, e a articulação efetiva entre governos, comitês de bacia, produtores rurais e organizações de apoio. A capacidade do programa de se adaptar com base em avaliações periódicas, incorporando aprendizados e promovendo melhorias contínuas, constitui um indicador-chave para a sua longevidade e eficácia (Pagiola et al., 2005).

7 CONCLUSÃO

7.1. Síntese do modelo de PSA proposto

O modelo proposto para contratos de Pagamento por Serviços Ambientais focado na proteção da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo incorpora uma abordagem multidimensional e integrada, que considera critérios técnicos, socioeconômicos e ambientais. Seu conteúdo é especialmente fortalecido pela incorporação de experiências internacionais, como as práticas adotadas na França e Alemanha, adaptadas à realidade paulista, com ênfase no

incentivo financeiro combinado a estratégias de governança participativa e monitoramento contínuo.

Fundamenta-se na seleção criteriosa de áreas prioritárias com base em aspectos geológicos, pedológicos, hidrológicos, uso e ocupação do solo, e no possível engajamento de instituições locais, especialmente as prefeituras e os comitês de bacia hidrográfica. O foco no Aquífero Bauru, por sua importância estratégica para o abastecimento público e para a agricultura comercial da região, aliado à sua vulnerabilidade significativa à contaminação por atividades agrícolas, especialmente por nitratos e agrotóxicos provenientes da agricultura intensiva, justificando sua escolha para o estudo de caso. A cidade de Bauru foi escolhida no estudo por utilizar amplamente águas subterrâneas para abastecimento público, ter aumentado recentemente o número de poços tubulares e ter atividade agrícola representativa na região. A escolha também se baseia em sua estrutura institucional, capaz de apoiar ações de monitoramento e governança ambiental, como a atuação de prefeituras locais e comitês de bacia hidrográfica, fatores cruciais para a implementação eficaz e financiamento de um projeto de PSA.

7.2. Resultados esperados

A aplicação desse modelo projeta resultados relevantes, tais como a melhoria consistente da qualidade das águas subterrâneas, a redução dos níveis de contaminação química associada a práticas agrícolas, o fortalecimento da inclusão social por meio da capacitação técnica e geração de renda para pequenos e médios agricultores, além da consolidação de uma governança hídrica eficiente e participativa, promovendo a sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos a longo prazo (Varnier et al., 2020).

Dessa forma, o modelo não apenas contribui para a conservação ambiental, mas também fomenta o desenvolvimento socioeconômico equilibrado da região, alinhado às diretrizes nacionais e estaduais para a gestão integrada dos recursos hídricos (DAEE, 2023).

7.3. Recomendações para implementação

Recomenda-se a integração do modelo de Pagamento por Serviços Ambientais com as ações do projeto SACRE, uma iniciativa que está em desenvolvimento que visa reduzir a vulnerabilidade hídrica da região de Bauru por meio de estratégias tecnológicas, de gestão e governança ambiental integradas (Projeto SACRE, 2022). Entre as soluções contempladas estão o uso sistemático do binômio rio-aquífero, a recarga gerenciada dos aquíferos e o tratamento de águas subterrâneas contaminadas por métodos tanto naturais quanto de engenharia, aliados à promoção de políticas públicas adaptadas ao contexto local.

Outra recomendação fundamental é a implementação de um sistema de monitoramento ambiental no Aquífero Bauru, que inclua indicadores detalhados da qualidade da água subterrânea e do controle das práticas agrícolas na região, com coleta contínua e análise rigorosa de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e hidrodinâmicos (Albuquerque Filho et al., 2016;). É essencial que o monitoramento seja integrado, abrangendo indicadores ambientais, socioeconômicos e institucionais, garantindo transparência, eficiência e efetividade no uso dos recursos disponíveis (CETESB, 2013; IPT, 2018).

Por fim, destaca-se a importância da participação ativa da prefeitura municipal de Bauru, em parceria com os Comitês das Bacias Hidrográfica Tietê-Jacaré (CBH-TJ) e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha (CBH/TB), para a coordenação e financiamento do projeto, com valores atrativos para aumentar a adesão dos produtores rurais.

7.4. Limitações

As limitações do projeto de PSA proposto refletem desafios técnicos, financeiros e sociais que comprometem a eficácia e continuidade dos PSA em geral no Brasil. Um dos obstáculos centrais reside na ausência de padronização dos critérios técnicos para avaliação e mensuração dos serviços ambientais, dificultando a uniformidade e comparabilidade dos resultados entre diferentes programas e regiões (Eloy; Coudel, 2013). A sustentabilidade financeira também apresenta fragilidades, devido à dependência de fontes de financiamento variadas e

frequentemente temporárias, o que compromete a continuidade dos projetos a longo prazo.

Outro desafio relevante está relacionado à inclusão social, especialmente no que tange à participação dos pequenos produtores rurais, os quais enfrentam barreiras de acesso causadas por exigências burocráticas, limitações técnicas e insuficiência de capacitação, resultando frequentemente em exclusão ou participação marginal nesses mecanismos (Eloy; Coudel, 2013).

Essas limitações demandam atenção contínua e desenvolvimento de soluções que promovam a padronização dos processos avaliativos, garantam financiamento estável e incentivem a inclusão social, visando a manutenção da viabilidade e expansão dos PSA para a proteção das águas subterrâneas no Estado de São Paulo.

7.5. Perspectivas futuras

As perspectivas futuras para o Pagamento por Serviços Ambientais com foco na proteção da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo são favoráveis à consolidação desse instrumento como componente estratégico para garantir a integridade dos aquíferos paulistas.

Espera-se que o modelo de PSA se expanda e se diversifique, incorporando avanços tecnológicos no monitoramento ambiental, como a aplicação de sensores multiparamétricos, sistemas digitais de telemetria em tempo real e modelos computacionais de simulação de aquíferos, possibilitando maior eficácia na detecção precoce de contaminações e na gestão dos recursos subterrâneos.

Além disso, prevê-se o fortalecimento dos mecanismos financeiros, com incentivo à ampliação das fontes de recursos e à inclusão social, sobretudo para pequenos produtores rurais, integrando estratégias que promovam equidade e sustentabilidade econômica. O aprendizado de experiências internacionais reforça que, com adaptações adequadas ao contexto local, o PSA voltado à proteção da qualidade das águas subterrâneas tem potencial para contribuir de forma significativa para segurança hídrica e para o desenvolvimento sustentável da região a médio e longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA FAPESP. **Mau uso da água subterrânea agrava a crise hídrica**. São Paulo, 2025. Disponível em: https://agencia.fapesp.br/mau_uso_da_agua_subterranea_agrava_a_crise_hidrica/22828 Acesso em: 21 nov. 2025.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L. (Coord.). **Sistema Aquífero Bauru: delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público**. São Paulo: SMA/ IG/ SDECTI/ IPT, 2016

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024: informe anual**. Brasília: ANA, 2024.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Programa Produtor de Água e Incentivos para Proteção Hídrica**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/central-de-videos/7-programa-produtor-de-agua> Acesso em: 22 jun. 2025

APPLETON, J. E. Cooperative water management in Munich: case studies of urban and rural collaboration. **Ecological Economics**, v. 41, p. 201-215, 2002.

BARATAUD, F. et al. Management of drinking water catchment areas in cooperation with agriculture and the specific role of organic farming: experiences from Germany and France. **Land Use Policy**, v. 36, p. 585-594, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837713002056>. Acesso em: 22 jun. 2025.

BARBOUR, E. D. A. et al. G. Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, (1), 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23598> Acesso em: 21 nov. 2025.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. **Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nºs 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11284.htm Acesso em: 22 nov. 2025

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Acesso em: 22 nov. 2025

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021a. **Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Lei/L14119.htm. Acesso em: 22 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras**

providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm Acesso em: 22 nov. 2025

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm Acesso em: 22 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021b. **Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 maio 2021.

BRÈCHE, O. et al. **Favoriser le déploiement des paiements pour services environnementaux (PSE) en agriculture: guide à destination des collectivités territoriales.** 2019. Disponível em: <https://agriculture.gouv.fr/les-paiements-pour-services-environnementaux-en-agriculture>. Acesso em: 22 jun. 2025.

CAMARGO NETO, L. de et al. Análise da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais à Luz das Boas Práticas Internacionais. **Ambiente & Sociedade**, v. 28, p. e00011, 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Aquífero Bauru – Águas Subterrâneas: diagnóstico e monitoramento.** São Paulo, 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 15 nov. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria da CETESB nº 195, de 23 de novembro de 2005. **Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências.** Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/tabela_valores_2005.pdf Acesso em: 21 nov. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Legislação – Águas Subterrâneas.** São Paulo, 2008. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/legislacao/> Acesso em: 15 nov. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2023.** São Paulo: CETESB, 2023.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.** Brasília, 2008.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.** Brasília, 2009.

DAE-BAURU – Departamento de Água e Esgoto de Bauru [s.l.], [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.daebauru.sp.gov.br/> Acesso em: 21 nov. 2025.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Relatório técnico da Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas 2023.** São Paulo: DAEE, 2023.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. Portaria DAEE nº 1.630, de 30 de maio de 2017. **Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa para obtenção de manifestação e outorga de direito de uso e de interferência em recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo.** São Paulo: DAEE, 2017. Disponível em: <https://www.daee.sp.gov.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.

Eau de France. **Commune Lons-le-Saunier.** Observatoire Sispea, 2023. Disponível em: <https://www.services.eaufrance.fr/commune/39300/2023> Acesso em: 22 jun. 2025.

EAU DE PARIS. **Un dispositif unique pour accompagner les agriculteurs vers une transition durable.** 2024. Disponível em: <https://www.eaudeparis.fr/actualites/un-dispositif-unique-pour-accompagner-les-agriculteurs-vers-une-transition-durable>. Acesso em: 22 jun. 2025.

ELOY, L.; COUDEL, E. **Implementando Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil: caminhos para uma reflexão críticas.** 2013.

FERRAZ, R. P. D. et al. **Marco referencial em serviços ecossistêmicos.** Brasília, DF: Embrapa, 2019.

FOSTER, S. et al. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea.** Um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Mundial, Washington, D.C. 2006.

FRAGA, R. G.; SAYAGO, D. A. V. Soluções baseadas na Natureza: uma revisão sobre o conceito. **Parcerias Estratégicas**, v. 25, n. 50, p. 67-82, 2021.

FREDDO FILHO, V. J. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS): relatório anual de 2023.** Serviço Geológico do Brasil, 2024. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/24628/3/relatorio_siagas_2023.pdf. Acesso em: 30 nov. 2025.

GJORUP, A. F. et al. Análise de procedimentos para seleção de áreas prioritárias em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 1, p. 225-238, 2016.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** Nota explicativa. DAEE, IG, IPT, CPRM, 2005.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decreto nº 32.955, de 07 de fevereiro de 1991a. **Regulamenta a Lei nº 6.134, de 02/06/1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado.** Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1991/decreto-32955-07.02.1991.html> Acesso em 22 jun. 2025

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decreto nº 63.261, de 9 de março de 2018. **Altera o Decreto nº 32.955, de 7 de fevereiro de 1991, que regulamenta a Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988.** Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2018/decreto-63261-09.03.2018.html> Acesso em: 22 jun. 2025

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decreto nº 66.549, de 7 de março de 2022. **Institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais – PEPSA, o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais – PPSA e o Cadastro Estadual de Projetos de Pagamento por Serviços Ambientais.** Disponível em:

<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2022/decreto-66549-07.03.2022.html>. Acesso em: 22 jun. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. DECRETO nº 8.468, de 8 de setembro de 1976a. **Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.** Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html> Acesso em: 21 nov. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei nº 13.542, de 08 de maio de 2009. **Altera a denominação da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e dá nova redação aos artigos 2º e 10 da Lei n. 118, de 29 de junho de 1973.** Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13542-08.05.2009.html> Acesso em: 21 nov. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei nº 19, de 29 de junho de 1973. **Autoriza a constituição de uma sociedade por ações, sob a denominação de Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, e dá providências correlatas.** Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1973/lei-119-29.06.1973.html> Acesso em 21 nov. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei nº 6.134, DE 02 DE JUNHO DE 1988. **Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo e dá outras providências.** Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1988/lei-6134-02.06.1988.html> Acesso em 22 jun. 2025

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991b. **Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html> Acesso em: 22 jun. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei nº 997, de 31 de maio de 1976b. **Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente.** Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1976/original-lei-997-31.05.1976.html> Acesso em: 21 nov. 2025.

GRANZIERA, M. L.; DENNY, D. Água no regime jurídico climático e como direitos humanos (Water Under Climate Change and Human Rights Perspective). Rochester, NY: **Social Science Research Network**, 27 jan. 2016. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/abstract=2993546>. Acesso em: 25 nov. 2025

GROLLEAU, G.; MCCANN, L. M. J. Designing watershed programs to pay farmers for water quality services: case studies of Munich and New York City. **Ecological Economics**, v. 76, p. 87-94, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800912000705>. Acesso em: 22 jun. 2025.

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

HIRATA, R. et al. Climate change impacts on groundwater: a growing challenge for water resources sustainability in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Vol. 197, 784 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14235-8> Acesso em 21 nov. 2025.

IGC/USP – INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/USP. **Contaminação nos aquíferos**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://igc.usp.br/2023/09/04/contaminacao-nos-aquiferos/> Acesso em: 21 nov. 2025

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Estado de São Paulo para o ano de 2020 por OLI/Landsat. **Observação da Terra**, 2024. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias-obt-inpe/pesquisadores-aprimoram-o-mapeamento-do-uso-e-cobertura-da-terra-no-estado-de-sp/yosio__11mar24.jpg/view Acesso em: 21 nov. 2025

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Características hidrogeológicas do Sistema Aquífero Bauru e região**. São Paulo: IPT, 2018.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço**. 2. ed. – São Paulo: Instituto Geológico, 2012.

JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 20, n. 03, p. 353-360, 2015.

LEFF, E. **A complexidade ambiental**. 2. ed. [S.l.]: Cortez, 2018.

LITHGOW, D. et al. **Assessing the feasibility and socioecological benefits of climate-smart practices at the watershed scale**. 2024. Disponível em: <https://www.consensus.app/papers/assessing-the-feasibility-and-socioecological-benefits-lithgow-revollo-fernandez/798d46cc9>. Acesso em: 30 nov. 2025

MONTGINOUL, M. Des accords entre parties prenantes pour gérer l'impact des prélèvements agricoles individuels dans les nappes phréatiques? Les enseignements de trois cas de gestion des pollutions diffuses. **Cahiers Agricultures**, v. 20, p. 1-6, 2011. Disponível em: <https://www.cahiersagricultures.fr/articles/cagri/abs/2011/01/cagri2011201p1/cagri2011201p1.html>. Acesso em: 22 jun. 2025.

MP – MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Novo Brasil - Plano de transformação ecológica**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/transformacao-ecologica/novo-brasil>. Acesso em: 30 out. 2025.

OKONJO-IWEALA, N. **Discurso 30 anos OMC**, 2025. Disponível em: https://www.wto.org/english/news_e/news25_e/30yr_10apr25_e.pdf. Acesso em: 25 nov. 2025.

Oliveira et al. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: IAC/Embrapa, 1999.

PAGIOLA, S.; ARCENAS, A.; PLATAIS, G. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. **World development**, v. 33, n. 2, p. 237-253, 2005.

PHALAN, B. et al. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. **Science**, v. 333, n. 6047, p. 1289-1291, 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU. Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Municipal de Conservação dos Recursos Hídricos**. Bauru, 2024. Disponível em: <https://www.bauru.sp.gov.br>. Acesso em: 15 nov.

PREFEITURA MUNICIPAL DE EXTREMA. **Conservador das Águas – O Projeto**. 2025. Disponível em: <https://conservadordasaguas.extrema.mg.gov.br/conservador-das-aguas/o-projeto>. Acesso em: 21 nov. 2025.

PROJETO SACRE. **Soluções Integradas de Água para Cidades Resilientes**. [s.l.], [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.projetosacre.org/> Acesso em: 21 nov. 2025

RAWORTH, K. **Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist**. White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing Company, 2017.

ROCHA, G. et al. Mapa de águas subterrâneas do estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 2006. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/aguassubterraneas/article/view/23049>. Acesso em: 7 nov. 2025.

SÃO PAULO. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. **Águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Diretrizes de Utilização e Proteção** / Universidade Estadual Paulista, Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geociências e Ciências Exatas. Laboratório de Estudo de Bacias. São Paulo: DAEE/LEBAC, 2013

SEN, A. K. **On ethics and economics**. Reprint ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 1991.

SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. **Divisão Hidrográfica**. 2021 Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/divisaohidrografica> Acesso em: 21 nov. 2025

TOSTO, S. G. et al. (ed.) **Serviços ecossistêmicos e serviços ambientais de solo, água e carbono - Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. cap. 8.

UN. A/RES/64/292. **Resolução da Assembleia Geral da ONU declarando a água ser direito humano** A/RES/64/292, de 28/7/2010. 28 jul. 2010.

UNEP-CCC – COPENHAGEN CLIMATE CENTRE. **The Climate Technology Progress Report 2025 Programme**. Copenhagen, Denmark: UNEP-CCC, 2025.

UNFCCC. **What is the triple planetary crisis?** | UNFCCC, 2022. Disponível em: <https://unfccc.int/news/what-is-the-triple-planetary-crisis>. Acesso em: 25 nov 2025.

VARNIER, C. L. Contaminação nos Aquíferos. **Revista Sustentabilidade**, Jornal Valor Econômico, 2023. Disponível em: <https://valor.globo.com/publicacoes/especiais/revista-sustentabilidade/noticia/2023/08/31/contaminacao-nos-aquiferos.ghtml> Acesso em: 30 nov. 2025.

VARNIER, C. L. et al. Nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, n. 1-2, p. 1-21, 2010.

VARNIER, C. L. et al. **Nitrato nas águas subterrâneas: desafios frente ao panorama atual**. São Paulo: Instituto Geológico e SIMA, 2019.

WUNDER, S. Payments for environmental services: some nuts and bolts. **CIFOR Occasional Paper**, n. 42, 2015. Disponível em: http://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-42.pdf. Acesso em: 22 jun. 2025.

WUNDER, S.; WERTZ-KANOUNNIKOFF, S. Payments for ecosystem services: a new way of conserving biodiversity in forests. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 28, n. 3-5, p. 576-596, 2009.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

CEREMA – Climat & Territoires de Demain. **Les périmètres de protection des captages d'eau potable**. Disponível em: <https://outil2amenagement.cerema.fr>. Acesso em: 5 nov. 2025.

COUDEL, E.; TONI, F.; ELOY, L. Dossiê Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil. **Sustainability in Debate**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 15–19, 2013. DOI: 10.18472/SustDeb.v4n1.2013.9197. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/15540>. Acesso em: 21 nov. 2025.

COUTINHO, M. M. **Pagamento por serviços ambientais hídricos no contexto brasileiro**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Jurídico-Políticas). Universidade de Coimbra, Portugal.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná**. Bacia do Paraná / Andréa Segura Franzini, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Plano Municipal de Conservação e Recuperação de Áreas de Proteção: municípios do Aquífero Bauru**. São Paulo, 2024.

FOSTER, S. et al. Groundwater – a global focus on the 'local resource'. **Current opinion in environmental sustainability**, v. 5, n. 6, p. 685-695, 2013.

PEREIRA JÚNIOR, L. C., SOARES, H. L. T., & CASTRO, S. S. de. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do Aquífero Bauru no município de Rio Verde – GO. **Águas Subterrâneas**, 29(2), 129–145, 2015. <https://doi.org/10.14295/ras.v29i2.27947>

PRADO, R. B. et al. Evolução das iniciativas de pagamentos por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 36, n. 2, p. e26444-e26444, 2019.

REVISTA IG. **Nitrato em águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2023.

SAGRA – Secretaria Municipal de Agricultura e Abastecimento. <https://www2.bauru.sp.gov.br/sagra/>

SCHÄFER, A.; et al. Evaluation of Financial Incentives for Organic Farming in Bavaria. **Landwirtschaft und Umwelt**, n. 42, 2005.

SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. **Águas subterrâneas no Estado de São Paulo: diretrizes de utilização e proteção**. São Paulo: Unesp/DAEE/IGC/LEBAC, 2013.

SÉNAT. **Proposition de loi visant à renforcer la protection des eaux souterraines**. Disponível em: <https://www.senat.fr>. Acesso em: 15 nov. 2025.

SGB – SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS**. Brasília: SGB, 2024.

SHAIKH, M.; BIRAJDAR, F. Advancements in remote sensing and GIS for sustainable groundwater monitoring: applications, challenges, and future directions. **International**

Journal of Research in Engineering, Science and Management, v. 7, n. 3, p. 16-24, 2024.

SIMONET, C. Cost effectiveness of water protection payments: A case study in Bavaria, Germany. **Water Resources Management**, v. 19, n. 2, p. 195-210, 2005.

SOSMA. **Poços e contaminação põem em risco águas subterrâneas de SP**. São Paulo, 2014.

VICENTE, G. Z.; LIMA, C. G. R.; MARQUES, S. M. Variabilidade espacial e temporal do Nitrato e Cloreto no Sistema Aquífero Bauru, estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 3, p. 295-306, 2018.

WTO – World Trade Organization. **Aid for Trade at a Glance 2022: Empowering Connected, Sustainable Trade**. Disponível em: <https://www.wto.org>. Acesso em: 25 nov. 2025.