

# **AVALIAÇÃO DA TAXA DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO NAS ÁREAS DE RECARGA DE AQUIFERO NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS – MA.**

Leonilson Lima <sup>1</sup>  
Maximiliano Bayer <sup>2</sup>  
Ediléa Dutra Pereira <sup>3</sup>

## **INTRODUÇÃO**

Os recursos hídricos são essenciais para a sustentação da vida e do desenvolvimento humano, e sua gestão adequada é crucial para garantir a disponibilidade de água para as gerações futuras. As áreas de recarga de aquíferos desempenham um papel vital nesse contexto, pois são zonas onde a água da chuva e outras fontes superficiais infiltram no solo, reabastecendo os aquíferos subterrâneos. Estes aquíferos são formações geológicas que armazenam grandes volumes de água, e sua recarga é fundamental para manter o equilíbrio hídrico e a qualidade da água.

A fase de infiltração, essencial para a recarga dos aquíferos, é a etapa mais lenta e complexa do Ciclo Hidrológico, principalmente devido a dúvidas sobre a aplicação de métodos que permitem a medição direta da recarga e aos efeitos do uso do solo, especialmente em áreas urbanizadas (HEALY, 2010).

O presente estudo tem por objetivo identificar as áreas permeáveis nas principais áreas de recarga de aquífero no município de São Luís – MA, analisar os impactos ambientais causados pelo avanço da urbanização no município e propor medidas de mitigação para sustentabilidade hídrica em São Luís.

Destaca-se que as áreas de recarga de aquífero são áreas de sustentabilidade ambiental conforme o Plano Diretor Municipal de São Luís de 2006 e passa por alterações a partir da revisão do plano. As áreas de recarga de aquífero do município de São Luís

---

<sup>1</sup> Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal Goiás - UFG, [Leonilson.lima@discente.ufg.br](mailto:Leonilson.lima@discente.ufg.br);

<sup>2</sup> Doutor pelo Curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal Goiás – UFG, Professor da Universidade Federal de Goiás, [maxbayer@ufg.br](mailto:maxbayer@ufg.br);

<sup>3</sup> Doutora pelo Curso de Geociências e Meio Ambiente da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP – Rio Claro), Professora da Universidade Federal do Maranhão, [edilea.dp@ufma.br](mailto:edilea.dp@ufma.br).

correspondem a 8% do seu território. Essas áreas se encontram impactadas por ocupações que diminuem sensivelmente a permeabilidade dos terrenos altos e planos.

O termo recarga de aquífero pode ser entendido como água proveniente da precipitação, dos rios e lagos e não-natural proveniente da irrigação que infiltra no solo atingindo o nível de água, assim adicionando uma quantidade de água extra no aquífero (DE VRIES E SIMMERS, 2002).

Analisando o solo exposto e a área urbanizada, destacam-se que as somatórias dessas duas classes seriam equivalentes a 78,54%, enquanto 21,46% representam a área vegetada. Os impactos nas áreas de recarga incluem: desmatamento para abertura de vias e lotes, pavimentação e ocupação de terrenos, interferindo no ciclo da água.

A remoção da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo tem transformado a área de estudo, o que acarreta a perda de suas características naturais. Essas áreas são cruciais para a recarga dos aquíferos e a manutenção dos corpos hídricos.

Este trabalho analisou a principal área de recarga de aquífero em partes das bacias dos rios Anil, Bacanga e Paciência, abrangendo 80 bairros de São Luís. Essas áreas são essenciais para o armazenamento de água subterrânea nos sistemas de abastecimento Sacavém e Paciência da Companhia de Abastecimento de Água e Saneamento Ambiental – CAEMA.

### **Dinâmica da Água no Solo**

O escoamento superficial consiste em uma etapa do ciclo hidrológico, em que corresponde ao deslocamento da água sobre superfície do solo, sendo fundamental para recomposição dos corpos hídricos como rios, lagos e mares. O escoamento superficial “ocorre livremente na superfície terrestre sobre uma película de água aderida ao solo, enquanto o subsuperficial acontece dentro da parte vazia do solo, entre os grãos, partículas e materiais semidecompostos relativamente soltos” (POPOLIZIO, 1975 *apud* BIGARELLA, 2003, p. 890).

O escoamento superficial ocorre quando o solo, saturado ou impermeável, não consegue mais infiltrar água. Um solo está saturado quando todos os seus poros estão preenchidos por água. Segundo Guerra (2009, p. 648), “o escoamento ocorre nas encostas onde o solo se torna saturado. Ele ocorre quando a capacidade de infiltração da superfície do solo é excedida e não consegue mais absorver água”.

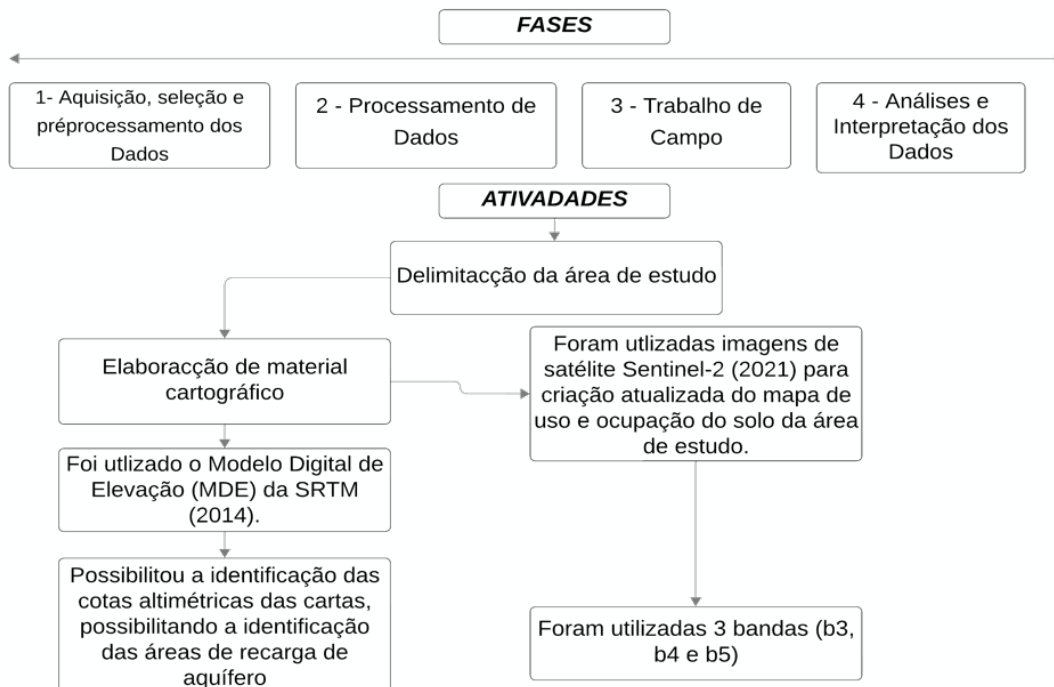
O ciclo de escoamento pode ser descrito em três estágios: no primeiro, o solo está seco e as reservas hídricas são baixas; no segundo, quando se inicia a precipitação,

ocorrem os processos de interceptação, infiltração e escoamento; na última etapa, o sistema volta ao seu estado normal após as chuvas. Espécies vegetais, tipo, ocupação e uso do solo, topografia influenciam a relação entre escoamento superficial e chuva.

## METODOLOGIA

O método científico empregado na pesquisa foi o hipotético-indutivo, onde parte da observação da paisagem e da experimentação, tendo a sua origem no problema e propõem soluções por meio de tentativas, hipóteses e teorias.

**Figura – 1:** Procedimentos metodológicos.

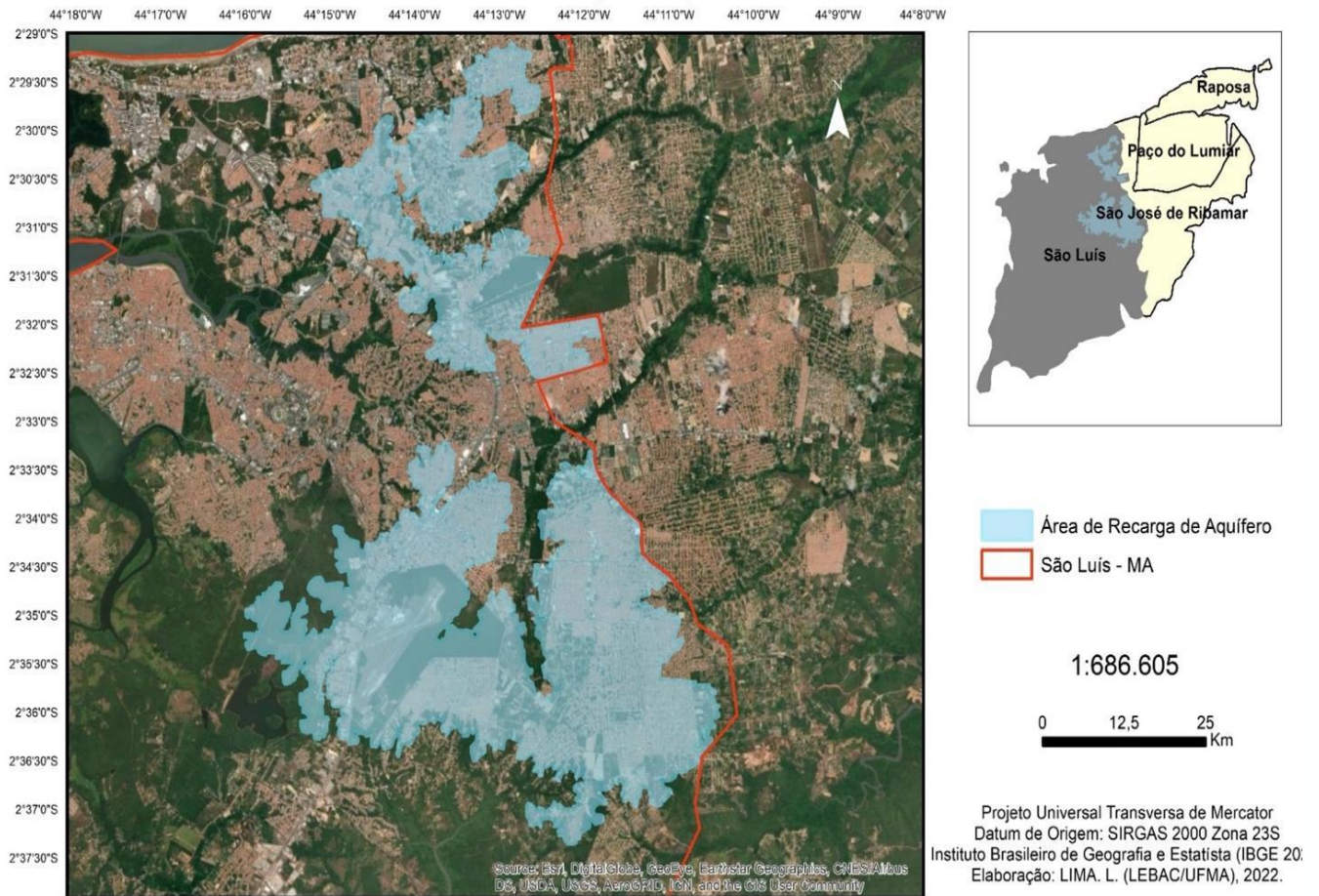


Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de estudo localizadas a leste e a nordeste do município de São Luís, com coordenadas geográficas: 2°29'0" S e 2°37'0" S, e 44°18'0" W e 44°11'0" W, próximo ao limite do município de São José de Ribamar. As áreas de recarga de aquífero correspondem a 8,54% do território da capital maranhense com 49.831,2 km<sup>2</sup>.

**Figura 2** - Mapa de localização das Áreas de Recarga de Aquíferos em São Luís – MA.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2022.

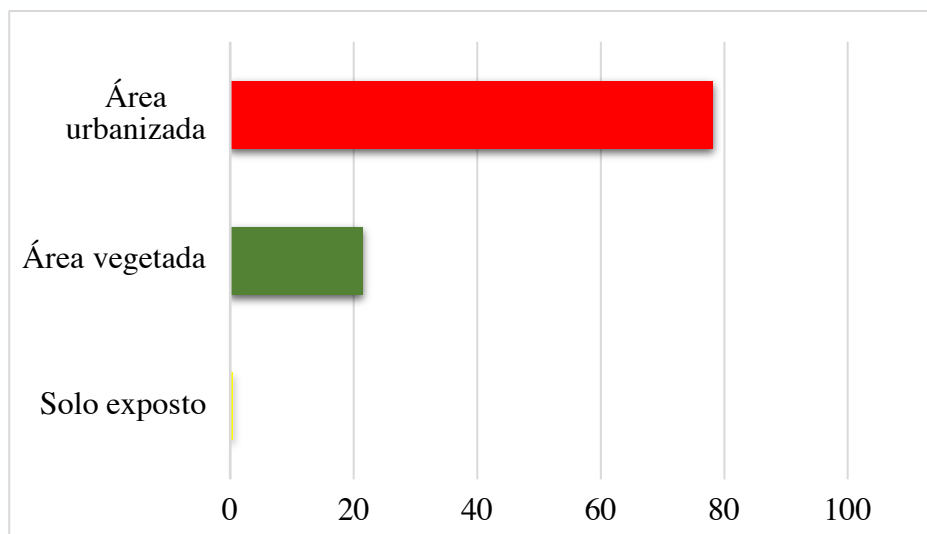
### **Análise do índice de ocupação nas áreas de recarga de aquífero**

O crescimento populacional no mundo está diretamente ligado a inúmeros problemas, sejam eles de cunho ambiental ou causados pelo próprio homem. (SOUZA, MÈRCHER, 2018). Dessa maneira, Silva, Faria Filho, (2019), observam que:

A rápida expansão demográfica do município de São Luís –MA, associada à demanda crescente pelo uso do solo para assentamento humano e implantação de outras edificações (indústrias, equipamentos urbanos entre outros), caracterizou a mudança da paisagem natural, transformando-a em uma paisagem cada vez mais artificial.

A área de estudo encontra-se em uma região densamente populosa e povoada na cidade de São Luís o que pode provocar problemas ambientais de curto, médio e longo prazo ou até mesmo irreversíveis para essas áreas. A área de estudo possui uma grande importância para o equilíbrio ambiental de São Luís. No gráfico 1, é apresentado o percentual das classes: solo exposto, área vegetada e área urbanizada.

**Gráfico 1** - Taxa do uso e ocupação do solo nas áreas de recarga de aquífero.



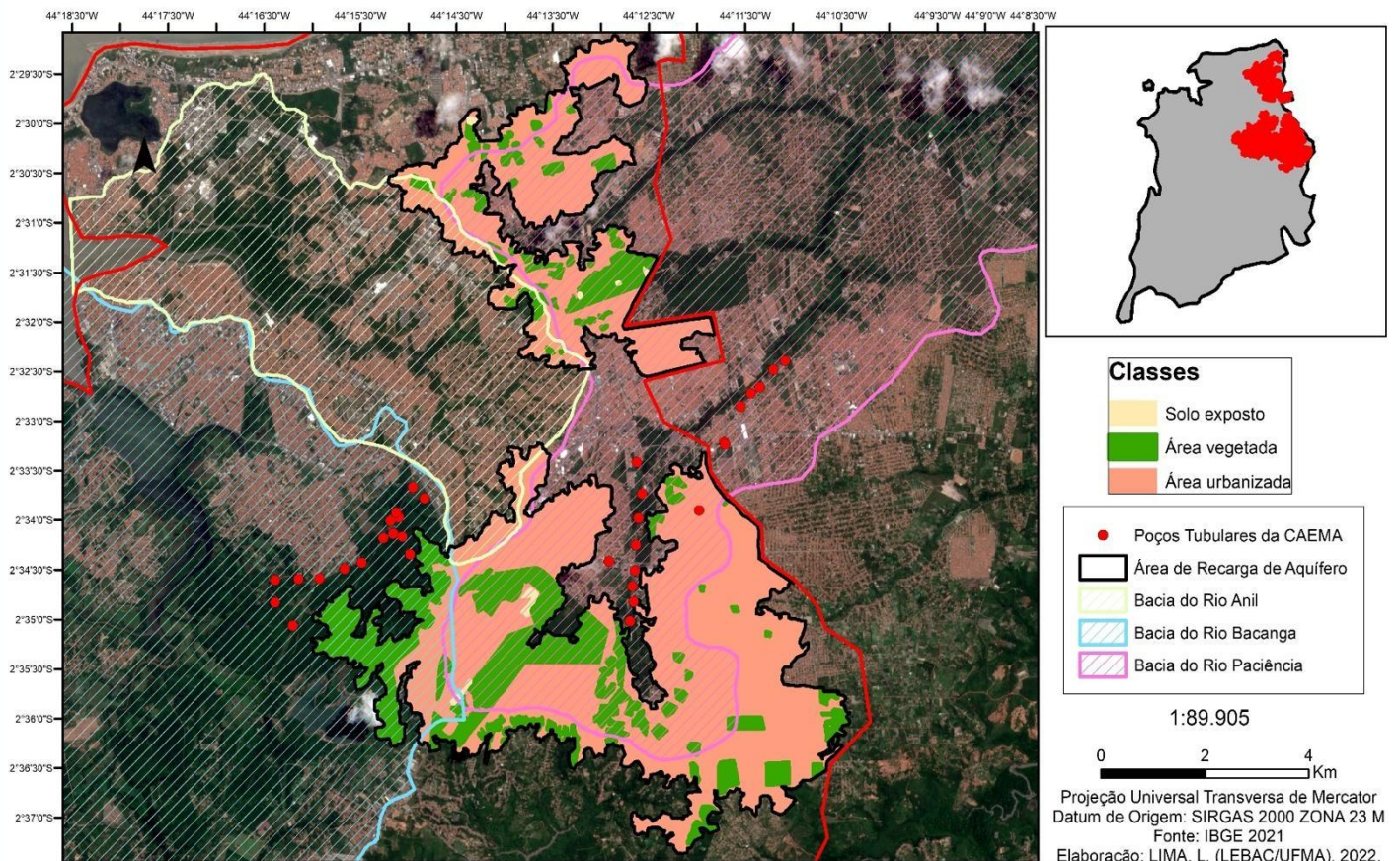
Fonte: dados da pesquisa, 2022.

Quanto às áreas de recarga de aquífero, o Plano Diretor de São Luís estabelece no Parágrafo único que as áreas de Recarga de Aquífero são superfícies entre 40 e 60 metros de altitude, altas e planas, com sedimentos arenosos de alta permeabilidade, essenciais para a manutenção dos recursos hídricos do Município. (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2006). Pode-se destacar o interesse de grandes construtoras imobiliárias em construir condomínios residências nas áreas de recarga, justamente por se encontrarem nas regiões mais elevadas da cidade. (Gráfico 1).

Do percentual relacionado a área vegetada, 21,47%, grande parte está localizada em Área de Proteção Ambiental – APA que são regiões protegidas por lei e, por isso, impede o avanço da urbanização, podendo-se destacar a Reserva do Itapiracó.

De acordo com o mapa de uso e ocupação (Figura 3), os poços de abastecimento não se encontram nas áreas de recarga de aquífero, porque essas áreas são para infiltração de água, e os locais onde os poços foram inseridos são as que recebem a água proveniente das áreas de recarga.

**Figura 3** - Mapa de uso e ocupação das áreas de recarga de aquífero



Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

### Risco da Impermeabilização das Áreas de Recarga de Aquífero para o Abastecimento

As áreas de recarga de aquífero encontram-se em uma área altamente impermeabilizada, com 78,12% do solo sendo ocupado pelo crescimento desordenado de São Luís (Gráfico 1). Desta forma, podemos observar que a capacidade de recarga tende a diminuir conforme aumenta a impermeabilização o que pode afetar diretamente no sistema da cidade. Segundo VAZQUEZ-SUÑÉ (2015), a recarga de aquífero por meio da precipitação diminui conforme o aumento da área impermeabilizada.

No Levantamento Hidrogeológico, feito pelo Serviço Geológico do Brasil (2019) e junto com a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), a bacia do rio Bacanga tem uma recarga natural de 204 mm e a bacia do rio Paciência 242 mm o que significa que essas áreas são as áreas onde concentra mais recargas naturais. e ao observarmos o mapa da Ilha do Maranhão nos deparamos que o uso e ocupação impactam diretamente os poços do sistema da CAEMA em vários bairros de São Luís.

Analisando que os poços tubulares se encontram localizados próximos das áreas mais elevadas, na qual foram denominadas de áreas de recarga de aquífero com cotas altimétricas de 40 a 60 metro segundo o plano Diretor de São Luís em vigor desde 2006, com o aumento da taxa de impermeabilização haverá também a perda da capacidade de recarga do aquífero o que impactará negativamente no abastecimento de água considerando o índice populacional da cidade. “Em São Luís, a CAEMA abastece 931.191 habitantes, num percentual de 91%” segundo dados da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão – CAEMA.

As áreas de recarga de aquífero são regiões estratégicas para o abastecimento de uma cidade, uma vez ele contribui para a oferta de água, ou seja, a o aumento da disponibilidade de água nos aquíferos e ajuda a prevenir contra a intrusão salina em aquíferos de regiões costeiras, no entanto, pode-se destacar que já há indícios do avanço da água do mar sob o continente.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As áreas de recarga da cidade de São Luís, Maranhão está altamente impermeabilizada com 78,12% da sua área ocupada, podemos destacar que quanto maior as áreas impermeáveis, menor será a recarga proveniente da água vinda da precipitação, rios e lagos. Todavia, a recarga em perímetros urbanizados pode oferecer riscos para a qualidade da água subterrânea, podendo conter contaminação por diversos compostos químicos e biológicos.

As recargas de aquíferos presentes nas áreas das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão principalmente nas bacias do rio Anil, rio Bacanga e rio Paciência apresentaram valores elevados de impermeabilização. Destaca-se que essas bacias conforme o Serviço Geológico do Brasil e a Agência Nacional de Água e Saneamento – ANA apresentaram as maiores recargas naturais como a bacia do rio Bacanga com 204 mm e do rio Paciência com 242mm. A bacia do rio Anil por sofrer o maior índice de urbanização apresenta a menor quantidade de recarga natural com apenas 172mm.

A baixa recarga natural dos aquíferos devido a elevada taxa de impermeabilização pode desencadear vários problemas ambientais de médio a longo prazo na cidade de São Luís, como a intrusão marinha em razão do rebaixamento dos aquíferos. Destaca-se o registro do avanço da água do mar no continente, gerando

problemas ambientais, tornando as águas doces em salobras, o que pode dificultar a presença de água potável para as futuras gerações, se caso, não tratarmos essa problemática como estratégia de governo.

O aumento das áreas impermeabilizadas nas áreas de recarga de aquífero poderá provocar no futuro próximo uma diminuição na quantidade de água infiltrada no solo, o que impactará diretamente os poços tubulares da CAEMA que estão localizados abaixo das cotas de 40 a 60 metros de altitude justamente para captar a água que foi infiltrada para as áreas de descarga. A impermeabilização dessas áreas devido à urbanização pode afetar o abastecimento de água em São Luís. As áreas de recarga devem ser estratégicas para a sustentabilidade da água subterrânea, garantindo abastecimento atual e no futuro.

O Plano Diretor Municipal de 2006 indicou essas áreas como de sustentabilidade ambiental, entretanto não houve políticas para disciplinar os usos nessas áreas estratégicas, o que provocou alta especulação imobiliária considerando que os tabuleiros são superfícies altas e planas a levemente ondulados. Áreas ideais para construções de vários tipos de moradias.

O plano até então em vigor estipulava a criação de áreas verdes que não foram totalmente atendidas pelas construtoras imobiliárias, uma vez que essas áreas como as de tabuleiros com topos planos ou levemente ondulados tem grande especulação imobiliária justamente por sua característica no relevo.

O Plano Diretor Municipal deve ser debatido de forma democrática e participativa, com enfoque humanístico e holístico, para atender a todos. Punições mais rígidas devem ser aplicadas para o desmatamento, preservando a permeabilidade do solo e garantindo a infiltração de água nas áreas de tabuleiro.

Recomenda-se para minimizar os impactos causados nas áreas de recarga de aquífero o incentivo a plantações em quintais, jardins, praças e outros, para o aumento de áreas permeáveis e facilitar a infiltração da água nos terrenos.

**Palavras-chave:** Área de recarga de aquífero; Recursos hídricos; Impermeabilização.

## **REFERÊNCIAS**

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** v3. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003. pg. 877 – 1436: il.



DE VRIES, Jacobus J.; SIMMERS, Ian. **Groundwater recharge: an overview of processes and challenges**. Hydrogeology Journal, v. 10, p. 5-17, 2002.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 6. ed. [Rio de Janeiro]: Bertrand Brasil, 2008, 648 p.

HEALY, R. W. **Using ground-water levels to estimate recharge**. Hydrogeology Journal, v. 10, p.10, p. 91 - 109, 2002.

MARANHÃO. Lei Estadual nº 8.149 de 15 de junho de 2004 - **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, e dá outras providências**. Disponível em: <<http://www.stc.ma.gov.br/legisla-documento/?id=2016>>. Acesso em: jul., 2022.

MMA – SRHU. Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Água Subterrânea, um recurso conhecido a ser protegido**. Brasília, 2017.

PEREIRA, E. D. **Vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do Aquífero do Reservatório Batatã**. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências exatas. Unesp; Rio Claro, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LUÍS. Lei nº 4.669 de 11 de outubro de 2006 – **Plano Diretor do Município de São Luís e dá outras Providências**. 2006.

SILVA, J. S.; FARIAS FILHO, M. S. **Expansão urbana e impactos ambientais na zona costeira norte do município de São Luís (MA)**. Raega-O Espaço Geográfico em Análise, v. 46, n. 1, p. 07-24, 2019.

SOUZA, E. D. **A expansão demográfica e seus impactos**. 2018.

VÁZQUEZ S. E., XAVIER S. V., and Jesús Carrera. **Introductory review of specific factors influencing urban groundwater, an emerging branch of hydrogeology, with reference to Barcelona, Spain**. Hydrogeology Journal 13.3 (2005): 522-533.