

Dinâmica espacial da expansão urbana e pressão sobre as águas subterrâneas: O caso da bacia do rio Paciência no Estado no Maranhão (MA), Brasil

Spatial dynamics of urban expansion and pressure on groundwater: The case of the Paciência River basin in the State of Maranhão (MA), Brazil

Dinámica espacial de la expansión urbana y la presión sobre las aguas subterráneas: El caso de la cuenca del río Paciência en el estado de Maranhão (MA), Brasil

Recebido: 20/04/2026 | Aceito: 22/06/2026 | Publicado: 23/06/2026

Liana Raquel Ferreira Ferraz

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5543-2939>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: ferrazlr80@gmail.com

Andrea Araújo do Carmo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5776-3234>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: andreaaraujo@professor.uema.br

Natilene Mesquita Brito

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1126-2001>

Instituto Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: natilene.brito@ifma.edu.br

Resumo

As águas subterrâneas constituem recurso estratégico para a segurança hídrica em áreas urbanizadas, especialmente em contextos de expansão urbana acelerada e insuficiência de mananciais superficiais. Este estudo teve como objetivo analisar a dinâmica da gestão das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Paciência (MA) frente ao avanço urbano entre 1985 e 2023. A pesquisa, de natureza descritivo-analítica, baseou-se na utilização de dados secundários e no emprego de geotecnologias para avaliar as mudanças no uso e cobertura do solo e sua relação com a intensificação da pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos. Foram realizados o levantamento, a sistematização e a espacialização de poços outorgados, a partir de dados da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, bem como o cálculo da densidade de captações por município. Os resultados indicam crescimento de 181,53% da área urbanizada e redução de 73,85% da cobertura florestal, incidindo sobre áreas estratégicas de recarga aquífera. Identificaram-se 309 poços, com densidade de 4,18 poços/km² em São Luís, com predominância do uso doméstico (73,8%). O índice de dependência de 207,04% evidencia a função exportadora da bacia no contexto da Ilha do Maranhão. Conclui-se que a gestão hídrica local apresenta caráter predominantemente formal, com limitações na implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, comprometendo o monitoramento sistemático e indicando riscos de superexploração do Sistema Aquífero Barreiras-Itapecuru.

Palavras-chave: Águas subterrâneas; Bacia do Rio Paciência; Expansão urbana; Gestão hídrica.

Abstract

Groundwater is a strategic resource for water security in urbanized areas, especially in contexts of accelerated urban expansion and insufficient surface water sources. This study aimed to analyze the dynamics of groundwater management in the Paciência River Basin (MA) in the face of urban expansion between 1985 and 2023. The descriptive-analytical research was based on the use of secondary data and geotechnologies to assess changes in land use and cover and their relationship with the intensification of pressure on groundwater resources. The survey, systematization, and spatialization of authorized wells were carried out using data from the State Secretariat for the Environment and Water Resources, as well as the calculation of the density of water intakes per municipality. The results indicate a 181.53% increase in urbanized area and a 73.85% reduction in forest cover, impacting strategic aquifer recharge areas. A total of 309 wells were identified, with a density of 4.18 wells/km² in São Luís, predominantly for domestic use (73.8%). The dependency index of 207.04% highlights the export function of the basin in the context of Ilha do Maranhão. It is concluded that local water management is predominantly formal, with limitations in the implementation of the instruments of the National Water Resources Policy, compromising systematic monitoring and indicating risks of overexploitation of the Barreiras-Itapecuru Aquifer System.

Keywords: Groundwater; Paciência River Basin; Urban expansion; Water management.

Resumen

El agua subterránea es un recurso estratégico para la seguridad hídrica en áreas urbanizadas, especialmente en contextos de expansión urbana acelerada e insuficiencia de fuentes de agua superficial. Este estudio tuvo como objetivo analizar la dinámica de la gestión del agua subterránea en la Cuenca del Río Paciência (MA) frente a la expansión urbana entre 1985 y 2023. La investigación descriptivo-analítica se basó en el uso de datos secundarios y geotecnologías para evaluar los cambios en el uso y la cobertura del suelo y su relación con la intensificación de la presión sobre los recursos hídricos subterráneos. El levantamiento, sistematización y espacialización de pozos autorizados se realizaron utilizando datos de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Hídricos, así como el cálculo de la densidad de tomas de agua por municipio. Los resultados indican un incremento del 181,53 % en el área urbanizada y una reducción del 73,85 % en la cobertura forestal, impactando áreas estratégicas de recarga de acuíferos. Se identificaron un total de 309 pozos, con una densidad de 4,18 pozos/km² en São Luís, predominantemente para uso doméstico (73,8%). El índice de dependencia del 207,04% resalta la función exportadora de la cuenca en el contexto de Ilha do Maranhão. Se concluye que la gestión local del agua es predominantemente formal, con limitaciones en la implementación de los instrumentos de la Política Nacional de Recursos Hídricos, lo que compromete el monitoreo sistemático e indica riesgos de sobreexplotación del Sistema Acuífero Barreiras-Itapecuru.

Palabras clave: Agua subterránea; Cuenca del Río Patience; Expansión urbana; Gestión del agua.

1. Introdução

A gestão das águas tornou-se uma questão estratégica para a administração pública brasileira, especialmente diante da frequência e intensidade das crises hídricas registradas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico no país (ANA). Nesse cenário, as águas subterrâneas emergem como um recurso fundamental para o alcance das metas de desenvolvimento sustentável, sustentando setores essenciais como a indústria, a agricultura e, prioritariamente, o abastecimento público (Hirata, 2019).

Os sistemas de águas subterrâneas são fontes naturais bem mais resistentes à poluição do que de águas superficiais, pois a camada de solo sobrejacente atua como filtro impedindo o deslocamento de poluentes para a camada saturada (Foster et al., 2006). E, por serem fontes de água mais limpas, e geralmente possuindo boa qualidade, vêm sendo utilizados em grande escala para abastecimento de cidades e núcleos urbanos em todo Brasil (ANA, 2024).

A urbanização consolidou-se como a principal força transformadora das paisagens globais, impulsionada por um crescimento populacional que, embora tenha triplicado no último século, resultou em um aumento de nove vezes no consumo de água (Macedo, 2011).

Esse processo de expansão geográfica e avanço de infraestrutura gera impactos socioeconômicos e ambientais profundos, exercendo uma pressão crescente sobre os recursos hídricos subterráneos. Em diversas regiões do planeta, a demanda para atender ao consumo humano e industrial tem levado a crises hídricas severas e à sobrecarga dos sistemas aquíferos, que muitas vezes são utilizados em larga escala sem o acompanhamento técnico adequado (Herraiz, 2009).

No Brasil, onde o grau de urbanização atinge 84% da população, as águas subterrâneas tornaram-se reservas estratégicas essenciais para a manutenção da dignidade humana e do bem-estar social (IBGE 2023).

Contudo, o processo de urbanização intensificada e desordenada impõe pressões significativas sobre as águas subterrâneas (Macedo, 2011). A expansão das áreas impermeabilizadas e a supressão da cobertura vegetal nativa reduzem a infiltração da água no solo, comprometendo a recarga natural e alterando o balanço hídrico das bacias hidrográficas (Hirata et al. 2019). Além disso, a natureza "invisível" das águas subterrâneas dificulta a percepção de sua importância por parte da sociedade e dos gestores públicos, o que frequentemente resulta em um conhecimento técnico reduzido e em falhas no planejamento hídrico urbano (ANA, 2010).

No cenário brasileiro, o estado do Maranhão, possui 217 municípios e uma população urbana da ordem de 4,8 milhões de habitantes (ANA, 2021). Segundo o relatório da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021), 44% da população do estado do Maranhão é abastecida por mananciais subterráneos.

Na Ilha do Maranhão, a Bacia Hidrográfica do Rio Paciência destaca-se como uma das principais áreas de expansão urbana, sofrendo com problemas ambientais decorrentes da instalação de grandes conjuntos habitacionais e da ocupação desordenada de áreas florestais (IMESC, 2011; Sousa, 2021).

Configura-se como uma unidade territorial crítica, abrangendo os municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. Este recorte geográfico desempenha um papel fundamental na economia local e no abastecimento público, abrigando baterias de poços estratégicos (Sistemas Paciência I e II) que suprem a demanda de áreas densamente povoadas. Estudos indicam um comprometimento das características naturais da bacia, com interferências diretas na qualidade e disponibilidade do recurso hídrico (Santos et al., 2019).

Diante da alta dependência da população local em relação aos aquíferos para o consumo doméstico, a análise da distribuição espacial das captações torna-se essencial para subsidiar estratégias de gestão e evitar a superexploração (Da Silva et al., 2010; Rocha et al., 2021).

Embora a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) estabeleça diretrizes para a gestão integrada, persistem lacunas significativas na aplicação desses instrumentos no Nordeste brasileiro. Estudos em bacias como a do Rio Curu (CE) e Piranhas-Açu (RN/PB) revelam um padrão de baixa regularização e monitoramento deficitário, realidade que se repete na Bacia do Rio Paciência (Dos Santos et al., 2020; Da Luz; De Lima, 2006).

Há uma carência de pesquisas que integrem sistematicamente as transformações no uso do solo com a dinâmica das águas subterrâneas, resultando em uma gestão mais formal do que efetiva. A invisibilidade do recurso hídrico subterrâneo perante os gestores e a sociedade civil contribui para o descompasso entre o número de poços cadastrados e a realidade das captações, muitas vezes clandestinas, o que compromete o planejamento e a sustentabilidade dos aquíferos urbanos (Conicelli; Hirata, 2017).

A aplicação do instrumento de outorga tem funcionado predominantemente como um mecanismo de regularização formal, sem estar devidamente integrada a planos de bacia ou a redes de monitoramento sistemático que acompanhem os níveis de qualidade e quantidade da água. A dissociação entre o ordenamento territorial e a gestão hídrica, somada à elevada ocorrência de poços, já que se estima que pelo menos 70 % dos poços tubulares são clandestinos, desconhecidos do poder público, portanto irregulares, e pouco mais de 1 %, apenas, são regulares, compromete a segurança hídrica e a sustentabilidade do recurso a longo prazo (Hirata et al., 2019).

A hipótese deste estudo é que a expansão urbana acelerada na Bacia do Rio Paciência, ocorrida entre 1985 e 2023, gerou um aumento crítico na densidade de captações subterrâneas em áreas de vulnerabilidade hidrogeológica, resultando no comprometimento de zonas estratégicas de recarga.

Diante da necessidade de aprimorar a governança hídrica local, este estudo tem como objetivo analisar a dinâmica da gestão das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Paciência (MA) frente ao avanço urbano entre 1985 e 2023. Para tanto, o trabalho propõe-se descrever as mudanças de uso e cobertura do solo, identificando o avanço da impermeabilização, mapeando a distribuição espacial e a densidade das captações outorgadas por unidade de área; e, por fim, correlacionar a expansão urbana com indicadores hidrológicos, avaliando como o crescimento populacional e a ausência de infraestrutura pública de abastecimento impactam a sustentabilidade e a segurança dos recursos hídricos subterrâneos locais e corroboram a fragilidade dos atuais instrumentos de controle e planejamento hídrico.

2. Metodologia

A pesquisa possui natureza descritiva e fundamenta-se na análise de dados secundários obtidos junto à Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Maranhão e recursos hídricos (SEMA). Foi utilizada uma base de dados inicial contendo mais de

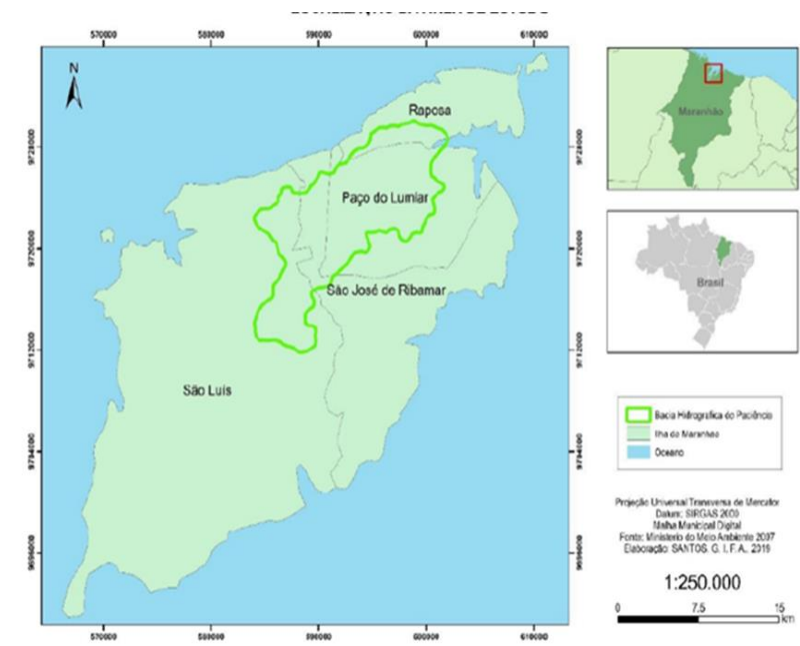
6.000 registros de poços em todo o estado. Após um processo de triagem e filtragem por município, selecionou-se um grupo de 800 poços, dos quais 309 poços outorgados foram identificados como efetivamente inseridos nos limites da bacia hidrográfica através do cruzamento de coordenadas geográficas. Seguiu-se um estudo de abordagem qualitativa em relação à interpretação de imagens e quantitativa em relação a valores, fórmulas matemáticas e porcentagens.

O processamento dos dados espaciais foi realizado no software QGIS. A análise integrou as bases de dados, MapBiomias (2023), para a construção da série histórica de uso e cobertura do solo e IBGE (2022), para a definição dos limites municipais e malha cartográfica. A integração dessas bases permitiu identificar a distribuição espacial dos poços e relacioná-la com as transformações nas dinâmicas antrópicas da região.

2.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Paciência, situada na porção Nordeste da Ilha do Maranhão. A área está compreendida entre as coordenadas geográficas 02° 25' 30" a 02° 37' 30" de Latitude Sul e 44° 07' 30" a 44° 16' 30" de Longitude Oeste, abrangendo uma extensão de aproximadamente 145,7 km². A Figura 1 apresenta a delimitação da bacia hidrográfica, abrangendo os territórios dos municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa.

Figura 1 – Área delimitada da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência.



Fonte: Dutra (2020).

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima do tipo Aw, tropical chuvoso, com regime pluviométrico concentrado no primeiro quadrimestre do ano, especialmente entre janeiro e abril, e temperatura média anual aproximada de 28 °C. Geologicamente, as águas subterrâneas provêm do Sistema Aquífero Barreiras-Itapecuru, composto por sedimentos cretáceos e neógenos com alta potencialidade hidrogeológica (De Araújo, 2009).

Para avaliar a pressão sobre os aquíferos, calculou-se a densidade de poços (Dp), expressa pela razão entre o número de poços outorgados (Np) e a área da bacia no município em km² (Ab), seguindo a fórmula:

$$Dp = Np / Ab$$

A evolução da ocupação do solo e a pressão sobre as águas subterrâneas foram avaliadas através de uma série

histórica referente aos anos de 1985, 2019 e 2023. Essa série permitiu comparar as fases de expansão urbana e a respectiva perda de cobertura vegetal nativa, como forma de validar as hipóteses de vulnerabilidade do aquífero frente ao crescimento desordenado.

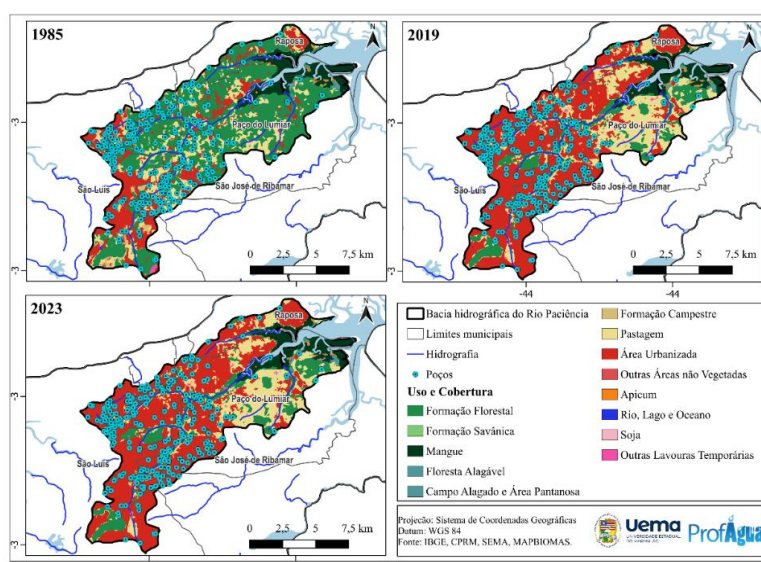
Os 309 poços foram quantificados e classificados percentualmente conforme sua finalidade de uso (doméstico, comercial, industrial ou não identificado). Essa etapa foi essencial para definir o vetor principal de demanda hídrica e os riscos associados à segurança hídrica da população residente.

3. Resultados e Discussão

A urbanização acelerada na Ilha do Maranhão, particularmente na Bacia do Rio Paciência, impacta o abastecimento de água subterrânea de diversas formas críticas, comprometendo tanto a quantidade quanto a qualidade do recurso.

A análise da série histórica revelou profundas transformações na Bacia do Rio Paciência, marcadas por um processo de urbanização acelerada, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Série histórica do uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Paciência.



Fonte: Carvalho (2025).

Entre 1985 e 2023, conforme a Tabela 1, a área urbanizada expandiu-se em 181,53%, saltando de 31,72 km² para 89,31 km². Esse crescimento ocorreu majoritariamente sobre áreas de vegetação nativa, resultando em uma perda de 73,85% da formação florestal no mesmo período. Outras classes, como a formação campestre e campos alagados, também sofreram reduções drásticas, superiores a 80%. Essa dinâmica indica que a expansão urbana ocupou zonas importantes ambientalmente e áreas de recarga estratégica para os aquíferos.

Tabela 1 – Dados de uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Paciência entre (1985-2023).

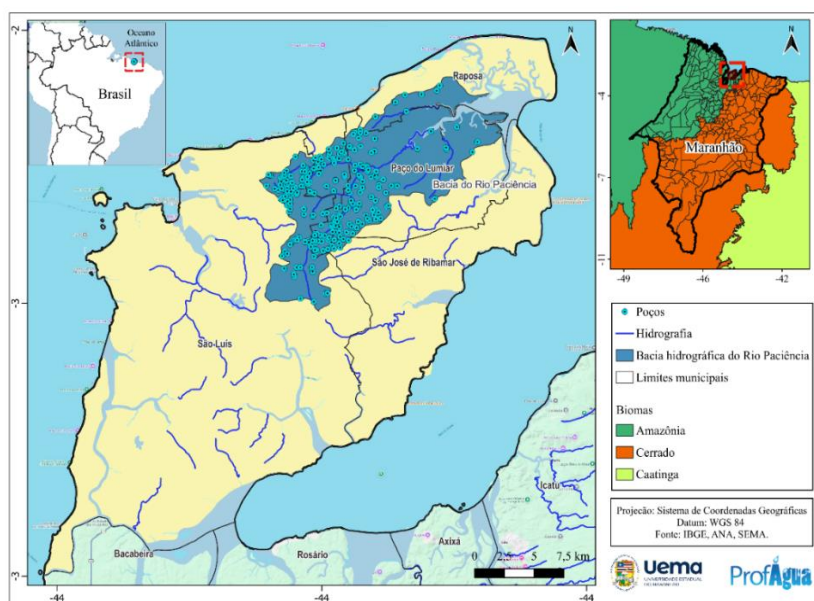
Categoria e uso do solo	1985	2019	2023	Mudança (km ²)	Mudança (%)
Formação florestal	75,77	18,53	19,81	-55,96	-73,85
Formação Savânica	0,33	0,25	0,15	-0,18	-55,38
Mangue	11,92	11,95	12,08	0,16	1,34
Floresta alagável	0,92	0,89	0,99	0,08	8,34
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,95	0,33	0,17	-0,78	-82,54
Formação Campestre	3,20	0,003	0,01	-3,20	-99,83
Pastagem	25,78	31,82	28,75	2,96	11,49
Área Urbanizada	31,72	87,35	89,31	57,58	181,53
Apicum	0,46	0,49	0,44	-0,49	-3,91

Fonte: Carvalho (2025).

A diminuição da cobertura vegetal compromete a oferta de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação microclimática, a infiltração de água no solo, a recarga dos aquíferos e a proteção das nascentes, impactando diretamente a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos (BRASIL, 2011; ANA, 2020).

A Figura 3 apresenta os 309 poços outorgados identificados e efetivamente inseridos nos limites da bacia.

Figura 3 - Poços outorgados localizados ao longo da bacia.



Fonte: Carvalho (2025).

A distribuição espacial dessas captações não é uniforme, apresentando maior concentração na porção central e nordeste, coincidindo com as zonas de maior adensamento imobiliário da Região Metropolitana de São Luís.

A tabela 2, demonstra que embora o município de São Luís detenha apenas 5,43% da área da bacia (29,15 km²), ele concentra a maior proporção de poços outorgados (39,48%), resultando em uma densidade crítica de 4,18 poços/km². Em contraste, Paço do Lumiar, que ocupa a maior extensão territorial da bacia (60,65%), apresenta uma densidade menor, de 1,12 poços/km², embora registre aglomerações significativas em bairros superpopulosos.

Tabela 2 – Proporção de poços outorgados em relação à área dos municípios da bacia.

Município	Área do município (Km ²)	Área da bacia (%)	Área da bacia em Km ²	% de poços outorgados	Nº de poços	Poços por Km ² da área da bacia
São Luís	583,063	5,43	29,15	39,48	122	4,18
São José de Ribamar	180,363	17,70	31,91	29,44	91	2,8
Paço do Lumiar	127,193	60,65	77,02	28,15	87	1,12
Raposa	79,213	16,18	12,75	2,91	9	0,7

Fonte: Autoria própria (2025).

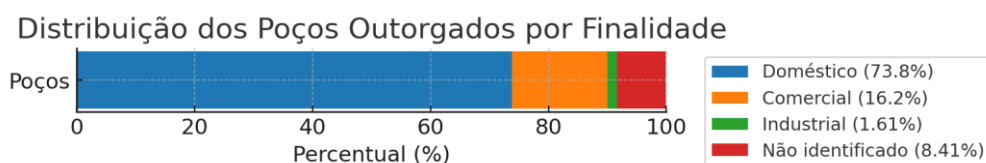
A análise espacial revela mudança expressiva na paisagem e vincula o crescimento da mancha urbana (que subiu 181% no período) à falha da gestão em fornecer rede de água, tornando os moradores desses quatro municípios necessitados da perfuração de poços próprios na bacia hidrográfica do Rio Paciência, indicando uma crescente dependência das águas subterrâneas para o abastecimento urbano e doméstico. Esse crescimento está associado, em grande parte, à expansão urbana desordenada e à insuficiência da rede pública de abastecimento, fatores que impulsionam a perfuração de poços individuais e, em muitos casos, não regulamentados (CPRM, 2020; ANA, 2023).

Há uma grande quantidade de poços irregulares pelo país. Estima-se que pelo menos 70 % dos poços tubulares são clandestinos ou desconhecidos do poder público, portanto irregulares, e pouco mais de 1 %, apenas, são regulares (Hirata et al., 2019). Os poços irregulares podem interferir nos poços regulares e entre si, gerando conflitos e isso reflete na eficácia de gestão (Pinhatti; Hirata, 2018).

Tal cenário evidencia um risco de superexploração do Sistema Aquífero Barreiras–Itapecuru, principal reservatório subterrâneo que sustenta a região da bacia do rio Paciência. O agravamento da captação sem controle adequado pode provocar o rebaixamento do lençol freático, aumento da vulnerabilidade à intrusão salina e comprometimento da qualidade da água subterrânea.

A caracterização dos poços, conforme figura 4, revelou um predomínio expressivo do uso doméstico, que representa 73,8% do total de captações outorgadas. O uso comercial responde por 16,2%, enquanto o industrial possui representatividade reduzida de 1,61%.

Figura 4 – Caracterização dos 309 poços dentro da bacia quanto a finalidade.



Fonte: Autoria própria (2025).

De forma geral, o gráfico evidencia que o uso doméstico é o principal vetor de demanda por água subterrânea na bacia, o que tem implicações diretas na gestão e monitoramento da exploração dos aquíferos, sobretudo em áreas de maior adensamento urbano.

Os indicadores de dependência reforçam a importância estratégica do manancial subterrâneo. A dependência das

águas subterrâneas na grande Ilha do Maranhão é amplamente reconhecida e pode ser quantificada a partir dos Indicadores, conforme quadro 1.

Quadro 1 - Indicadores do uso de águas subterrâneas.

VINCULAÇÃO	Nº	INDICADOR	UN	INTERPRETAÇÃO
DEPEDÊNCIA	1	Exploração atual / Demanda por consumo humano	%	Importância das águas subterrâneas no abastecimento para consumo humano.
	2	Exploração atual / Demanda total	%	Importância das águas subterrâneas no abastecimento público.

Fonte: ANA e SGB/CPRM (2019)

O Indicador de Dependência 1 atingiu 207,04% para a Bacia do Rio Paciência. Este valor superior a 100% demonstra que a água extraída na bacia não apenas supre a demanda local, mas também é exportada para abastecer populações de outras bacias hidrográficas da Ilha de São Luís através da rede de distribuição.

Por outro lado, quando considerada a demanda total (incluindo grandes indústrias e outros usos), a dependência das águas subterrâneas é de 10,35%, indicando que os setores não domésticos utilizam prioritariamente águas superficiais importadas do sistema de abastecimento Italuís, cujas águas são provenientes do Rio Itapecuru.

A análise integrada dos resultados confirma a hipótese de que a expansão urbana acelerada e desordenada na Bacia do Rio Paciência tem comprometido de forma significativa a sustentabilidade do Sistema Aquífero Barreiras–Itapecuru. As fragilidades institucionais e de governança agravam esse cenário. Embora a outorga seja o único instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos efetivamente aplicado na bacia, seu uso ocorre de forma predominantemente cartorial, funcionando mais como mecanismo de regularização formal do que como ferramenta de planejamento e controle.

A ausência de um Plano de Bacia, do Enquadramento dos corpos d'água e de um Sistema de Informações robusto impede a definição de metas de qualidade, a articulação entre uso do solo e gestão hídrica e a fiscalização eficiente das captações. Ademais, a inexistência de monitoramento sistemático dos níveis piezométricos limita a identificação precoce de processos de superexploração e eleva o risco de intrusão salina em áreas costeiras, comprometendo a segurança hídrica a longo prazo.

Diante desse conjunto de evidências, a manutenção da trajetória atual aponta para um cenário de degradação progressiva dos recursos hídricos subterrâneos, com rebaixamento do lençol freático, perda de áreas de recarga e aumento da incidência de doenças de veiculação hídrica, especialmente em função da precariedade do saneamento.

Torna-se, portanto, urgente a adoção de medidas estruturantes, como a implementação de programas de regularização simplificada de poços, a delimitação de áreas de restrição e controle de extração, o fortalecimento dos instrumentos da PNRH e, sobretudo, a integração efetiva entre o planejamento urbano e a gestão de recursos hídricos. Somente por meio dessa abordagem integrada será possível assegurar a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais e a sustentabilidade hídrica da Bacia do Rio Paciência.

4. Conclusão

A análise da dinâmica espacial na Bacia do Rio Paciência confirma que a expansão urbana acelerada, ocorrida entre 1985 e 2023, gerou uma pressão crítica sobre as águas subterrâneas. O crescimento de área urbanizada resultou em uma perda expressiva da cobertura florestal, comprometendo diretamente as áreas de recarga estratégica e aumentando a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação.

A elevada densidade de captações, aliada ao fato da maioria dos poços terem finalidade doméstica, evidencia a forte dependência da população em relação ao manancial subterrâneo para suprir falhas na rede pública de abastecimento. Esse cenário revela indício de insegurança hídrica no sistema urbano com risco iminente de superexploração do Sistema Aquífero Barreiras-Itapecuru, agravado pela provável existência de uma vasta rede de poços clandestinos que operam à margem do controle estatal.

Conclui-se que a gestão hídrica na bacia apresenta fragilidades estruturais significativas. O instrumento da outorga tem sido aplicado de forma isolada, funcionando mais como um mecanismo de regularização formal do que como uma ferramenta de planejamento e controle do uso do recurso. A inexistência de outros instrumentos fundamentais da PNRH, como o Plano de Bacia e o Enquadramento, impede uma governança eficaz e deixa o recurso subterrâneo em uma posição de invisibilidade estratégica revelando fragilidade na governança e planejamento.

Para assegurar a sustentabilidade hídrica da região, recomenda-se urgentemente que haja a implementação de uma rede de monitoramento sistemático para acompanhar os níveis e a qualidade da água, que seja alinhada a integração efetiva dos instrumentos de gestão, articulando a outorga com o Plano de Recursos Hídricos e o Sistema de Informações. O fortalecimento da governança compartilhada entre municípios, usuários e comitês de bacia para alinhar o planejamento urbano à preservação das áreas de recarga.

Sem intervenções estruturais na governança e no saneamento básico, a bacia tende a evoluir para um quadro de degradação progressiva, comprometendo a segurança hídrica das gerações futuras na Ilha do Maranhão.

Referências

- ANA. (2024). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023: informe anual*. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).
- ANA. (2021). *Panorama do Saneamento e Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).
- ANA. (2019). *Estudos hidrogeológicos da Ilha de São Luís, MA: subsídios para o uso sustentável dos recursos hídricos : relatório final, volume III*. Brasília. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Serviço Geológico do Brasil.
- Da Silva, R. N. M. et al. (2010). *Recarga de água subterrânea na ilha do maranhão e a demanda necessária-2010 a 2040*. Águas Subterrâneas.
- De Sousa, C. J. S., Borges, W. R. & Pinheiro, K. S. F. (2022). Hydrochemical characterization of the Barreiras-Itapecuru Aquifer System groundwater in the Maranhão Island, North Coast of Brazil. *Geociências*. 41(2), 437-50.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. & Paris, M. (2006). *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. São Paulo: Servemar. p.15-81
- Herráiz, A. D. (2009). La Importancia de las Aguas Subterráneas. *Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 103, 97-114.
- Hirata, R. et al. (2019a). *Águas subterrâneas urbanas no Brasil: diagnóstico e desafios*. São Paulo: Instituto TrataBrasil.
- Hirata, R. et al. (2019b). A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. . [São Paulo]: Instituto Trata Brasil. <https://repositorio.usp.br/directbitstream/e7d9e125-7b22-4706-915b-a397f8a91784/2928658.pdf>.
- IBGE. (2023). *Espírito Santo*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
- IMESC. (2011). *Situação ambiental da Ilha do Maranhão*. São Luís: Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC).
- Macedo, L. A. A. (2011). *Urbanização da Ilha de São Luís e seus Impactos Ambientais nos Recursos Hídricos: Análise no Período de 1970 a 2010*. São Luís: EDUEMA.
- Peixoto, F. S. & Cavalcante, I. N. (2025). O desafio do binômio água e cidade para o gerenciamento dos aquíferos urbanos. *Estudos Avançados*. 39, e39114195.
- Pereira, A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [Free ebook]. Editora da UFSM.
- Porto, M. & Porto, R. L. L. (2020). Gestão de Recursos Hídricos no Brasil. *Estudos Avançados*. 34(100), 27-44.
- Risemberg, R. I. C. et al. (2026). A importância da metodologia científica no desenvolvimento de artigos científicos. *E-Acadêmica*, 7(1), e0171675. <https://eacademica.org/eacademica/article/view/675>

Rocha, M. C., Pinheiro, K. S. F., Sousa, C. J. S. & Bezerra, J. F. R. (2021). Saneamento e qualidade das águas na Bacia hidrográfica do Rio Paciência, Ilha do Maranhão, Brasil. *Revista Geotemas*, Pau dos Ferros. 11, e02103. <https://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas/article/view/3082>.

Santos, E. L. et al. (2019). Qualidade das águas e nível trófico da bacia do rio paciência na ilha do maranhão, Brasil. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)*. 21(2), 437–53.

Santos, G. I. F. A., Ribeiro, D. Q., Cruz, W. L. & Pereira, E. D. (2020). Levantamento das características hidrogeológicas do Aquífero Barreiras e Itapecuru na bacia hidrográfica do Rio Paciência-MA. *Águas Subterrâneas*. 34(1), 75-86. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29811>.

Santos, R. F. (2004). *Planejamento Ambiental: teoria e prática*. Editora Oficina de Textos.

Senra, J. B. & Nascimento, N. O. (2017). Após 20 anos da lei das águas como anda a Gestão Integrada de Recursos Hídricos do Brasil, no âmbito das Políticas e Planos Nacionais setoriais. *REGA*. 14(16), 1-18.

Shitsuka, R. et al. (2014). *Matemática fundamental para tecnologia*. (2ed). Editora Érica. Colocar espaço entre uma referência e outra. Lembre-se que usamos a norma APA.