



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARCELO AUGUSTO DA COSTA

**ANÁLISE DE SERVIÇOS DE SANEAMENTO BÁSICO NA BACIA
HIDROGRÁFICA APODI-MOSSORÓ COM APLICAÇÃO DE SISTEMA DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) LIVRE E GRATUITO**

MOSSORÓ

2019

MARCELO AUGUSTO DA COSTA

**ANÁLISE DE SERVIÇOS DE SANEAMENTO BÁSICO NA BACIA
HIDROGRÁFICA APODI-MOSSORÓ COM APLICAÇÃO DE SISTEMA DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) LIVRE E GRATUITO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Maria Josicleide Felipe Guedes.

MOSSORÓ

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C838a Costa, Marcelo Augusto.
Análise de serviços de saneamento básico na
bacia hidrográfica Apodi-Mossoró com aplicação de
Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre e
gratuito / Marcelo Augusto Costa. - 2019.
50 f. : il.

Orientador: Maria Josicleide Felipe Guedes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Geoprocessamento. 2. Abastecimento de água.
3. Esgotamento sanitário. 4. Indicadores de
desempenho. I. Guedes, Maria Josicleide Felipe ,
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

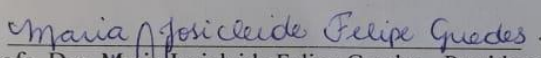
MARCELO AUGUSTO DA COSTA

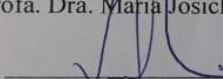
**ANÁLISE DE SERVIÇOS DE SANEAMENTO BÁSICO NA BACIA
HIDROGRÁFICA APODI-MOSSORÓ COM APLICAÇÃO DE SISTEMA DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) LIVRE E GRATUITO**

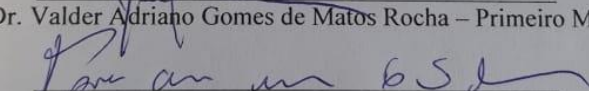
Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 22/03/2019.

Assinatura dos membros da banca examinadora.


Profa. Dra. Maria Josicleide Felipe Guedes - Presidente


Prof. Dr. Valder Adriano Gomes de Matos Rocha – Primeiro Membro


Prof. Dr. Paulo César Moura da Silva – Segundo Membro

DEDICATÓRIA

À Zulmira Barbosa Duarte, a minha avó materna (*In Memoriam*), que em pouco tempo de convívio me ensinou coisas importantes da vida e que sempre me acolheu de forma carinhosa e atenciosa.

A Deus, por sempre me dar forças para seguir caminhando através dos meus objetivos, fornecendo saúde e me guiando pelo caminho correto.

Aos meus pais, Manoel Zeja da Costa e Odineide Gomes Duarte, por cuidarem tão bem de mim e pelo esforço diário para conseguirmos realizar nossos sonhos.

Aos meus irmãos, Manoel Zeja da Costa Júnior e Gardênia Samantha da Costa, por sempre servirem de suporte nas horas boas e ruins.

AGRADECIMENTOS

Especialmente a Deus, por seu tão misericordioso, por me conceder o dom da vida, a cada dia me enchendo de sabedoria e forças para seguir buscando a realização dos meus sonhos.

Aos meus pais, Manoel Zeja da Costa e Odineide Gomes Duarte, pelo amor fornecido diariamente, pela paciência e por ficarem sempre ao meu lado, mesmo estando distantes fisicamente em alguns momentos, pela educação e sabedoria que me ensinam até hoje.

À minha avó materna, Zulmira Barbosa Duarte, que embora não esteja mais entre nós, ainda sinto o teu cuidado sobre mim, me guiando pelo caminho do bem, por sempre ter me mostrado o amor verdadeiro, por ter sido tão simples, uma mulher guerreira e tão linda.

Aos meus irmãos, Manoel Zeja da Costa Júnior e Gardênia Samantha da Costa, por servirem de inspiração e como base de aprendizado, por me auxiliarem sempre que necessário e continuarem sempre ao meu lado.

Ao meu sobrinho, Joaquim Emanuel Lourenço Costa, por me fazer mais feliz, sendo uma criança tão linda e abençoada por Deus, me dando mais forças e alegria todos os dias.

À minha tia Rutimar, por ser uma pessoa tão incrível e maravilhosa, por me amar tanto e por sempre me ajudar das diversas formas possíveis.

Aos meus familiares, avôs, avós, tios, tias, primos e primas, por sempre estarem presentes em minha vida, simbolizando a união familiar, fornecendo aconchego e paz.

À minha grande amiga, Mayrlla, que caminhou junto comigo nessa fase da graduação, tão importante da vida, me dando o suporte necessário para sempre estar de pé e seguirmos firmes e fortes. Às minhas amigas que também iniciaram esta etapa comigo, Rute e Sabrina, por sempre tão especiais e legais, por me entenderem tão bem. Às minhas amigas divertidas e especiais, Nadjá e Ranna, por me fornecerem tantos momentos de alegria e descontração.

À minha orientadora, a professora Dra. Maria Josicleide Felipe Guedes, por ter me aceitado como orientando e ter disponibilizado o seu tempo com grandes ensinamentos, por ter paciência e saber guiar pelos passos corretos, servindo de inspiração como profissional.

*“Não é o que o mundo reserva pra você, mas
o que você traz para o mundo”.*

(Lucy Maud Montgomery)

RESUMO

Com o surgimento do marco regulatório do saneamento pela Lei 11.445/2007, um grande avanço foi dado no setor de saneamento básico no Brasil, instituindo a entidades reguladoras o estabelecimento de padrões e indicadores de qualidade dos serviços prestados. Diante dessa perspectiva, surgiu o interesse de analisar os serviços de água e esgoto a partir desta investida. Uma bacia hidrográfica é uma região de estudo interessante para ser analisada, pelo fato de abranger grandes áreas e englobar vários municípios, como é o caso da bacia Apodi-Mossoró, abrangendo 52 municípios, sendo um local adequado para a avaliação destes serviços. Esse estudo foi realizado para os anos de 2007, 2010, 2013 e 2016. Para realizar esta análise é possível utilizar indicadores de desempenho. O objetivo deste trabalho é analisar de serviços de saneamento básico na bacia hidrográfica Apodi-Mossoró com aplicação do Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os indicadores utilizados de água foram o índice de atendimento total de água, de perdas na distribuição, de hidrometração e o de macromedição. Já os indicadores de esgoto foram o índice de coleta de esgoto e o de tratamento de esgoto. Os dados destes indicadores foram obtidos junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Para realizar a avaliação foi utilizado o método dos indicadores de desempenho da Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento (ARIS) de Florianópolis/SC (2015) e a relação com a média nacional. Os indicadores que apresentaram avanço, ou seja, que melhoram os resultados de 2007 até 2016 foram o índice de atendimento total de água, o de perdas na distribuição, o de hidrometração e o de coleta de esgoto. Já os indicadores que demonstraram retrocesso foram o índice de macromedição e o de tratamento de esgoto. É importante que sejam realizados novos estudos para observar o comportamento de outros indicadores de desempenho de água e esgoto, adquirir informações de outros bancos de dados, como também avaliar através de outros métodos. Assim será possível ter uma avaliação ampla da situação dos serviços prestados de abastecimento de água e de esgoto na bacia Apodi-Mossoró.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Abastecimento de água. Esgotamento sanitário. Indicadores de desempenho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Procedimentos metodológicos para realização do estudo	21
Figura 2	Bacia Apodi-Mossoró	22
Figura 3	Geomorfologia da bacia Apodi- Mossoró	23
Figura 4	Etapas para obtenção de dados no SNIS	25
Figura 5	Índice de atendimento total de água	33
Figura 6	Classificação do índice de atendimento total de água	34
Figura 7	Índice de perdas na distribuição	35
Figura 8	Classificação do índice de perdas na distribuição	36
Figura 9	Índice de hidrometração	38
Figura 10	Classificação do índice de hidrometração	39
Figura 11	Índice de macromedição	40
Figura 12	Classificação do índice de macromedição	41
Figura 13	Índice de coleta de esgoto	43
Figura 14	Índice de coleta de esgoto 2007	44
Figura 15	Índice de coleta de esgoto 2010	44
Figura 16	Índice de coleta de esgoto 2013	45
Figura 17	Índice de coleta de esgoto 2016	45
Figura 18	Classificação do índice de coleta de esgoto em 2007 e 2016	46
Figura 19	Índice de tratamento de esgoto	47
Figura 20	Classificação do índice de tratamento de esgoto	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Dominância das classes de solos na bacia Apodi-Mossoró.....	24
Quadro 2	Informações operacionais de água	26
Quadro 3	Informações operacionais de esgoto	27
Quadro 4	Indicadores operacionais de água	28
Quadro 5	Indicadores operacionais de esgoto	29
Quadro 6	Intervalos dos valores da classificação pela ARIS (2015)	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 SANEAMENTO AMBIENTAL	14
3.2 SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS	15
3.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - SIG	17
3.4 GEOPROCESSAMENTO	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 ÁREA DE ESTUDO	20
4.1.1 Superfície	21
4.1.2 Clima	21
4.1.3 Geomorfologia	22
4.2 COLETA DE DADOS	23
4.3 TABULAÇÃO DOS DADOS	24
4.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS	24
4.4.1 Integração dos dados do SNIS sobre abastecimento de água e esgotamento sanitário	25
4.4.2 Geoprocessamento	28
4.4.3 Avaliação dos indicadores de desempenho	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1 INDICADORES DE ÁGUA	31
5.1.1 Índice de atendimento total de água	31
5.1.2 Índice de perdas na distribuição	33
5.1.3 Índice de hidrometração	36
5.1.4 Índice de macromedição	39
5.2 INDICADADORES DE ESGOTO	41
5.2.1 Índice de coleta de esgoto	42
5.2.2 Índice de tratamento de esgoto	45
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O marco regulatório do saneamento, instituído pela Lei 11.445/2007, configura um grande passo para o setor, principalmente por apresentar diretrizes nacionais para o saneamento básico. Além disso, a referida lei institui as entidades reguladoras como essenciais na avaliação e no monitoramento da prestação dos serviços de saneamento, incluindo aspectos que tangem o estabelecimento de padrões e indicadores de qualidade dos serviços prestados (BRASIL, 2007).

No Brasil também há o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que desde 1996 fornece dados nacionais sobre saneamento. Estes dados gerados são os indicadores e as informações de água, esgoto e resíduos sólidos.

Os indicadores podem ser utilizados em diversas áreas do conhecimento, desde o setor primário, para a escolha dos melhores defensivos agrícolas, como na prestação de serviços, incluindo os de abastecimento de água e esgotamento sanitário, segundo Matos et al., (2003). Além de avaliar o desempenho dos prestadores de serviços, o desenvolvimento de indicadores pelas agências permite exercer pressões competitivas e incentiva a melhoria do serviço prestado, auxiliando, inclusive, na tomada de decisões quanto aos investimentos a serem destinados aos municípios e sistemas (CORTON, 2003).

Para deixar os dados dos indicadores de uma forma que seja possível analisá-los, atualmente, uma grande importante ferramenta utilizada é o geoprocessamento, já que interliga o Sistema de Informação Geográfica (SIG) com os dados do pesquisador. Segundo Hino (2006), a aplicação do SIG possibilita aos pesquisadores a aplicação de novos métodos para o manejo da informação espacial, tornando-se uma poderosa ferramenta para conexão entre saúde e ambiente.

Já para analisar os serviços de abastecimento de água e de esgoto, são adquiridos os indicadores de desempenho dos mesmos, assim é possível aplicar estes dados em algum método, por meio do qual pode-se avaliar e observar seu comportamento no decorrer dos anos.

Nesse contexto, no presente estudo foram analisados os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário na bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, com aplicação de Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre e gratuito.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário na bacia hidrográfica Apodi-Mossoró.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar ferramentas livres e gratuitas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para facilitar a análise dos dados;
- Avaliar o setor de saneamento, pelo desempenho dos serviços de água e esgoto, utilizando a classificação dos indicadores, com base nas informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS);
- Subsidiar informações aos gestores para que haja o aperfeiçoamento necessário.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SANEAMENTO AMBIENTAL

Saneamento ambiental é o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar salubridade ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural (BRASIL, 2007).

A compreensão dessas diversas relações revela-se um pressuposto fundamental para o planejamento dos sistemas de saneamento em centros urbanos, de modo a privilegiar os impactos positivos sobre a saúde pública (objeto primordial das ações) e sobre o meio ambiente. Ressalta-se que apesar do conceito de saneamento ambiental ser bastante amplo e incluir diversas atividades, nesta revisão foi dado ênfase aos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, os quais compreendem duas das atividades do saneamento básico.

Dentre outras características, para Souza e Freitas (2006), o saneamento como prevenção de doenças constitui uma intervenção de engenharia que ocorre no ambiente considerado como espaço físico, voltada para obstaculizar a transmissão de doenças e assegurar a salubridade ambiental, e que compreende a saúde como ausência de doenças.

Segundo a OMS (2010), pela primeira vez na história, mais de 50% da população mundial vive em áreas urbanas. Em uma projeção para o ano de 2050, acredita-se que 70% da população mundial irá viver em povoados e cidades.

De acordo com a organização, essa projeção foi estabelecida por conta da rapidez a qual o mundo se urbaniza, provocando mudanças no estilo de vida das pessoas. Todavia enfatiza que, embora a vida nas cidades ofereça boas oportunidades, como no setor de saúde, os entornos urbanos podem concentrar riscos sanitários, possibilitando situação de perigo às pessoas.

Segundo informações disponíveis pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2007), mais de um bilhão dos habitantes da Terra não têm acesso a habitação segura e serviços básicos de saneamento como: abastecimento de água, rede de esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos. A falta de todos esses serviços, além de altos riscos para a saúde, são fatores que contribuem para a degradação do meio ambiente.

Sendo assim, embora saúde e higiene tenham sido motivos de preocupação em políticas urbanas na América Latina desde meados do século XIX, somente nos últimos anos o acesso aos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário passou a ser considerado como tema ambiental, inclusive no Brasil (SOARES et al., 2002).

O abastecimento de água implica no fornecimento de água potável à população. Logo, é necessário que haja tratamento da mesma para se tornar potável, ou seja, mecanismos para combater substâncias que indicam poluição por matéria orgânica (compostos nitrogenados, oxigênio consumido e cloretos) (SOARES et al., 2002).

O sistema de esgotos existe para afastar a possibilidade de contato de despejos, esgoto e dejetos humanos com a população, águas de abastecimento, vetores de doenças e alimentos. Esse sistema ajuda a reduzir despesas com o tratamento tanto da água de abastecimento quanto das doenças provocadas pelo contato humano com os dejetos, além de controlar a poluição das praias (ZAHED FILHO et al., 2006).

Libânio et al. (2005) evidenciam quão importante é discutir a gestão dos recursos hídricos com o setor de saneamento, já que as péssimas condições sanitárias constatadas em diversas bacias hidrográficas, ocupadas de forma desordenada, têm contribuído para a degradação da natureza e, por conseguinte, têm afetado os indicadores de saúde pública.

São necessários meios para avaliação destes sistemas (abastecimento e esgoto) como forma de analisar os parâmetros utilizados para suprir a população de forma satisfatória. Uma dessas ferramentas é a utilização de indicadores para o monitoramento. Esses indicadores podem ser utilizados na comparação da evolução histórica da qualidade do serviço ou para confrontar os padrões atuais da operadora com um valor pré-estabelecido (ALEGRE et al., 2004).

Para um adequado monitoramento da qualidade dos serviços, os indicadores têm por finalidade avaliar a prestação do serviço, a eficiência e a celeridade do atendimento aos usuários, a qualidade e a manutenção da infraestrutura e os aspectos econômico-financeiros da prestação dos serviços (GALVÃO JÚNIOR et al., 2008).

3.2 SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS

A Lei nº 11.445/2007 implica na necessidade de sistematizar as bases de informações e estruturas de indicadores de desempenho para fins de regulação e controle. Um primeiro grande passo foi dado com a criação do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 1996, que sistematizou as informações setoriais.

Dentre os objetivos do SNIS destacam-se: planejamento e execução de políticas públicas, orientação da aplicação de recursos, conhecimento e avaliação do setor de saneamento, avaliação de desempenho dos serviços, aperfeiçoamento da gestão, orientação de atividades regulatórias e de fiscalização, e exercício do controle social, sendo considerado o maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento brasileiro (SNIS, 2014).

As informações do SNIS são coletadas anualmente e fornecidas por companhias estaduais, empresas e autarquias municipais, empresas privadas e, em muitos casos, pelas próprias prefeituras, por meio de suas secretarias ou departamentos, todos denominadas no SNIS como prestadores de serviços (BRASIL, 2007).

Tal coleta é feita de forma auto declaratória, em que os prestadores de serviço repassam as informações de saneamento por meio de um formulário *on-line*, através da plataforma do sistema. As informações são coletadas pela equipe da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), responsável pelo SNIS, que tem a função de tratar, armazenar e divulgar as informações coletadas, assim como os resultados das análises a que elas foram submetidas (BRASIL, 2015).

Os formulários deste sistema coletam do prestador de serviços informações descritivas, cadastrais, gerais, financeiras, operacionais, de balanço e também sobre tarifas, tipo de atendimento no(s) município(s), planos municipais e qualidade dos serviços. Através destas informações são calculados os indicadores econômico-financeiros e administrativos, indicadores operacionais de água, esgoto e qualidade, para, em seguida, realizar o diagnóstico do saneamento no país para ser publicado.

Os municípios que pretendem ter acesso a recursos federais do governo deverão enviar regularmente os dados solicitados pelo sistema. A adimplência é concedida ao prestador de serviços e é extensiva ao município em que o prestador opera, sendo publicada anualmente no site do sistema. Para conceder o atestado de adimplência, o SNIS analisa cada tipo de serviço.

Portanto, a adimplência ocorre para água e esgotos de forma individualizada. Desta forma, pode ocorrer, por exemplo, da companhia estadual, responsável pelos serviços de água no município, enviar os dados, mas a prefeitura, que responde pelos serviços de esgotos, não enviar. Nesse caso, o município se torna adimplente em água, mas não em esgotos, diferenciando da soma dos valores desagregados, quando há alguma justificativa plausível (BRASIL, 2007).

Para este trabalho, o SNIS serviu como base de dados para realização da avaliação dos indicadores de desempenho de água e esgoto. Porém, é necessário o agrupamento destas

informações e organizá-las de uma maneira que facilite a interpretação do comportamento no decorrer dos anos. Um ótimo instrumento que pode ser utilizado para tal objetivo é o Sistema de Informações Geográficas (SIG), sendo um meio bastante utilizado atualmente, por se tratar de bases tecnológicas e práticas.

3.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - SIG

Fitz (2008) conceitua SIG como um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas, com objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados, espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido.

O SIG é uma base de dados digitais, de propósito especial, no qual um sistema de coordenadas espaciais comum é o meio primário de referência. Um SIG requer recursos de: entrada dos dados a partir de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélites, levantamentos de campo, e outras fontes: armazenamento, recuperação e busca de dados; transformação de dados, análise e modelagem, incluindo estatística espacial; comunicação dos dados, através de mapas, relatórios, gráficos e tabelas (ARONOFF, 1989).

De acordo com Xavier (2011), a ciência remete a um conjunto de técnicas que possibilitam transformar um banco de dados em informações valiosas, obedecendo à lógica do pensamento sistêmico, de modo que se possa representar a realidade o mais próximo possível, considerando um agregado de sistemas relacionados entre si. Os sistemas ambientais representam sínteses da realidade, que o caracterizam na distribuição espacial.

Transversal (2008) afirma que o plano de saneamento básico é um valioso instrumento de planejamento e gestão local integrada, por se tratar de um processo dinâmico, que favorece a implementação de ações de saneamento. Dessa forma, a produção de indicadores e índices sociais, associada à análise espacial (que nesse caso adota um elemento referencial, como por exemplo uma bacia hidrográfica), possibilita identificar os problemas e lançar medidas que visem solução.

O uso da tecnologia SIG integra diversas informações em um mesmo ambiente, ampliando as dimensões da estratégia na tomada de decisão, constituindo uma potente ferramenta de diagnóstico, com vistas a auxiliar o processor e possibilitar informações com diferencial agregado no valor das análises (BATISTA et al., 2005)

Quanto ao uso do software para executar o trabalho, atualmente no mercado existe um grande número disponível. A escolha fica a critério do técnico, levando em consideração o

que se pretende com a ferramenta. É através do software que se consegue elaborar mapas temáticos, realizar análises geográficas, estatística espacial e tratamento de imagens de satélites.

3.4 GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento é uma área que integra tecnologias relativas a coleta, tratamento e utilização de informações espaciais, bem como as tecnologias para o desenvolvimento e uso de sistemas que manipulem esse tipo de informações. Estas aplicações se caracterizam pela manipulação de grande quantidade de dados e pela realização de grande volume de cálculos. Por outro lado, os sistemas computacionais são utilizados com abrangência variada, dependendo do nível de automação que se deseja nas atividades onde são utilizadas (RODRIGUES, 1990).

A análise espacial de indicadores contribui significativamente para o avanço na compreensão do fenômeno estudado. A relação entre saneamento e condições de saúde foi gradativamente sendo comprovada e, nesta trajetória histórica, a pesquisa do médico britânico John Snow, considerada como um dos primeiros exemplos da análise espacial, merece destaque (HINO, 2006).

No SIG, a distribuição espacial está assegurada pela base de dados gráficos, pois estes sistemas permitem a construção e/ou utilização de bancos de dados onde podem ser determinadas as associações entre as ocorrências de doenças e o meio ambiente físico e antrópico (COSTA, 2002).

Segundo Hino (2006), a aplicação do SIG possibilita aos pesquisadores a aplicação de novos métodos para o manejo da informação espacial, tornando-se uma importante ferramenta para conexão entre saúde e ambiente. No entanto, a avaliação do pesquisador é imprescindível, uma vez que não há mecanismo automático para a interpretação dos resultados construídos.

Desta forma, as geotecnologias são instrumentos de auxílio na solução de questões relacionadas ao dilema urbanização versus qualidade de vida, saúde humana e do meio ambiente, desenvolvimento econômico e desenvolvimento sustentável (COSTA, 2002).

As ferramentas utilizadas para aplicação do geoprocessamento são os softwares SIGs e as imagens de satélite, radar e aéreas. A aplicação do geoprocessamento requer um tratamento dos dados no computador e, quando necessário, a checagem de campo das informações que estão sendo obtidas.

A utilização do geoprocessamento na gestão de recursos hídricos está relacionada com a necessidade de trabalhar com muitos dados de uma área específica, a qual requer uma integração perfeita entre dados dos mais variados tipos (físicos, cartográficos, hidrológicos, econômicos etc.), além de uma série de manipulações entre dados e modelos, com vistas a atender às mais diversas análises.

Para Ribeiro (2012), as tecnologias de geoprocessamento podem facilitar o gerenciamento destes dados, pois são uma maneira de representar adequadamente o conjunto de informações necessárias à tomada de decisões em assuntos relacionados com o abastecimento de água e esgotamento sanitário.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste item é realizada uma breve descrição da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, caso de estudo desta pesquisa. Em seguida são apresentadas as etapas metodológicas que subsidiaram a realização deste estudo, conforme ilustradas na Figura 1.

Figura 1 - Procedimentos metodológicos para realização do estudo



Fonte: Autoria própria (2019).

4.1 ÁREA DE ESTUDO

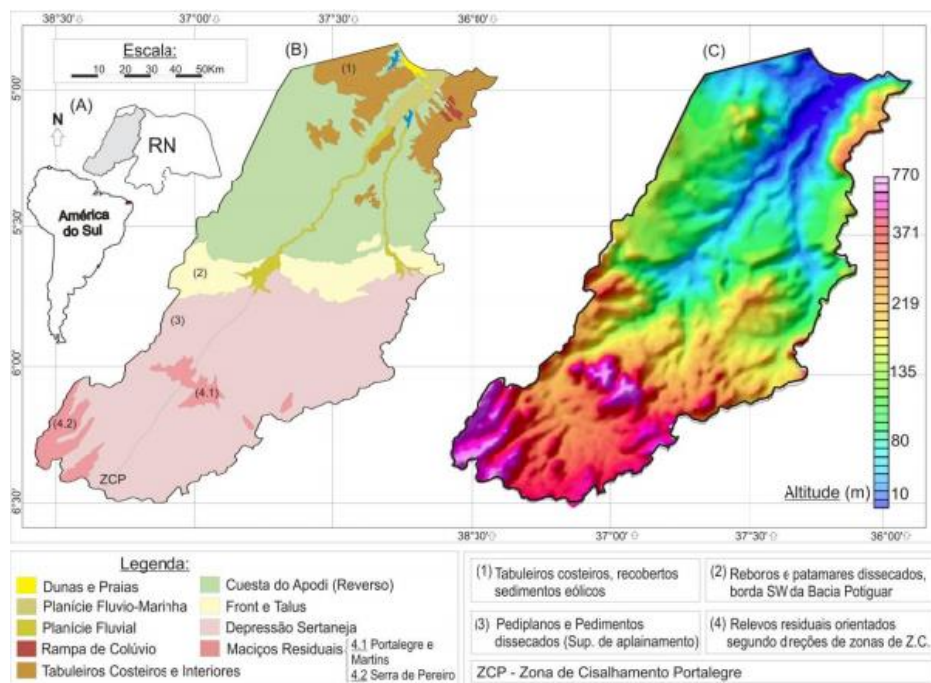
Foram estudados os seguintes municípios da bacia Apodi-Mossoró: Açu, Água Nova, Alexandria, Almino Afonso, Antônio Martins, Apodi, Areia Branca, Baraúna, Campo Grande, Caraúbas, Coronel João Pessoa, Doutor Severiano, Encanto, Felipe Guerra, Francisco Dantas, Frutuoso Gomes, Gov. Dix-Sept Rosado, Grossos, Itaú, Janduí, João Dias, José da Penha, Lucrécia, Luis Gomes, Major Sales, Marcelino Vieira, Martins, Messias Targino, Mossoró, Olho d'Água dos Borges, Paraná, Paraú, Patu, Pau dos Ferros, Pilões, Portalegre, Rafael Fernandes, Rafael Godeiro, Riacho da Cruz, Riacho de Santana, Rodolfo Fernandes, São Francisco do Oeste, São Miguel, Serra do Mel, Serrinha dos Pintos, Severiano Melo, Taboleiro Grande, Tenente Ananias, Umarizal, Upanema, Venha Ver e Viçosa.

longo período situam-se em torno de 700 mm, havendo pequena área, nas proximidades da foz e na região a leste do trecho médio do rio do Carmo, onde descem a 600 mm. Na parte alta, a montante da localidade de Tabuleiro Grande, há um aumento até cerca de 900 mm, com pequena área, na região alta de Martins, onde chegam a 1.000 mm (SEMARH-RN, 2019).

4.1.3 Geomorfologia

Segundo Maia e Bezerra (2012), do ponto de vista geomorfológico, a bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró foi dividida nos seguintes domínios morfoestruturais: Depressão Sertaneja, Maciços Residuais, Planícies em Depósitos Mesozóicos e Cenozóicos e um Domo Anticlinal (Figura 3). Em seu alto curso ocorre a Depressão Sertaneja, ocupando cerca de 63% do total da bacia hidrográfica. Esta depressão se estende até a base dos limites escarpados dos Depósitos Mesozóicos e situa-se entre os blocos soerguidos, sendo modelada no interior dos quais a rede de drenagem dos principais rios se instala.

Figura 3 – Geomorfologia da bacia Apodi-Mossoró



Fonte: Maia & Bezerra (2012).

A metade meridional desta bacia é composta pelas unidades Depressão Sertaneja e Planaltos Residuais. A primeira, caracteriza-se por um relevo predominantemente tabular, algumas vezes com formas convexas e poucas áreas com relevo aguçado (maciços e

inselbergues). A segunda, que constitui as feições mais elevadas da bacia, caracteriza-se por superfícies tabulares, limitadas por escarpas erosivas, com topos planos de origem sedimentar (SEMARH-RN, 2019).

4.1.4 Solo

No Quadro 1 é possível observar a dominância das classes de solos, junto com as respectivas áreas e os percentuais de suas distribuições na superfície da bacia Apodi-Mossoró.

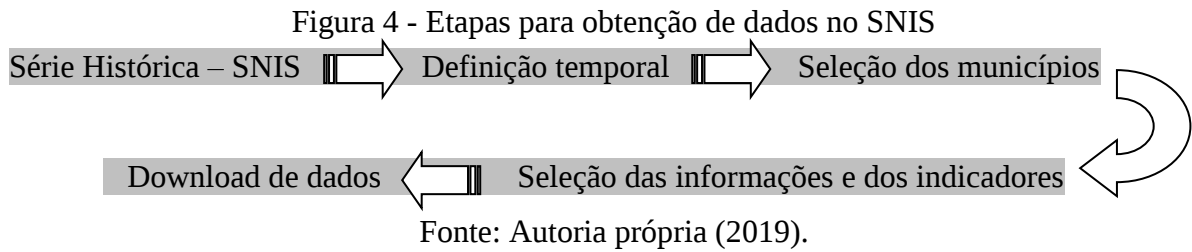
Quadro 1 – Dominância das classes de solos na bacia Apodi-Mossoró

Classes de solo	Área	
	km ²	%
Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico	3.992,9	28,0
Cambissolo Eutrófico	2.707,0	19,0
Bruno Não Cálcico	1.674,0	11,8
Solos Litólicos Eutróficos	1.528,2	10,7
Rendzina	963,2	6,7
Latosolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	683,0	4,8
Latosolo Amarelo Distrófico	503,9	3,5
Vertissolo	296,0	2,1
Solonchak Sódico	269,5	1,9
Solonetz Solodizado	218,4	1,5
Regossolo Eutrófico	206,3	1,4
Solos Aluviais Eutróficos	170,4	1,2
Planossolo Solódico	146,9	1,0
Lagoas/Açudes	916,3	6,4
Total	14.276,0	100,0

Fonte: SEMARH-RN (2019).

4.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Os dados sobre indicadores e informações operacionais aos serviços de água e esgoto foram obtidos para todos os municípios que compõem a bacia hidrográfica em estudo, considerando o período relativo aos anos de 2007 a 2016, conforme as etapas ilustradas na Figura 4.



Os indicadores de saneamento dos municípios da bacia Apodi-Mossoró foram espaçados nos anos de 2007, 2010, 2013 e 2016. A sequência ocorreu de 3 em 3 anos para se ter uma melhor distribuição dos dados. Se iniciou em 2007 devido ao surgimento do marco regulatório de saneamento, que também ocorreu nessa mesma data. Já 2016 foi o último ano com dados disponíveis no SNIS.

Os indicadores e as informações selecionadas visam diagnosticar a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em diversos aspectos, tais como, qualidade, eficiência e a busca pela universalização dos serviços, este, um dos princípios da Lei 11.445/2007.

4.3 TABULAÇÃO DOS DADOS

Nesta etapa foi gerada uma planilha para cada ano de estudo, contendo as informações e os indicadores de água e esgoto por município. Também foi gerada outra planilha com todas as médias dos indicadores no Brasil, dividida por cada ano.

Através do banco de dados espaciais (*shapefile*) da bacia Apodi-Mossoró, que apresenta as delimitações dos municípios contidos na mesma, facilitando a correlação dos indicadores, foi possível criar outros *shapefiles* para cada ano de estudo, com seus respectivos indicadores de água e esgoto de cada município.

4.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Etapa na qual se realizou o cruzamento dos dados tabulados com os indicadores e as informações de água e esgoto dos municípios da bacia Apodi-Mossoró, obtendo mapas classificados de acordo com as médias nacionais dos indicadores.

4.4.1 Integração dos dados do SNIS sobre abastecimento de água e esgotamento sanitário

Nesta fase de processamento realizou-se a construção dos mapas, os quais representam a evolução dos serviços prestados de água e esgoto para os municípios da bacia em estudo, comparando-os com as médias nacionais para o mesmo período. O produto dessa análise corresponde a mapas que descrevem, de forma sintética, a situação de abastecimento de água e esgotamento sanitário na bacia Apodi-Mossoró.

As informações operacionais de água e esgoto utilizadas estão descritas nos Quadros 2 e 3, respectivamente. Essas informações são repassadas pelo prestador de serviço acerca do funcionamento de água e esgoto de cada município ao SNIS, sendo bastante importantes, pois a partir delas que se calculam os indicadores.

Quadro 2 - Informações operacionais de água

INFORMAÇÕES OPERACIONAIS DE ÁGUA
AG001 - População total atendida com abastecimento de água Valor da população total atendida com abastecimento de água pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência. Corresponde à população urbana que é efetivamente atendida com os serviços, acrescida de outras populações atendidas localizadas em áreas não consideradas urbanas.
AG006 - Volume de água produzido Volume anual de água disponível para consumo, compreendendo a água captada pelo prestador de serviços e a água bruta importada (AG016), ambas tratadas na(s) unidade(s) de tratamento do prestador de serviços, medido ou estimado na(s) saída(s) da(s) ETA(s) ou UTS(s).
AG007 - Volume de água tratada em ETAs Volume anual de água submetido a tratamento, incluindo a água bruta captada pelo prestador de serviços e a água bruta importada (AG016), medido ou estimado na (s) saída (s) da (s) ETA (s).
AG008 - Volume de água micromedido Volume anual de água medido pelos hidrômetros instalados nas ligações ativas de água (AG002).

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 3 - Informações operacionais de esgoto

INFORMAÇÕES OPERACIONAIS DE ESGOTO
ES001 - População total atendida com esgotamento sanitário Valor da população total atendida com esgotamento sanitário pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência. Corresponde à população urbana que é efetivamente atendida com os serviços, acrescida de outras populações atendidas localizadas em áreas não consideradas urbanas.
ES002 - Quantidade de ligações ativas de esgotos Quantidade de ligações ativas de esgotos à rede pública que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
ES005 - Volume de esgotos coletado Volume anual de esgoto lançado na rede coletora. Em geral é considerado como sendo de 80% a 85% do volume de água consumido na mesma economia. Não inclui volume de esgoto bruto importado (ES013).
ES006 - Volume de esgotos tratado Volume anual de esgoto coletado na área de atuação do prestador de serviços e que foi submetido a tratamento, medido ou estimado na (s) entrada (s) da (s) ETE (s).

Fonte: Autoria própria (2019).

Os indicadores de abastecimento de água e esgotamento sanitário utilizados no cruzamento dos dados da bacia e do Brasil correspondem aos indicadores operacionais, que estão descritos nos Quadros 4 e 5, respectivamente, juntamente com a fórmula, informações e unidades utilizadas no cálculo realizado pelo SNIS.

Quadro 4 - Indicadores operacionais de água

INDICADORES OPERACIONAIS DE ÁGUA			
Indicadores utilizados	Cálculo dos indicadores	Informações envolvidas	Unidade
IN055 - Índice de atendimento total de água	$\frac{AG001}{GE12a} \times 100$	AG001: População total atendida com abastecimento de água G12A: População total residente do(s) município(s) com abastecimento de água, segundo o IBGE POP_TOT: População total do município do ano de referência (Fonte: IBGE)	Percentual (%)
IN049 - Índice de perdas na distribuição	$\frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100$	AG006: Volume de água produzido AG010: Volume de água consumido AG018: Volume de água tratada importado AG024: Volume de serviço	Percentual (%)
IN009 - Índice de hidrometração	$\frac{AG004^*}{AG002^*} \times 100$	AG002: Quantidade de ligações ativas de água AG004: Quantidade de ligações ativas de água micromedidas	Percentual (%)
IN011 - Índice de macromedição	$\frac{AG012 - AG019}{AG006 + AG018 - AG019} \times 100$	AG006: Volume de água produzido AG012: Volume de água macromedido AG018: Volume de água tratada importado AG019: Volume de água tratada exportado	Percentual (%)

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 5 - Indicadores operacionais de esgoto

INDICADORES OPERACIONAIS DE ESGOTO			
Indicadores utilizados	Cálculo dos indicadores	Informações envolvidas	Unidade
IN015 - Índice de coleta de esgoto	$\frac{ES005}{AG010 - AG019} \times 100$	AG010: Volume de água consumido AG019: Volume de água tratada exportado ES005: Volume de esgotos coletado	Percentual (%)
IN016 - Índice de tratamento de esgoto	$\frac{ES006 + ES014 + ES015}{ES005 + ES013} \times 100$	ES005: Volume de esgotos coletado ES006: Volume de esgotos tratado ES013: Volume de esgotos bruto importado ES014: Volume de esgoto importado tratado nas instalações do importador ES015: Volume de esgoto bruto exportado tratado nas instalações do importador	Percentual (%)

Fonte: Autoria própria (2019).

4.4.2 Geoprocessamento

Através do *software* de SIG Qgis versão 2.14 se tornou possível a fusão dos dados obtidos pelo SNIS com seus respectivos municípios, que já estavam delimitados em um arquivo utilizado no programa, no formato *shp*.

Foram criados 24 mapas, 6 para cada ano, sendo 4 deles para os indicadores abastecimento de água e 2 deles para os indicadores de esgotamento sanitário.

4.4.3 Avaliação dos indicadores de desempenho

Com os mapas confeccionados, foi realizada a comparação dos valores dos índices em estudo, para cada município pertencente a bacia Apodi-Mossoró, com a média nacional de cada ano que estará sendo analisado. Assim, determinou-se a quantidade de municípios que apresentaram o valor do índice acima e abaixo da média no Brasil.

A Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento (ARIS) de Florianópolis/SC, elaborou uma metodologia para avaliação dos indicadores de desempenho. Criada oficialmente no dia 1º de dezembro de 2009, a ARIS tem como atribuição a regulação e fiscalização de todas as atividades do saneamento básico (abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo dos resíduos sólidos, limpeza urbana e drenagem pluvial), independentemente de quem seja o prestador dos serviços (ARIS, 2015).

O objetivo do desenvolvimento dessa metodologia é fomentar uma avaliação comparativa entre sistemas similares a nível regional e nacional, assim como o desempenho entre os prestadores de serviços (ARIS, 2015).

São geradas planilhas com as séries históricas dos indicadores, se tornando possível avaliar e acompanhar o desempenho dos prestadores num determinado período definido.

Assim, serão atribuídos comandos em uma planilha eletrônica que, de acordo com a faixa de valor do indicador, o mesmo terá uma cor e será classificado em: ideal, satisfatório, insatisfatório (ARIS, 2015). Pode-se observar os intervalos dos valores da classificação no Quadro 6.

Segundo a ARIS (2015), a metodologia definida também permitirá estabelecer estudos de *benchmarking*, os quais poderão ser comparados aos indicadores de outros municípios, estados, do país.

Quadro 6 - Intervalos dos valores da classificação pela ARIS (2015)

Indicadores de abastecimento de água	
Indicador	Classificação
Índice de atendimento total de água	Ideal: $\geq 98\%$ Satisfatório: $\geq 90\%$ e $< 98\%$ Insatisfatório: $< 90\%$
Índice de perdas na distribuição	Ideal: $\leq 25\%$ Satisfatório: $> 25\%$ e $\leq 35\%$ Insatisfatório: $> 35\%$
Índice de hidrometração	Ideal: $\geq 99,5\%$ Satisfatório: $\geq 95\%$ e $< 99,5\%$ Insatisfatório: $< 95\%$
Índice de macromedição	Ideal: $\geq 99,5\%$ Satisfatório: $\geq 90\%$ e $< 99,5\%$ Insatisfatório: $< 90\%$
Indicadores de esgotamento sanitário	
Indicador	Classificação
Índice de coleta de esgoto	Ideal: $\geq 98\%$ Satisfatório: $\geq 80\%$ e $< 98\%$ Insatisfatório: $< 80\%$
Índice de tratamento de esgoto	Ideal: $= 100\%$ Satisfatório: $\geq 90\%$ e $< 100\%$ Insatisfatório: $< 90\%$

Fonte: Autoria própria (2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados os resultados e discussões obtidos com o desenvolvimento desta pesquisa, pelo qual revela uma análise do saneamento básico, no âmbito da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, nos anos de 2007, 2010, 2013 e 2016.

Cabe destacar, conforme mencionado no item 4.4, que os resultados serão apresentados de acordo com duas avaliações: i) confecção de mapas comparando o valor dos índices em estudo, para cada município pertencente a bacia em epígrafe, com a média nacional; e ii) produção de gráficos, por meio da metodologia de avaliação dos indicadores de desempenho da ARIS (2015) em: ideal, satisfatório, insatisfatório.

5.1 INDICADORES DE ÁGUA

Para avaliar o abastecimento de água nos municípios da bacia Apodi-Mossoró nos anos de 2007, 2010, 2013 e 2016, foram analisados os seguintes indicadores de desenvolvimento de água: índice de atendimento total de água, de perdas na distribuição, de hidrometração e o de macromedição, conforme detalhados nos itens que seguem.

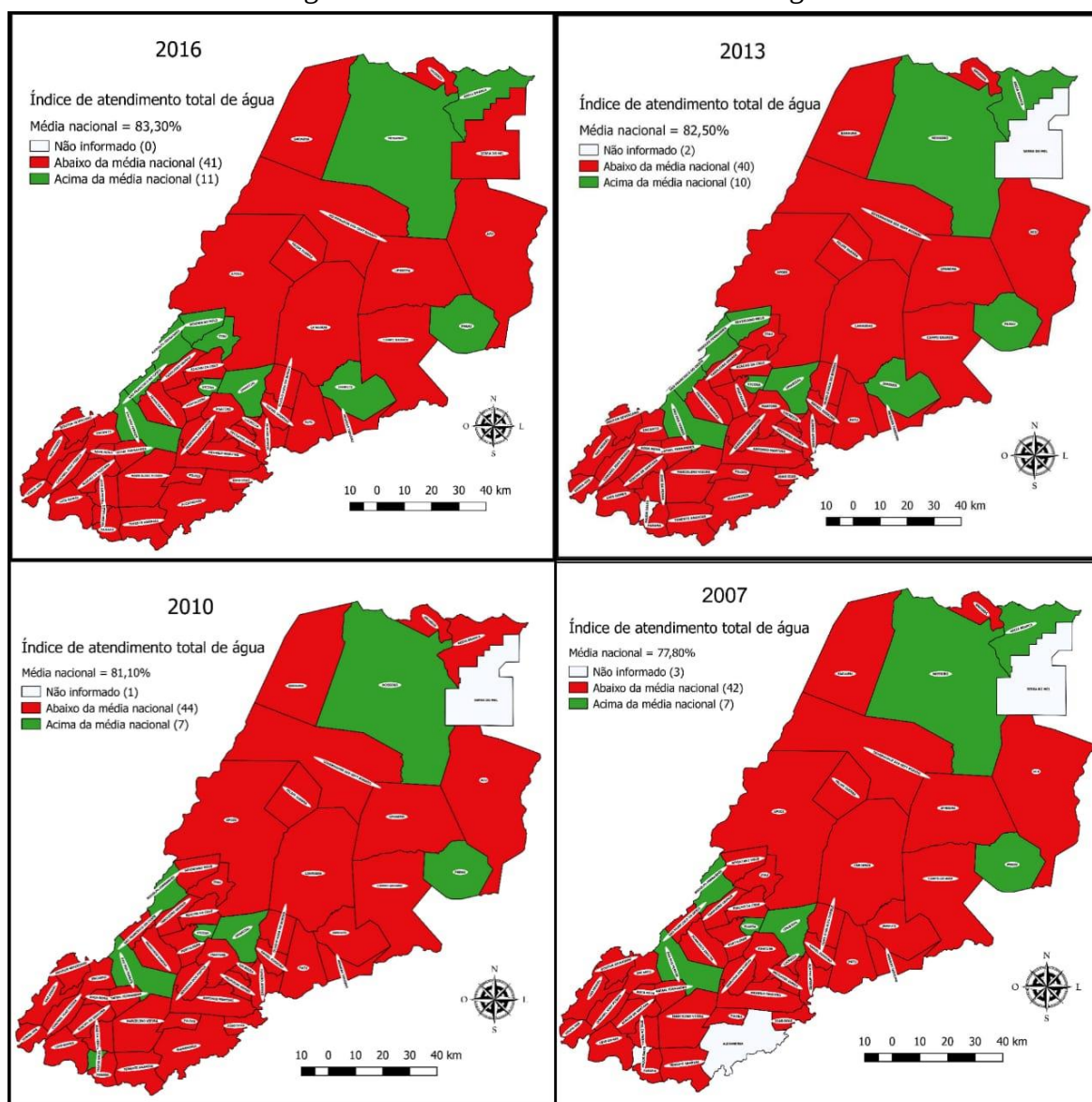
5.1.1 Índice de atendimento total de água

Na Figura 5 são apresentados os índices de atendimento total de água para os anos 2007, 2010, 2013 e 2016. Como mencionado, este índice retrata a relação entre a população total atendida com abastecimento de água e a população total residente do(s) município(s) com abastecimento de água, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Como é possível observar na Figura 5, dos quatro anos estudados, apenas o ano de 2007 obteve uma média nacional abaixo de 80%, havendo um aumento a cada ano no atendimento total de água no Brasil. Segundo a ARIS (2015), o índice total de atendimento de água é considerado ideal quando apresenta um valor igual ou superior a 98%, satisfatório quando está compreendido no intervalo de maior ou igual a 90% e menor que 98%, já para ser considerado insatisfatório é necessário apresentar um valor menor que 90%.

Em 2007, 42 dos 52 municípios que compõem a bacia Apodi-Mossoró, apresentaram o valor do índice abaixo da média nacional e, apenas 7 obtiveram valor acima dessa média (Figura 5). De acordo com a Figura 6, apenas 2 municípios foram classificados como satisfatórios e nenhum deles apresentaram o índice classificado como ideal.

Figura 5 - Índice de atendimento total de água

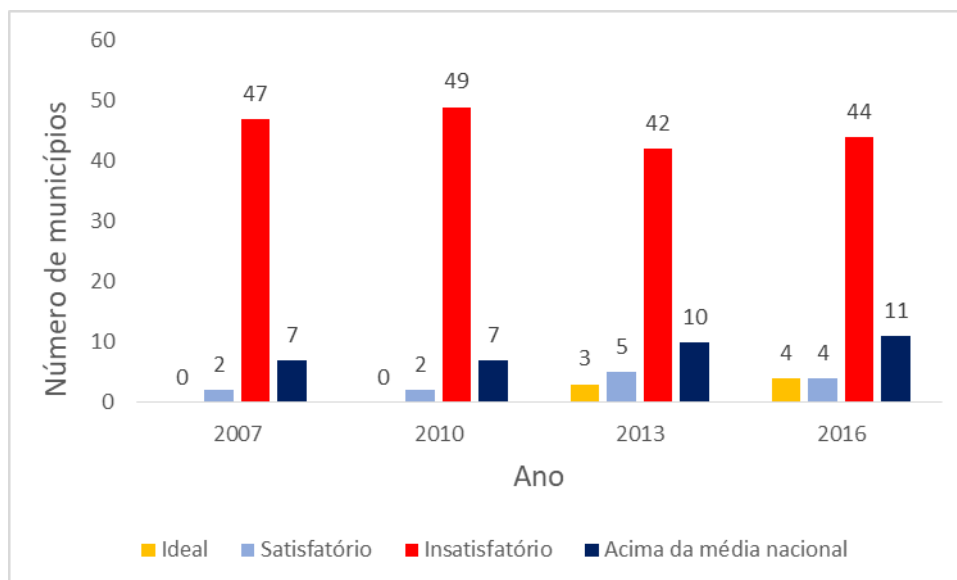


Fonte: Autoria própria (2019).

No ano de 2010, houve a mesma quantidade de municípios que apresentaram o índice superior à média nacional: 7 municípios (Figura 5), como também teve 2 municípios com o índice classificado como satisfatório e nenhum dos municípios apresentaram o índice classificado como ideal (Figura 6).

Já em 2013, 10 municípios apresentaram o índice de atendimento total de água superior à média do Brasil, conforme ilustrado na Figura 5. Vale salientar que 5 municípios tiveram valores classificados como satisfatórios e 3 como ideais (Figura 6), sendo eles: Pau dos Ferros (100%), Rodolfo Fernandes (99,12%) e Viçosa (100%).

Figura 6 - Classificação do índice de atendimento total de água



Fonte: Autoria própria (2019).

No ano de 2016, dentre os quatro anos de estudo, foi o que obteve a maior quantidade de municípios que apresentaram o índice acima da média nacional, totalizando 11 municípios (Figura 5), sendo 4 classificados como satisfatórios e 4 como ideais (Figura 6). Os valores de índices considerados ideais foram dos seguintes municípios: Paraú (99,97%), Rodolfo Fernandes (99,98%), Severiano Melo (99,97%) e Viçosa (100%).

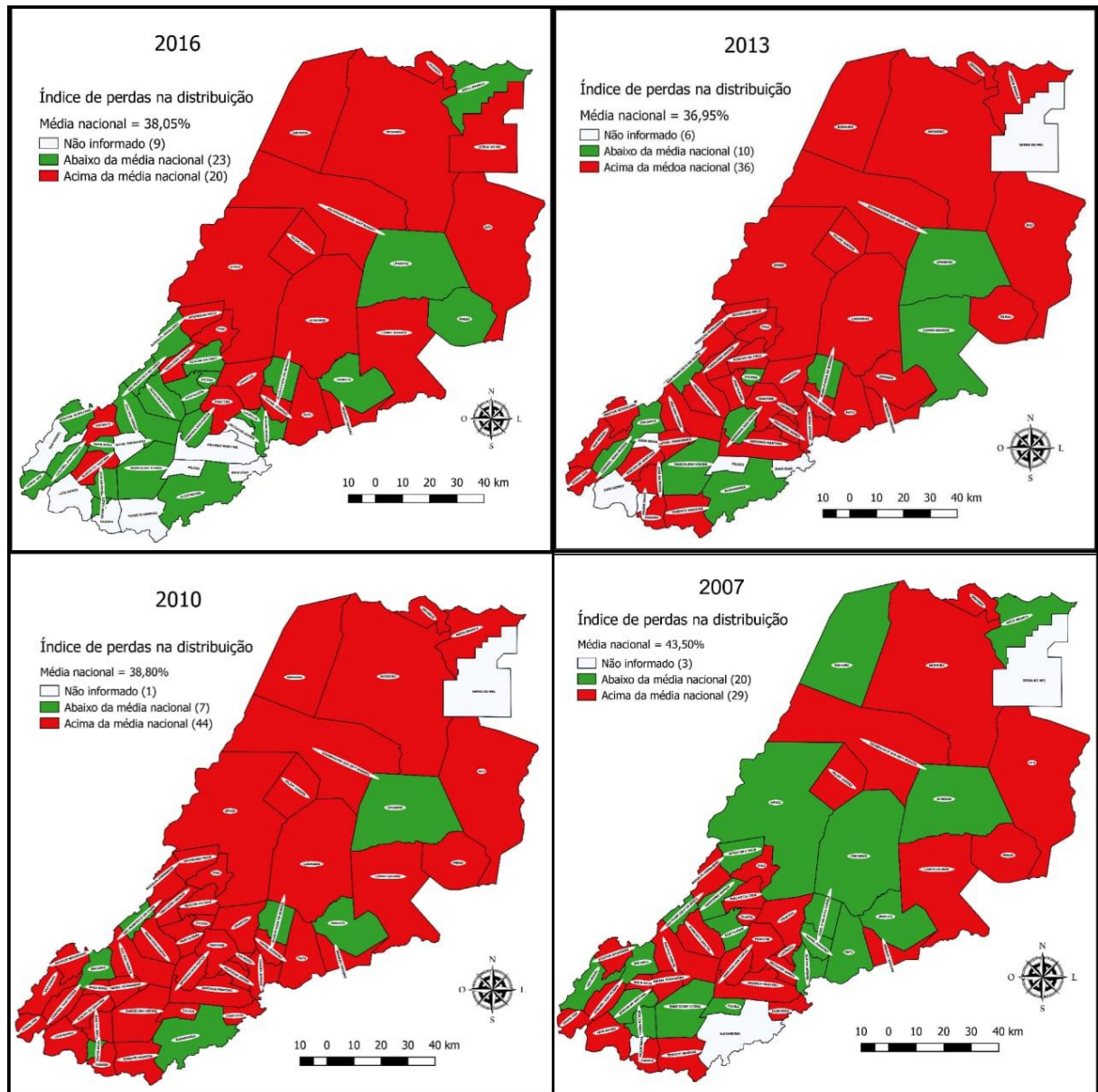
Avaliando a evolução do índice de atendimento de água, apresentado na Figura 5, observa-se que houve uma estagnação desse índice, a partir de 2013. Tal evidência pode estar relacionada ao período de escassez hídrica enfrentada nessa região, desde o ano de 2012, resultando em uma maior dificuldade em adquirir novas fontes de abastecimento, passíveis de tratamento economicamente viável.

5.1.2 Índice de perdas na distribuição

Os índices de perdas na distribuição para os anos 2007, 2010, 2013 e 2016 são apresentados na Figura 7. Este indicador informa a porcentagem do volume de água distribuído que é perdido até a análise do volume consumido pelos usuários, podendo ser por questões técnicas (vazamentos) ou comerciais (fraudes, hidrometração deficiente etc.). Logo, é interessante que esse valor seja o menor possível, por se tratar de questões econômicas e ambientais. A ARIS (2015) classifica este indicador da seguinte forma: insatisfatório para

valores acima de 35%, satisfatório para valores pertencentes ao intervalo que vai de 25 a valores menores ou iguais a 35% e ideal para aqueles abaixo ou igual a 25%.

Figura 7 - Índice de perdas na distribuição



Fonte: Autoria própria (2019).

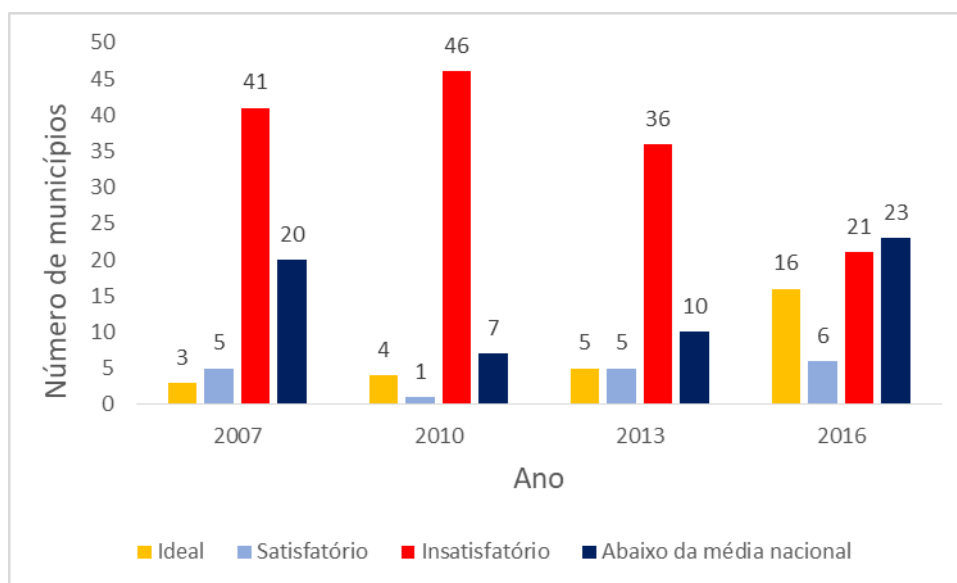
Analisando a média nacional, no ano do início do marco regulatório de saneamento (2007), esse índice ultrapassa 40%, chegando a 43,5%, mas, nos outros três anos analisados, esse valor ficou abaixo dos 40%, mesmo havendo um aumento do ano de 2013 a 2016, de 36,95 a 38,05% (Figura 7).

Se tratando dos 52 municípios que constituem a bacia Apodi-Mossoró, no mínimo 20 deles apresentaram o índice de perdas na distribuição acima da média nacional em cada ano

estudado, chegando a 44 municípios em 2010 e 36 em 2013 (Figura 7), correspondendo a 84,62 e 69,23% do total de municípios da bacia, respectivamente.

Em 2007, 20 municípios obtiveram índices abaixo da média nacional (Figura 7), 5 apresentaram seus valores classificados como satisfatórios e 3 deles foram definidos como ideais (Figura 8): Almino Afonso (6,06%), Baraúna (4,89%) e Taboleiro Grande (21,57%).

Figura 8 – Classificação do índice de perdas na distribuição



Fonte: Autoria própria (2019).

Caldo e Magalhães Filho (2014), ao analisar esse índice na bacia do Alto Paraguai, constataram que 70,00% dos municípios apresentaram o índice inferior à média nacional, no ano de 2007, um percentual superior ao da bacia em estudo (38,46%). Vale destacar que a bacia hidrográfica estudada por esses autores é composta por 30 municípios, mas, apresenta uma área de 368 mil km², conseguindo controlar estas perdas na distribuição, mesmo tendo uma área extensa. Já a bacia em estudo apresenta uma área de 14 mil km².

No ano de 2010, de acordo com a Figura 7, a quantidade dos municípios que apresentaram valores do indicador abaixo da média nacional reduziu para 7, sendo apenas o município de Upanema, com 30,49%, classificado como satisfatório (Figura 8). Já a quantidade dos municípios denominados como ideais foi de 4 (Figura 8): Alexandria (22,43%), Encanto (16,19%), Janduís (14,43%) e Major Sales (0,0%), município este que não resultou em perdas na distribuição neste ano.

Em 2013, a quantidade dos municípios que apresentaram valores do índice abaixo da média nacional aumentou, passando para 10 municípios, dentre os quais 5 obtiveram o

indicador classificado como satisfatório e os 5 restantes foram classificados como ideais (Figura 8).

O ano de 2016 teve a quantidade de 23 municípios que apresentaram valores do indicador abaixo da média nacional (Figura 7), representando 44,23% da bacia Apodi-Mossoró, sendo que 6 deles tiveram seus índices classificados como satisfatórios e 16 como ideais (Figura 8), destacando Alexandria e Major Sales como os municípios que não apresentaram perdas na distribuição neste ano. As perdas de água na sua distribuição podem ocorrer por diversas causas, tais como: vazamentos, erros de medição e consumos não autorizados. Sendo assim, é praticamente improvável que o índice de perdas na distribuição em um município seja nulo, porém, são os dados oficiais que constam no SNIS.

Analisando os municípios que obtiveram as maiores porcentagens de perdas de distribuição em cada ano (Figura 7), tem-se Serra do Mel no ano de 2016, com 91,95%; Felipe Guerra em 2013, com 84,50%; Severiano Melo em 2010, com 90,04% e Rodolfo Fernandes em 2007, com 99,98% de perdas na distribuição.

5.1.3 Índice de hidrometração

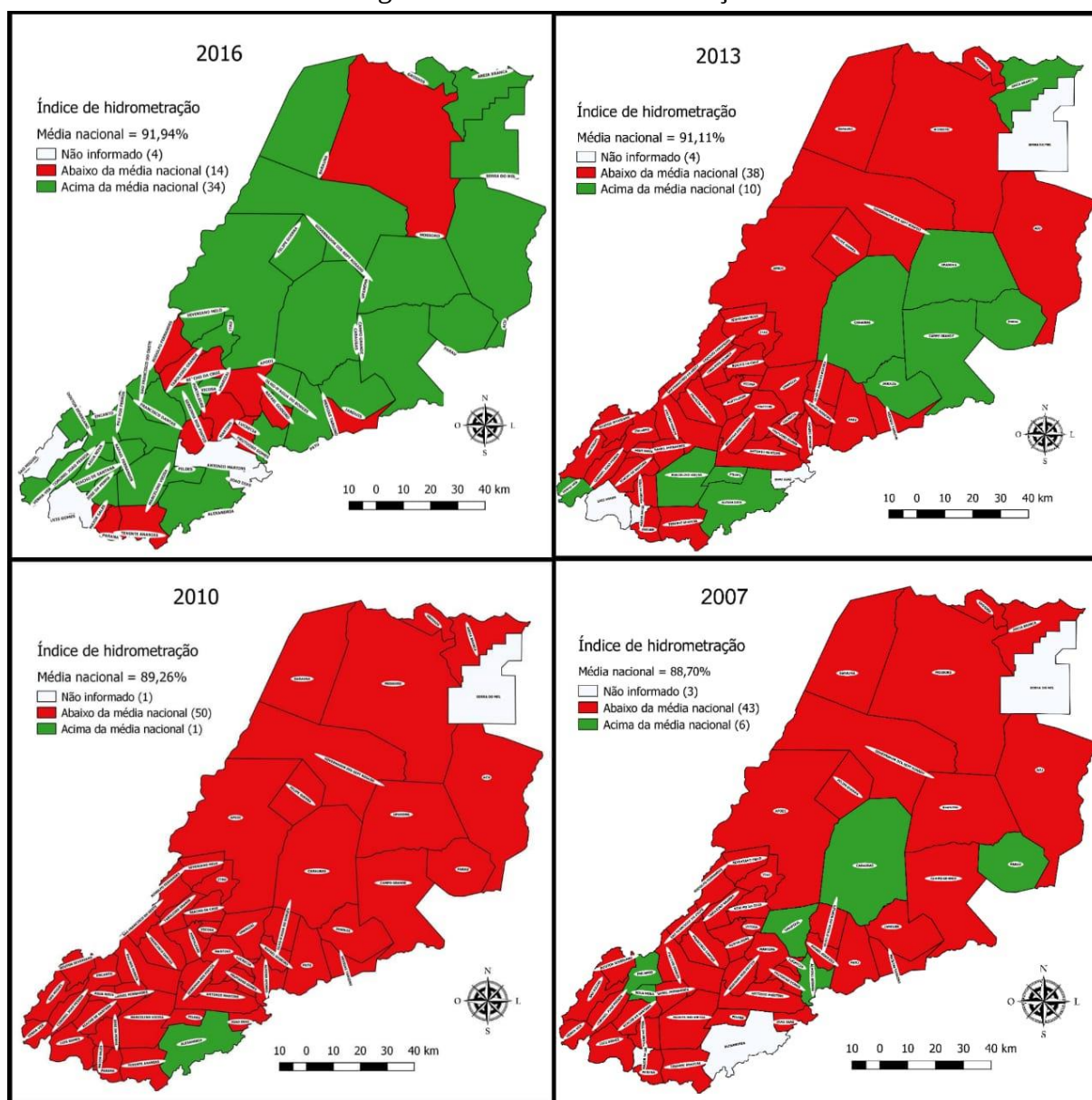
Na Figura 9 são apresentados os índices de hidrometração para os anos 2007, 2010, 2013 e 2016. Este índice consiste na relação entre a quantidade de ligações ativas de água e a quantidade de ligações ativas de água micromedidas.

No Brasil, desde 2007, o índice de hidrometração está em torno de 90%. A partir de 2013, esse índice foi superior a 90%, atingindo 91,94% em 2016 (Figura 9).

A ARIS (2015) classifica este indicador da seguinte forma: ideal, aquele que apresenta o valor superior ou igual a 99,5%; como satisfatório os valores contidos no intervalo de 95 até menor que 99,5%; insatisfatório para os valores menores que 95%. Sendo assim, o índice de hidrometração brasileiro é considerado insatisfatório.

No ano de 2007, 6 municípios apresentaram o valor acima da média nacional (Figura 9), que foram os municípios de Água Nova (91,26%), Almino Afonso (90,13%), Caraúbas (88,98%), Encanto (91,73%), Paraú (89,85%) e Umarizal (88,74%). Porém, também são classificados como insatisfatórios (Figura 10).

Figura 9 - Índice de hidrometração

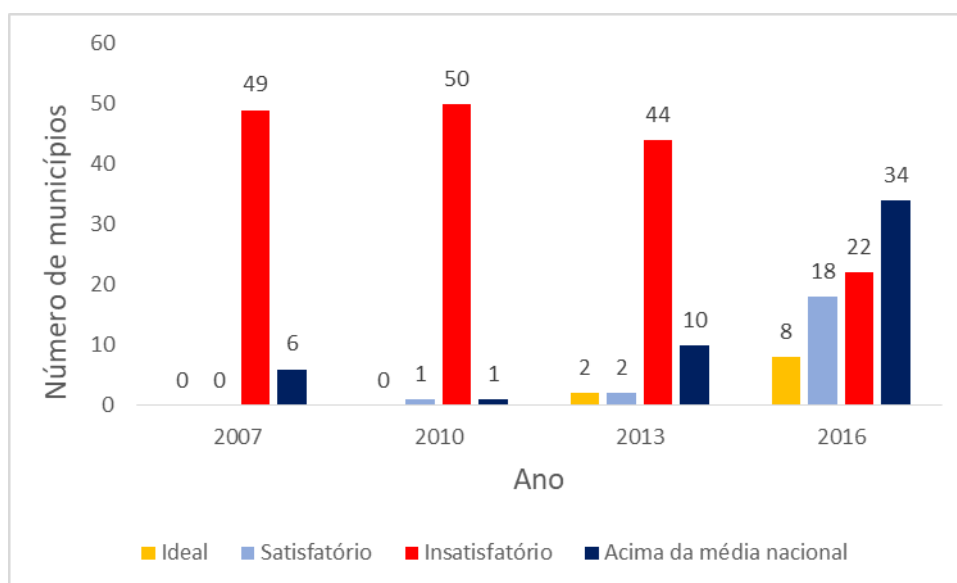


Fonte: Autoria própria (2019).

Em 2010, apenas um município obteve o resultado acima da média nacional (Figura 9), que foi o município de Alexandria, apresentando um índice de 98,49%, sendo assim, considerado pela ARIS (2015) como um valor satisfatório.

Já em 2013, conforme observado na Figura 9, 10 municípios resultaram em um índice superior à média nacional, 2 foram classificados como tendo um resultado satisfatório (Figura 10): Alexandria (99,13%) e Janduís (98,97%) e 2 como ideal, Campo Grande (99,69%) e Venha-Ver (99,84%). Logo, os índices dos municípios restantes foram classificados como insatisfatórios.

Figura 10 – Classificação do índice de hidrometração



Fonte: Autoria própria (2019).

Em 2016, 65,38% dos municípios que compõem a bacia Apodi-Mossoró contiveram o índice acima da média nacional, perfazendo 34 municípios (Figura 9). Os índices de 18 destes municípios foram classificados como satisfatórios e 8 foram classificados como ideais (Figura 10), a saber: Alexandria (99,51%), Areia Branca (99,82%), Campo Grande (99,81%), Janduís (99,60%), Marcelino Vieira (100%), Serra do Mel (100%), Upanema (99,85%) e Venha-Ver (100%).

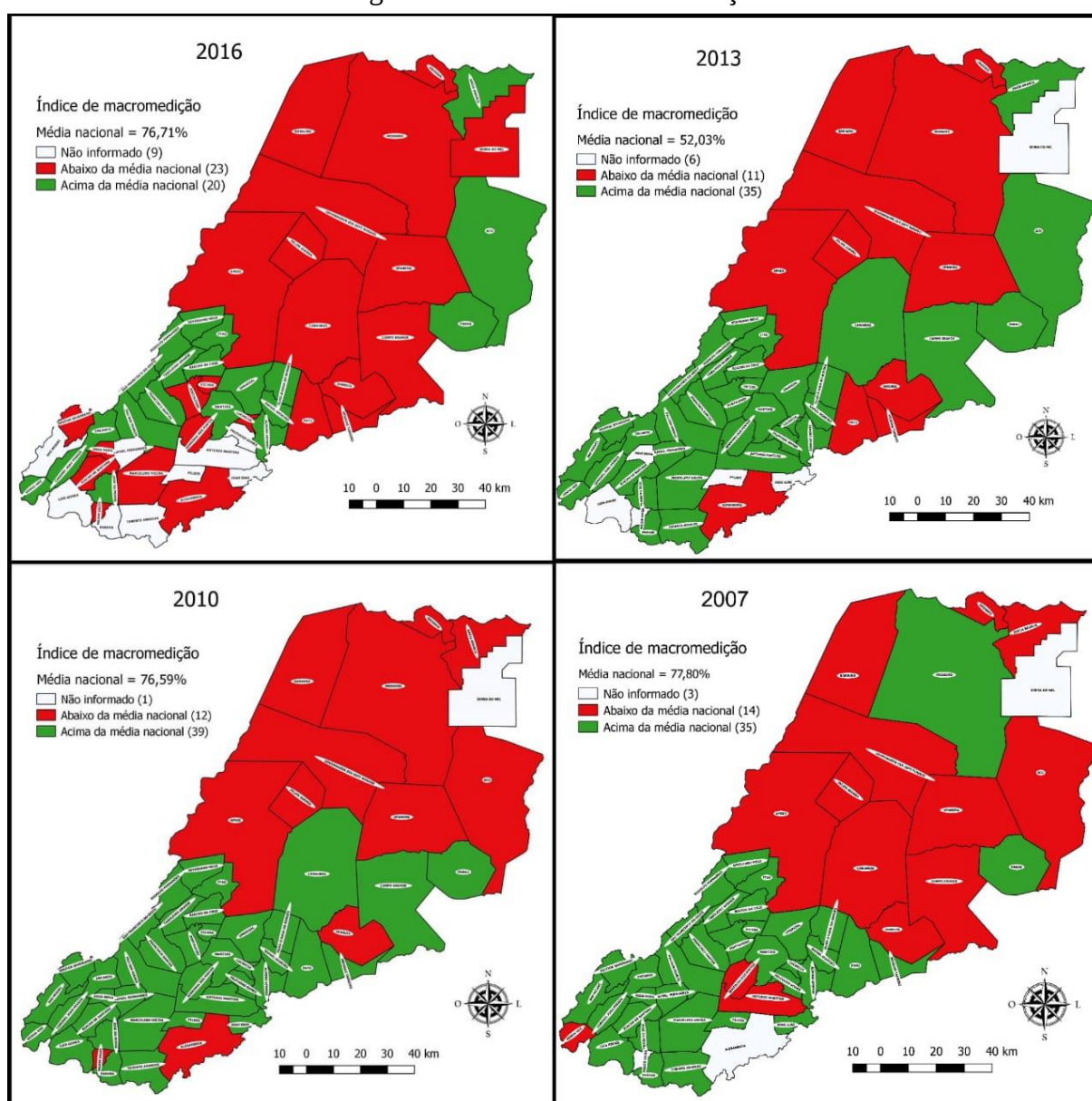
Caldo e Magalhães Filho (2014), analisaram esse índice na bacia do Alto Paraguai de 2007 a 2012. Durante esse intervalo, apenas 2 dos 30 municípios que constituem essa bacia não apresentaram o índice de macromedicação superior à média nacional, ou seja, 93,33% dos municípios obtiveram o índice acima da média nacional. Na bacia em estudo, esta porcentagem foi inferior, no ano de 2007 e 2010, 11,57 e 1,92% dos municípios, respectivamente, apresentaram o índice de macromedicação superior à média nacional.

Desde o ano de 2012 o semiárido vem sofrendo com sucessivas secas, sendo necessário que haja um maior controle no consumo de água devido à escassez. Uma possível causa desse avanço no índice de hidrometração nos municípios da bacia Apodi-Mossoró é a atuação constante da concessionária de fornecimento de água, na tentativa de reduzir consumos excessivos pela população.

5.1.4 Índice de macromedição

Os índices de macromedição para os anos 2007, 2010, 2013 e 2016 são apresentados na Figura 11. Este índice representa o percentual do volume distribuído que é macromedido, considerando exportações e importações de água tratada entre municípios dos sistemas produtores. Esse índice é classificado pela ARIS (2015) da seguinte forma: insatisfatório para os valores menores que 90%, satisfatório para os valores compreendidos no intervalo de 90 até menor que 99,5% e como ideal para respostas acima de 99,5%.

Figura 11 - Índice de macromedição



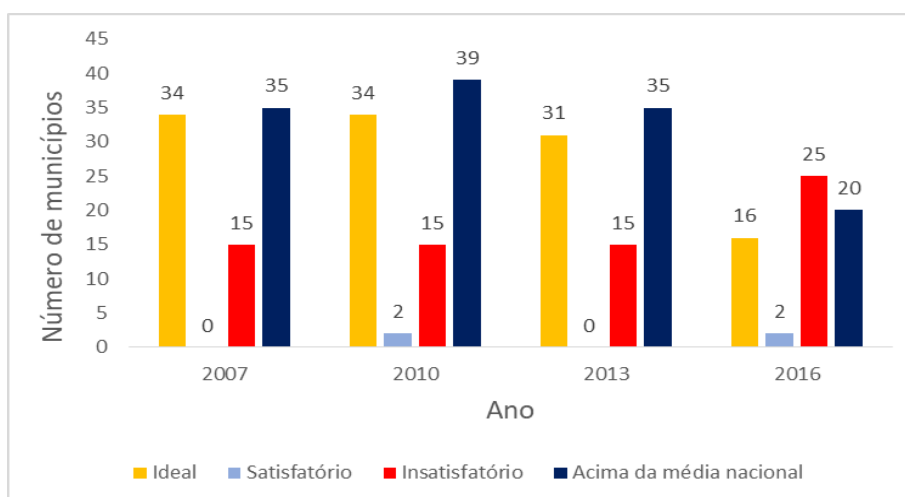
Fonte: Autoria própria (2019).

Pela Figura 11, é possível observar que os municípios com os maiores índices de macromedição são aqueles localizados no Alto Oeste potiguar (localizados na “tromba do elefante”: parte inferior do mapa) e situados na Depressão Sertaneja, solo rico de rochas cristalinas, fornecendo fontes superficiais de reservatórios de água com curtos lençóis freáticos, necessitando de frequentes medições para se ter um controle da água restante na fonte.

Também é possível verificar, por meio da Figura 11, que a média nacional nos anos de 2007, 2010, 2013 e 2016 não ultrapassou o valor de 80%. Logo, o índice de macromedição nestes anos é classificado como insatisfatório. Merecendo destaque o ano de 2013, em que o valor foi de 52,03%, quase a metade do percentual que é considerado ideal, muito abaixo dos outros anos, que ficaram sempre em torno dos 80,0%, podendo ser um erro no repasse da informação ou que realmente várias concessionárias tenham cessado a macromedição neste ano.

Em 2007, 35 municípios apresentaram seu índice de macromedição acima da média nacional (Figura 11), representando 67,31% da bacia Apodi-Mossoró, referente a classificação dos mesmos. Deste percentual, 34 destes municípios têm o índice considerado como ideal, com o valor de 100%, cada (Figura 12). O restante dos municípios foi classificado como insatisfatório, havendo 13 municípios que resultaram no valor do índice igual a 0% (Figura 12).

Figura 12 – Classificação do índice de macromedição



Fonte: Autoria própria (2019).

Em relação ao ano de 2010, a quantidade de municípios com o índice acima da média nacional aumentou, perfazendo 39 municípios, o que representa 75% dos municípios da bacia em estudo (Figura 11). Desses municípios, 2 tiveram o índice de macromedição considerado como satisfatório (Figura 12): Doutor Severiano (98,16%) e Severiano Melo (94,95%), e 34 como ideal. Os municípios que não realizaram a macromedição, ou seja, obtiveram esse índice igual a 0 ainda foi elevado, com a quantidade de 10 municípios (19,23% da bacia).

De acordo com a Figura 11, no ano de 2013, a quantidade de municípios com o valor do índice em questão maior que a média nacional voltou a ser 35 (como em 2007), mas o número daqueles que apresentam o índice classificado como ideal diminuiu, passando para 31 municípios (Figura 12), representando 59,62% da bacia. Tratando-se dos municípios que não realizaram a macromedição, sendo este valor de 9 municípios.

Em 2016, a quantidade dos municípios que tiveram o índice de macromedição abaixo da média nacional foi a maior destes 4 anos de estudo, no valor de 23 municípios, representando 44,23% da bacia Apodi-Mossoró (Figura 11). Logo, todos estes apresentaram o índice classificado como insatisfatório. Dos 20 municípios que apresentaram o índice acima da média no Brasil, 2 tiveram o índice classificado como satisfatório e 16 como ideal.

5.2 INDICADORES DE ESGOTO

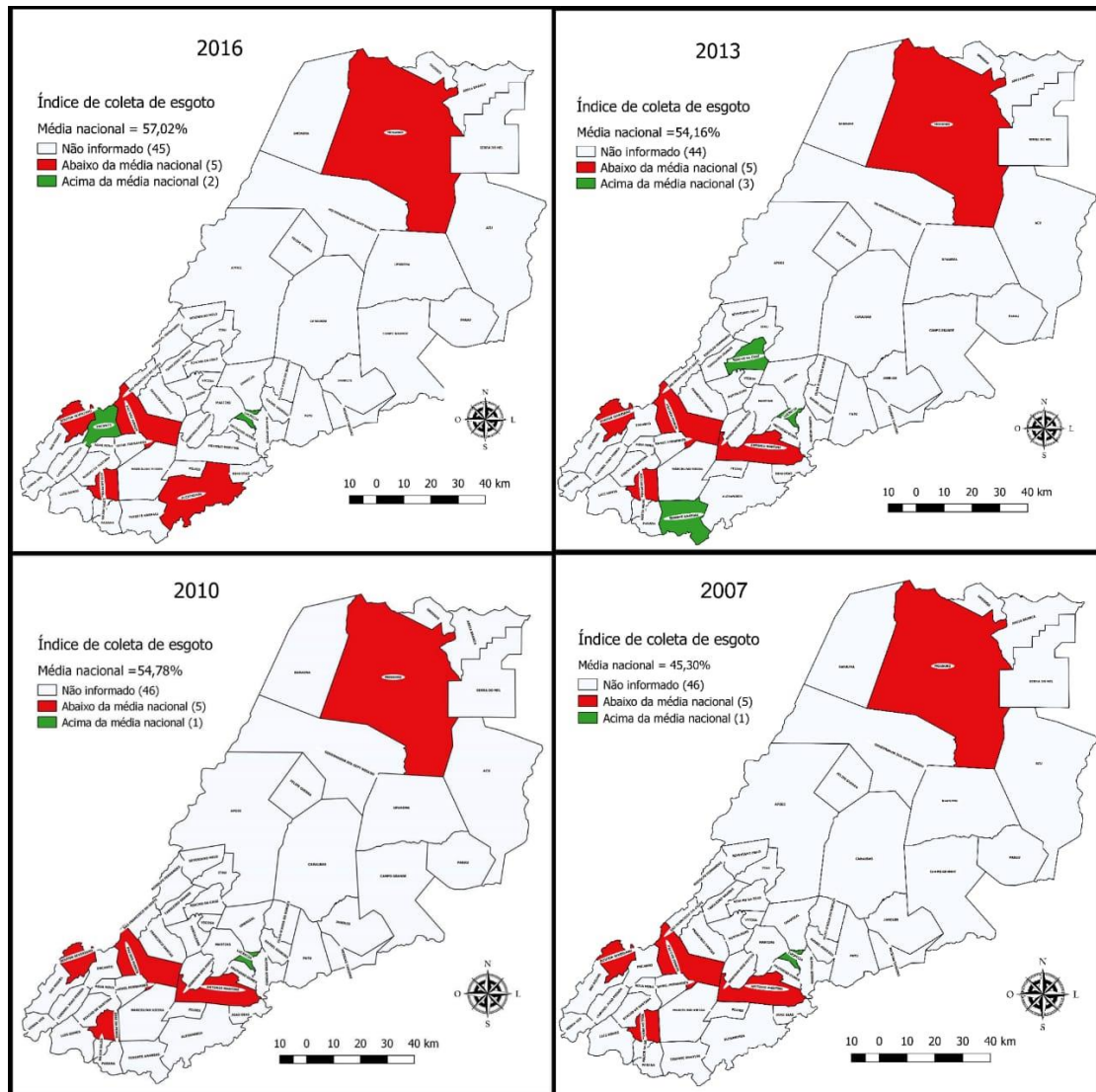
Comparando com os indicadores de água, houve limitações com os dados dos indicadores de esgoto. Dos 52 municípios da bacia Apodi-Mossoró, apenas 6 informaram os dados dos indicadores de esgoto mais importantes (índice de coleta de esgoto e o índice de tratamento de esgoto) nos 4 anos de estudo. Essa falta de informações dos indicadores de esgoto denota a menor importância que é dada ao esgotamento sanitário.

Os municípios com os dados informados em 2007, 2010, 2013 e 2016 foram os seguintes: Antônio Martins, Doutor Severiano, José da Penha, Lucrécia, Mossoró e Pau dos Ferros. Além destes 6, em 2013, Riacho da Cruz e Tenente Ananias também informaram os dados, mas em 2016 retornaram a não apresentar juntamente com o município de Antônio Martins e neste mesmo ano os municípios de Alexandria e Encanto exibiram seus resultados.

5.2.1 Índice de coleta de esgoto

Na Figura 13 são apresentados os índices de coleta de esgoto para os anos 2007, 2010, 2013 e 2016. Este índice representa, resumidamente, a relação entre o volume de esgoto coletado e o volume de água consumido.

Figura 13 - Índice de coleta de esgoto



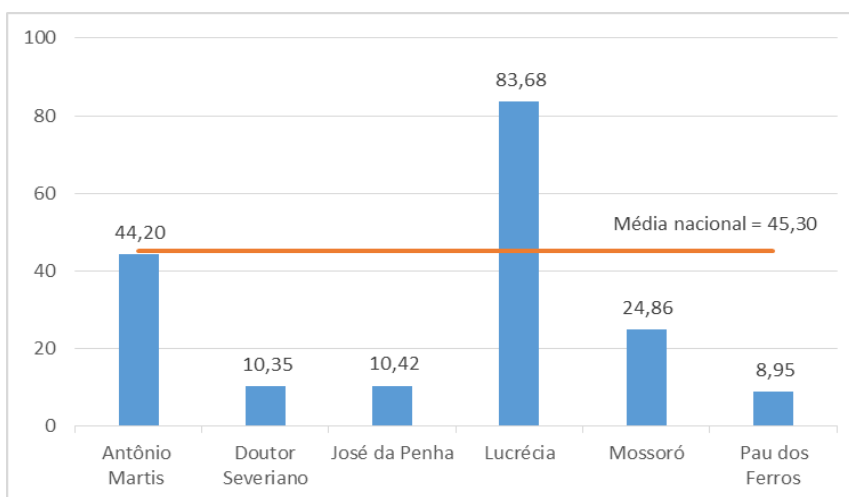
Fonte: Autoria própria (2019).

De 2007 a 2016, no Brasil, este índice aumentou mais de 10%, passando de 45,30 para 57,02% (Figura 13), mesmo assim, ainda é considerado insatisfatório pelo método de avaliação da ARIS (2015). Na verdade, está bem abaixo disso, já que por meio desse método de avaliação é considerado insatisfatórios valores abaixo de 80%, satisfatório aqueles que

estão contidos no intervalo de valores iguais ou maiores que 80 até 98% e ideal os resultados iguais ou acima de 98%.

Em 2007, pode-se observar, por meio da Figura 14, que apenas o município de Lucrécia teve o resultado do índice acima da média nacional, como também foi o único classificado como satisfatório, com o valor de 83,68%.

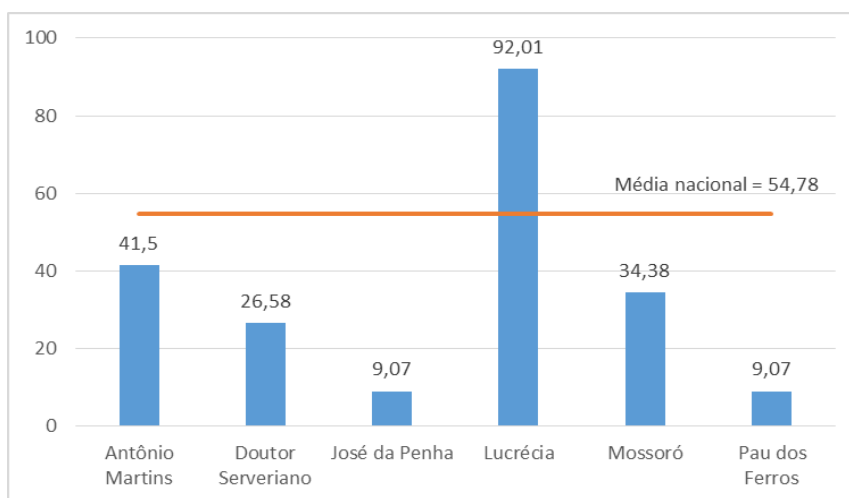
Figura 14 - Índice de coleta de esgoto 2007



Fonte: Autoria própria (2019).

No ano de 2010, como pode-se observar na Figura 15, apenas o município de Lucrécia teve o resultado do índice acima da média nacional, como também foi o único classificado como satisfatório com o valor de 92,01%.

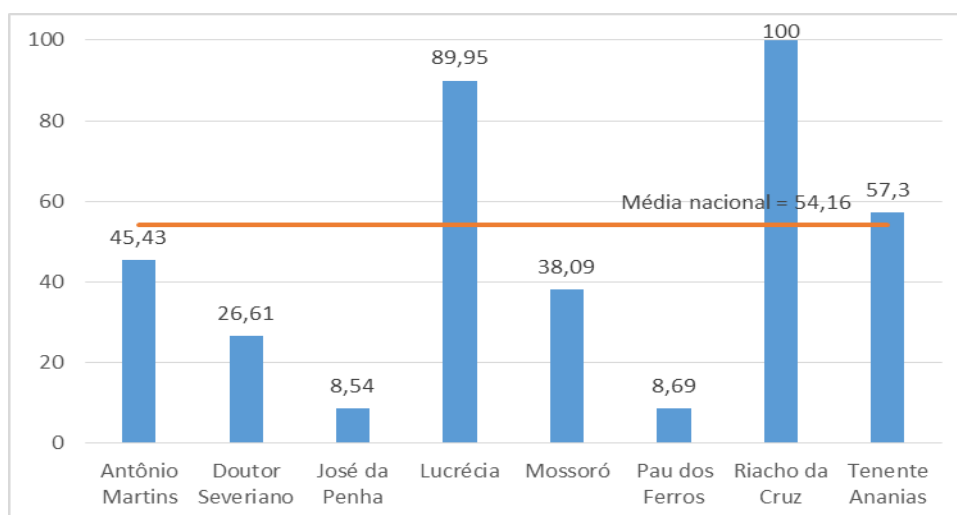
Figura 15 - Índice de coleta de esgoto 2010



Fonte: Autoria própria (2019).

Em 2013, como pode-se observar na Figura 16, que 3 municípios obtiveram seu índice de coleta de esgoto acima da média nacional, foram eles: Lucrécia (89,95%), Riacho da Cruz (100%) e Tenente Ananias (57,30%). O município de Lucrécia teve seu índice classificado como satisfatório e Riacho da Cruz como ideal.

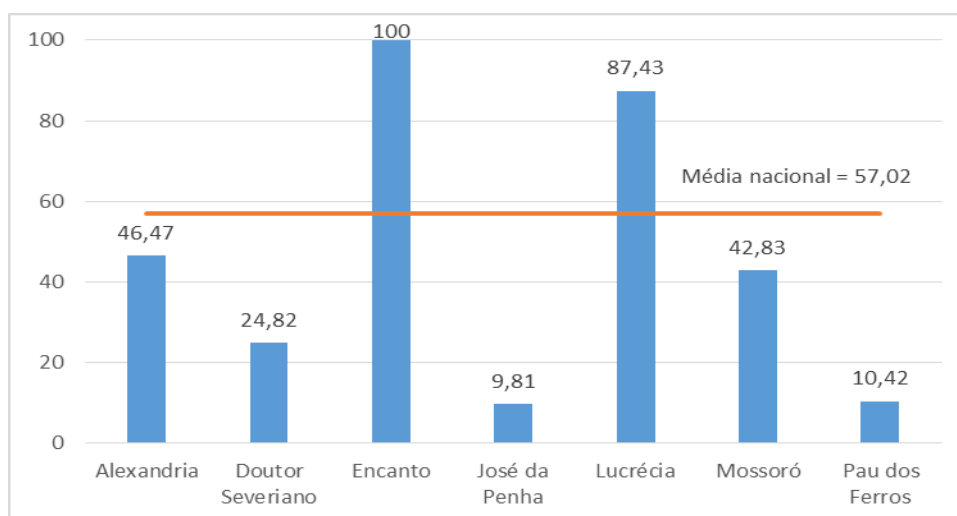
Figura 16 - Índice de coleta de esgoto 2013



Fonte: Autoria própria (2019).

Pode-se verificar na Figura 17 que 2 municípios obtiveram seu índice de coleta de esgoto acima da média nacional em 2016, foram eles: Encanto (100%) e Lucrécia (89,95%). O município de Lucrécia teve seu índice classificado como satisfatório e Encanto como ideal.

Figura 17 - Índice de coleta de esgoto 2016

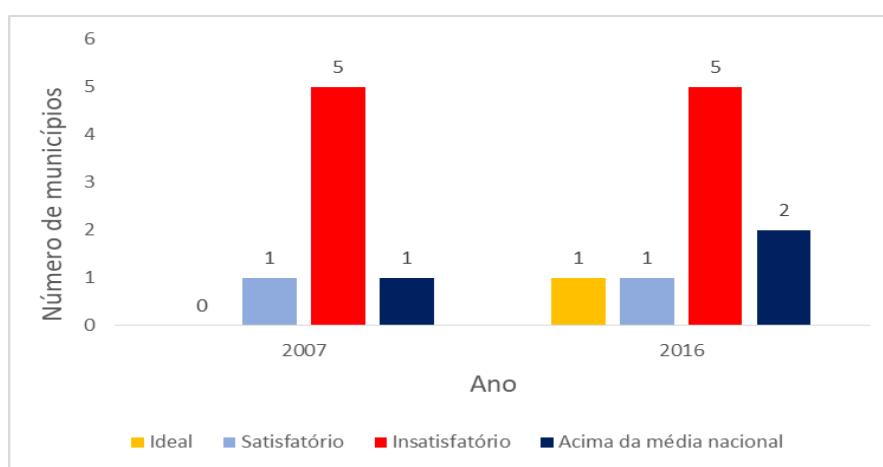


Fonte: Autoria própria (2019).

Caldo e Magalhães Filho (2014), analisaram esse índice na bacia do Alto Paraguai de 2007 a 2012. Em 2007 e 2010, apenas um município de cada bacia apresentaram o índice de coleta de esgoto superior à média nacional, mas, tratando-se de porcentagem, a bacia em estudo apresenta inferioridade, sendo 3,33 e 1,92% dos municípios da bacia do Alto Paraguai e da bacia Apodi-Mossoró, respectivamente.

É possível verificar o avanço do índice de coleta de esgoto de 2007 a 2016 na Figura 18.

Figura 18 – Classificação do índice de coleta de esgoto em 2007 e 2016



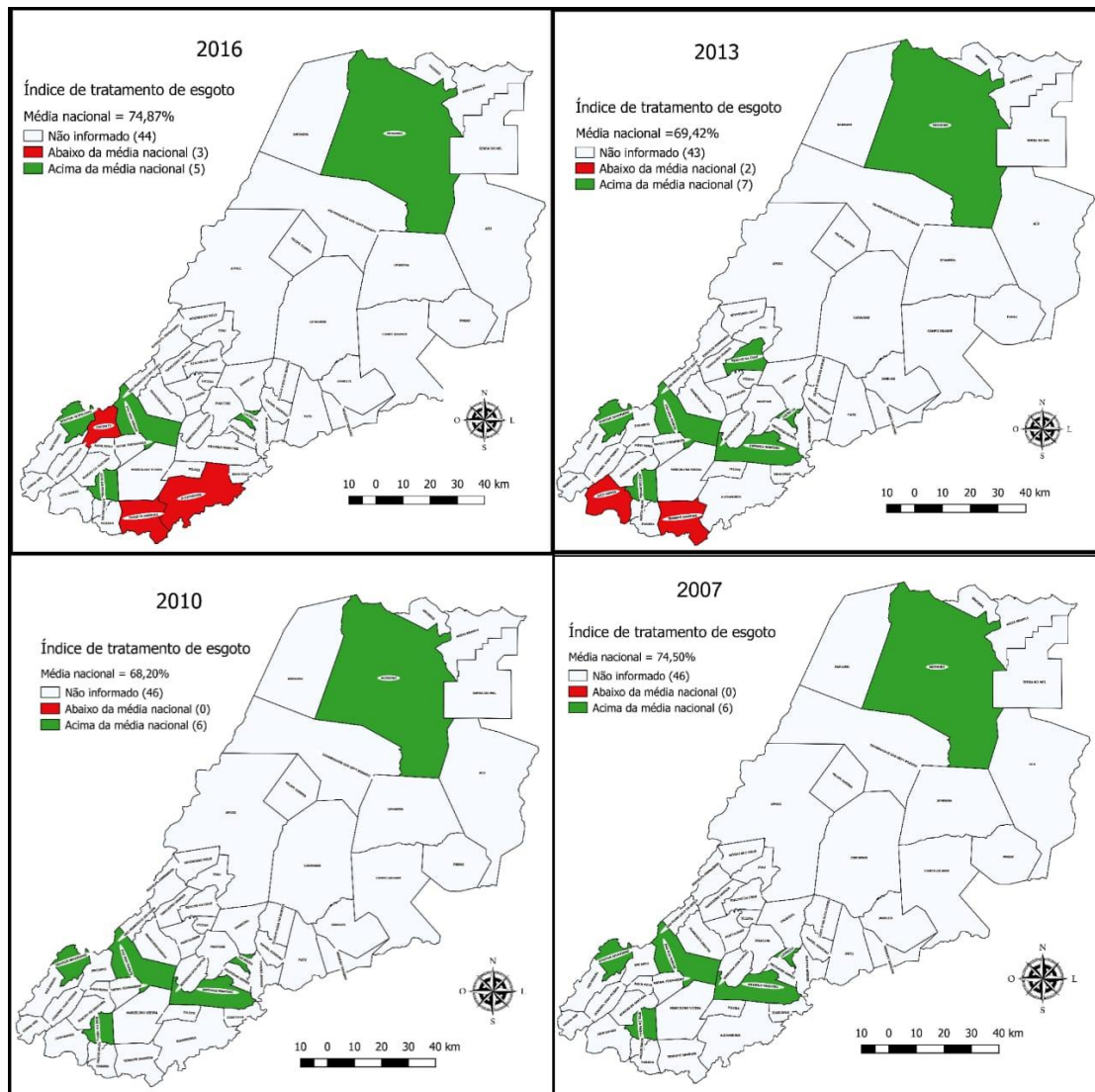
Fonte: Autoria própria (2019).

5.2.2 Índice de tratamento de esgoto

Pode-se verificar, na Figura 19, os resultados dos índices de tratamento de esgoto para os anos 2007, 2010, 2013 e 2016. O índice de tratamento de esgoto monitora o percentual de esgoto coletado que é tratado antes da disposição final.

Analisando a média nacional de 2007 e a de 2016, conforme a Figura 19, este índice praticamente não se alterou, mas, analisando por ano de estudo é possível observar algumas mudanças: de 2007 a 2010 houve uma redução deste índice, passando de 74,50 a 68,20%, respectivamente, de 2013 a 2016 houve um aumento, de 69,42 para 74,87%, respectivamente.

Figura 19 - Índice de tratamento de esgoto



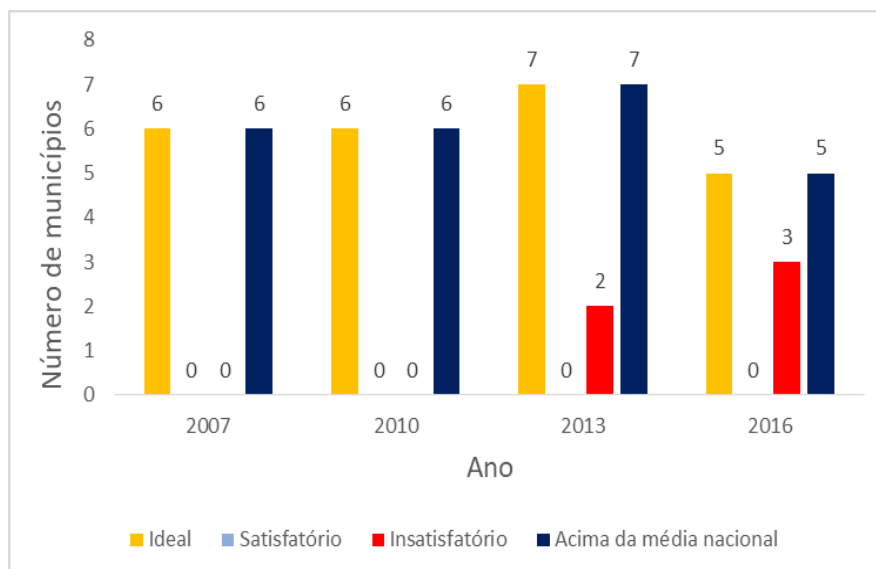
Fonte: Autoria própria (2019).

Sendo assim, o valor deste índice no Brasil nestes anos é considerado como insatisfatório (ARIS, 2015), sendo o mesmo o classifica da seguinte forma: insatisfatório para os valores abaixo de 90%, satisfatório para aqueles que estão contidos no intervalo de valores iguais ou maiores que 90 até 100% e ideal para os resultados iguais a 100%.

Os 6 municípios da bacia Apodi-Mossoró que realizaram a coleta de esgoto, e informaram este dado em 2007, realizaram o tratamento total do esgoto que foi coletado. Dessa forma, todos tiveram o índice classificado como ideal (Figura 20).

Da mesma forma ocorreu em 2010, os 6 municípios da bacia Apodi-Mossoró que realizaram a coleta de esgoto e o informaram, realizaram o tratamento total do esgoto que foi coletado, sendo assim, todos tiveram o índice classificado como ideal (Figura 20).

Figura 20 – Classificação do índice de tratamento de esgoto



Fonte: Autoria própria (2019).

Em 2013, dos 9 municípios da bacia Apodi-Mossoró que realizaram a coleta de esgoto e o informaram, apenas dois municípios não realizaram nenhum tratamento de esgoto, tendo seus índices de tratamento de esgoto classificados como insatisfatórios (Figura 20), já os demais municípios se apresentaram como ideais.

Já em 2016, 3 dos 8 municípios da bacia Apodi-Mossoró que realizaram a coleta de esgoto e o informaram não realizaram nenhum tratamento de esgoto, tendo seus índices de tratamento de esgoto classificados como insatisfatórios (Figura 20). Já os demais municípios tiveram o índice em questão classificado como ideal.

Mesmo com a falta de informação dos dados de esgotamento sanitário na maioria dos municípios, é possível observar o descuido que as concessionárias apresentam com o tratamento de esgoto. Em 2016, 3 municípios que coletaram o esgoto não realizaram o seu tratamento (Figura 20).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de SIG na análise espacial de indicadores contribuiu significativamente para o avanço na compreensão do fenômeno estudado.

O SNIS é uma importante ferramenta de informações sobre saneamento a nível nacional, servindo como uma base de dados indispensável para avaliação de sistemas de abastecimento de água. Entretanto, as informações sobre esgotamento sanitário são tratadas com menor importância, dificultando a análise da atual situação no local em estudo, em qualquer sistema de informações.

A classificação dos indicadores foi importante para se obter o desempenho dos serviços de água e esgoto, servindo de diagnóstico da realidade dessas atividades e, conseqüentemente, dos investimentos ainda insuficientes realizados nestes setores. A média nacional dos indicadores em estudo, geralmente, foi classificada como insatisfatória, servindo como instrumento de comparação com os indicadores dos municípios da bacia para saber se eles atendiam ao menos este critério.

Os indicadores que apresentaram avanço, ou seja, que melhoraram os resultados de 2007 até 2016, foram o índice de atendimento total de água, o de perdas na distribuição, o de hidromedicação e o de coleta de esgoto. Já os indicadores que demonstraram retrocesso foram o índice de macromedicação e o de tratamento de esgoto.

Estes resultados servem de alerta para a gestão dos serviços de água e esgoto, juntamente com o estudo de outras informações e, assim, subsidiam a necessidade de buscar soluções para fornecer melhorias desses serviços de forma integral e satisfatória à população.

É importante que sejam realizados novos estudos para observar o comportamento de outros indicadores de desempenho de água e esgoto, adquirir informações de outros bancos de dados, como também avaliar através de outros métodos. Assim será possível ter uma avaliação ampla da situação dos serviços prestados de abastecimento de água e de esgoto na bacia Apodi-Mossoró.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, H.; BAPTISTA J. M.; CABRERA JR, E. **Performance indicators for water supply services**. Londres: IWA Publishing, 2004. 300 p.

ARAÚJO, A. M. **Análise caracterização da dinâmica da foz do rio Apodi, região de Areia Branca / RN, com base na cartografia temática multitemporal de produtos de sensores remotos**. 2006. 83 f. Tese (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

ARIS – Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento - SC. **Resoluções Normativas e Estudos Técnicos**. Informações disponíveis em: <http://www.aris.sc.gov.br/>.

AUGUSTO, L. G. S. Teoria e prática na ação do sanitarista: a questão da saúde e do ambiente. **Cadernos de Saúde Coletiva**, v. 13, p. 9-26, 2005.

BATISTA, M. E. M.; SILVA, T. C. O modelo ISA/JP – Indicador de performance para diagnóstico do saneamento ambiental urbano. **Eng. sanit. ambient.** vol.11, n. 1, p. 55-64 - jan/mar. 2006.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 5 de jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 11 dez. 2018.

BUHLER, H. F.; IGNOTTI, E.; NEVES, S. M. A. S.; HACON, S. S. Análise espacial de indicadores integrados determinantes da mortalidade por diarreia aguda em crianças menores de 1 ano em regiões geográficas. **Cad. Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10, p. 4131-4140, 2014.

CALDO, L. A.; MAGALHÃES FILHO. SIG aplicado ao uso de indicadores de saneamento em municípios da Bacia do Alto Paraguai. **Embrapa Informática Agropecuária/INPE**, p. 485 – 495, 2014.

COSTA, G.F. **Geoprocessamento: Uso e Aplicação na Saúde Pública e na Saúde Ambiental**. Biblioteca Virtual em Saúde, São Paulo, s.n, 2002. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro1/gt/sustentabilidade_cidades/Giseli%20Fernandes%20da%20Costa.pdf>. Acesso em: 16 Jan. 2019.

GALVÃO JR, A.C.; XIMENES, M. M. A. F. 2008. **Regulação: Normatização da prestação de serviços de água e esgoto**. Disponível em: <<http://abar.org.br/?mdocs-file=47765>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

HINO, P.; VILLA, T. C. S.; SASSAKI, C. M. Geoprocessamento aplicado à área da saúde. **Revista Latino Americana de Enfermagem**, São Paulo, n. 6, p. 939-943, 2006.

LIBÂNIO, P.A.C.; CHERNICHARO, C.A.L.; NASCIMENTO, N.O. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 219-228, 2005.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Geomorfologia e mapeamento temático da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, nordeste do Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 510 – 519, 2012.

Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – Brasília**, 2017.

PINA, M.F. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília: OPAS, 2000. 198 p.

RODRIGUES, M. **Introdução ao Geoprocessamento**. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo: Érica, 1990. p. 1-26.

SEMARH-RN. **Secretaria do meio ambiente e dos recursos hídricos do RN**. Disponível em:

<<http://servicos.semarh.rn.gov.br/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cBaciaDetalhe.asp?CodigoEstadual=01>>. Acesso em: 16 jan. 2019.

SILVA, L. E. F.; NEVES, D. A. de B. Ciência como técnica ou técnica como ciência: nas trilhas da arquivologia e seu status de cientificidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 14., 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2013.

SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S.; CORDEIRO NETTO, O. M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 6. p. 1713-1724, nov/dez, 2002.

TRANSVERSAL. Princípios básicos de geoprocessamento para seu uso em saneamento: nível 2 / Ministério das Cidades. **Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental** (org.). – Brasília: Ministério das Cidades, 2008.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 111-115, dez. 1998.

SILVA, J. X. **Geoprocessamento para a Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2001. 330 p.

ZAHED FILHO, K.; GARCIA, L. A. V.; PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. **Gestão Ambiental e Saneamento – Conflitos com a Urbanização**. Disponível em: <www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=3034>. Acesso em: 10 jan. 2019.