

## ANÁLISE ESPACIAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA ENDORREICA DO TABULEIRO DO MARTINS, MACEIÓ, ALAGOAS

### SPATIAL ANALYSIS OF UNDERGROUND WATER QUALITY IN THE ENDORREIC BASIN OF TABULEIRO DO MARTINS, MACEIÓ, ALAGOAS

**Robson Bezerra de Lima**

Mestre em Geografia – UFAL  
E-mail: robsongeografia@outlook.com

**José Vicente Ferreira Neto**

Doutor em Geociências e Meio Ambiente  
– UNESP  
Email: jvferreiraneto@globocom

#### RESUMO

A água subterrânea é a parcela que se encontra no subsolo da superfície terrestre, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras, e está disponível em todas as regiões da Terra, constituindo importante recurso natural (TUNDISI, 2003). O presente estudo foi desenvolvido na região norte do município de Maceió, Alagoas, em uma bacia endorreica que envolve áreas localizadas no domínio dos Tabuleiros Costeiros de Maceió, pertencente à Bacia Sedimentar Alagoas, onde as águas subterrâneas são intensivamente exploradas para consumo humano e industrial. A hipótese norteadora está relacionada diretamente a ação antrópica, tendo por objetivo caracterizar espacialmente os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas locais e avaliar o grau de contaminação das águas subterrâneas na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins na cidade de Maceió, com dados obtidos junto a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) nos anos de 2008 e 2018. Os parâmetros físicos e químicos que apresentaram comprometimento da qualidade das águas foram pH, cor aparente, turbidez, alcalinidade, dureza total, cálcio, magnésio, amônia, nitrato e sódio, todos disponíveis nos relatórios das análises da CASAL.

**Palavras-chave:** poluição de águas subterrâneas; geoestatística; vulnerabilidade.

## **ABSTRACT**

*Groundwater is the portion found underground in the earth's surface, filling in the empty spaces between soil grains, rocks and fissures, and it is available in all regions of the Earth, that is why it is an important natural resource (TUNDISI, 2003). The present study was carried out in the northern region of the city of Maceió, Alagoas, in an endoreic basin that involves areas located in the domain of the Coastal Tablelands of Maceió, belonging to the Alagoas Sedimentary Basin, where groundwater is intensively exploited for human and industrial consumption. The guiding hypothesis is directly related to anthropic action, aiming to spatially characterize the physical-chemical parameters of local groundwater and to assess the degree of contamination of groundwater in the endoreic basin of Tabuleiro do Martins in Maceio City, with data obtained from Alagoas Water Company (CASAL) in 2008 and 2018. The physical and chemical parameters that showed an atypical result in water quality were pH, apparent color, turbidity, alkalinity, total hardness, calcium, magnesium, ammonia, nitrate and sodium, all available in CASAL's.*

**Keywords:** *groundwater pollution; geostatistics; vulnerability.*

## **INTRODUÇÃO**

A água é fonte da vida. Não importa quem somos, o que fazemos, onde vivemos, nós dependemos dela para viver. No entanto, por maior que seja a importância da água, as pessoas continuam poluindo os rios e destruindo as nascentes, esquecendo o quanto ela é essencial para nossas vidas. Na medida em que crescem populações e economias, o fornecimento de água em quantidade e qualidade adequada, assim como a preservação dos mananciais, torna-se questões cada vez mais sensíveis.

A água constitui um elemento essencial para a manutenção da vida no planeta e, embora ocupe 3/4 da superfície da Terra, apenas 0,8% está disponível sob a forma de água doce e não se tem conhecimento de quanto dessa fração encontra-se contaminada (CETESB, 1996).

A existência da água nos estados sólido, líquido e gasoso na Terra, envolve o fenômeno denominado ciclo hidrológico, que é a contínua circulação entre os oceanos, a atmosfera e os continentes, sendo responsável pela renovação da água doce, há pelo menos 3,8 bilhões de anos. Entretanto, aproximadamente 97,6% da água do planeta é constituída pelos oceanos,

mares e lagos de água salgada. A água doce representa algo no entorno dos 2,4% restante e a sua maior parte fica situada nas calotas polares e geleiras (1,9%), inacessível aos homens pelos meios tecnológicos atuais. Da parcela restante (0,5%), mais de 95% é constituída pelas águas subterrâneas (CAPUCCI, 2001).

A água subterrânea é a parcela que se encontra no subsolo da superfície terrestre, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras, e está disponível em todas as regiões da Terra, constituindo importante recurso natural (TUNDISI, 2003).

O presente estudo foi desenvolvido na região norte do município de Maceió, Alagoas, em uma bacia endorreica que envolve áreas localizadas no domínio dos Tabuleiros Costeiros de Maceió, pertencente à Bacia Sedimentar Alagoas, onde as águas subterrâneas são intensivamente exploradas para consumo humano e industrial.

Nesse contexto, esta pesquisa, cuja hipótese norteadora está relacionada diretamente a ação antrópica, teve por objetivo caracterizar espacialmente os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas locais e avaliar o grau de contaminação das águas subterrâneas na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins na cidade de Maceió, com dados obtidos junto ao órgão regulamentador nos anos de 2008 e 2018.

## **METODOLOGIA**

Esta pesquisa possui natureza quantitativa. Utiliza o método hipotético dedutivo com o objetivo de caracterizar espacialmente os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas locais da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, identificando áreas comprometidas.

A área estudada corresponde à bacia endorreica do Tabuleiro do Martins (Figura 1), localizada a noroeste do município de Maceió, capital do estado de Alagoas, e engloba totalmente o bairro Cidade Universitária e, parcialmente, áreas dos bairros Antares, Benedito Bentes, Clima Bom, Santa Lúcia, Santos Dumont e Tabuleiro do Martins.



companhia de saneamento. Os resultados estatísticos constam nas Tabelas 1 e 2 com base nos dados disponibilizado pela CASAL.

Foi utilizado o software *SURFER*<sup>®</sup> versão 8 da Golden Software, versão gratuita. Esses mapas permitiram a análise da distribuição espacial dos parâmetros relativos aos dados obtidos nos poços de sua propriedade existentes na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, Maceió, período de 2008 e 2018.

**Tabela 1 - Análise estatística dos parâmetros físico-químicos**

PARÂMETRO	MÍNIMO		MÁXIMO		MÉDIA		MEDIANA	
	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008
pH	4,17	3,81	5,86	6,69	4,70	4,47	4,62	4,30
Cor	0,00	2,00	175,00	11,00	6,48	6,16	0,00	6,00
Turbidez	0,22	0,59	32,50	4,12	3,61	1,79	1,06	1,22
Condutância Específica	28,10	27,50	364,00	140,30	101,49	73,20	80,70	62,70
Acidez	8,00	12,00	44,00	78,00	21,26	31,05	22,00	28,00
Alcalinidade HCO <sub>3</sub> -	2,00	2,00	28,00	120,00	7,85	11,89	8,00	6,00
Dureza Total	4,00	6,00	50,00	132,00	16,67	19,56	12,00	14,00
Cálcio	2,00	0,00	20,00	56,00	5,93	6,21	6,00	4,00
Magnésio	0,00	2,00	48,00	76,00	10,74	13,36	8,00	8,00
Cloretos	9,00	8,30	120,00	119,10	22,63	32,09	18,00	25,00
Sílica	0,82	3,40	3,97	11,80	3,17	8,46	3,25	8,50
Sulfatos	0,00	0,20	4,65	8,30	0,76	2,21	0,51	1,80
Amônia	0,00	0,00	1,92	0,80	0,22	0,17	0,01	0,10
Nitrato	0,00	1,69	0,00	9,08	0,00	5,06	0,00	5,98
Nitrito	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferro Total	0,06	0,00	3,44	0,26	0,31	0,11	0,18	0,08
Sódio	6,00	6,00	65,20	23,00	22,08	14,83	21,00	16,00
Potássio	0,20	0,00	2,40	2,00	0,93	0,75	0,70	1,00
CO <sub>2</sub>	31,59	49,70	1097,90	1886,50	375,20	637,75	292,18	610,40
Sólidos Totais	22,00	28,00	278,00	198,00	88,15	90,63	70,00	92,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

**Tabela 2 - Análise estatística dos parâmetros físico-químicos**

PARÂMETRO	VARIÂNCIA		DESVIO-PADRÃO		ASSIMETRIA		CURTOSE	
	2008	2018	2008	2018	2008	2018	2008	2018
pH	0,17	0,39	0,412	0,62	1,28	2,80	1,21	9,55
Cor	1134,26	8,92	33,679	2,99	5,20	0,14	27,00	-1,25
Turbidez	69,27	1,49	8,323	1,22	3,36	1,13	10,26	-0,39
Condutância Específica	4828,53	904,19	69,488	30,07	2,30	1,18	7,06	1,15
Acidez	80,05	222,83	8,947	14,93	0,76	1,82	0,38	4,63
Alcalinidade HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	27,98	688,21	5,289	26,23	2,63	4,33	8,40	18,81
Dureza Total	152,31	777,54	12,341	27,88	1,47	4,03	1,52	16,97
Cálcio	19,23	148,84	4,385	12,20	1,78	4,19	3,59	17,97
Magnésio	107,74	256,63	10,380	16,02	2,15	3,65	5,81	14,63
Cloretos	447,17	663,24	21,146	25,75	4,04	2,47	18,49	7,08
Sílica	0,31	3,35	0,557	1,83	-2,95	-0,78	12,39	2,66
Sulfatos	1,06	5,03	1,028	2,24	2,51	1,79	7,48	2,96
Amônia	0,20	0,04	0,449	0,20	2,68	2,53	7,62	6,04
Nitrato	0,00	6,82	0,000	2,61	0,00	0,00	0,00	-1,64
Nitrito	0,00	0,00	0,004	0,00	4,05	4,36	16,71	19,00
Ferro Total	0,40	0,01	0,631	0,08	5,06	0,40	26,01	-0,99
Sódio	150,00	24,69	12,247	4,97	1,70	-0,28	4,83	-0,81
Potássio	0,40	0,30	0,633	0,54	1,10	-0,04	0,33	0,07
CO <sub>2</sub>	74202,22	233572,21	272,401	483,29	0,82	1,36	0,27	2,09
Sólidos Totais	3811,05	1949,80	61,734	44,16	1,59	0,57	2,75	0,56

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Salienta-se que os poços, por serem destinados ao consumo humano, estão localizados nas áreas urbanas, principalmente aquelas com urbanização mais densa devido à implantação de conjuntos residenciais. Áreas com plantio de cana-de-açúcar ocupam a porção superior da bacia, onde não há poços regulamentados pela companhia de saneamento.

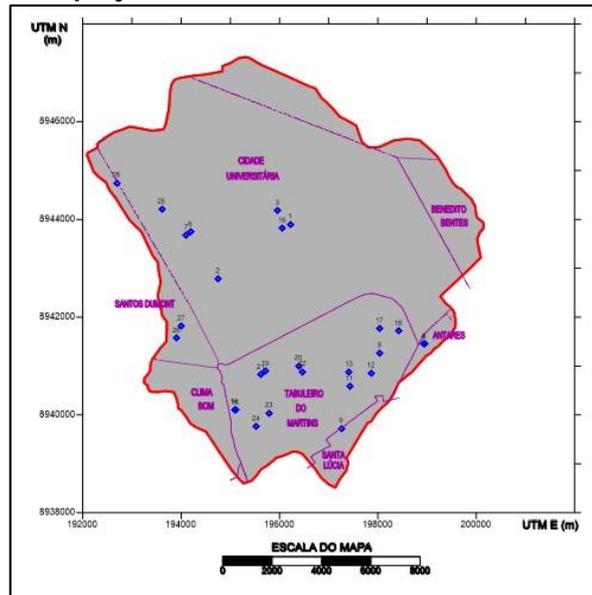
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da qualidade da água correspondeu à determinação das principais estatísticas dos valores dos parâmetros físicos e químicos constantes dos relatórios da CASAL relativos às águas brutas coletadas em 27 poços para o ano de 2008 e 19 poços para o ano de 2018 na área de estudo.

Considerando que essas águas são usadas prioritariamente para consumo humano, os resultados foram interpretados com base na Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, na Resolução CONAMA nº 335/2003 e suas alterações, a partir dos parâmetros estatísticos calculados e dos gráficos que ilustram os resultados do monitoramento.

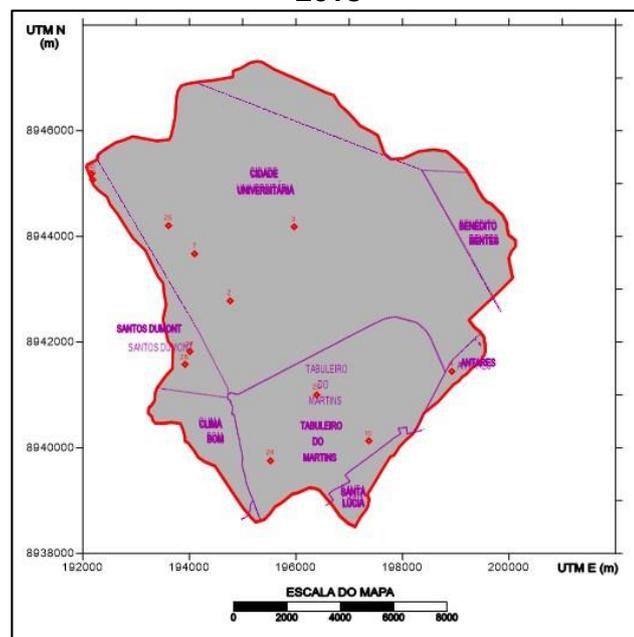
A análise espacial se constituiu basicamente da análise dos mapas de contornos (mapa de isovalores) dos diversos parâmetros físicos e químicos constantes dos relatórios da CASAL, relativos às águas coletadas nos poços (Figuras 3 e 4) de sua propriedade existentes na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, período 2008 e 2018.

**Figura 3 - Distribuição dos poços da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins de 2008**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

**Figura 4 - Distribuição dos poços da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins de 2018**



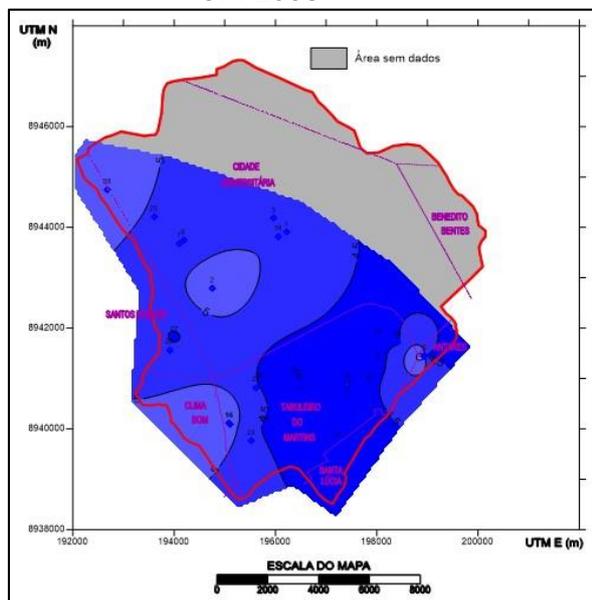
Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Os parâmetros físicos que apresentaram comprometimento da qualidade das águas foram cor e turbidez, enquanto que os parâmetros químicos foram pH, cor aparente, turbidez, condutância específica, alcalinidade, dureza total, cálcio, magnésio, sílica, sulfato, amônia, nitrato, sódio e potássio, todos disponíveis nos relatórios das análises, os resultados são analisados em seguida.

## pH

Na Figura 5, chama atenção o maior número de isolinhas no setor sul (bairro Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, onde se concentram as águas subterrâneas com os menores valores de pH para o ano de 2008.

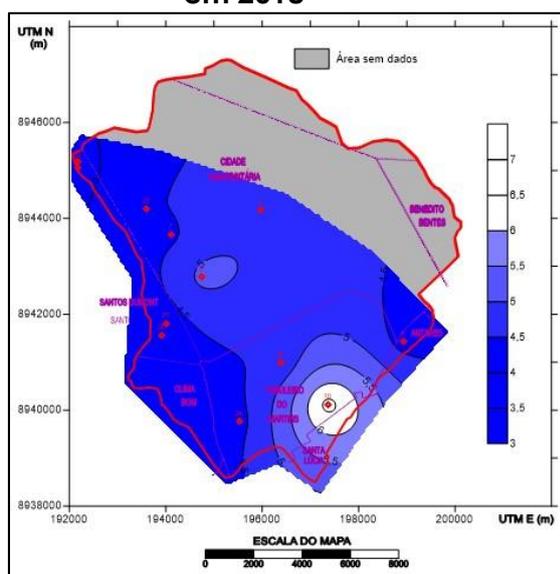
**Figura 5 - Distribuição espacial do pH na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Já na figura 6, os menores valores de pH encontram-se no setor oeste e sul (poços nos bairros Santos Dumont, Clima Bom e Cidade Universitária) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.

**Figura 6 - Distribuição espacial do pH na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018**

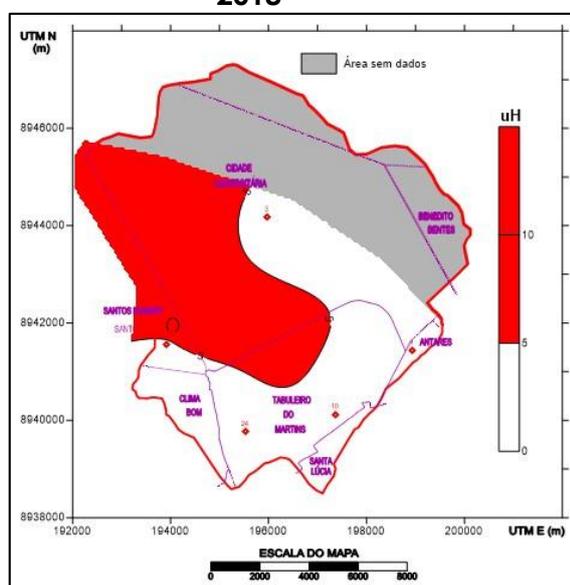


Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

### Cor aparente

Analisando o parâmetro cor de 2018 (Figura 7), os poços nos bairros com concentrações máximas são no Tabuleiro do Martins, Cidade Universitária e Santos Dumont, compatível com a área de maior concentração de pH em 2018. Devemos levar em consideração que para o referido parâmetro no ano de 2008 não foi detectado anormalidade.

**Figura 7 - Distribuição espacial da cor na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018**

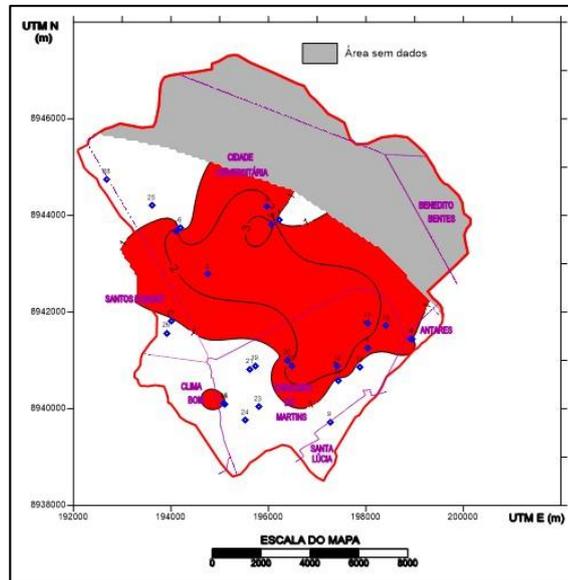


Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## Turbidez

Na Figura 8, as isolinhas com concentrações elevadas localizam-se no setor noroeste (bairro Santos Dumont e Cidade Universitária) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.

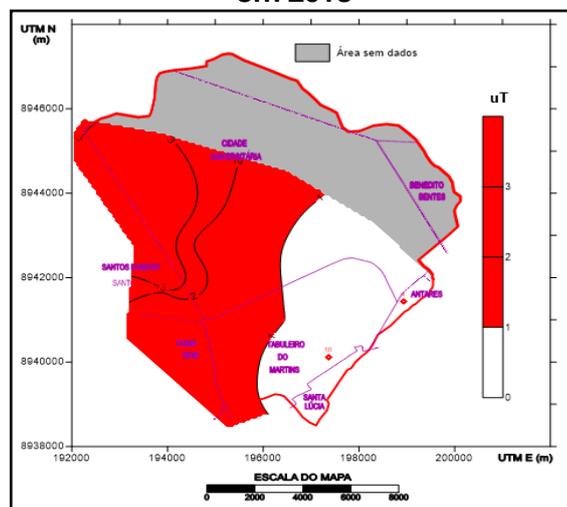
**Figura 8 - Distribuição espacial da turbidez na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Para turbidez 2018 (Figura 9), nota-se que os pontos de concentrações máxima estão nos bairros do Santos Dumont e Cidade Universitária, equivalente a mesma região de maior concentração de pH e cor aparente.

**Figura 9 - Distribuição espacial da turbidez na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018**

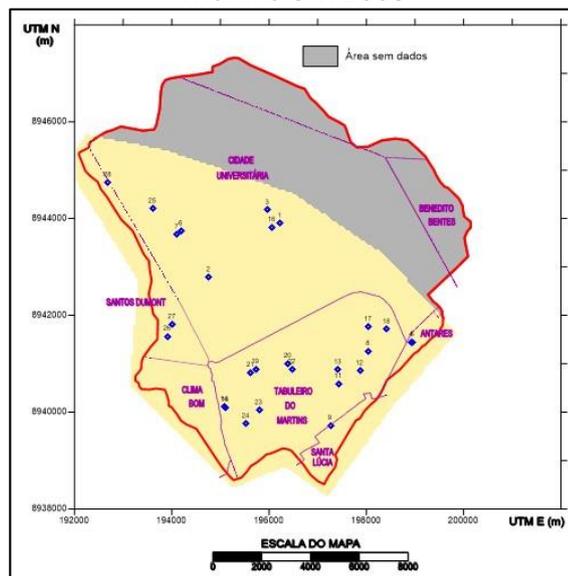


Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## Alcalinidade

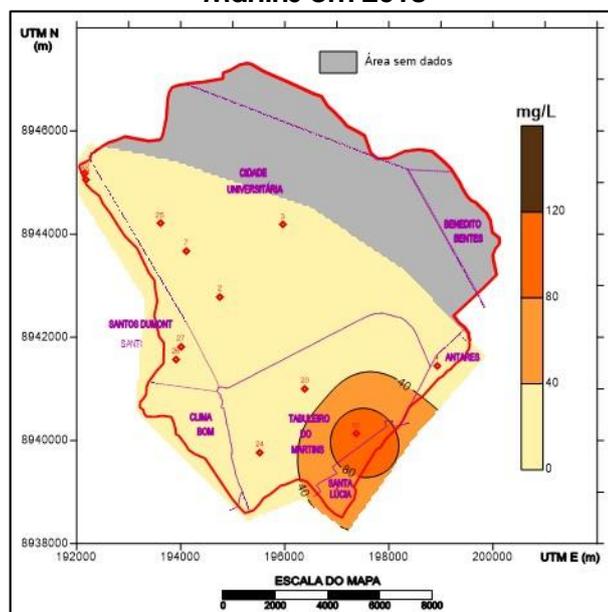
Analisando espacialmente as Figuras 10 e 11, poços nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins, ambos na porção sul da bacia endorreica, agrupam as maiores concentrações. Corroborando com a área de maior concentração de pH, cor aparente, turbidez e condutância específica.

**Figura 10 - Distribuição espacial da alcalinidade na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

**Figura 11 - Distribuição espacial da alcalinidade na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018**

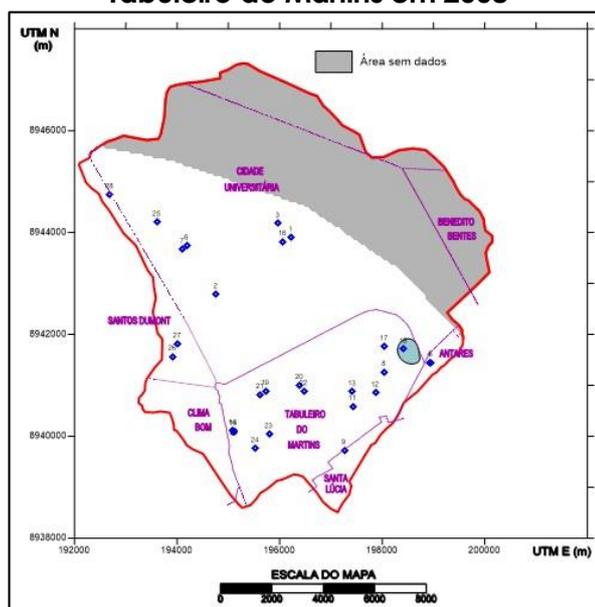


Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## Dureza Total

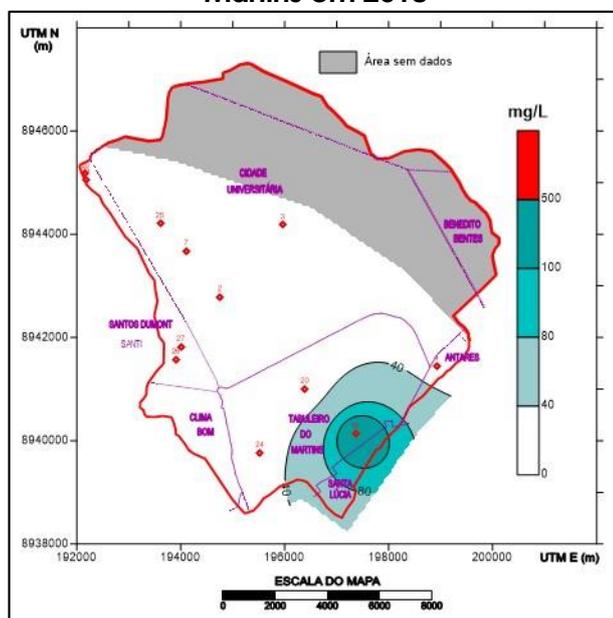
Os maiores valores dos poços encontram-se na porção sul (Figuras 12 e 13) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Correspondendo a área com maiores concentrações de pH, cor aparente, turbidez, condutância específica e alcalinidade.

**Figura 12 - Distribuição espacial da dureza total na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

**Figura 13 - Distribuição espacial da dureza total na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018**

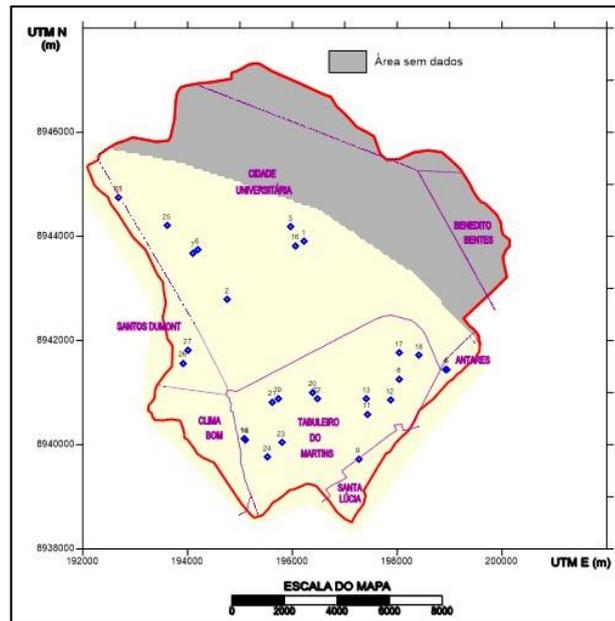


Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## Cálcio

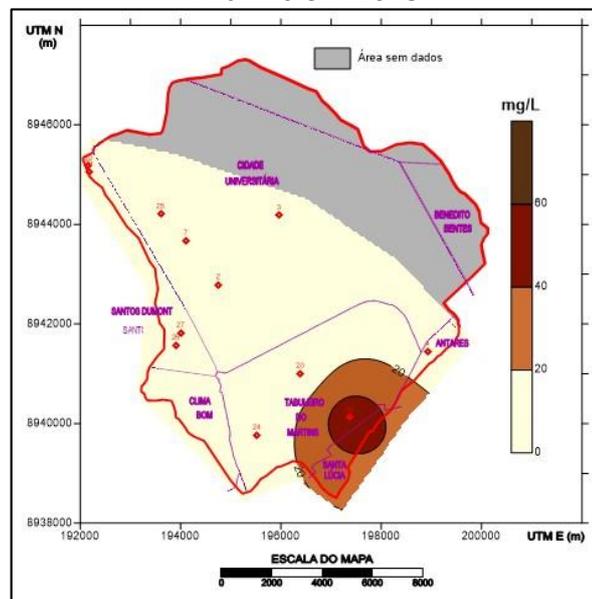
Os maiores valores dos poços encontram-se na porção sul (Figuras 14 e 15) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Corroborando a área com maiores concentrações de pH, cor aparente, turbidez, condutância específica, alcalinidade e dureza total.

**Figura 14 - Distribuição espacial do cálcio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

**Figura 15 - Distribuição espacial do cálcio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018**

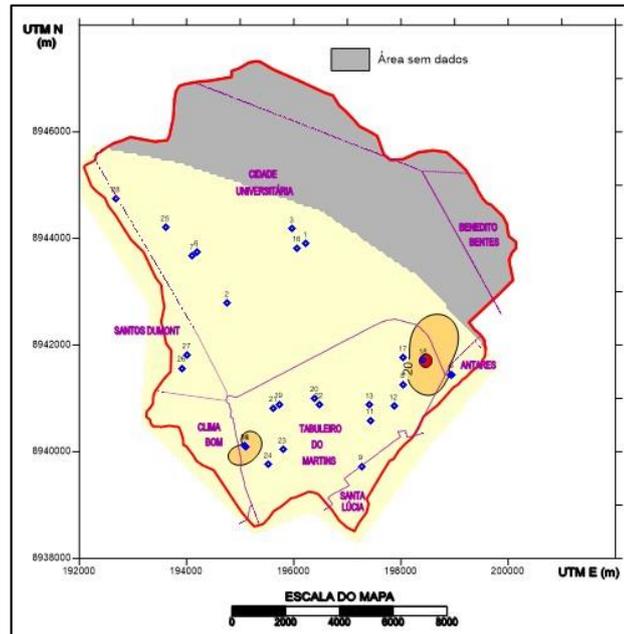


Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## Magnésio

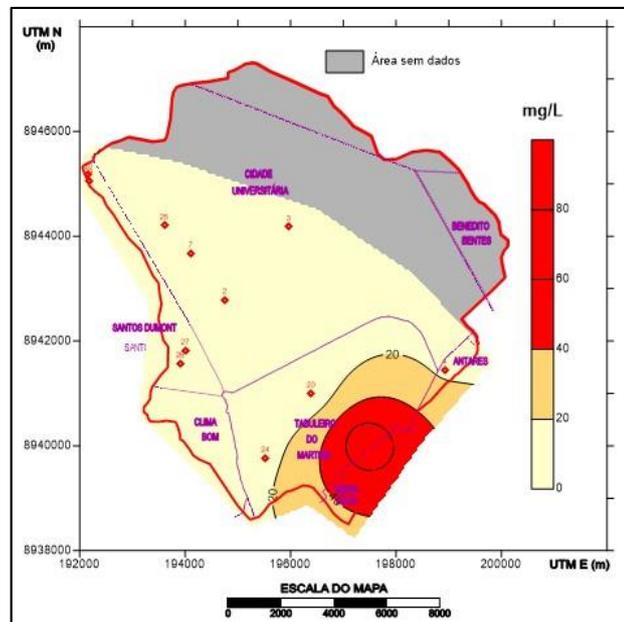
Os maiores valores dos poços encontram-se na porção sul (Figuras 16 e 17) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Condizendo a área com maiores concentrações de pH, cor aparente, turbidez, condutância específica, alcalinidade, dureza total e cálcio.

**Figura 16 - Distribuição espacial do magnésio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

**Figura 17 - Distribuição espacial do magnésio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018**

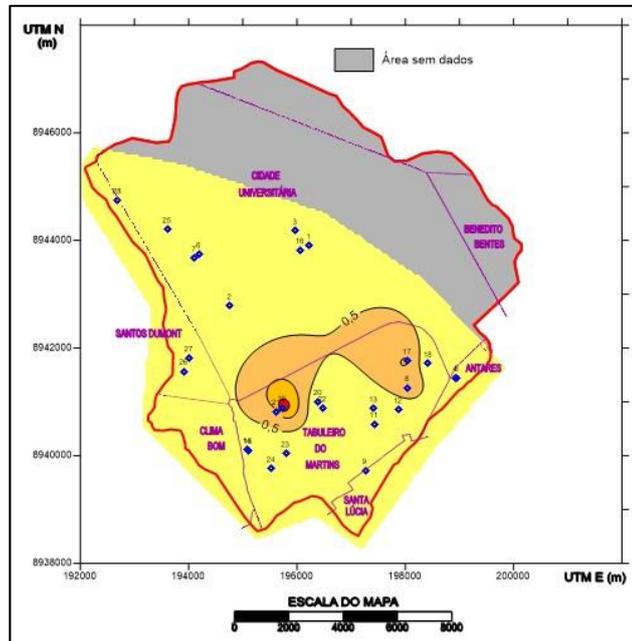


Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## Amônia

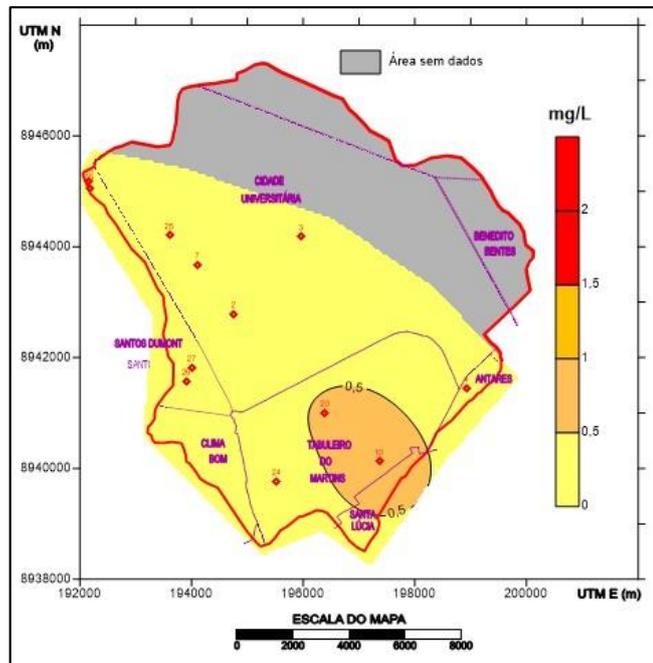
Os maiores valores de amônia nos poços para o ano de 2008 e 2018, encontram-se na porção sul (Figuras 18 e 19) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins.

**Figura 18 - Distribuição espacial da amônia na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

**Figura 19 - Distribuição espacial da amônia na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018**

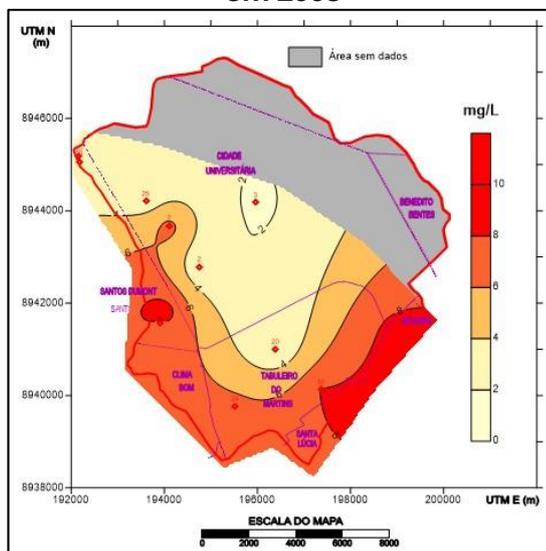


Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

## Nitrato

Na Figura 20, chama a atenção valores fora do padrão de potabilidade no setor sul e oeste (bairro Santa Lúcia, Santos Dumont, Clima Bom, Tabuleiro do Martins e Antares) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.

**Figura 20 - Distribuição espacial do nitrato na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008**

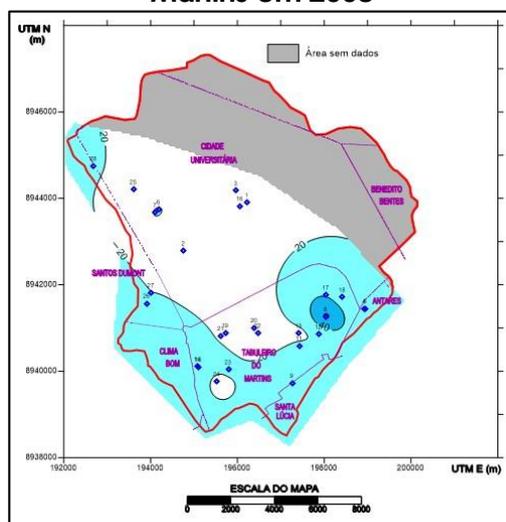


Fonte: Elaborada pelo autor (2019)

## Sódio

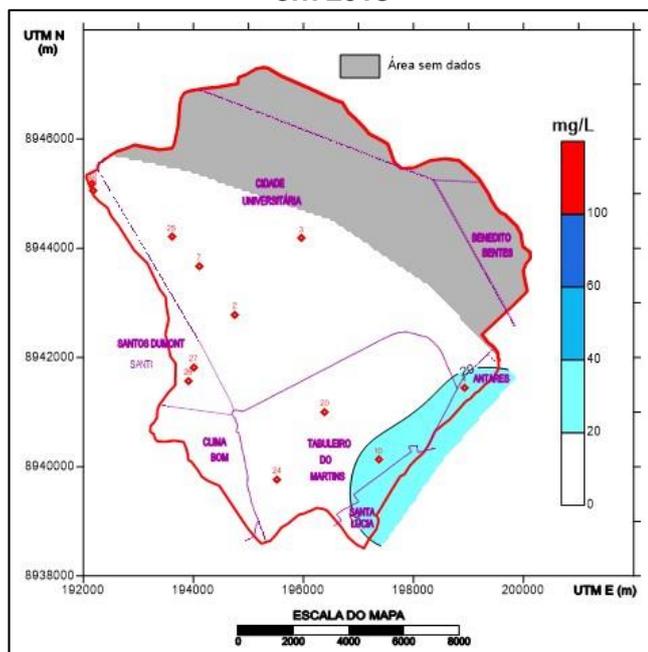
Os maiores valores de sódio nos poços para o ano de 2008 e 2018, encontram-se na porção sul (Figuras 21 e 22) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins.

**Figura 21 - Distribuição espacial do sódio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

**Figura 22 - Distribuição espacial do sódio na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018**

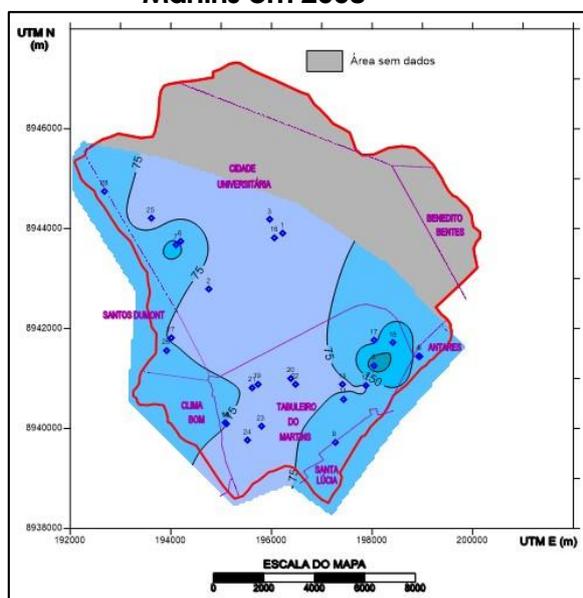


Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

### Sólidos Totais

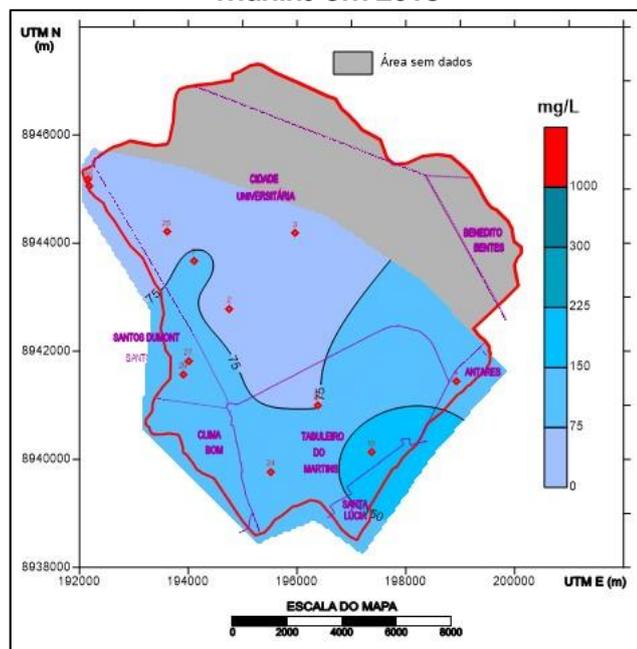
No ano de 2008 (Figura 23), a concentração de sólidos totais está presente no setor noroeste, oeste e sul (bairro Santos Dumont, Antares, Clima Bom, Tabuleiro do Martins, Santa Lúcia e Cidade Universitária) da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.

**Figura 23 - Distribuição espacial de sólidos totais na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2008**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

**Figura 24 - Distribuição espacial de sólidos totais na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins em 2018**



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Os valores de sólidos totais nos poços para o ano de 2018, encontram-se na porção sul (Figura 24) da bacia endorreica, nos bairros Santa Lúcia e Tabuleiro do Martins. Idêntico a área com maiores concentrações de pH, cor aparente, turbidez, condutância específica, alcalinidade, dureza total, cálcio, magnésio, sílica, sulfato, amônia, nitrato, sódio e potássio.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados permitiram inferir as seguintes conclusões:

- A análise geoestatística (análise espacial) desses parâmetros permitiu identificar as áreas onde os mesmos apresentam-se fora dos padrões e também comparar essas ocorrências.
- Os mapas de distribuição espacial dos parâmetros físico-químicos mostraram que a bacia endorreica apresenta áreas com problemas de qualidade das águas subterrâneas, tanto no período correspondente ao ano 2008 como também em 2018, principalmente na porção Noroeste e no extremo Sul da bacia, áreas estas pertencentes aos bairros Santos Dumont, Clima Bom, Cidade Universitária, Tabuleiro do Martins e Santa Lúcia.

- Foi identificado ausência de nitrito na série de dados obtido nos anos de 2008 e 2018;
- 75% dos dados para turbidez estão fora do padrão estabelecido, caracterizando uma possível contaminação da água subterrânea por esgoto;

Os resultados ora apresentados são indicativos de que já há comprometimento da qualidade das águas subterrâneas na região do Tabuleiro do Martins, identificando áreas onde os diversos parâmetros estudados mostram valores fora do padrão de potabilidade, como os bairros do Santos Dumont, Clima Bom, Cidade Universitária, Tabuleiro do Martins e Santa Lúcia, considerando que essas águas têm como uso preponderante o abastecimento humano através da captação por poços tubulares e distribuição da água pela CASAL para a população de grande parte da cidade de Maceió.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão de bolsa de mestrado para a realização do projeto de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Portaria MS n.º 2914/2011**. Brasília, 2011.

CAPUCCI, EGMONT et al. **Poços Tubulares e outras Captações de Águas Subterrâneas**: orientação aos usuários, Rio de Janeiro: Serla, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, **Métodos simplificados para análises bacteriológicas de água**. São Paulo: Petra S. Sanchez, 1996.

FERREIRA NETO, J. V.; SANTOS, R. J. Q. dos, CAVALCANTE, A. T.; WANDERLEY, P. R. de M. - 2002. Gerenciamento dos recursos hídricos da bacia evaporimétrica do Tabuleiro do Martins, Maceió - AL. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6., 2002, Maceió - AL. **Anais** [...]. Maceió - AL, 2002.

PEPLAU, Guilherme Rocha. **Influência da Variação da Urbanização nas Vazões de Drenagem na Bacia do Rio Jacarecica em Maceió - AL**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, IIE, 2003.