



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

JEYFFESON GOMES FONTES

**ANÁLISE DAS PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NAS
CINCO CIDADES MAIS POPULOSAS DO RN**

CARAÚBAS

2023

JEYFFESON GOMES FONTES

**ANÁLISE DAS PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NAS
CINCO CIDADES MAIS POPULOSAS DO RN**

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

Orientadora: LEONETE CRISTINA DE ARAUJO FERREIRA MEDEIROS SILVA,
Prof. Dra.

CARAÚBAS

2023

© 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.

FF683 Fontes, Jeyffeson.
a Análise das perdas no sistema de abastecimento
de água nas cinco cidades mais populosas do RN /
Jeyffeson Fontes. - 2023.
71 f. : il.

Orientadora: Leonete Cristina de Araujo
Ferreira Medeiros Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2023.

1. perdas de água. 2. gestão hídrica. 3. índices
de perdas. I. Cristina de Araujo Ferreira
Medeiros Silva, Leonete, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

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.

JEYFFESON GOMES FONTES

**ANÁLISE DAS PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NAS
CINCO CIDADES MAIS POPULOSAS DO RN**

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

Defendida em: 11 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



LEONETE CRISTINA DE ARAUJO FERREIRA MEDEIROS SILVA

Data: 25/10/2023 09:51:49-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

LEONETE CRISTINA DE ARAUJO FERREIRA MEDEIROS SILVA, Prof. Dra.
(UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente



BARBARA BARBOSA TSUYUGUCHI

Data: 26/10/2023 01:24:32-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

BÁRBARA BARBOSA TSUYUGUCHI, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



BIANCA ANACLETO ARAUJO DE SOUSA

Data: 26/10/2023 10:33:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

BIANCA ANACLETO ARAÚJO DE SOUSA, Prof. Ma. (UFCG)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero expressar minha profunda gratidão a Deus, por me guiar e me dar forças ao longo desta jornada acadêmica.

À minha querida família, meus pais, minhas irmãs, quero agradecer por seu apoio incondicional durante todos os anos do meu curso. Mesmo à distância, pude sentir a força e o amor que todos vocês me enviavam. Sua presença em minha vida é inestimável, e esta conquista também é de vocês.

À minha amada namorada, Camila Medeiros, quero expressar minha profunda gratidão. Você esteve ao meu lado em todos os momentos, me apoiando e torcendo por minhas vitórias. Mesmo à distância, você se manteve presente em cada passo desta jornada, e isso significou tudo para mim.

À minha dedicada orientadora, Dra. Leonete Cristina, quero agradecer por suportar todos os meus desafios e por compartilhar ensinamentos que levarei para o resto da minha vida. Sua dedicação aos alunos é notável, e sua ajuda foi fundamental quando mais precisei.

À banca avaliadora, quero agradecer pelo aceite em participar e por todos os valiosos ajustes e sugestões que fizeram para melhorar o meu trabalho. Suas contribuições foram essenciais para o aprimoramento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Mesmo desacreditado e ignorado por todos,
não posso desistir, pois para mim, vencer é
nunca desistir.

Albert Einstein

RESUMO

As perdas de água nas redes de distribuição representam um desafio de magnitude considerável para os sistemas de abastecimento de água no Brasil. De acordo com dados de 2022, a região Nordeste do país enfrenta uma taxa de perdas alarmante, ultrapassando os 46%, com o estado do Rio Grande do Norte registrando valores superiores a 50% (SNIS, 2022). Esses dados ressaltam a urgência de encontrar soluções efetivas para mitigar essas perdas e aprimorar a gestão dos recursos hídricos. Diante disso, o presente trabalho tem como propósito investigar os indicadores associados às perdas nos sistemas de abastecimento de água, com foco na análise de uma série histórica de 10 anos abrangendo 5 municípios do Rio Grande do Norte: Macaíba, Mossoró, Natal, Parnamirim e São Gonçalo do Amarante. Para alcançar tais objetivos, a pesquisa adotou uma metodologia rigorosa, que incluiu a coleta de dados de fontes confiáveis, com destaque para o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Os cálculos dos índices foram conduzidos utilizando o software Excel e as fórmulas disponibilizadas pelo SNIS. Os resultados foram sintetizados em um painel de controle, proporcionando uma visão abrangente dos índices de perdas ao longo do tempo e entre os municípios estudados. Os resultados evidenciaram uma heterogeneidade considerável nos índices de perdas entre os municípios analisados. São Gonçalo do Amarante se destacou positivamente, apresentando índices inferiores às médias estaduais e nacionais, enquanto Natal e Mossoró, como os municípios mais populosos do estado, enfrentaram índices críticos acima das médias estaduais e nacionais. Essa disparidade reforça a necessidade existente de aprimorar as estratégias de gestão de perdas de água, visando à redução das mesmas e à utilização mais eficiente dos recursos hídricos. Este estudo contribui substancialmente para a compreensão das perdas de água nos sistemas de abastecimento, fornecendo informações cruciais para a gestão hídrica. As conclusões e análises apresentadas servem como fundamento para futuras iniciativas de redução de perdas e aprimoramento da eficiência no fornecimento de água potável nos municípios analisados, assim como em outras regiões que enfrentam desafios semelhantes. Adotar medidas direcionadas é essencial para enfrentar esse problema crítico e assegurar um uso sustentável dos recursos hídricos em todo o país.

Palavras-chave: Perdas de água. Gestão hídrica. Índices de perdas.

ABSTRACT

Water losses in distribution networks are a major challenge for water supply systems in Brazil. According to 2022 data, the Northeast region of the country faces an alarming loss rate of more than 46%, with the state of Rio Grande do Norte registering figures of more than 50% (SNIS, 2022). This data underlines the urgency of finding effective solutions to mitigate these losses and improve the management of water resources. Against this background, the objective of this study is to investigate the indicators related to losses in water supply systems, focusing on the analysis of a 10-year historical series covering 5 municipalities in Rio Grande do Norte: Macaíba, Mossoró, Natal, Parnamirim and São Gonçalo do Amarante. In order to achieve these objectives, the research adopted a rigorous methodology, which included the collection of data from reliable sources, in particular the National Sanitation Information System (SNIS). The indices were calculated using Excel software and the formulas provided by the SNIS. The results were summarised in a dashboard, providing a comprehensive view of loss rates over time and between the municipalities studied. The results showed considerable heterogeneity in the loss rates between the municipalities analysed. São Gonçalo do Amarante stood out positively, with rates below the state and national averages, while Natal and Mossoró, as the most populated municipalities in the state, faced critical rates above the state and national averages. This disparity highlights the need to improve water loss management strategies to reduce water losses and make more efficient use of water resources. This study makes a significant contribution to the understanding of water losses in supply systems and provides critical information for water management. The conclusions and analyses presented will serve as a basis for future initiatives to reduce losses and improve the efficiency of drinking water supply in the municipalities studied, as well as in other regions facing similar challenges. Targeted action is essential to address this critical issue and ensure sustainable use of water resources throughout the country.

Keywords: Water losses. Water management. Loss rates.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de abastecimento de água.....	20
Figura 2 - Divisão dos tipos de vazamentos	21
Figura 3 - Municípios nas Bacias hidrográficas do estado do RN.	24
Figura 4 - Índice de perdas na distribuição de água (IN049)	25
Figura 5 - Abastecimento de água em Macaíba	26
Figura 6 - Abastecimento de água em Mossoró	27
Figura 7 - Mapa da Região Metropolitana de Natal (RMN)	28
Figura 8 - Abastecimento de água em Natal.....	30
Figura 9 - Fluxograma de abastecimento da Zona Norte	31
Figura 10 - Fluxograma metodologia da pesquisa	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: IN013 - Índice de perdas de faturamento de Macaíba	37
Gráfico 2: IN049 - Índice de perdas na distribuição de Macaíba.....	38
Gráfico 3: IN050 - Índice bruto de perdas lineares de Macaíba.....	39
Gráfico 4: IN051- Índice de perdas por ligação de Macaíba.....	40
Gráfico 5: IN013 - Índice de perdas de faturamento de Mossoró	41
Gráfico 6: IN049 - Índice de perdas na distribuição de Mossoró.....	42
Gráfico 7: IN050 - Índice bruto de perdas lineares de Mossoró	43
Gráfico 8: IN051- Índice de perdas por ligação de Mossoró	44
Gráfico 9: IN013 - Índice perdas de faturamento de Natal	45
Gráfico 10: Índice de perdas na distribuição de Natal.....	46
Gráfico 11: Índice bruto de perdas lineares de Natal	47
Gráfico 12: Índice de perdas por ligação de Natal	47
Gráfico 13: Índice de perdas de faturamento de Parnamirim.....	49
Gráfico 14: IN049 - Índice de perdas na distribuição de Parnamirim.....	51
Gráfico 15: IN050 - Índice bruto de perdas lineares de Parnamirim.....	52
Gráfico 16: IN051 - Índice de perdas por ligação de Parnamirim.....	53
Gráfico 17: IN013 - Índice de perdas de faturamento de São Gonçalo do Amarante.....	55
Gráfico 18: IN049 - Índice de perdas na distribuição	56
Gráfico 19: IN050 - Índice bruto de perdas lineares de São Gonçalo do Amarante	57
Gráfico 20: IN051 - Índice de perdas por ligação de São Gonçalo do Amarante	58
Gráfico 21: IN013 - Índice de perdas faturamento dos 5 municípios em 2021.....	59
Gráfico 22: IN049 - Índice de perdas na distribuição dos 5 municípios em 2021	61
Gráfico 23: IN050 - Índice bruto de perdas lineares dos 5 municípios em 2021	61
Gráfico 24: IN051 - Índice de perdas por ligação dos 5 municípios em 2021	63
Gráfico 25: IN013 - Índice de perdas faturamento, Série histórica.....	68
Gráfico 26: IN049 - Índice de perdas na distribuição, Série histórica	69
Gráfico 27: IN050 - Índice de bruto de perdas lineares, Série histórica	70
Gráfico 28: IN051 - Índice de perdas por ligação, Série histórica	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Balanço hídrico das perdas.....	21
Quadro 2 - Perdas Reais por etapas de um SAA	22
Quadro 3 - Fatores influenciadores das perdas aparentes.....	23
Quadro 4 - Índice de perdas de água disponível no SNIS	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESBE	Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento
AG002	Quantidade de ligações ativas de água
AG005	Extensão da rede de água
AG006	Volume de água produzido
AG010	Volume de água consumido
AG011	Volume de água faturado
AG018	Volume de água tratada importado
AG024	Volume de serviço
ARSBAN	Agência Reguladora de Serviços de Saneamento Básico do Município de Natal
Bel	Bacharel
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
Dra	Doutora
Esp	Especialista
ETA	Estação de Tratamento de Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IES	Instituição de Ensino Superior
IN013	Índice de perdas de faturamento
IN049	Índice de perdas na distribuição
IN050	Índice bruto de perdas lineares
IN051	Índice de perdas por ligação
Ma	Mestra
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
Prof(a)	Professor(a)
RMN	Região Metropolitana de Natal
RN	Rio Grande do Norte
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

LISTA DE SÍMBOLOS

@	Arroba
\$	Cifrão
©	Copyright
Lig	Ligação
L	Litro
®	Marca registrada
m ³	Metro cúbico
%	Porcentagem
Km	Quilômetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.1	Objetivos específicos.....	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	GESTÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO...19	
3.1.1	Perdas de água	20
3.1.1.1	Perdas Reais.....	21
3.1.2.1	Perdas Aparentes	22
3.2	Perdas de água no Rio Grande do Norte.....	23
3.3	Empresa responsável pelo sistema de abastecimento.....	25
3.4	Município de Macaíba.....	26
3.5	Município de Mossoró.....	26
3.6	Município de Natal	28
3.7	Município de Parnamirim	30
3.8	Município de São Gonçalo do Amarante.....	31
3.9	Índices de perdas	32
3.9.1	Índice de perdas de faturamento	32
3.9.2	Índice de perdas na distribuição	32
3.9.3	Índice bruto de perdas lineares	32
3.9.4	Índice de perdas por ligação	32
4	METODOLOGIA.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1	Análise da Série histórica do município de Macaíba	37
5.1.1	IN013 – Índice de perdas faturamento	37
5.1.2	IN049 – Índice de perdas na distribuição	38
5.1.3	IN050-índice bruto de perdas lineares.....	39
5.1.4	IN051-índice de perdas por ligação.....	39
5.2	Análise da série histórica de Mossoró.....	41
5.2.1	IN013 – Índice de perdas faturamento	41
5.2.2	IN049 – Índice de perdas na distribuição	42

5.2.3	IN050-índice bruto de perdas lineares.....	43
5.2.4	IN051-índice de perdas por ligação.....	44
5.3	Análise da Série histórica de Natal	45
5.3.1	IN013- Índice de perdas faturamento	45
5.3.2	IN049 – Índice de perdas na distribuição	45
5.3.3	IN050 – Índice bruto de perdas lineares.....	46
5.3.4	IN051 – Índice de perdas por ligação.....	47
5.4	Análise da Série histórica de Parnamirim.....	48
5.4.1	IN013 – Índice de perdas faturamento	48
5.4.2	IN049 – Índice de perdas na distribuição	50
5.4.3	IN050 – Índice bruto de perdas lineares.....	51
5.4.4	IN051- Índice de perdas por ligação.....	53
5.5	Análise da Série histórica de São Gonçalo do Amarante.....	54
5.5.1	IN013 – Índice de perdas faturamento	54
5.5.2	IN049 – Índice de perdas na distribuição	55
5.5.3	IN050 – Índice bruto de perdas lineares.....	56
5.5.4	IN051 – Índice de perdas por ligação.....	57
5.6	Comparativo entre os 5 municípios no ano de 2021	58
5.6.1	IN013 – Índice de perdas faturamento dos 5 municípios em 2021	58
5.6.2	IN049 – Índice de perdas na distribuição dos 5 municípios em 2021	60
5.6.3	IN050 – Índice bruto de perdas lineares dos 5 municípios em 2021.....	61
5.6.4	IN051 – Índice de perdas por ligação dos 5 municípios em 2021.....	62
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICE A – DASHBOARD DOS 5 MUNICÍPIOS ESTUDADOS AO LONGO DE 10 ANOS.	68

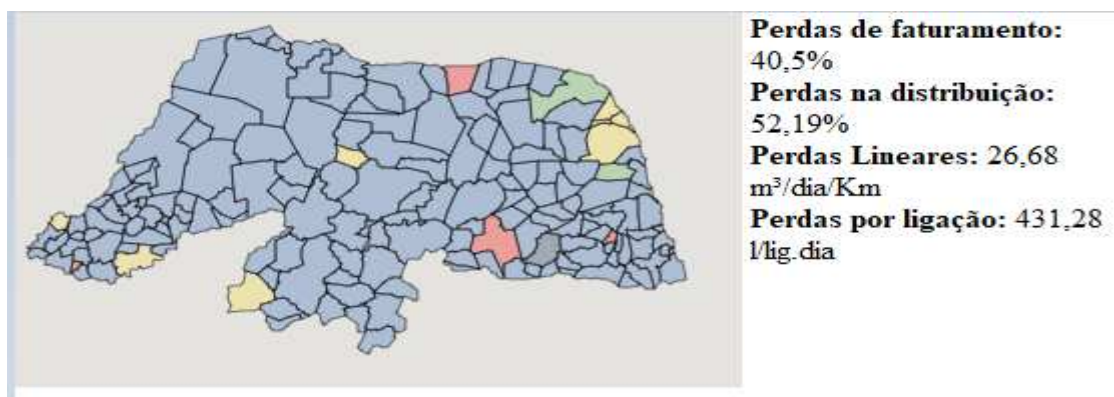
1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as perdas de água nas redes de distribuição representam um desafio imenso para os sistemas de abastecimento do Brasil. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2022, a região Nordeste do Brasil enfrentou uma taxa de perdas superior a 46% em suas redes de distribuição, já no estado do Rio Grande do Norte chegou-se a valores superiores a 50%. A gravidade desses dados mostra a necessidade de buscar soluções efetivas, com o intuito de reduzir as perdas e garantir uma melhor gestão dos recursos hídricos (SNIS, 2022).

O Rio Grande do Norte, com uma área territorial de 52,809,599 km², abriga uma população de aproximadamente 3,3 milhões de habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 62,53 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022). O abastecimento de água no estado é gerenciado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), de acordo com informações da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA, 2022). A CAERN opera 165 sistemas de abastecimento de água distribuídos em 152 sedes de municípios e 13 localidades (CAERN, 2023).

No âmbito dos sistemas gerenciados pela CAERN, as perdas de água no RN apresentam um desafio significativo. De acordo com dados de 2021, o cenário das perdas nos sistemas da CAERN é preocupante. As perdas por faturamento atingiram a marca de 40,5%, demonstrando uma parcela substancial de água que não se traduz em receita para a companhia. Além disso, as perdas na distribuição foram ainda mais expressivas, alcançando 52,19% do volume total de água tratada. Adicionalmente, as perdas lineares e por ligação foram igualmente notáveis, com 26,68 metros cúbicos por dia por quilômetro e 431,28 litros por ligação por dia, respectivamente, como mostrado no Mapa 1. (SNIS, 2022).

Mapa 1 - Panorama de perdas de água do Rio Grande do Norte



Fonte: Adaptado SNIS (2021).

Para compreender as causas que levam as perdas nos sistemas de abastecimento de água, é necessário considerar algumas etapas do processo, iniciando desde a captação até a rede de distribuição. Nesse contexto, um dos principais fatores é a falta de manutenção das redes de distribuição, podendo ocasionar vazamentos e rupturas. Vale salientar que fraudes e furtos também estão presentes, representando uma quantidade significativa das perdas nos sistemas de abastecimento (PORTELA; COSTA; CORREIA, 2023).

As perdas de água frequentemente são responsáveis pela saúde financeira de um prestador de serviços de saneamento básico, com seus efeitos diretamente ligados à capacidade de alcançar resultados positivos ou negativos em relação ao faturamento e ao lucro líquido, além de outros fatores correlatos. Portanto, tais perdas devem ser identificadas e reduzidas utilizando todas as ferramentas e recursos disponíveis (PHILIPPI JR; GALVÃO JR, 2012). Diante disso, esta pesquisa visa preencher uma lacuna fundamental no entendimento e na gestão das perdas de água nos sistemas de abastecimento, oferecendo uma visão ampla das perdas nos municípios do RN, que podem orientar políticas e práticas mais eficazes no setor de saneamento básico, visando um uso mais sustentável da água e uma gestão financeira mais sólida para os prestadores de serviços.

Este estudo se propôs a investigar os indicadores relacionados às perdas nos sistemas de abastecimento de água, buscando analisar a série histórica dos municípios selecionados ao longo dos anos de 2011 à 2021.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma análise das perdas de água através dos índices de perdas de água nos sistemas de abastecimento dos cinco municípios mais populosos do Rio Grande do Norte (Macaíba, Mossoró, Natal, Parnamirim e São Gonçalo do Amarante) ao longo de um período de 2011 a 2021.

2.1 Objetivos específicos

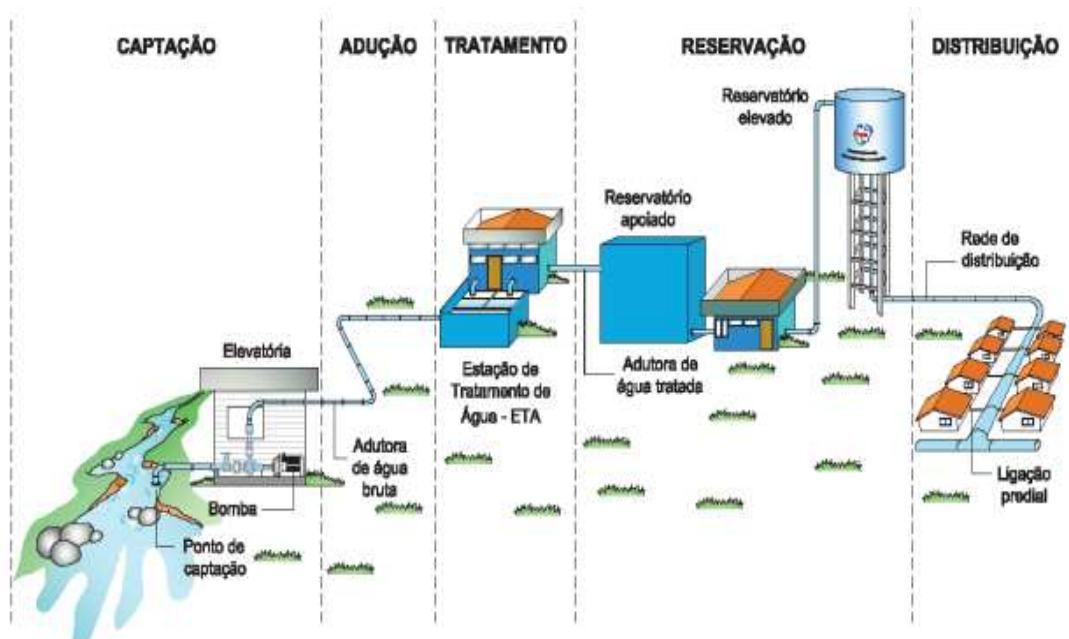
- Comparar os índices de perdas dos municípios estudados com os panoramas regional e nacional, a fim de contextualizar os resultados e identificar desafios específicos enfrentados pelos municípios do RN.
- Investigar a variação do índice bruto de perdas lineares (IN050) em cada município ao longo do período de análise, destacando quais municípios apresentaram melhorias significativas.
- Avaliar as tendências históricas dos índices de perdas na distribuição (IN049) nos cinco municípios.
- Analisar a evolução dos índices de perdas de faturamento (IN013) em cada um dos municípios selecionados durante o período de estudo.
- Ponderar o comportamento do índice de perdas por ligação (IN051) nos municípios selecionados, identificando variações e fatores associados a essas variações.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 GESTÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

A administração dos recursos hídricos representa um desafio ambiental de extrema relevância que a humanidade vem enfrentando nos últimos anos. A sustentabilidade da água, no entanto, é fundamental para a execução de vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles relacionados à erradicação da pobreza, saúde e bem-estar, e está intrinsecamente ligada a todos eles. A disponibilidade de água desempenha um papel vital na garantia da segurança alimentar e energética, no fomento do crescimento econômico e no sustento das comunidades. No entanto, os recursos de água doce estão sob crescente pressão devido ao aumento da população global e ao incremento das atividades econômicas, o que, por sua vez, aumenta a maior concorrência de conflitos potenciais pela utilização dos recursos limitados de água doce (KHANLAWIA; GONZAGA CHILOLE; CRISTÓVÃO, 2022).

O sistema de abastecimento de água é um conjunto de componentes operacionais que engloba desde a fonte de água até o consumidor final. Esse sistema pode ser adaptado de acordo com as necessidades específicas de cada localidade, o que determina as ações necessárias para sua instalação, gestão e operação, incluindo processos de manutenção e diagnóstico orientados por indicadores cruciais para seu pleno funcionamento. A Figura 1 demonstra um exemplo geral do sistema de abastecimento de água no Brasil, esse sistema passa por diversas etapas que asseguram a sua operação, resultando na entrega do produto final após diversos processos intermediários, a partir da captação da água no seu estado natural, tendo em consideração a sua disponibilidade (BRASIL, 2015).

Figura 1 - Sistema de abastecimento de água

Fonte: BRASIL (2015).

3.1.1 Perdas de água

Entenda-se por perda de água a discrepância entre a quantidade de água disponível para distribuição e o consumo autorizado pelo sistema. Essas perdas são uma realidade ao longo de todo o processo de abastecimento de água, desde a sua coleta até a entrega final aos consumidores, e em muitos casos, essas perdas podem representar uma parcela significativa em comparação com o volume total consumido. A grande parte desse problema decorre de vazamentos, o que torna ainda mais exigente o controle e a implementação de medidas para mitigar essas perdas (BRASIL, 2021).

No Quadro 1, são apresentados os diferentes tipos de perdas que fazem parte do padrão internacional de balanço hídrico do sistema de abastecimento de água. A ferramenta de balanço hídrico distingue dois tipos de perdas. Essas categorias abordam momentos diferentes em que ocorrem perdas de água no sistema. No primeiro cenário, denominado perdas aparentes, a água efetivamente chega ao consumidor final, mas não é medida devido a fatores como fraudes ou imprecisões nos medidores, por exemplo. No segundo caso, representando as perdas reais, ocorrem durante o trajeto da água desde sua saída das estações de tratamento até sua chegada ao usuário, sendo provocadas principalmente por vazamentos.

Quadro 1 - Balanço hídrico das perdas

Perda de água	Perdas não-físicas (Aparentes)	Consumo não autorizado Imprecisão de medição
	Perda físicas (Reais)	Vazamento e extravasamento em reservatório Vazamento em adutoras e redes Vazamento em ramais

Fonte: Adaptado Funasa (2014)

3.1.1.1 Perdas Reais

As perdas reais referem-se à porção de água que se extravasa em algum momento durante o processo de distribuição, tornando-se inacessível para o consumo pela população, pois não alcança os pontos de abastecimento nas residências e estabelecimentos. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), essas perdas também são conhecidas por perdas físicas (SNIS, 2019).

As perdas reais ou físicas abrangem uma ampla gama de potenciais vazamentos em um Sistema de Abastecimento de água (SAA), desde o ponto de captação da água bruta até o ponto de entrega aos consumidores. Esses vazamentos são geralmente categorizados em vazamentos visíveis e não-visíveis, sendo que os não-visíveis podem ser subdivididos em detectáveis e não-detectáveis conforme mostrado na Figura 2. Os vazamentos visíveis são aqueles que são prontamente perceptíveis tanto para a população quanto para os profissionais das empresas de saneamento, uma vez que se manifestam na superfície, sendo visíveis a olho nu (SANTOS, 2013).

Figura 2 - Divisão dos tipos de vazamentos

Fonte: Guia prático AESBE (2015).

Em cada fase do SAA, é possível encontrar diferentes tipos de perdas reais, conforme ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Perdas Reais por etapas de um SAA

Perdas Reais (Físicas)	Subsistemas	Origens	Magnitudes
	Adução de Água Bruta	Vazamento nas tubulações Limpeza do poço de sucção*	Variável, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Tratamento	Vazamentos estruturais Lavagem de filtros* Descarga de lodo*	Significativa, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Reserva	Vazamentos estruturais Extravasamentos Limpeza*	Variável, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Adução da Água Tratada	Vazamentos nas tubulações Limpeza do poço de sucção* Descargas	Variável, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Distribuição	Vazamentos na rede Vazamentos em ramais Descargas	Significativa, em função do estado das tubulações e principalmente das pressões

*Considera-se perdido apenas o volume excedente ao necessário para a operação.

Fonte: MDR (2003, *apud* Trata Brasil 2020).

Por outro lado, os vazamentos não-visíveis são aqueles que requerem o uso de métodos de detecção acústica para serem identificados, o que geralmente implica em um período de ocorrência mais prolongado antes de sua detecção. Vazamentos não-detectáveis, também conhecidos como vazamentos inerentes, são aqueles que não podem ser identificados por meio de equipamentos de detecção acústica convencionais devido às suas baixas taxas de vazão. Esses vazamentos ocorrem geralmente em pontos de junção ou conexão da rede de abastecimento de água, e a aplicação de métodos acústicos mais avançados não é justificada do ponto de vista econômico. (SANTOS, 2013; AESBE, 2015).

3.1.2.1 Perdas Aparentes

Segundo o Relatório de Avaliação dos Serviços de Água e Esgoto em 2019, produzido pelo SNIS, as perdas aparentes, também conhecidas como perdas não físicas ou comerciais,

dizem respeito ao volume de água que foi efetivamente utilizado pelo consumidor, mas não foi devidamente registrado ou mensurado por algum motivo, resultando em uma diminuição na receita para o provedor de serviços (SNIS, 2019).

As perdas aparentes decorrem de uma série de causas, incluindo imprecisões nos micros medidores devido a submedição, erros na aferição das leituras, a presença de hidrômetros antigos ou com falhas operacionais, questões relacionadas à inadequação do cadastro comercial dos consumidores e ainda, fraudes decorrentes de ligações clandestinas ou irregulares realizadas pelos próprios usuários (FERREIRA, 2022). O Quadro 3 apresenta os principais elementos que exercem influência sobre as perdas aparentes nos SAA.

Quadro 3 - Fatores influenciadores das perdas aparentes

Perdas Aparentes (Comerciais)	Origens	Magnitudes
	Ligações clandestinas/irregulares	Podem ser significativas, dependendo de: i. procedimentos cadastrais e de faturamento; ii. manutenção preventiva; iii. adequação de hidrômetros; e iv. monitoramento do sistema.
	Ligações sem hidrômetros	
	Hidrômetros parados	
	Hidrômetros que subestimam o volume consumido	
	Ligações inativas reabertas	
	Erros de leitura	
	Número de economias errado	

Fonte: Ministério das Cidades (2003, *apud* TRATA BRASIL, 2020)

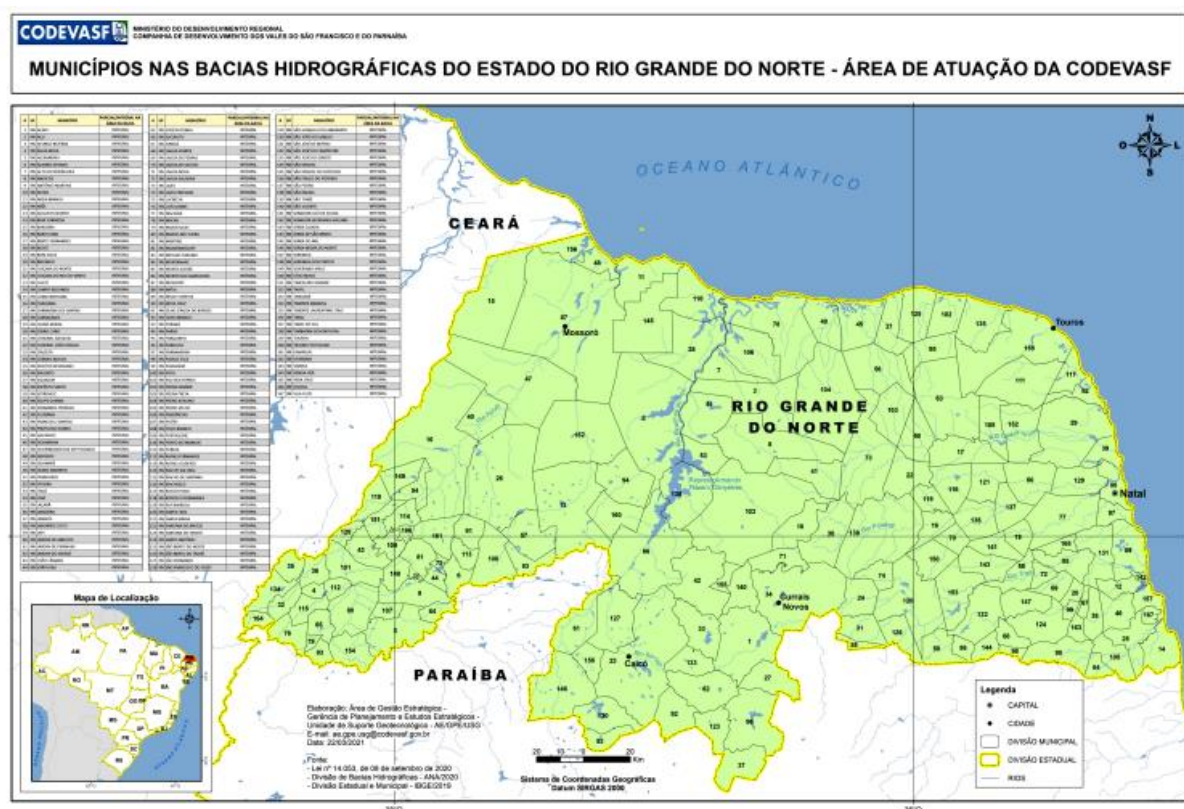
3.2 Perdas de água no Rio Grande do Norte

O Estado do Rio Grande do Norte está localizado na região Nordeste do Brasil, ocupando uma área territorial de 52.797 km², o que o coloca como 22º maior estado do país em extensão territorial. Geograficamente, faz fronteira ao oeste com o estado do Ceará e ao sul com a Paraíba. Composto por 167 municípios, os quais se subdividem em 11 regiões geográficas imediatas definidas pelo IBGE, as quais, por sua vez, fazem parte de três regiões geográficas intermediária: Natal, Caicó e Mossoró. O bioma predominante em seu território é a Caatinga (IBGE, 2022).

No contexto do Rio Grande do Norte, foram identificadas um total de 14 bacias hidrográficas, cada uma delas apresentando características únicas em termos de morfologia,

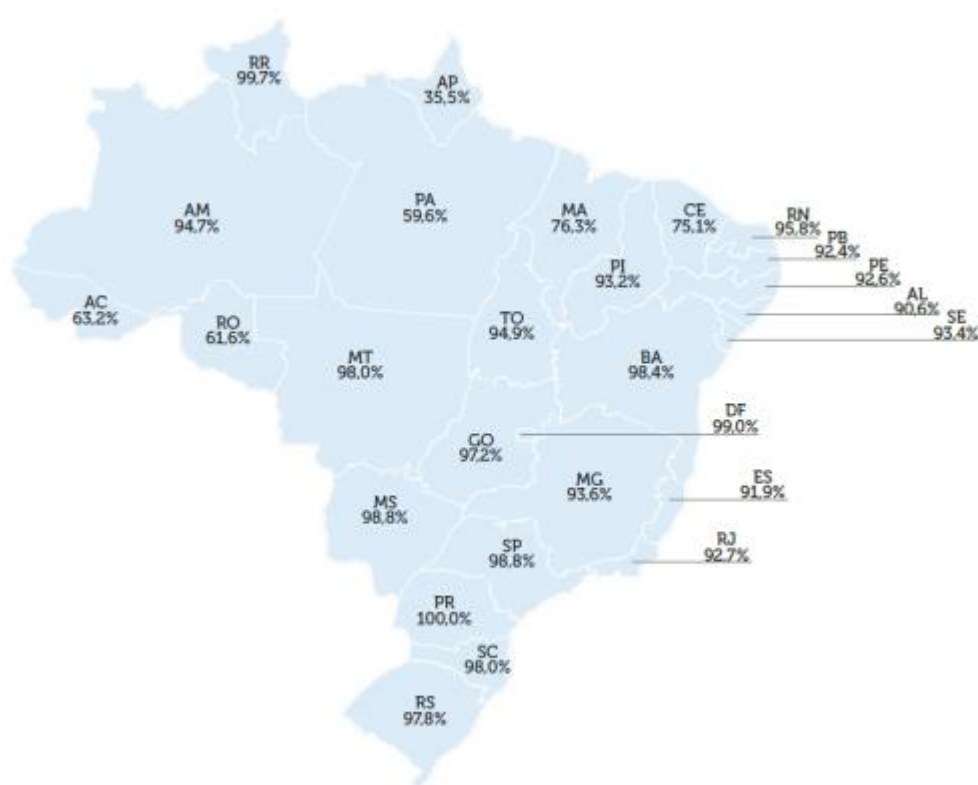
área de drenagem e localização pluvial. O estado está inserido na bacia hidrográfica do Atlântico Norte Oriental, e entre seus principais cursos d'água, destacam-se os rios Piranhas-Açu, Apodi-Mossoró, Potengi, Trairi, Curimataú, Seridó e Jacu. As bacias hidrográficas do RN estão sob jurisdição da Administração Central da Codevasf conforme ilustrado na Figura 3 (SILVA; TROLEIS, 2020).

Figura 3 - Municípios nas Bacias hidrográficas do estado do RN.



Fonte: Codevasf/IBGE, 2021

O índice de perdas na distribuição de água (IN049) mensura o volume de água distribuído que é perdido até a apuração do volume consumido pelos usuários. Não há um sistema de distribuição de água que não apresente perdas, assim, é essencial que o planejamento e a gestão da operação se concentrem na minimização dessas perdas. Conforme os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2020, o índice de perdas no Brasil é de 40,1%, ou seja, a cada 100 litros disponibilizados pelos prestadores de serviço, apenas 59,9% são registrados como efetivamente consumidos pelos usuários. No estado do RN, essa porcentagem foi ainda mais expressiva, chegando 51,4%, o que significa que mais da metade dessa água não é consumida pela população (Figura 4).

Figura 4 - Índice de perdas na distribuição de água (IN049)

Fonte: SNIS, 2020.

3.3 Empresa responsável pelo sistema de abastecimento

A Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), estabelecida em 1969, tem como sua principal atribuição a prestação de serviços públicos relacionada ao abastecimento de água potável e ao tratamento de esgoto em todo o território do estado do Rio Grande do Norte. Além disso, sua missão institucional inclui o compromisso de contribuir significativamente para a elevação da qualidade de vida da população atendida (CAERN, 2022).

Em alguns municípios, a CAERN costumava se concentrar exclusivamente no abastecimento de água, mas recentemente assumiu a responsabilidade pelo tratamento de esgoto, possivelmente devido à implementação do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) nessas localidades. Em outros municípios, houve uma mudança de prestador de serviços, geralmente da CAERN para o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Além disso, alguns municípios contam com serviços prestados por ambos os provedores (SNIS, 2020).

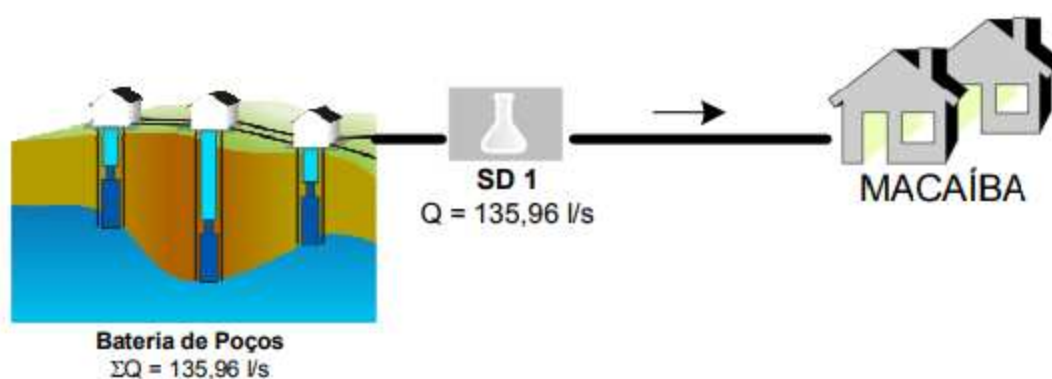
A empresa presta serviços em 152 municípios e 02 distritos (Pipa e Pirangi), dos 167 que compõem o Rio Grande do Norte, incluindo também 42 com esgotamento sanitário. Para atender a todas as localidades assistidas pela empresa, a Diretora de Operação e Manutenção distribuiu sedes regionais em diferentes áreas do estado (CAERN, 2022).

3.4 Município de Macaíba

O município de Macaíba, criado pela Lei nº 801 em 27 de novembro de 1977, possui uma rica história de desenvolvimento, influenciada pelo ciclo da cana-de-açúcar, que levou a um estágio de progresso superior ao da própria capital estadual. Localizada a apenas 14 km da cidade de Natal, Macaíba desempenha um papel estratégico, fazendo fronteira com vários municípios e se destacando como um centro de busca por serviços e recursos para as comunidades circundantes, contribuindo significativamente para a região (IDEMA, 2013).

Em relação aos recursos hídricos do município, temos os superficiais, representados por três bacias hidrográficas distintas: os rios Pirangi, Potengi (onde se encontra o rio Jundiá) e Trairi (considerando apenas o divisor das águas e seu desnível). Além disso, o município possui recursos hídricos específicos, compreendendo três aquíferos notáveis: o aquífero Barreiras, o aquífero Aluvião e o aquífero Cristalino conforme ilustrado na imagem 5 (FUNCERN, 2019).

Figura 5 - Abastecimento de água em Macaíba



Fonte: ANA, 2021.

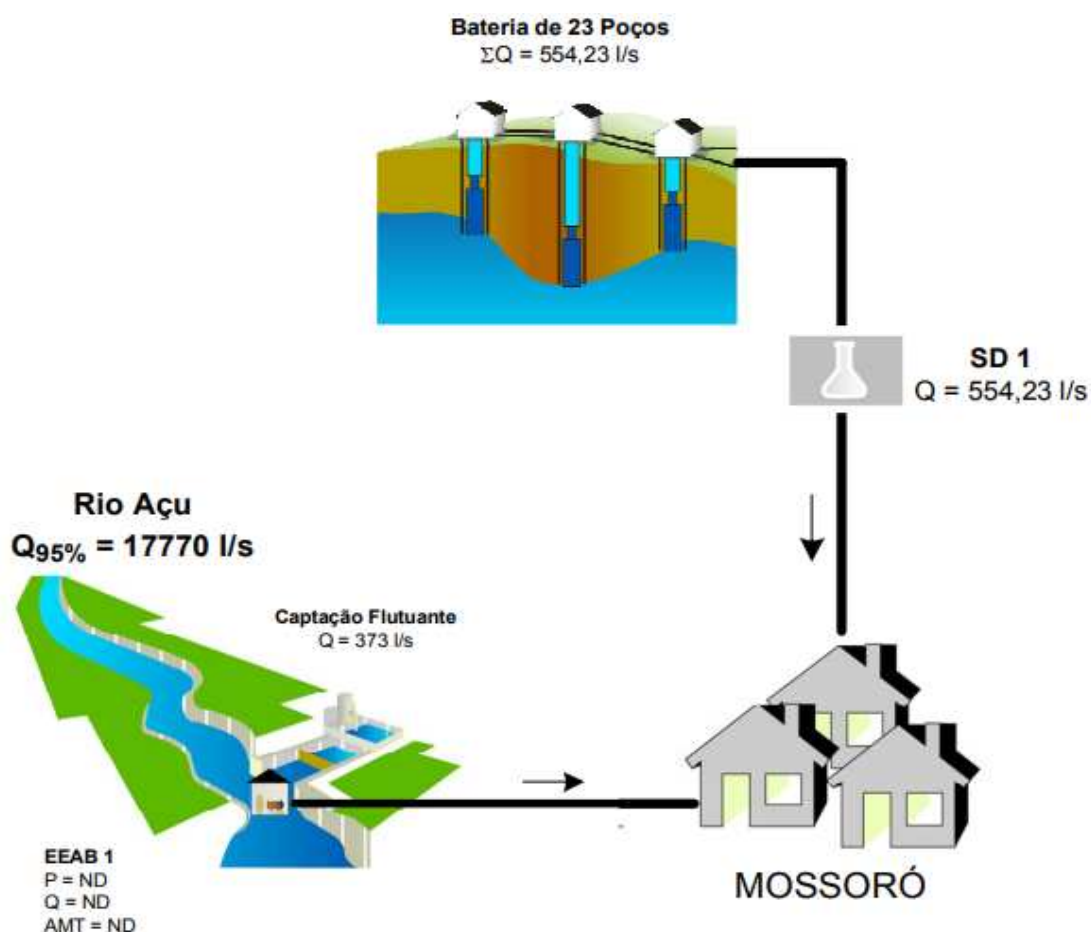
De acordo com o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2022, o município possui uma população de 82.212 habitantes. O município abrange uma área total de 510 km², correspondendo a cerca de 0,92% da superfície do estado. Esses dados resultam em uma densidade demográfica de 161,17 habitantes por quilômetro quadrado em 2022 (IBGE, 2022).

3.5 Município de Mossoró

O município de Mossoró, localizado no interior do estado do Rio Grande do Norte, na Mesorregião Oeste Potiguar, destaca-se por sua extensão territorial, abrangendo uma área total de 2.099,334 km². Com essa vasta extensão, Mossoró é o maior município do estado em termos de área territorial. Segundo os dados estatísticos urbanos do IBGE, censo, 2022, Mossoró possui uma população que ultrapassa os 264 mil habitantes (IBGE, 2022).

De acordo com as informações fornecidas pelo setor de abastecimento da CAERN em Mossoró, o sistema de fornecimento de água no município é adequado para atender à demanda específica local. Este sistema é abastecido tanto por meio de poços profundos quanto de mananciais, utilizando uma adutora. Destaca-se que, devido à abundância e alta qualidade da água subterrânea na região, a principal fonte de abastecimento é proveniente de poços conforme mostrado na Figura 6. A adutora é acionada somente em situações de emergência ou quando ocorre algum problema relacionado à operação dos poços. Em média, 75% da demanda de água da companhia é atendida por poços, enquanto os 25% restantes são supridos pela adutora (CAERN, 2020).

Figura 6 - Abastecimento de água em Mossoró



Fonte: Adaptado ANA, 2021.

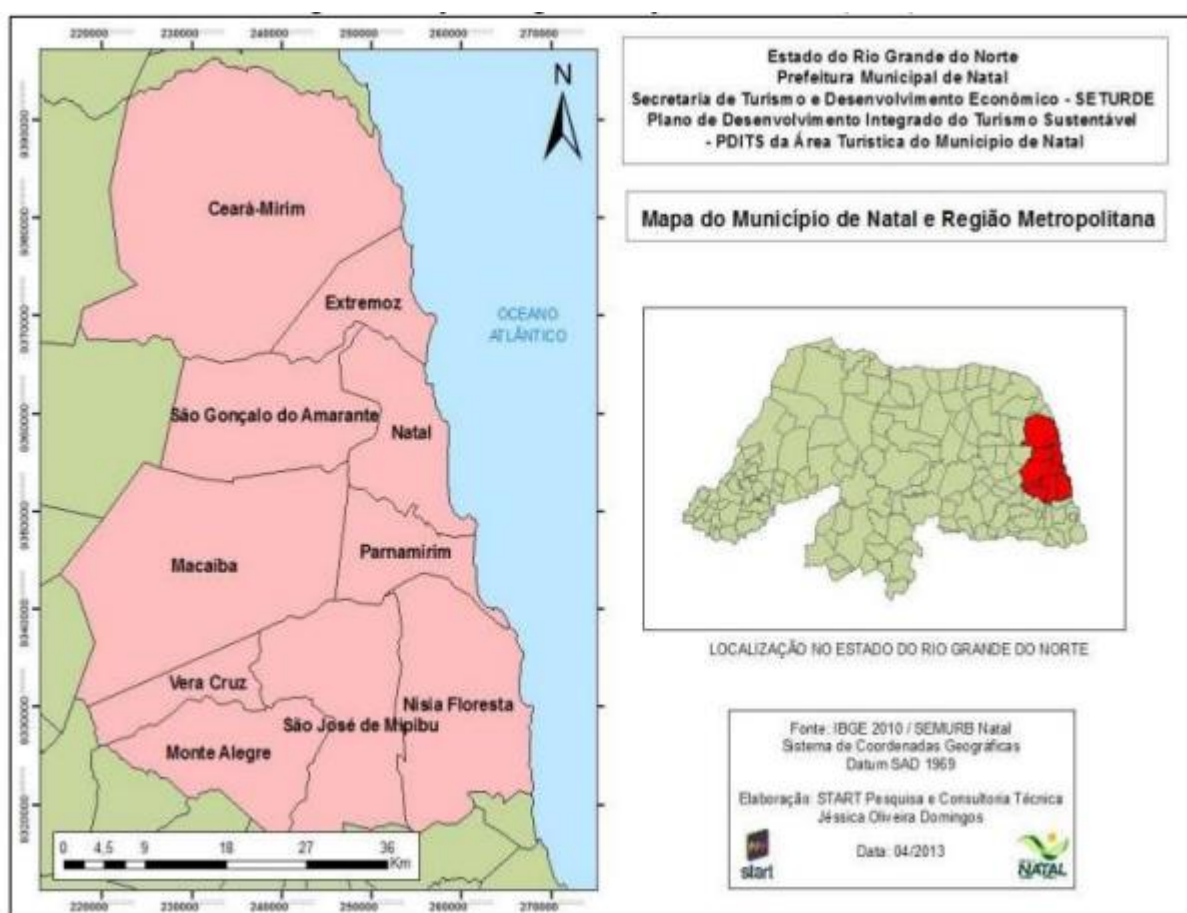
O principal método de captação de águas subterrâneas em Mossoró é através de poços tubulares. Na zona urbana deste município, observa-se uma ampla variação na profundidade desses poços, com alguns deles apresentando pouca profundidade, atingindo cerca de 7 metros, enquanto outros alcançam profundidades muito maiores, chegando a atingir até 1.071 metros. Aproximadamente 48% dos poços estão situados em profundidades que variam entre 7 e 200 metros, enquanto outro grupo específico se encontra em profundidades mais

específicas, na faixa de 801 a 1.000 metros. Em resumo, existe uma grande diversidade na profundidade dos poços tubulares utilizados para a coleta de águas subterrâneas em Mossoró (PEIXOTO et al., 2021).

3.6 Município de Natal

O município de Natal está situado e desempenha um papel de maior influência na Região Metropolitana de Natal (RMN), que abrange os seguintes municípios: Ceará-Mirim, São Gonçalo do Amarante, Extremoz, Monte Alegre, Nísia Floresta, Macaíba, Parnamirim, São José de Mipibu e Vera Cruz, conforme dados do IBGE de 2022. Na Figura 7, encontra-se um esquema que apresenta a identificação e a localização da Região Metropolitana de Natal.

Figura 7 - Mapa da Região Metropolitana de Natal (RMN)



Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL (2015)

De acordo com os dados do IBGE (2022), a cidade possui uma população estimada de cerca de 751 mil habitantes, distribuídas em uma área territorial de aproximadamente 167.401 km². É relevante ressaltar que Natal é exclusivamente um município de zona urbana, não possuindo, de acordo com a legislação, território rural. Geograficamente, o município é limitado ao norte e nordeste pela cidade de Extremoz, ao sul por Parnamirim, a oeste por São

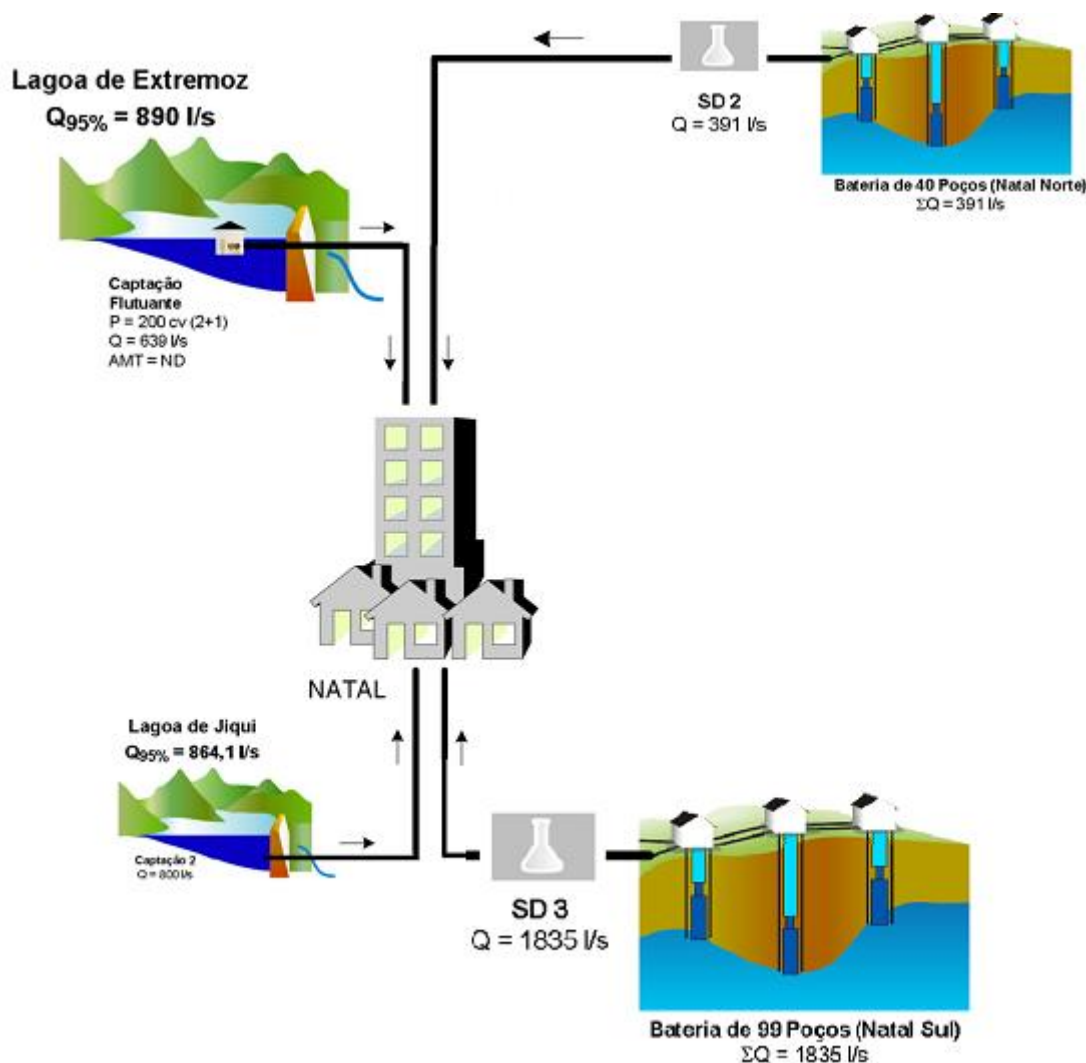
Gonçalo do Amarante, a sudoeste por Macaíba e está situado à beira do oceano Atlântico a leste.

Conforme a legislação em vigor, o município de Natal detém a titularidade dos serviços de saneamento do seu território, e a responsabilidade pela fiscalização e regulação desses serviços, relacionada ao abastecimento de água e esgotamento sanitário, recai sobre a Agência Reguladora de Serviços de Saneamento Básico do Município de Natal (ARSBAN). A execução desses serviços é delegada à Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), por meio de um contrato de concessão válido, estipulado entre a prefeitura de Natal e a CAERN (CAERN, 2020).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes ao ano de 2020, constata-se que o município de Natal, localizado no estado do Rio Grande do Norte, apresentou os seguintes indicadores no âmbito do saneamento básico: a taxa de atendimento de abastecimento de água alcançou 95,97%, ao passo que o índice de cobertura de esgotamento sanitário atingiu 43,27%. Além disso, registrou-se um índice de perdas na distribuição de água da ordem de 56,16% (SNIS, 2020).

O sistema de abastecimento de água da cidade de Natal é composto por dois subsistemas distintos. O primeiro é o subsistema Norte, que abrange a região administrativa Norte da cidade. O segundo é o subsistema Sul, que tem a responsabilidade de fornecer água para as regiões administrativas Leste, Oeste e Sul da cidade. A captação de água é realizada de forma diversificada, utilizando tanto mananciais superficiais, como as lagoas de Extremoz e do Jiqui, quanto mananciais quadrantes. No caso dos levantamentos mananciais, a captura é realizada no aquíferos dunas/barreiras por meio de poços, conforme detalhado na figura 8 (CAERN, 2018).

Figura 8 - Abastecimento de água em Natal



Fonte: Adaptado ANA, 2021.

3.7 Município de Parnamirim

O município de Parnamirim ocupa uma área de 124.006 km², representando aproximadamente 0,24% da extensão territorial do estado com mais de 252 mil habitantes. Sua localização geográfica situa-se nas coordenadas 5° 54' 56" de latitude Sul e 35° 15' 46" de longitude Oeste. Parnamirim faz limite ao Norte com Natal, ao Sul com São José de Mipibu e Nísia Floresta, a Oeste com Macaíba, e a Leste com o Oceano Atlântico (IBGE, 2022).

O sistema de abastecimento de água de Parnamirim depende principalmente do aquífero Barreiras, localizado ao longo da faixa leste do Estado do Rio Grande do Norte, caracterizado por seu significativo potencial hidrogeológico. A extração das águas desse aquífero é realizada por meio de poços que abrangem profundidades em torno de 70 metros. A análise dos perfis desses poços revela uma variação nas características litológicas e

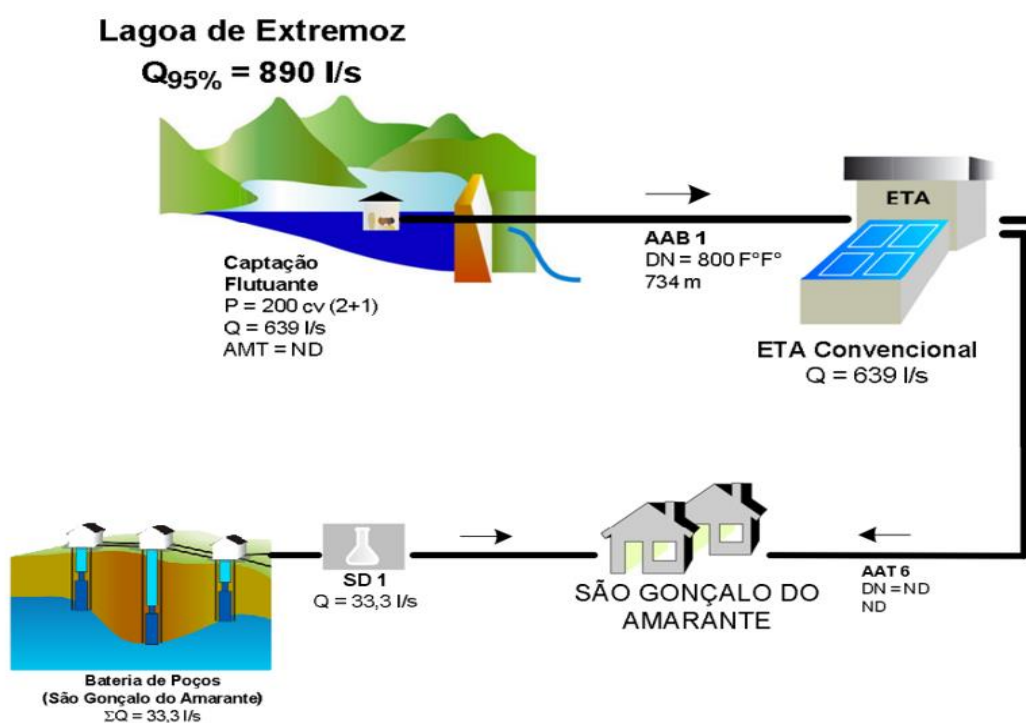
estratigráficas ao longo da superfície horizontal e vertical. Na parte superior, predominam sedimentos finos, intercalados com camadas mais grosseiras, que gradualmente evoluem para arenitos de granulometria variável, frequentemente conglomerados.

3.8 Município de São Gonçalo do Amarante

São Gonçalo do Amarante é um município situado no estado do Rio Grande do Norte, na Região Nordeste do Brasil. Este município encontra-se na área metropolitana de Natal e ocupa a posição de quarta maior cidade do RN em termos de economia e população, contando com uma população de 115 mil habitantes de acordo com dados do IBGE em 2022. São Gonçalo do Amarante faz fronteira com os municípios de Natal, Extremoz, Ceará-Mirim, Ielmo Marinho e Macaíba (IBGE, 2022).

O Subsistema de Abastecimento Norte abrange não apenas a região da Zona Norte da cidade de Natal, mas também engloba as áreas adjacentes que fazem parte da conurbação com os municípios de São Gonçalo do Amarante e Extremoz. O abastecimento de água na Zona Norte é assegurado por meio de uma combinação de fontes, incluindo um conjunto de poços e o aproveitamento da Lagoa de Extremoz mostrado na Figura 9. Esta lagoa é alimentada pelos rios Guajiru e Mudo. Após a captação, a água da Lagoa de Extremoz passa por um processo de tratamento na Estação de Tratamento de Água (ETA) em Extremoz e, em seguida, é direcionada para os reservatórios. (CAERN, 2019).

Figura 9 - Fluxograma de abastecimento da Zona Norte



Fonte: Adaptado ANA, 2021.

3.9 Índices de perdas

3.9.1 Índice de perdas de faturamento

Corresponde à comparação entre o volume de água disponibilizado para distribuição e o volume faturado (SNIS, 2021). É importante destacar que a quantidade faturada não é igual à quantidade utilizada, pois os fornecedores de serviços de abastecimento de água costumam basear-se em padrões de consumo mínimos ou médios, que podem ser maiores do que as quantidades efetivamente utilizadas. Normalmente, o valor da quantidade faturada é igual ou superior à quantidade consumida (BRASIL, 2016).

3.9.2 Índice de perdas na distribuição

Esse indicador avalia a proporção do volume de água perdida na distribuição em relação ao volume total de água produzida. De acordo com as informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Abastecimento de Água (SNIS-AE) 2020, o indicador de perdas na distribuição de água (IN049) atingiu 40,1%. Esse valor representa um aumento constante, seguindo um período de estabilidade que ocorreu de 2012 a 2015, quando o indicador chegou a ser inferior a 37,0%. Para ilustrar em termos concretos, isso significa que, a partir de cada 100 litros disponibilizados pelas empresas de fornecimento de água, apenas 59,9 litros são registrados como efetivamente utilizados pelos consumidores. (SNIS, 2021).

3.9.3 Índice bruto de perdas lineares

O Índice Bruto de Perdas Lineares (IBPL), é uma métrica fundamental para avaliar a eficiência dos sistemas de distribuição de água em serviços de abastecimento. Esse índice relaciona dois fatores essenciais: o volume de água produzido e a extensão da rede de água ao longo de 1 quilômetro. Em termos mais simples, o IBPL mede o quanto de água se perde ao longo das tubulações e da infraestrutura de distribuição antes que a água chegue efetivamente às torneiras dos consumidores. (SNIS, 2021).

3.9.4 Índice de perdas por ligação

O (SNIS-AE) coleta dados sobre o índice de perdas por ligação, designado como IN051. Esse índice está intimamente ligado à eficiência operacional, uma vez que a maioria das perdas reais e aparentes de longa duração ocorrem nos ramais de distribuição. O IN051 avalia a fração das perdas de água que têm origem nas conexões individuais, em comparação com o total de água disponibilizada. Este indicador é de grande importância, visto que as

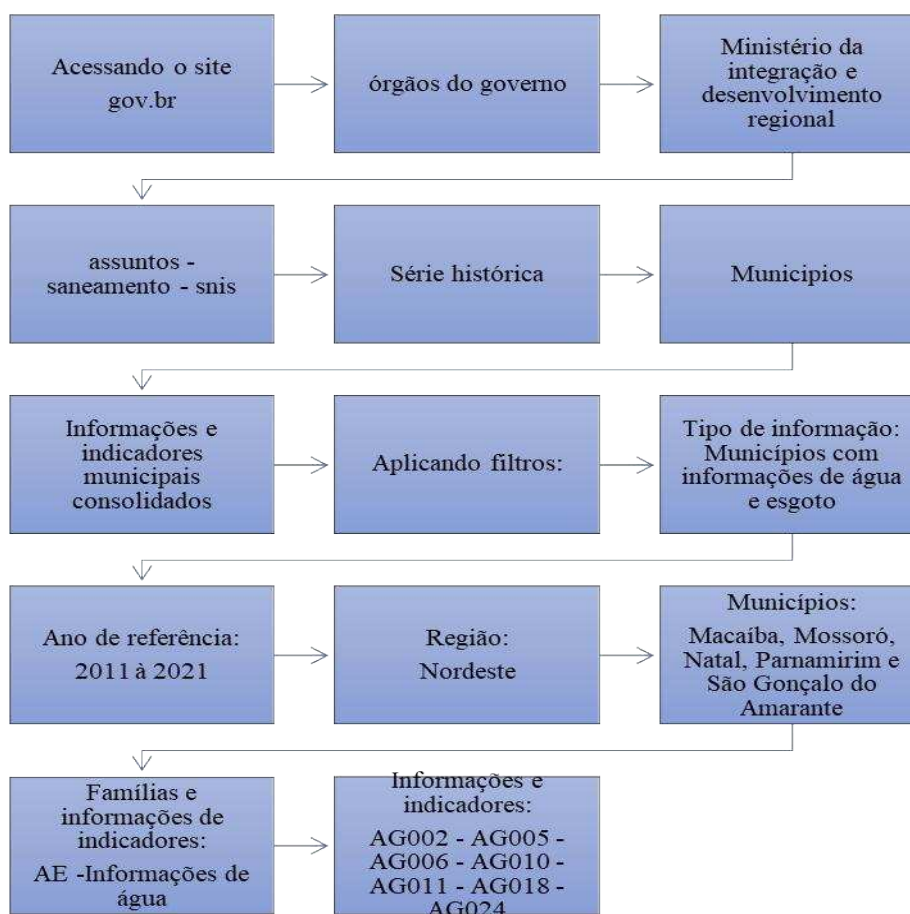
perdas nas ligações podem representar uma parcela substancial do desperdício de água nos sistemas de abastecimento, influenciando diretamente a eficácia operacional e econômica desses sistemas. (SNIS, 2021).

4 METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma pesquisa aplicada com uma abordagem qualitativa e de caráter descritivo, baseando em informações disponíveis nos diferentes bancos de dados, constituídos essencialmente de livros e artigos relevantes acerca da temática e com a coleta de dados realizadas através de registros e planilhas disponibilizado no SNIS, a fim de proporcionar direcionamentos para a melhoria prática da gestão das águas e futuras pesquisas.

Para a realização deste estudo abrangente sobre as perdas no sistema de abastecimento de água nos municípios do Rio Grande do Norte, foi necessário um cuidadoso sequenciamento da coleta de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). O SNIS desempenhou um papel fundamental como fonte de informações, fornecendo os principais indicadores relacionados às perdas de água ao longo de um período de dez anos, de 2011 a 2021, sendo realizado como mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma metodologia da pesquisa



Fonte: Autoria própria.

Para a seleção dos municípios a serem analisados, o primeiro critério aplicado foi a verificação da ordem decrescente da densidade demográfica do ano de 2022. No entanto, a relação preliminar não apontava os municípios de importância socioeconômica para o estado, tais como Mossoró e Caicó, por exemplo. Diante disso, foi adotado o critério de estudar os cinco municípios mais populosos, sendo eles: Natal, Mossoró, Parnamirim, São Gonçalo do Amarante e Macaíba.

O cálculo dos índices de perdas de água (IN013, IN049, IN050, IN051) nos cinco municípios em questão, seguiu um rigoroso protocolo metodológico. O processo foi conduzido de forma a garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos.

1. Coleta de Dados:

A primeira etapa envolveu a coleta de dados a partir de fontes oficiais, com destaque para o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Utilizamos os dados disponibilizados no site oficial do SNIS, que fornece informações relevantes sobre o abastecimento de água nos municípios brasileiros. Esses dados incluíram informações detalhadas sobre o volume produzido de água, o volume faturado, o volume consumido, o número de ligações ativas, entre outros.

2. Cálculos dos Índices:

Para calcular os índices de perdas, utilizamos planilhas eletrônicas, especificamente o software Excel. As fórmulas utilizadas foram aquelas disponibilizadas gratuitamente pelo SNIS, garantindo a consistência e a padronização dos cálculos. As fórmulas consideraram os diversos parâmetros relevantes para cada um dos índices, permitindo-nos obter valores precisos e comparáveis, como mostrado no Quadro 4:

Quadro 4 - Índice de perdas de água disponível no SNIS

ÍNDICES	FÓRMULA	SIGNIFICADO DAS INFORMAÇÕES
IN013 – Perdas de faturamento (%)	$\frac{AG006 + AG018 - AG011 - AG024}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100$	AG002: Quantidade de ligações ativas de água; AG005: Extensão da rede de água; AG006: Volume de água produzido; AG010: Volume de água consumido; AG011: Volume de água faturado; AG018: Volume de água tratada importado; AG024: Volume de serviço.
IN049 – Perdas na distribuição (%)	$\frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100$	
IN050 – Índice bruto de perdas lineares (m³/dia/Km)	$\frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG005} \times \frac{1000}{365}$	
IN051 – Perdas por ligação (L/lig./dia)	$\frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG002} \times \frac{1000000}{365}$	

3. Desenvolvimento do *Dashboard*:

Após o cálculo dos índices para cada município e ano, organizamos os resultados em um *dashboard*. Esse painel de controle consolidou todas as informações de forma clara e acessível, proporcionando uma visão abrangente dos índices de perdas ao longo do tempo e entre os municípios estudados. O *dashboard* facilitou a análise e a interpretação dos dados, permitindo a identificação de tendências e padrões relevantes. A metodologia adotada assegurou a qualidade dos dados coletados e a consistência das análises realizadas.

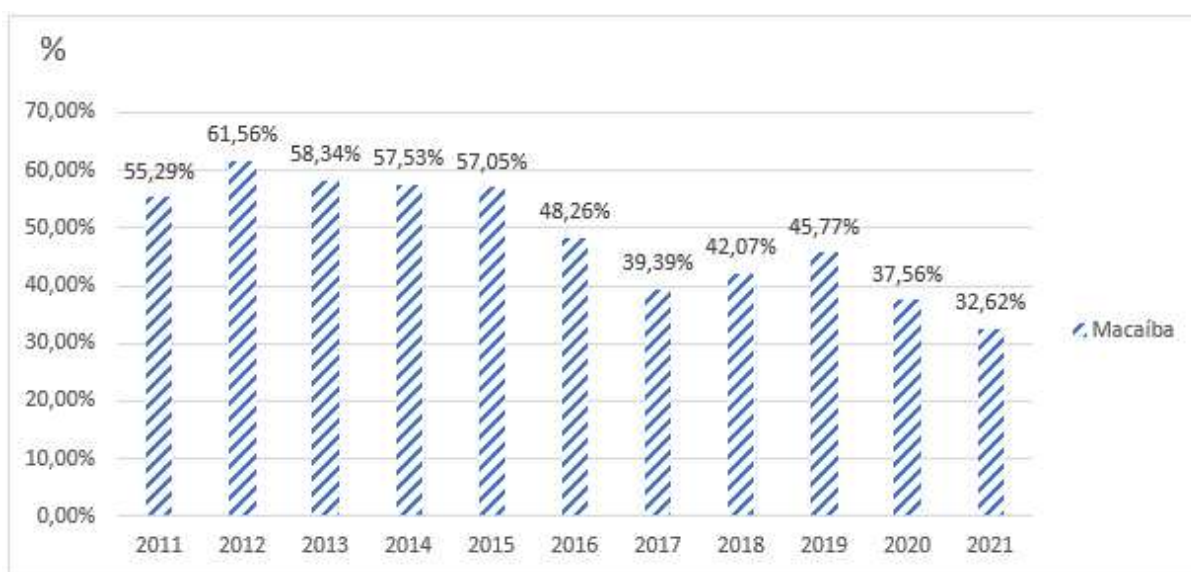
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise da Série histórica do município de Macaíba

5.1.1 IN013 – Índice de perdas faturamento

No município de Macaíba, ao longo de uma década, observa-se uma significativa redução nas perdas de faturamento, particularmente notável no ano de 2021, onde essa redução atingiu expressivos 32,62%. Isso indica que o volume de água produzido está agora muito próximo do volume de água efetivamente faturado. Diante disso, pode-se observar que a média dos últimos 10 anos é de 48,68%, destacando a consistência ao longo desse período. No Gráfico 1 abaixo, demonstra todos os valores registrados em 10 anos.

Gráfico 1: IN013 - Índice de perdas de faturamento de Macaíba



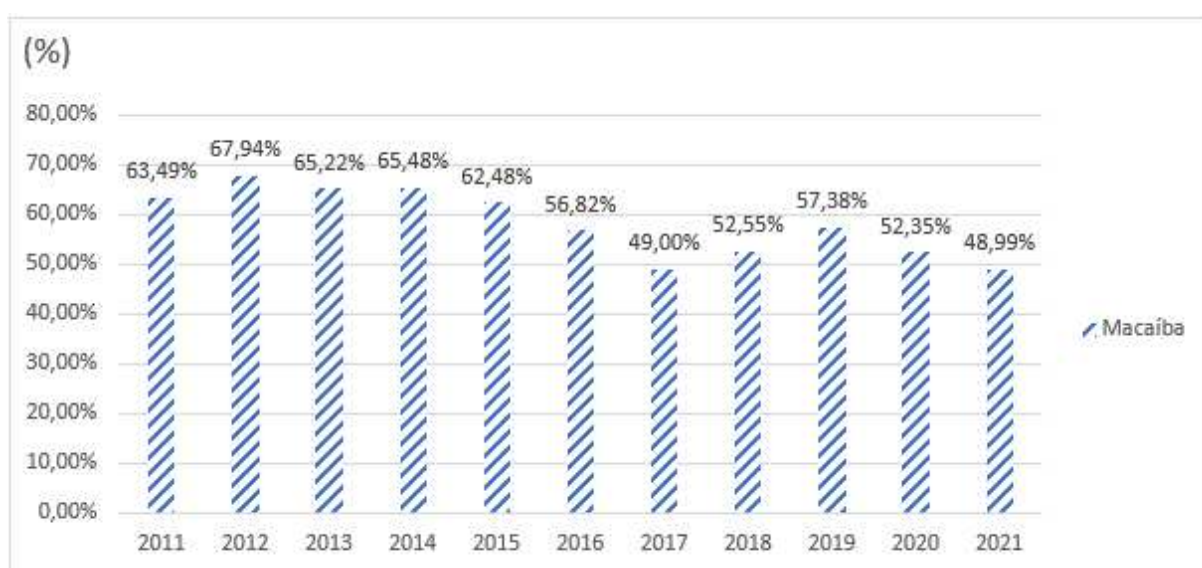
Fonte: Autoria própria.

Essa melhoria notável nas perdas de faturamento levanta questões sobre as medidas implementadas para alcançar esse resultado. Seria de interesse aos órgãos públicos responsáveis examinar as estratégias adotadas e entender como elas afetam a gestão dos recursos hídricos no município. Esta conquista representa um passo significativo em direção a uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos de água em Macaíba.

5.1.2 IN049 – Índice de perdas na distribuição

O índice de perdas na distribuição de água em Macaíba é um indicador crucial para avaliar a eficiência da gestão de recursos hídricos no município. No ano de 2021, esse índice foi aferido em 48,99%, indicando uma notável redução nas perdas de faturamento em relação ao volume de água produzido. Esse resultado é particularmente relevante quando observamos a tendência ao longo da última década, como é possível visualizar no gráfico 2.

Gráfico 2: IN049 - Índice de perdas na distribuição de Macaíba



Fonte: Autoria própria.

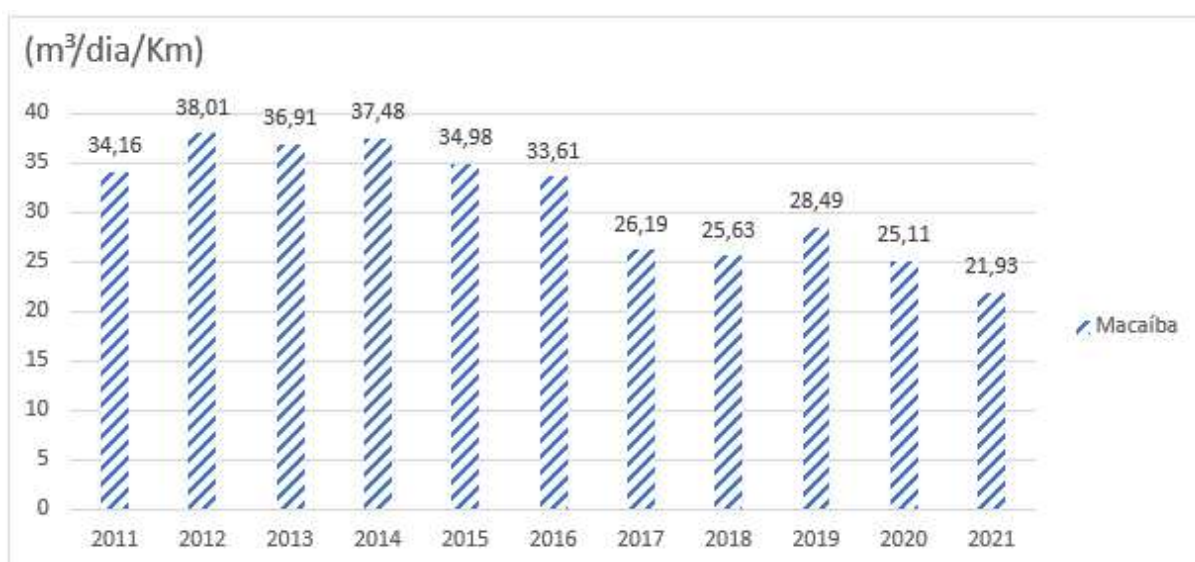
Durante os últimos 10 anos, Macaíba registrou uma média de 58,33% de redução nas perdas de faturamento. Esse valor médio destaca a consistência das melhorias ao longo do período e ressalta a importância das medidas implementadas para otimizar a distribuição de água no município. A análise desses dados revela um progresso significativo em direção a uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos locais.

Esses resultados não apenas corroboram a notável redução das perdas de faturamento, conforme mencionado anteriormente, mas também destacam a importância de continuar a monitorar e aprimorar as estratégias de gestão de recursos hídricos em Macaíba para garantir uma distribuição mais eficiente e sustentável da água para a comunidade. Este é um ponto chave a ser considerado em futuros planos e políticas públicas relacionados ao abastecimento de água no município.

5.1.3 IN050-índice bruto de perdas lineares

Os dados coletados em 2021 para o índice bruto de perdas lineares no município de Macaíba foram de 21,93 m³/dia/Km. Esse indicador é de extrema relevância, pois ajuda a compreender o porquê da redução mencionada no primeiro texto, que abordou o índice de perdas de faturamento. O índice bruto de perdas lineares reflete a eficiência da distribuição de água, especificamente as perdas ao longo das linhas de distribuição em relação à quantidade total de água produzida. No Gráfico 3, é possível visualizar o indicador e seus valores referentes aos últimos 10 anos.

Gráfico 3: IN050 - Índice bruto de perdas lineares de Macaíba



Fonte: Autoria própria.

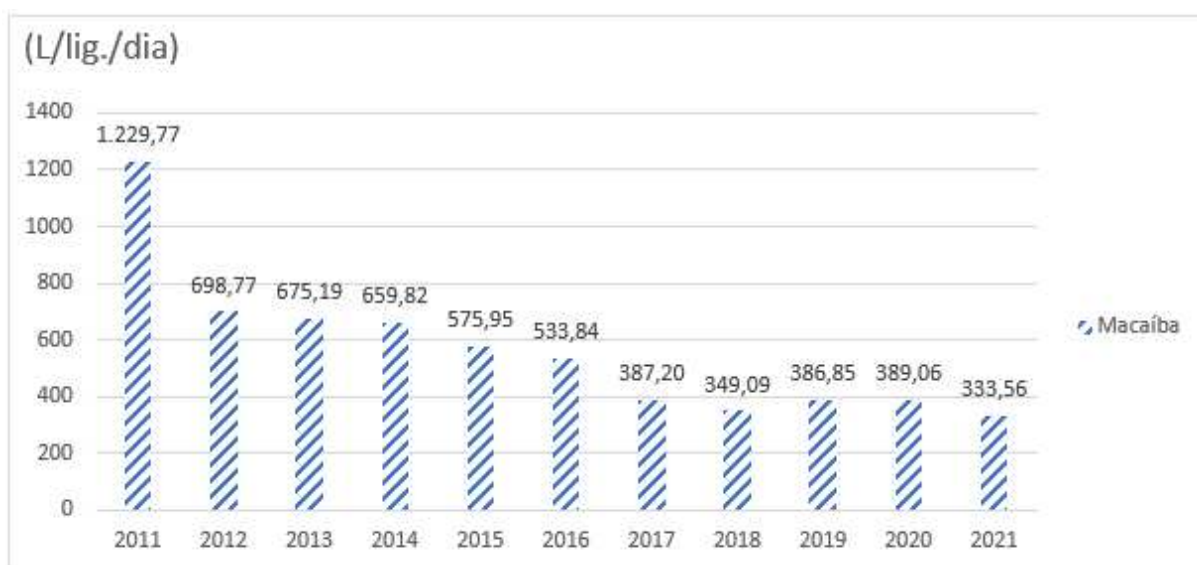
A significativa redução nas perdas de faturamento, conforme destacado anteriormente, está diretamente relacionada a essa melhoria na eficiência da distribuição, exemplificada pelo índice de 21,93 m³/dia/Km em 2021. A análise desse número demonstra um uso mais eficaz dos recursos hídricos no município. Além disso, vale observar que essa média do índice bruto de perdas lineares ao longo dos últimos 10 anos, registrada em 31,14 m³/dia/Km, reforça a consistência das melhorias na eficiência da distribuição de água no município.

5.1.4 IN051-índice de perdas por ligação

Em 2021, os dados para o índice de perdas por ligação no município de Macaíba indicaram um valor de 333,56 litros por ligação por dia. Essa medição revela uma redução

extremamente significativa em relação ao ano de 2011, quando os valores relatados foram de 1229,77 litros por ligação por dia. Para contextualizar essa redução em termos percentuais, observamos uma diminuição de aproximadamente 72,9% em relação a 2011. Temos no Gráfico 4 a série histórica do índice para os últimos 10 anos.

Gráfico 4: IN051- Índice de perdas por ligação de Macaíba



Fonte: Autoria própria.

Essa redução notável é digna de destaque, pois demonstra o comprometimento de Macaíba em melhorar a eficiência do sistema de distribuição de água ao longo dos anos, resultando em um uso mais consciente dos recursos hídricos.

Além disso, é interessante correlacionar esses dados com o estudo realizado por Bohrer (2019) no município de Porto Alegre, RS, onde foram observados valores de 428,38 litros por ligação por dia no ano de 2017. Isso sugere que Macaíba conseguiu superar a média encontrada em Porto Alegre, indicando um progresso notável na redução de perdas por ligação em comparação com outras localidades.

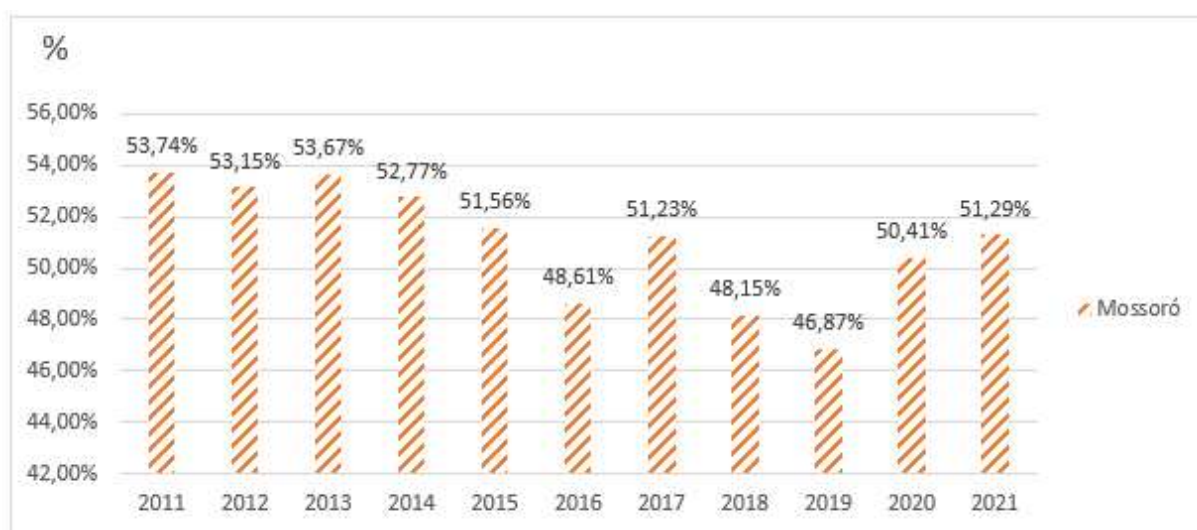
A média dos últimos 10 anos para o índice de perdas por ligação em Macaíba foi de 565,37 litros por ligação por dia. Essa média reflete a consistência das melhorias na eficiência da distribuição de água no município ao longo do tempo e reforça a tendência de redução observada em 2021.

5.2 Análise da série histórica de Mossoró

5.2.1 IN013 – Índice de perdas faturamento

Na análise dos resultados referentes ao índice de perdas de faturamento em Mossoró, foi registrado que em 2021 esse índice atingiu o valor de 51,29%. Tal resultado denota um aumento em relação ao ano anterior, 2020, quando se encontrava em 50,41%, como pode-se observar no gráfico abaixo. Este aumento implica em uma diminuição na receita efetivamente obtida pelos sistemas de abastecimento de água, o que demanda uma reflexão sobre os fatores subjacentes a essa tendência.

Gráfico 5: IN013 - Índice de perdas de faturamento de Mossoró



Fonte: Autoria própria.

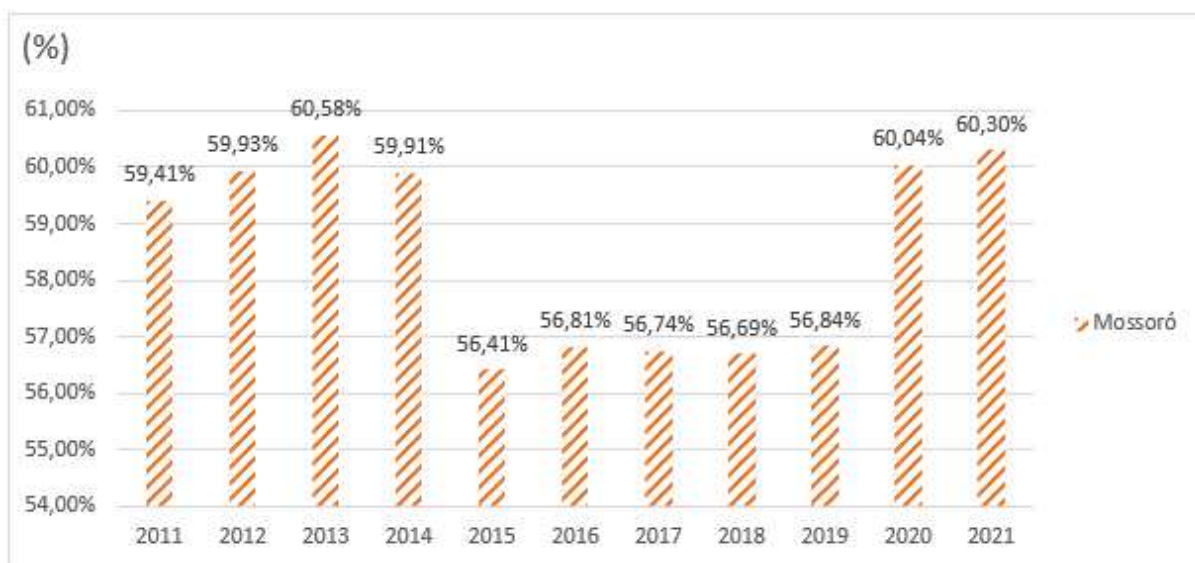
A média calculada para o índice de perdas de faturamento nos últimos 10 anos foi de 51,04%, indicando uma persistência na questão das perdas. Portanto, a eficiência da distribuição de água em Mossoró tem sido um desafio constante ao longo desse período. É imprescindível que investigações adicionais sejam conduzidas para compreender mais profundamente as causas desse aumento em 2021.

Em resumo, os resultados apontam para a importância de uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e a implementação de estratégias para mitigar essas perdas. Esta ação é essencial para garantir a sustentabilidade do sistema de abastecimento de água e a eficácia da distribuição em Mossoró.

5.2.2 IN049 – Índice de perdas na distribuição

Ao longo do período de 2011 à 2021, foram registrados valores mínimos de 56,41% no ano de 2015 e 60,58% no ano de 2013 sendo o valor máximo registrado nesse período, esses números apresentam uma variabilidade dentro de uma faixa estreita, com uma média de 58,51%. Como podemos observar no Gráfico 6.

Gráfico 6: IN049 - Índice de perdas na distribuição de Mossoró



Fonte: Autoria própria.

Um ponto de destaque é o aumento observado no ano de 2021, quando o índice atingiu 60,30%. Esse aumento, em comparação com os anos anteriores, é notável e requer uma análise mais aprofundada das razões que levaram a esse aumento.

É interessante correlacionar esse aumento no índice de perdas na distribuição em 2021 com o índice de perdas de faturamento em Mossoró, que também apresentou um aumento no mesmo ano. Ambos os indicadores demonstram um cenário desafiador para a gestão dos recursos hídricos na região, com potenciais implicações na receita e na eficiência do sistema de distribuição de água.

A média de 58,51% ao longo do período destaca a persistência das perdas na distribuição de água em Mossoró, e isso reforça a necessidade de medidas que visem à redução dessas perdas e ao aprimoramento da eficiência do sistema.

5.2.3 IN050-índice bruto de perdas lineares

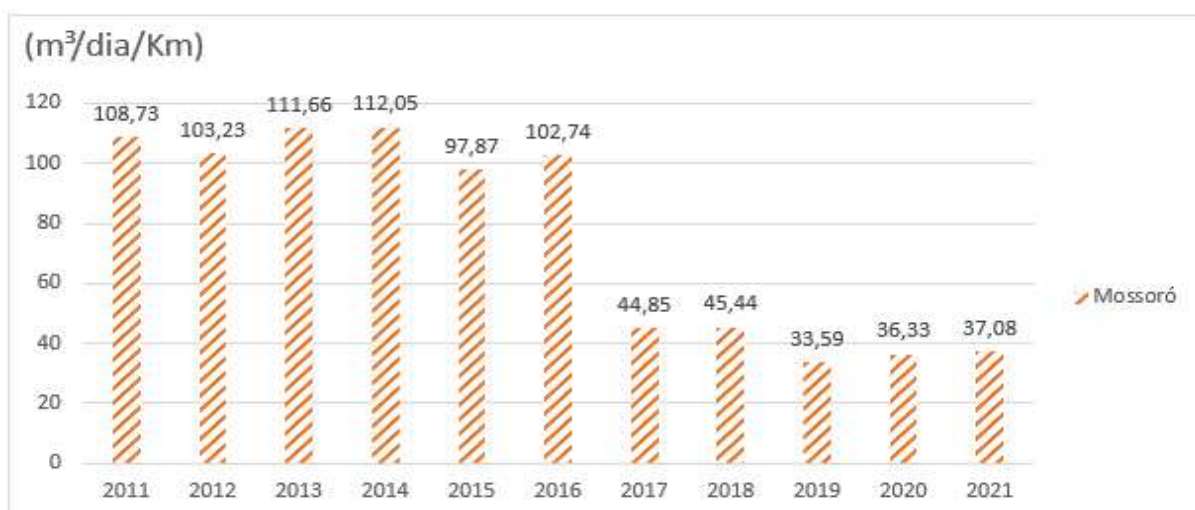
Uma análise dos últimos 10 anos em Mossoró revela uma notável tendência de redução nos índices de perdas lineares, que são indicativos cruciais da eficiência do sistema de distribuição de água. Essa melhoria significativa pode ser diretamente atribuída ao aumento consistente no volume de água faturado durante esse período.

Esses números refletem uma trajetória de queda consistente, indicando uma significativa redução nas perdas de água ao longo das linhas de distribuição. É importante ressaltar que essa melhoria está diretamente correlacionada com o aumento observado no volume de água faturado nos últimos anos. Esse aumento representa uma conquista notável, pois significa que uma maior porcentagem da água produzida está chegando de forma eficaz aos consumidores, resultando em menos desperdício e, por conseguinte, na redução dos índices brutos de perdas lineares.

Os valores da média desses índices nos últimos 5 anos são de 39,66 ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$). A comparação entre essa média e a média dos 10 anos completos, que era de 75,78 ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$), destaca a significativa melhoria na eficiência do sistema de distribuição de água durante esse período mais recente.

Esses dados serão visualizados no Gráfico 7 abaixo, ilustrando claramente a tendência de redução nas perdas lineares ao longo dos últimos 5 anos, comprovando a eficácia das medidas implementadas na gestão de recursos hídricos em Mossoró.

Gráfico 7: IN050 - Índice bruto de perdas lineares de Mossoró



Fonte: Autoria própria.

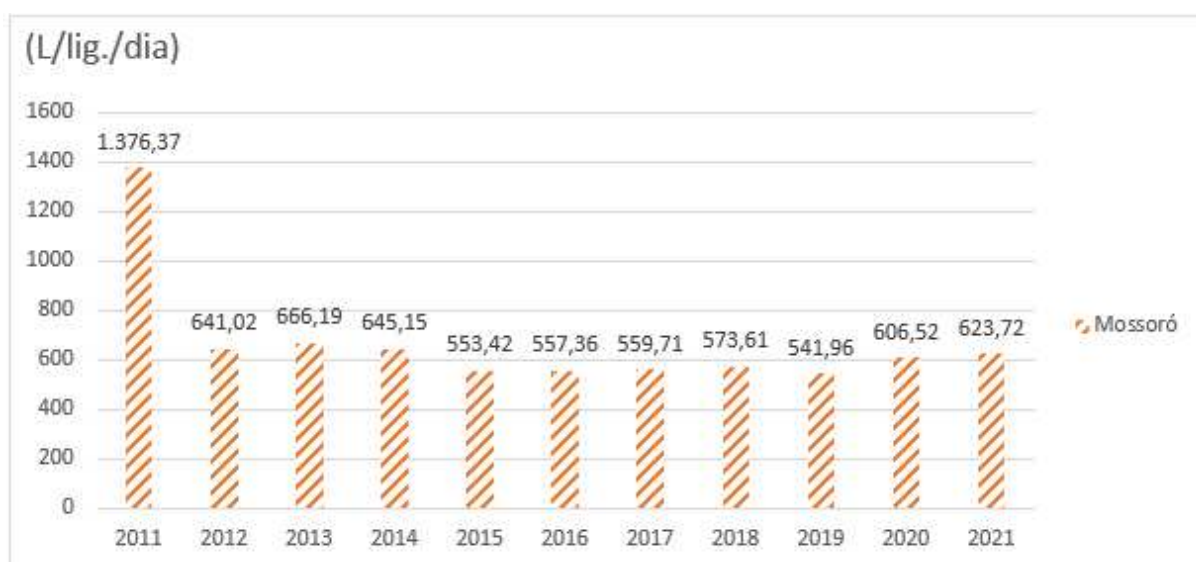
5.2.4 IN051-índice de perdas por ligação

Ao avaliar os índices de perdas por ligação em Mossoró nos últimos 10 anos, observamos uma média constante de 667,73 (L, lig./dia). No entanto, vale destacar que houve uma discrepância notável no ano de 2011, quando o índice atingiu 1376,37 (L, lig./dia), mostrado no Gráfico 8.

Essa estabilidade nos índices de perdas por ligação ao longo da década pode ser atribuída, em grande parte, à ausência de um aumento significativo no número de ligações ativas de água durante esse período. A falta de mudanças substanciais no número de ligações tem um impacto direto na manutenção dos índices em um nível relativamente constante.

No entanto, é importante ressaltar que a discrepância observada em 2011 merece uma análise mais aprofundada. É necessário investigar as circunstâncias específicas desse ano que levaram a esse valor consideravelmente mais alto em comparação com os anos subsequentes. Pode ter havido eventos excepcionais ou fatores pontuais que influenciaram esse resultado.

Gráfico 8: IN051- Índice de perdas por ligação de Mossoró



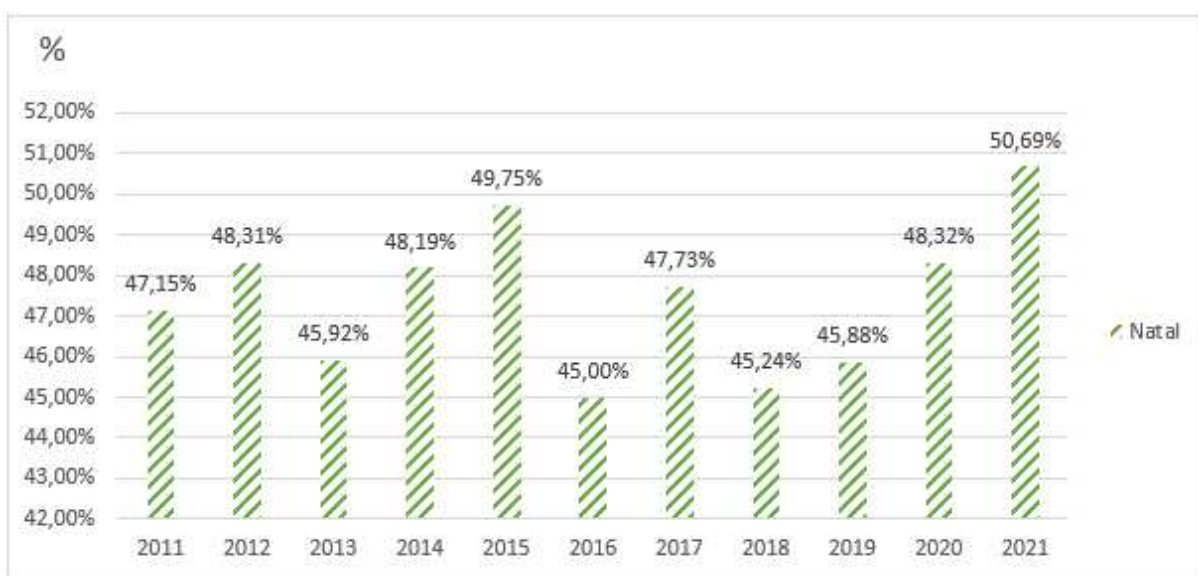
Fonte: Autoria própria.

5.3 Análise da Série histórica de Natal

5.3.1 IN013- Índice de perdas faturamento

A análise dos índices de perdas de faturamento em Natal, com dados disponíveis de 2011 a 2021, revela uma oscilação ao longo desses anos. No Gráfico 9 estão os valores registrados para cada ano.

Gráfico 9: IN013 - Índice perdas de faturamento de Natal

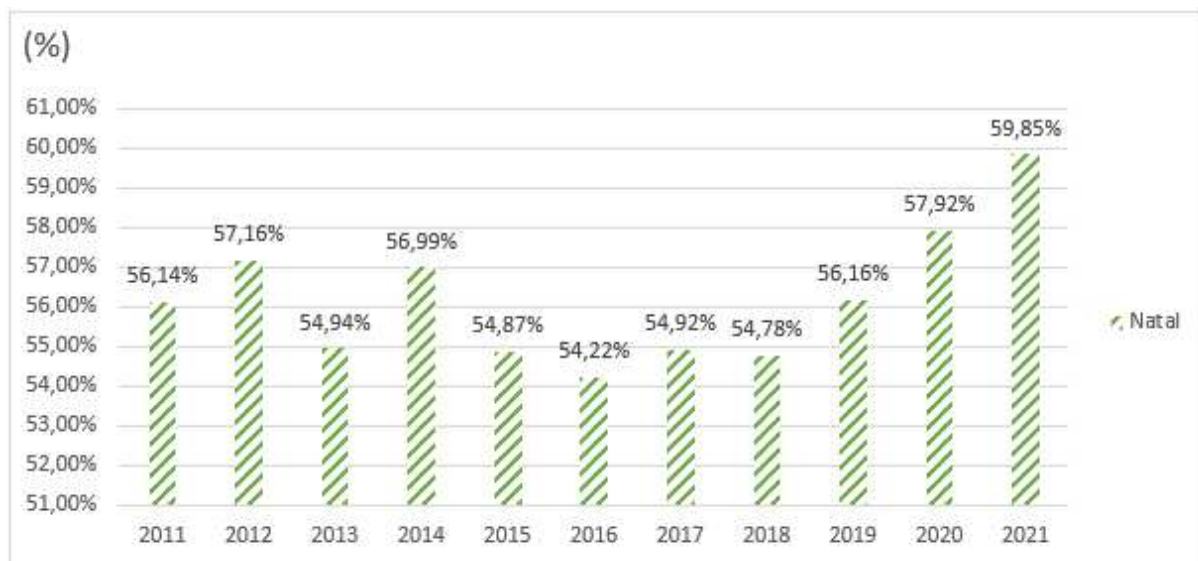


Fonte: Autoria própria.

Nota-se que houve um aumento no último ano, em 2021, quando o índice atingiu 50,69%. No entanto, a média desses valores ao longo dos 10 anos é de aproximadamente 47,47%. O desvio padrão calculado, que é de 1,84%, sugere que os valores têm mantido uma certa estabilidade ao longo do período, apesar das flutuações anuais. O desvio padrão relativamente baixo indica que os dados não estão muito dispersos em relação à média, o que é um sinal de consistência nas medições.

5.3.2 IN049 – Índice de perdas na distribuição

Na análise dos índices de perdas na distribuição de água em Natal, abrangendo o período de 2011 a 2021, observa-se um cenário caracterizado por estabilidade global, com flutuações anuais. Os valores anuais registrados estão presente no Gráfico 10.

Gráfico 10: Índice de perdas na distribuição de Natal

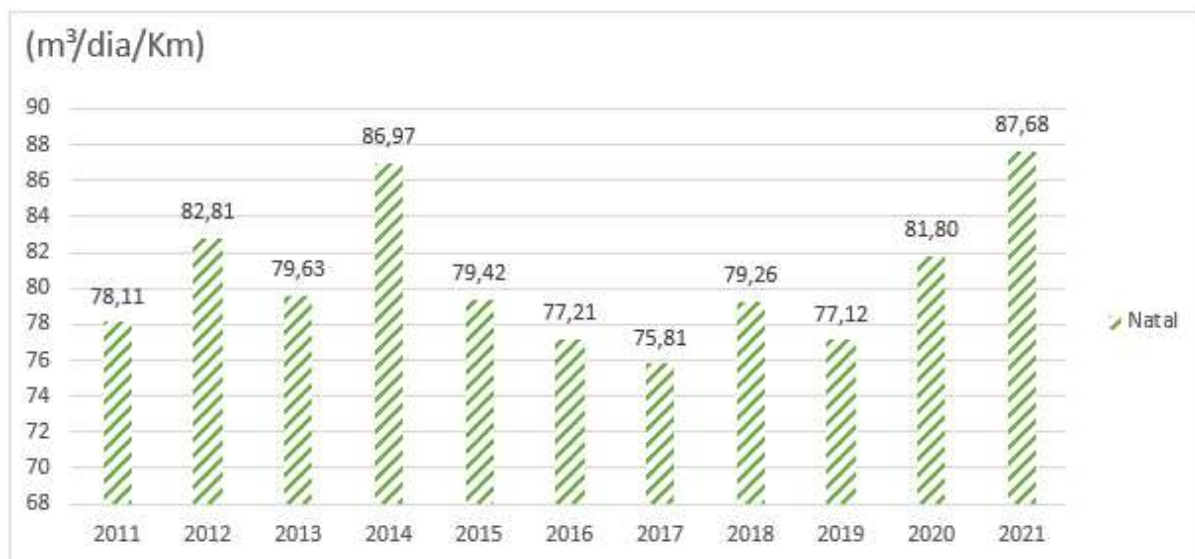
Fonte: Autoria própria.

A média dos índices ao longo desses 10 anos permaneceu praticamente constante, em torno de 56,18%, indicando uma tendência central estável. Destaca-se também o baixo desvio padrão, calculado em 1,70%, o que sugere que as variações anuais não se afastam significativamente da média.

Em síntese, a análise dos índices de perdas na distribuição em Natal aponta para estabilidade ao longo dos anos, com exceção do aumento observado em 2021. A média consistente de 56,18% e o baixo desvio padrão de 1,70% refletem uma consistência nas medições, com variações anuais relativamente pequenas em relação à tendência central.

5.3.3 IN050 – Índice bruto de perdas lineares

Na análise do período de 2011 à 2021, os dados referentes ao Índice Bruto de Perdas Lineares em Natal apresentam um quadro de considerável variação anual, apresentado no Gráfico 11. A média dos índices ao longo dos 10 anos permanece estável, em torno de 80,53. No entanto, o desvio padrão, calculado em 3,92, indica que os valores individuais variaram consideravelmente em relação a essa média.

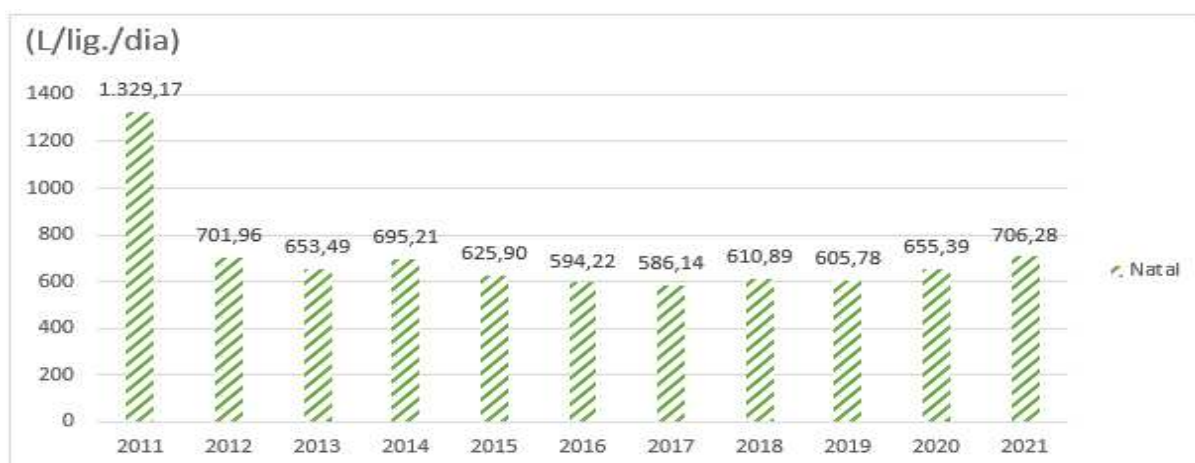
Gráfico 11: Índice bruto de perdas lineares de Natal

Fonte: Autoria própria.

É importante observar que houve anos com índices substancialmente acima da média, como 2012 e 2021, assim como anos com valores notavelmente abaixo da média, como 2017. Essas flutuações podem indicar a influência de fatores específicos, eventos, ou mudanças no sistema de distribuição de água que exigem uma análise mais detalhada.

5.3.4 IN051 – Índice de perdas por ligação

Quando se examina o Índice de Perdas por Ligação em Natal ao longo de 10 anos, um valor discrepante emerge, atingindo 1329,17 (L/lig./dia). Isso se destaca como uma exceção notável em relação aos demais valores observados durante esse período registrado no Gráfico 12.

Gráfico 12: Índice de perdas por ligação de Natal

Fonte: Autoria própria.

A média dos índices de perdas por ligação ao longo desses anos é de aproximadamente 705,86, com um desvio padrão calculado em 211,22. Esses números apontam para uma tendência central que, em sua maioria, é consistente com a média, mas também mostram uma considerável dispersão dos valores individuais em relação a essa média.

É relevante destacar o aumento observado do ano de 2020 para o ano de 2021, quando o índice subiu para 706,28. Esse aumento merece atenção especial, pois representa uma variação significativa em um curto período de tempo.

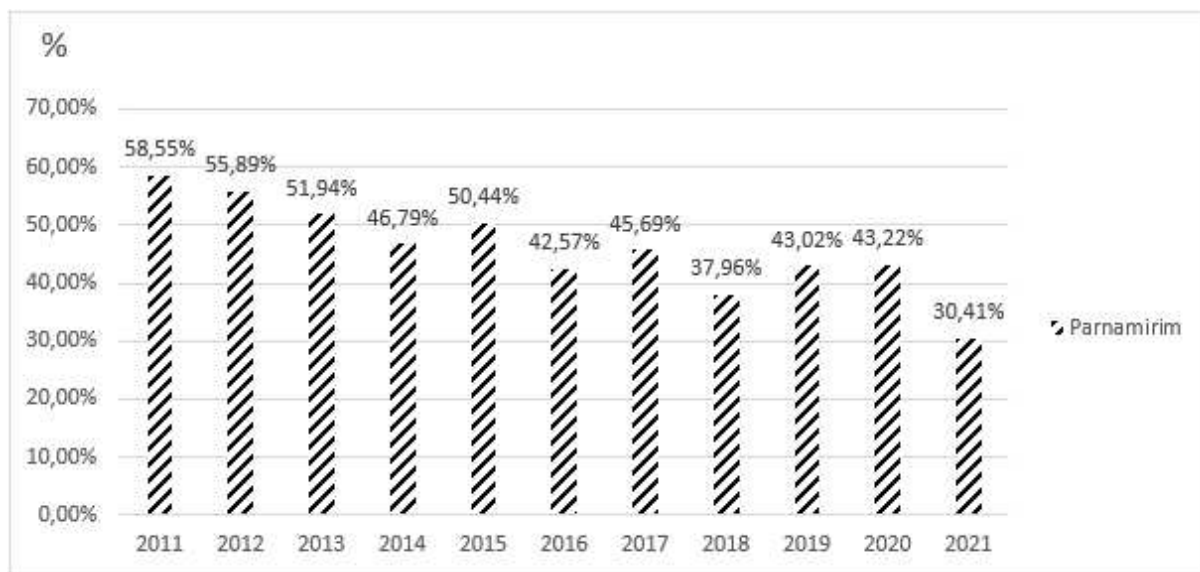
Essa análise revela não apenas a presença de valores discrepantes, como o registrado em um dos anos, mas também enfatiza a importância de monitorar e compreender as variações nos índices de perdas por ligação, pois elas podem indicar fatores específicos ou mudanças no sistema de distribuição de água que requerem investigação adicional.

5.4 Análise da Série histórica de Parnamirim

5.4.1 IN013 – Índice de perdas faturamento

No decorrer de uma década, realizou-se uma análise detalhada do Índice de Perdas de Faturamento no município de Parnamirim. Ao longo desse período, observaram-se variações notáveis nos índices, refletindo diferentes cenários de eficiência no sistema de distribuição de água.

No ano de 2014, os índices foram registrados em 46,79%. Entretanto, em 2015, houve um aumento significativo, elevando os índices para 50,44%. Em contrapartida, em 2016, observou-se uma redução, com os índices alcançando 42,57%. Os dados apresentados nesta seção estão representados no Gráfico 13, oferecendo uma visão dos índices de perdas de faturamento ao longo de uma década em Parnamirim.

Gráfico 13: Índice de perdas de faturamento de Parnamirim

Fonte: Autoria própria.

A média dos índices ao longo desses 10 anos é de aproximadamente 46,04%, o que demonstra uma tendência central relativamente estável. No entanto, o desvio padrão calculado, que atinge 8,04%, aponta para uma dispersão considerável dos valores individuais em relação a essa média.

Um ponto de destaque é o ano de 2021, quando os índices reduziram significativamente para 30,41%. Isso sugere a possibilidade de mudanças ou melhorias no sistema de distribuição de água em Parnamirim. No ano anterior, 2020, as perdas de faturamento estavam em 43,22%, evidenciando uma variação notável.

Essa análise ressalta a importância de monitorar e compreender as variações nos índices de perdas de faturamento, pois elas podem indicar fatores específicos ou evoluções no sistema que impactam diretamente a eficiência da distribuição de água. Esses resultados fornecem dados valiosos para gestores e tomadores de decisão no aprimoramento da gestão de recursos hídricos em Parnamirim.

5.4.2 IN049 – Índice de perdas na distribuição

A investigação da evolução temporal do índice de perdas no processo de distribuição de água em Parnamirim, nos últimos 10 anos, desvenda uma notória melhoria na eficácia dos sistemas de abastecimento. Os dados compilados oferecem informações valiosas sobre o avanço no enfrentamento das perdas de água e o aprimoramento na gestão hídrica do município.

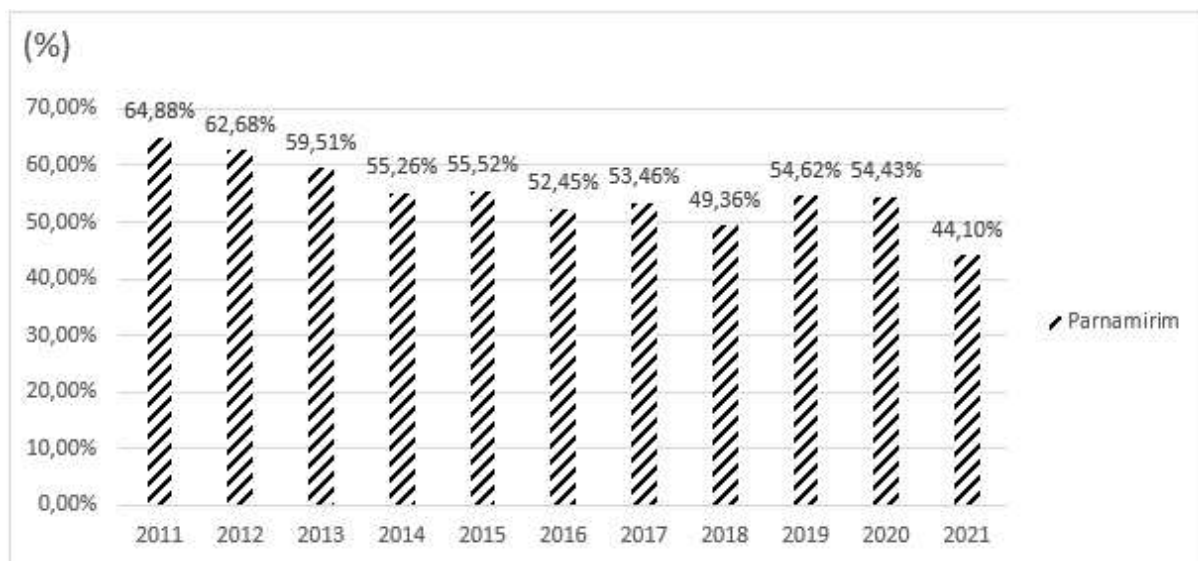
Em 2011, o índice de perdas na distribuição atingiu uma cifra alarmante de 64,88%, apontando para uma expressiva dissipação de água durante o processo de distribuição. Esse dado mostra a necessidade iminente de medidas corretivas e uma reafirmação do compromisso com a administração das perdas.

Nos anos subsequentes, observou-se um empenho constante na redução dessas perdas. Gradualmente, os índices declinaram, chegando a 44,10% em 2021. Essa redução substancial representa um feito significativo na otimização do sistema de fornecimento de água de Parnamirim.

A média dos índices ao longo desses 10 anos gira em torno de cerca de 55,12%. Entretanto, o desvio padrão computado, que atinge 5,81%, enfatiza a variação nos resultados durante esse período. Essa diversidade pode ser atribuída a fatores como investimentos em infraestrutura, políticas de conscientização, detecção e correção de vazamentos, entre outros.

É crucial salientar que, apesar dos progressos, ainda há espaço para melhorias contínuas. A variação nos resultados ressalta a necessidade de uma abordagem holística e uniforme para a administração das perdas de água, incluindo vigilância constante, investimentos em tecnologias e estratégias efetivas de manutenção.

Os dados apresentados nessa análise estão representados no Gráfico 14, oferecendo uma ilustração da transformação dos índices de perdas na distribuição ao longo da última década em Parnamirim.

Gráfico 14: IN049 - Índice de perdas na distribuição de Parnamirim

Fonte: Autoria própria.

5.4.3 IN050 – Índice bruto de perdas lineares

A investigação do índice bruto de perdas lineares em Parnamirim, nos últimos 10 anos, revela um panorama interessante de evolução nesse importante indicador da eficiência dos sistemas de abastecimento de água. Os dados coletados destacam uma variação significativa ao longo do período analisado.

Em 2011, o índice atingiu o valor mais alto do período, registrando 137,71 ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$). Essa marca inicial é notável e apontou para a necessidade de atenção às perdas de água em decorrência de vazamentos e ineficiências na distribuição.

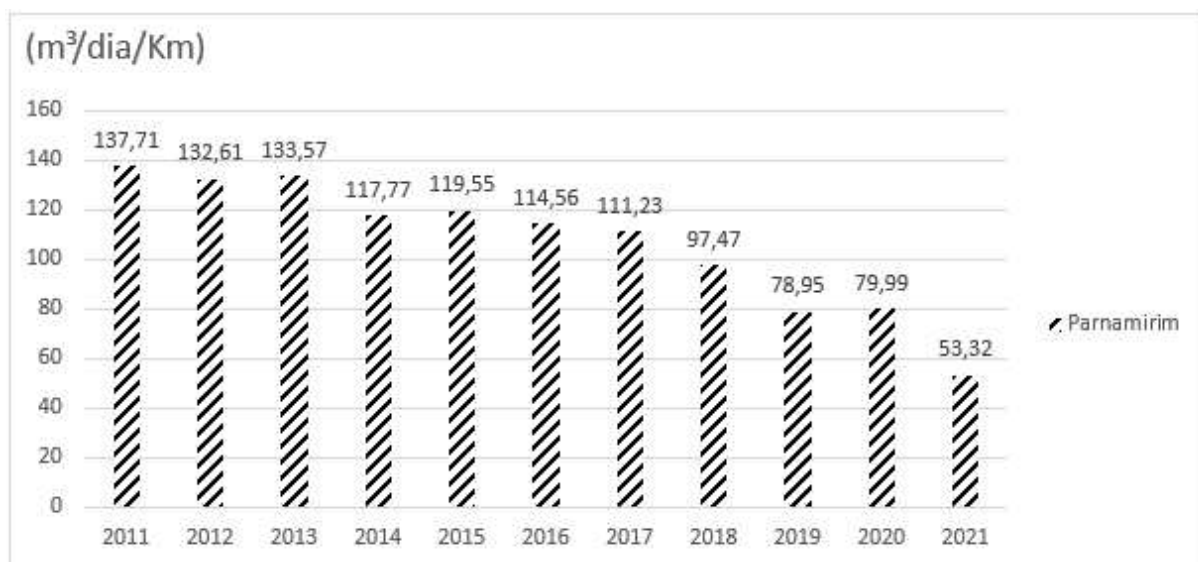
No entanto, ao longo dos anos, houve uma trajetória de melhoria constante. O ano de 2018 marcou um ponto de virada, quando o IBPL caiu para 97,47 ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$), sinalizando uma redução significativa nas perdas lineares. Essa tendência de melhora persistiu, culminando no menor valor registrado de 53,32 ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$) em 2021. Esse resultado representa uma conquista notável na otimização do sistema de distribuição de água de Parnamirim.

A média dos valores do índice ao longo desses 10 anos é de aproximadamente 106,97 ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$), refletindo uma tendência central em constante aprimoramento. No entanto, é importante observar que o desvio padrão calculado, que atinge 26,72 ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$), é o mais alto entre os municípios estudados. Esse desvio é indicativo da variabilidade nos resultados ao longo do período de análise.

A análise do índice bruto de perdas lineares em Parnamirim revela uma notável trajetória de aprimoramento na gestão das perdas de água. A variação nos valores demonstra uma significativa melhora ao longo dos anos, com uma diminuição substancial nas perdas lineares.

A alta variabilidade nos resultados, representada pelo desvio padrão, sugere que a otimização dos sistemas de abastecimento de água ainda enfrenta desafios e flutuações ao longo do tempo. No entanto, é importante ressaltar que essa variabilidade ocorre em um contexto geral de melhoria, indicando uma tendência positiva para a gestão das perdas em Parnamirim. No Gráfico 15, ilustra a evolução do índice ao longo da última década em Parnamirim.

Gráfico 15: IN050 - Índice bruto de perdas lineares de Parnamirim



Fonte: Autoria própria.

5.4.4 IN051- Índice de perdas por ligação

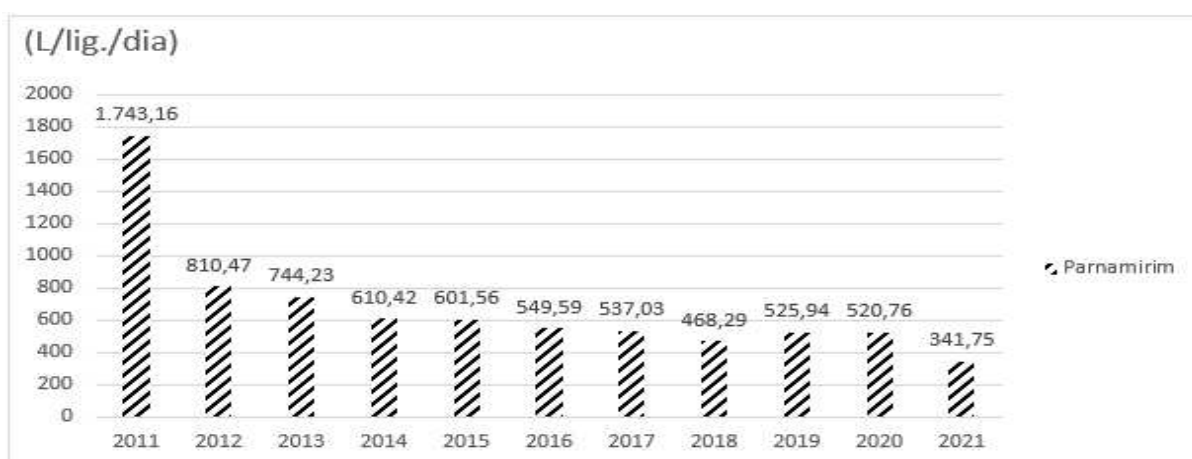
A análise dos índices de perdas por ligação em Parnamirim, ao longo dos anos, revela uma tendência notável de redução em relação ao valor inicialmente registrado em 2011. Esse índice, que atingiu um patamar consideravelmente alto de 1743,16 (L,lig.dia) naquele ano, representou uma preocupação significativa quanto às perdas comerciais no sistema de abastecimento.

No entanto, ao longo dos anos subsequentes, observou-se uma trajetória de melhoria constante. Em 2014, o índice de perdas por ligação diminuiu consideravelmente para 610,42, marcando o início de uma redução notável. Essa tendência positiva continuou em 2018, quando o índice caiu ainda mais, atingindo 468,29. O progresso culminou no último valor registrado em 2021, que foi de 341,75.

A média dos índices de perdas por ligação ao longo desses anos é de aproximadamente 677,56, demonstrando uma tendência de melhoria em relação ao ponto de partida em 2011. No entanto, é importante observar que o desvio padrão calculado, que alcança 375,25, indica uma variação considerável nos resultados, refletindo desafios e flutuações ao longo do período de análise.

Esses resultados ressaltam a eficácia das medidas implementadas para reduzir as perdas comerciais de água em Parnamirim e indicam uma tendência positiva na gestão desse importante aspecto dos sistemas de abastecimento de água. No Gráfico 16, os dados do índice de perdas por ligação de Parnamirim podem ser visualizados.

Gráfico 16: IN051 - Índice de perdas por ligação de Parnamirim



Fonte: Autoria própria.

5.5 Análise da Série histórica de São Gonçalo do Amarante

5.5.1 IN013 – Índice de perdas faturamento

A análise dos índices de perdas de faturamento em São Gonçalo do Amarante revela uma variabilidade ao longo dos anos, com flutuações expressivas representadas por um desvio padrão de 11,32%. Essa variabilidade é um indicativo das mudanças significativas observadas nesse importante indicador de eficiência no fornecimento de água.

Em 2012, o índice de perdas de faturamento estava em um patamar de 30,28%, representando uma parcela substancial de água que não estava sendo faturada. Entretanto, já no ano seguinte, houve uma redução significativa para 18,33%, demonstrando uma melhoria notável na gestão das perdas.

Um dos aspectos mais destacados dessa análise é a variação entre os anos de 2020 e 2021, onde os índices de perdas de faturamento foi de 31,89% e 7,36%, respectivamente. Essa diferença acentuada representa a maior variação observada ao longo dos anos estudados e aponta para um avanço significativo na eficiência da gestão hídrica em São Gonçalo do Amarante durante o ano de 2021.

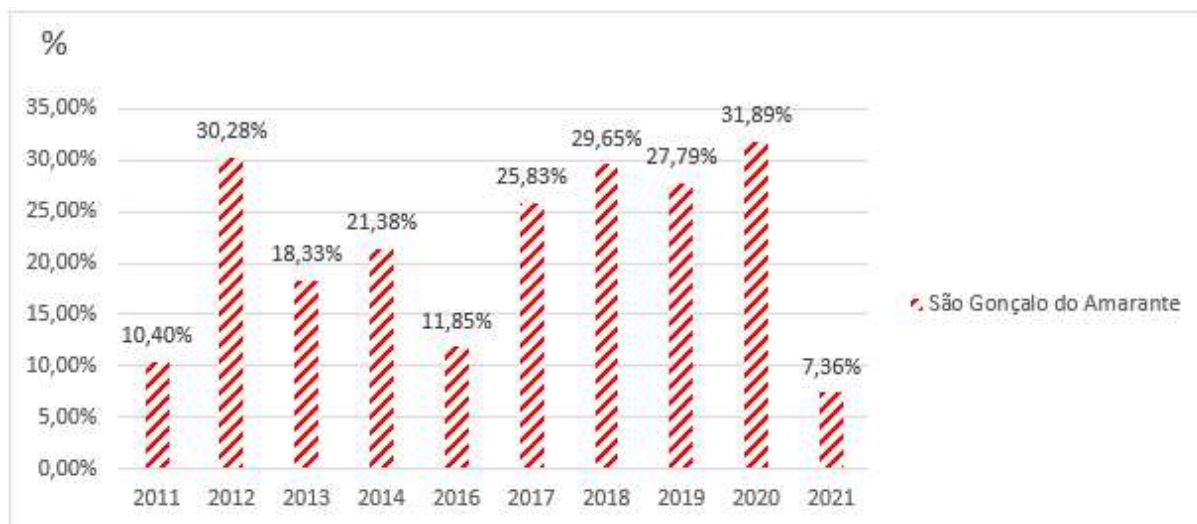
A média dos índices de perdas de faturamento nos últimos 10 anos é de aproximadamente 19,25%. Essa média, embora demonstre uma tendência de melhoria em relação aos valores iniciais, reflete a necessidade contínua de abordagens e estratégias eficazes para reduzir ainda mais as perdas e otimizar a eficiência do sistema de abastecimento de água.

A análise das perdas de faturamento em São Gonçalo do Amarante destaca a importância de medidas de gestão eficazes na otimização do sistema de abastecimento de água. As flutuações acentuadas nos índices ao longo dos anos ressaltam a complexidade desse desafio, mas também demonstram a capacidade de melhoria por meio de estratégias adequadas.

A maior redução observada em 2021 é um sinal positivo da eficácia das ações implementadas. No entanto, a variabilidade nos resultados indica que a gestão das perdas de faturamento continua sendo uma prioridade para garantir o uso sustentável dos recursos hídricos e a sustentabilidade financeira do sistema.

Os resultados e a representação visual desses dados estão disponíveis no Gráfico 17, fornecendo uma ilustração clara da evolução dos índices de perdas de faturamento ao longo do período analisado.

Gráfico 17: IN013 - Índice de perdas de faturamento de São Gonçalo do Amarante



Fonte: Autoria própria.

5.5.2 IN049 – Índice de perdas na distribuição

A análise dos indicadores de perdas na distribuição de água em São Gonçalo do Amarante destaca uma dinâmica marcante ao longo dos anos, com variações notáveis e valiosas lições para a gestão dos recursos hídricos no município.

Em 2011, o índice de perdas na distribuição estava em 20,93%, indicando uma proporção de água perdida durante o processo de distribuição. No ano seguinte, em 2012, esse índice aumentou significativamente para 38,36%, marcando um período de desafios e ineficiências na gestão das perdas.

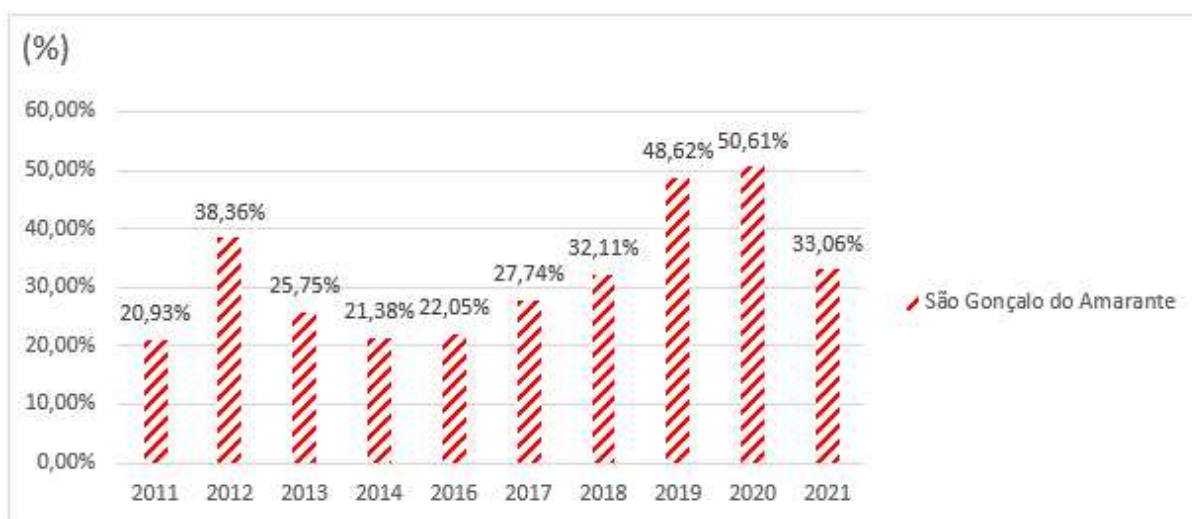
No entanto, a partir de 2013, observou-se uma melhora notável, com o índice caindo para 25,75%. Os anos subsequentes mostraram ainda mais progresso, com o índice de perdas na distribuição atingindo seu ponto mais baixo em 2014, registrando 21,38%. Esse período de redução significativa destacou a eficácia das ações implementadas para mitigar as perdas na distribuição de água.

É importante ressaltar que, entre os anos de 2020 e 2021, houve uma mudança notável no índice de perdas na distribuição. Em 2020, esse índice foi de 50,61%, indicando um

aumento preocupante nas perdas. No entanto, no ano seguinte, em 2021, houve uma melhora significativa, com o índice caindo para 33,06%. Esse resultado demonstra uma capacidade de adaptação e resposta positiva às questões relacionadas à eficiência da distribuição de água.

A média dos índices de perdas na distribuição ao longo desses anos é de aproximadamente 31,09%. O desvio padrão calculado, que atinge 10,76, reflete a variabilidade nos resultados, indicando a necessidade contínua de monitoramento e melhoria na gestão das perdas na distribuição de água em São Gonçalo do Amarante. Destaca-se a relevância de observar o Gráfico 18, o qual oferece uma apresentação visual dos dados, permitindo notar os resultados previamente mencionados.

Gráfico 18: IN049 - Índice de perdas na distribuição



Fonte: Autoria própria.

5.5.3 IN050 – Índice bruto de perdas lineares

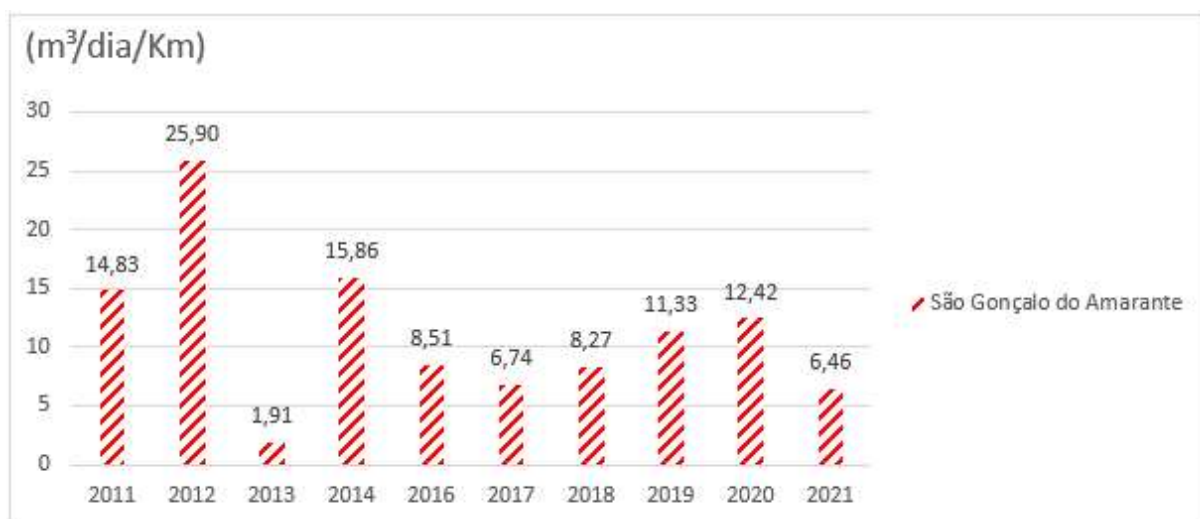
A análise histórica do índice bruto de perdas lineares no município revela flutuações notáveis ao longo do período examinado. No ano de 2012, registrou-se o mais alto valor de perdas lineares, atingindo 25,90 (m³/dia/Km). No entanto, no ano seguinte, 2013, observou-se uma drástica redução para 1,91 (m³/dia/Km), marcando um ponto de virada notável.

Uma característica notável desse indicador é a sua variabilidade ao longo dos anos. Em 2020, o índice atingiu 12,42, mas logo no ano seguinte, 2021, ocorreu uma redução para 6,46. Essa inconsistência nas perdas lineares reflete desafios contínuos na gestão hídrica do município.

A média dos índices de perdas lineares ao longo dos anos é de aproximadamente 11,84, destacando uma tendência central. No entanto, o desvio padrão calculado, que alcança 6,62, aponta para uma considerável variabilidade nos resultados, indicando a necessidade de uma abordagem contínua e adaptável na gestão das perdas de água em São Gonçalo do Amarante.

Esses resultados representados no Gráfico 19 ilustram a complexidade do desafio de minimizar as perdas no sistema de abastecimento de água do município e ressaltam a importância de medidas estratégicas para otimizar a eficiência do sistema.

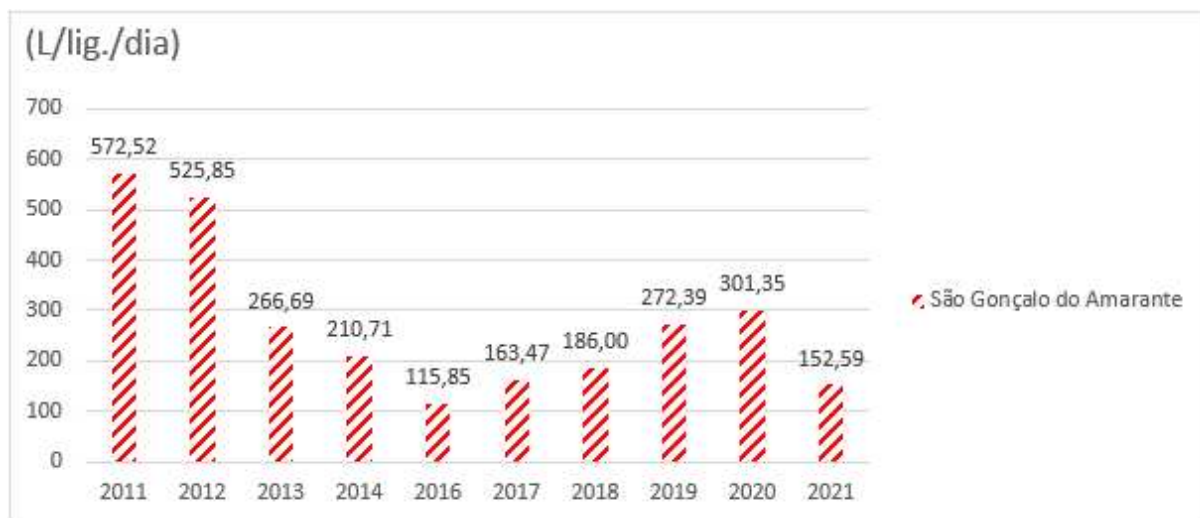
Gráfico 19: IN050 - Índice bruto de perdas lineares de São Gonçalo do Amarante



Fonte: Autoria própria.

5.5.4 IN051 – Índice de perdas por ligação

A avaliação do índice de perdas por ligação em São Gonçalo do Amarante ao longo do período estudado revela uma notável flutuação. No ano de 2011, esse indicador começou com um registro significativamente alto, atingindo 572,52 (L/lig./dia). Entretanto, em 2016, houve uma notável redução para o valor mínimo registrado, apenas 115,85, sinalizando uma melhoria substancial na eficiência do sistema, como pode-se observar no Gráfico 20.

Gráfico 20: IN051 - Índice de perdas por ligação de São Gonçalo do Amarante

Fonte: Autoria própria.

Um aspecto notável dessa análise é a variação significativa entre os anos de 2020 e 2021, com valores de 301,35 e 152,59, respectivamente. Essa variação é ilustrada pelo desvio padrão de 147,62, refletindo a considerável oscilação nos índices de perdas por ligação.

A média dos índices de perdas por ligação ao longo dos anos é de aproximadamente 273,84, destacando uma tendência central. No entanto, a variabilidade nos resultados ressalta a importância de abordagens flexíveis e estratégias adaptáveis para a gestão das perdas de água em São Gonçalo do Amarante.

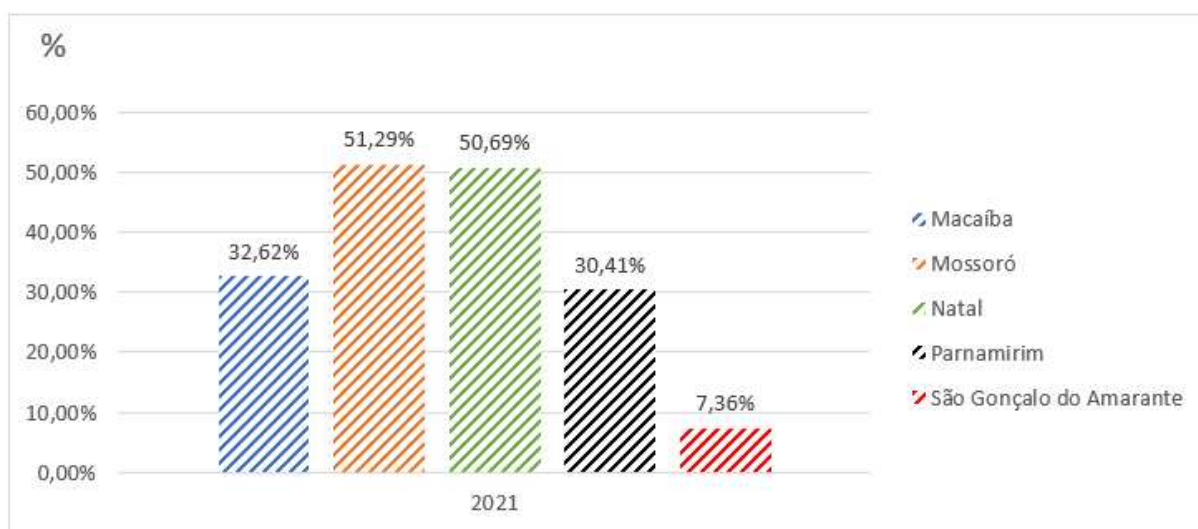
5.6 Comparativo entre os 5 municípios no ano de 2021

5.6.1 IN013 – Índice de perdas faturamento dos 5 municípios em 2021

Ao analisar os índices de perdas de faturamento nos cinco municípios estudados no ano de 2021, a comparação revela diferenças notáveis. São Gonçalo do Amarante apresentou o menor valor dentre eles, registrando apenas 7,36% de perdas. Esse resultado pode servir como um ponto de referência para os demais municípios, oferecendo informações sobre as medidas implementadas nessa localidade para melhorar a eficiência na gestão das perdas de água.

Por outro lado, Natal e Mossoró, os dois municípios mais populosos do Rio Grande do Norte, destacaram-se pelos maiores índices de perdas por faturamento. Natal registrou 50,69%, enquanto Mossoró apresentou 51,29%. Esses números indicam que mais da metade da água produzida por esses municípios não é contabilizada no faturamento, resultando em perdas significativas de receita. Todos os dados registrados, estão disponíveis no gráfico abaixo.

Gráfico 21: IN013 - Índice de perdas faturamento dos 5 municípios em 2021



Fonte: Autoria própria.

Essa comparação destaca a importância de abordagens eficazes na gestão das perdas de água, com potencial para melhorar a arrecadação e garantir o uso sustentável dos recursos hídricos. As práticas adotadas em São Gonçalo do Amarante podem servir como um exemplo a ser considerado pelos demais municípios, visando à redução das perdas e à melhoria da eficiência na distribuição de água.

É importante ressaltar que, quando comparamos esses resultados com o panorama nacional, observamos que o Brasil teve perdas por faturamento no ano de 2021 de 37,56%. Na região Nordeste do Brasil, as perdas atingiram 41,17%, enquanto no estado do Rio Grande do Norte, as perdas chegaram a 40,5%. Com isso, torna-se evidente que os municípios de Natal e Mossoró ficaram acima da média em todos os fatores, indicando a necessidade urgente de implementar melhorias significativas para reduzir esses índices e promover uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

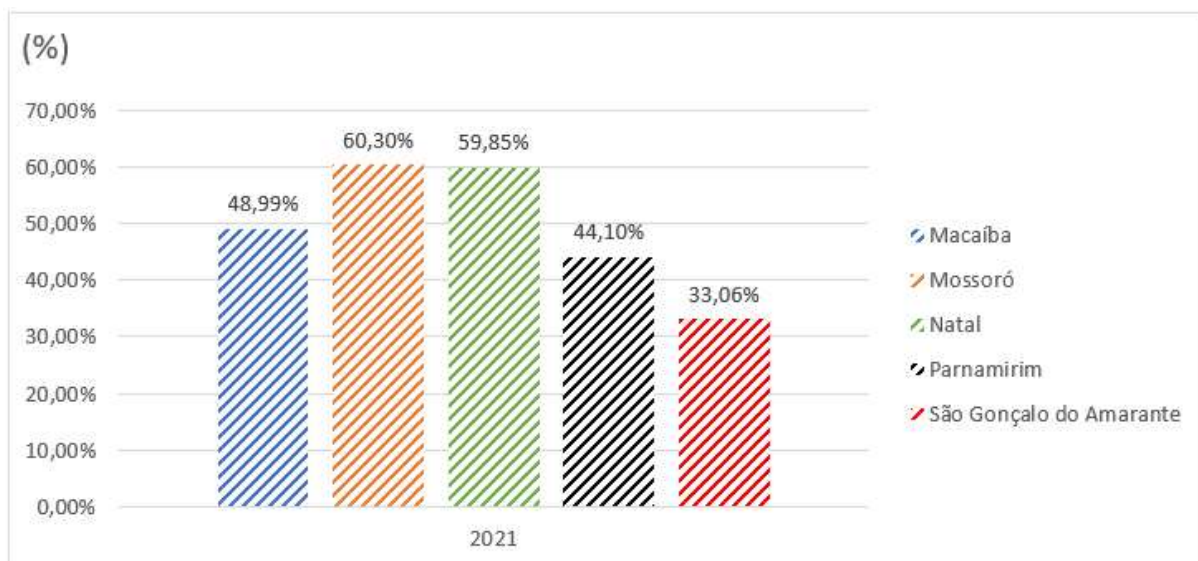
5.6.2 IN049 – Índice de perdas na distribuição dos 5 municípios em 2021

Ao comparar os índices de perdas na distribuição nos cinco municípios estudados no ano de 2021, podemos destacar algumas tendências significativas. Como mencionado anteriormente, Mossoró e Natal apresentaram os maiores índices de perdas na distribuição, registrando 60,30% e 59,85%, respectivamente. Esses altos índices contribuem diretamente para o aumento das perdas de faturamento, uma vez que uma parcela substancial da água produzida não chega aos consumidores.

É importante observar que os demais municípios - Macaíba, Parnamirim e São Gonçalo do Amarante - alcançaram resultados abaixo de 50% em relação às perdas na distribuição. São Gonçalo do Amarante se destacou com o menor índice, registrando apenas 33,06% de perdas na distribuição, o que o coloca em uma posição mais favorável em comparação com os outros municípios estudados.

No contexto nacional, o Brasil registrou um índice de perdas na distribuição de 40,25% no ano de 2021. Na região Nordeste, esse índice foi ainda mais alto, atingindo 46,15%, e no estado do Rio Grande do Norte, as perdas na distribuição foram de 52,19%. Nesse cenário, fica evidente que apenas São Gonçalo do Amarante obteve um índice inferior ao registrado em todo o panorama.

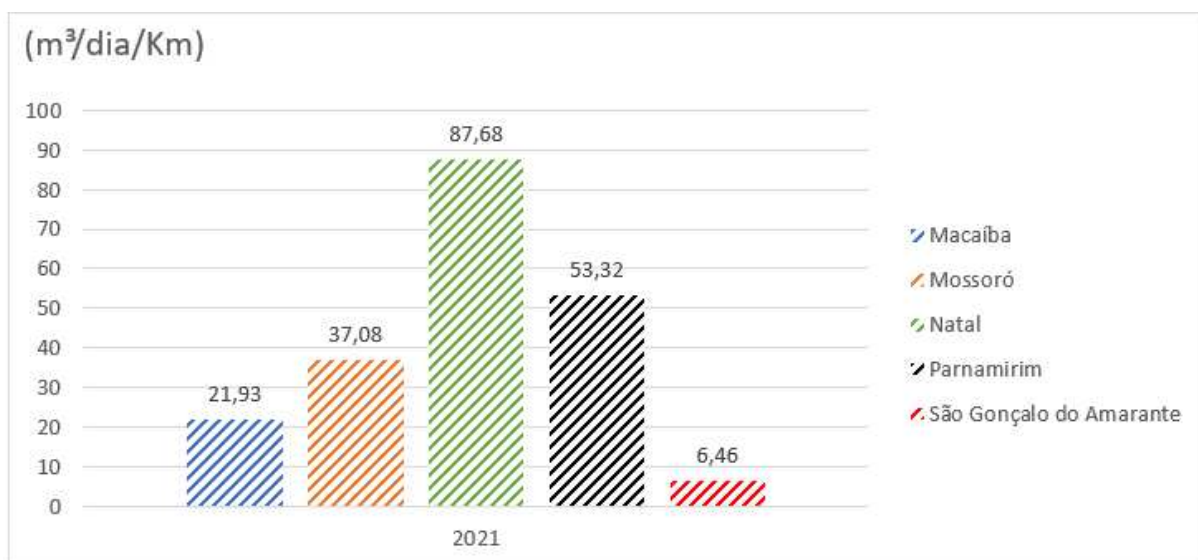
Ressaltando a necessidade de realizar estudos mais aprofundados nos demais municípios que ainda não alcançaram reduções significativas em suas perdas na distribuição. São Gonçalo do Amarante pode servir como um exemplo a ser considerado na busca por estratégias e medidas eficazes para melhorar a eficiência na distribuição de água e reduzir as perdas. Os dados detalhados dessas análises estão apresentados no gráfico abaixo, permitindo uma visualização mais aprofundada das tendências e comparações discutidas anteriormente.

Gráfico 22: IN049 - Índice de perdas na distribuição dos 5 municípios em 2021

Fonte: Autoria própria.

5.6.3 IN050 – Índice bruto de perdas lineares dos 5 municípios em 2021

Nos cinco municípios estudados no ano de 2021, revela informações importantes para a gestão dos recursos hídricos. No Gráfico 23, é evidente que Macaíba registrou um dos menores índices, com 21,93 ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$), perdendo apenas para São Gonçalo do Amarante, que apresentou um índice ainda menor de 6,46 ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$).

Gráfico 23: IN050 - Índice bruto de perdas lineares dos 5 municípios em 2021

Fonte: Autoria própria.

Por outro lado, Natal registrou um índice de 87,68 ($\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$), destacando-se negativamente com o maior valor entre os municípios estudados. Parnamirim também

apresentou um índice significativo, com 53,32 (m³/dia/Km). Esses números indicam que Macaíba e São Gonçalo do Amarante estão alinhados com os índices registrados no panorama nacional, enquanto Natal e Parnamirim estão superando esses valores, o que é um fator preocupante.

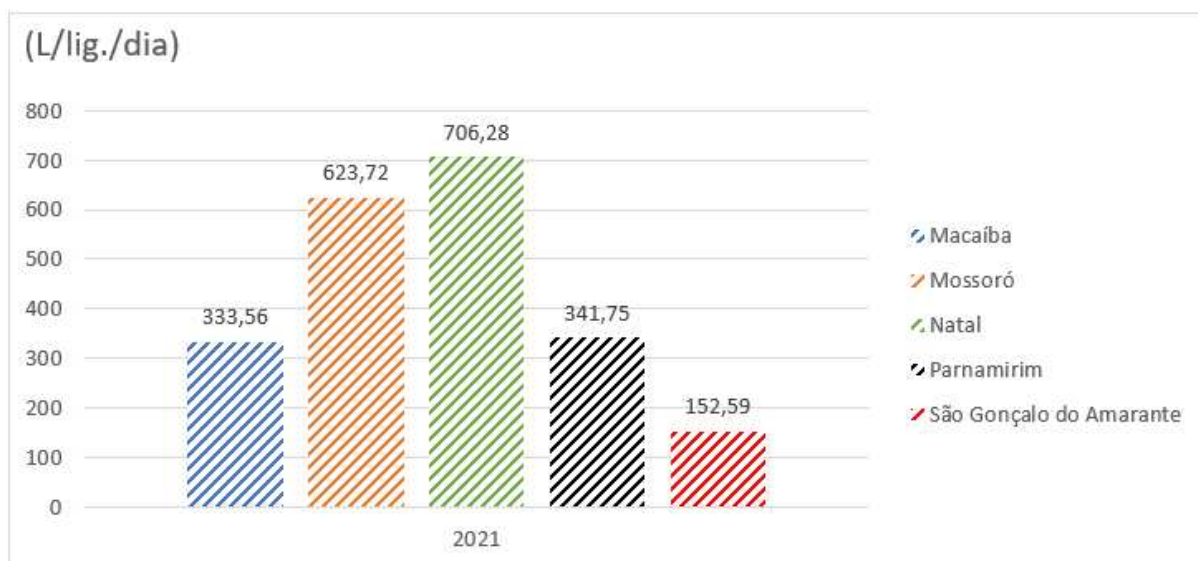
Em termos de contexto, o Brasil registrou um índice de 24,45 (m³/dia/Km) para perdas lineares no ano de 2021. Na região Nordeste do Brasil, esse valor foi um pouco maior, atingindo 27,89 (m³/dia/Km), e no estado do Rio Grande do Norte, o índice foi de 26,68 (m³/dia/Km). Assim, apenas Macaíba e São Gonçalo do Amarante estão operando com índices alinhados aos valores regionais e nacionais, enquanto os demais municípios apresentam valores superiores, apontando para a necessidade de medidas de gestão mais eficazes para reduzir as perdas lineares.

5.6.4 IN051 – Índice de perdas por ligação dos 5 municípios em 2021

No ano de 2021, ao analisarmos o índice de perdas por ligação nos cinco municípios estudados - São Gonçalo do Amarante, Macaíba, Parnamirim, Mossoró e Natal - observamos uma discrepância significativa entre eles. São Gonçalo do Amarante continua a apresentar o menor índice, com 152,59 (L/lig./dia), seguido de Macaíba e Parnamirim, com índices de 333,56 e 341,75, respectivamente.

No entanto, chama a atenção a situação de Mossoró e Natal, os dois municípios mais populosos do estado do Rio Grande do Norte, que registram os maiores índices de perdas por ligação, com valores de 623,72 e 706,28, respectivamente. Esses números são críticos, especialmente considerando o panorama nacional, onde as perdas por ligação são de 333,93 (L/lig./dia), e na região Nordeste, onde os índices chegam a 343,59 (L/lig./dia). No estado do Rio Grande do Norte, esses valores alcançam 431,28 (L/lig./dia).

Essa discrepância entre os municípios mais populosos e os demais indica a necessidade de uma análise mais aprofundada e de medidas específicas para reduzir as perdas por ligação em Mossoró e Natal. Por outro lado, São Gonçalo do Amarante, Macaíba e Parnamirim estão em uma posição mais favorável, com índices abaixo dos valores registrados no panorama da Região Nordeste e do estado do RN. Esses dados ressaltam a importância de uma gestão eficiente dos recursos hídricos e a necessidade de medidas direcionadas para cada realidade municipal como podemos visualizar no Gráfico 24.

Gráfico 24: IN051 - Índice de perdas por ligação dos 5 municípios em 2021

Fonte: Autoria própria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na conclusão deste estudo, os objetivos propostos foram plenamente alcançados, fornecendo uma análise abrangente dos índices de perdas de água nos municípios de Macaíba, Mossoró, Natal, Parnamirim e São Gonçalo do Amarante, localizados no estado do Rio Grande do Norte. Os resultados obtidos revelam uma variação significativa nos índices de perdas de faturamento, perdas na distribuição, perdas por ligação e perdas lineares ao longo dos anos e entre os municípios analisados.

Este trabalho destacou a importância da gestão eficiente dos recursos hídricos, uma vez que perdas excessivas afetam negativamente a eficiência operacional dos sistemas de abastecimento de água e contribuem para o desperdício de um recurso tão valioso. Os municípios de Natal e Mossoró emergiram como os que enfrentam os maiores desafios em relação às perdas de água, destacando a necessidade de medidas corretivas e políticas públicas direcionadas para melhorar a eficiência dos sistemas de abastecimento de água nessas áreas.

Além disso, este estudo também enfatizou a importância do uso de dados e análises estatísticas na gestão das perdas de água. A aplicação de ferramentas como os índices de perdas e a criação de *dashboards* possibilita uma compreensão mais aprofundada dos problemas existentes e facilita a tomada de decisões embasadas em evidências.

Para pesquisas futuras, sugere-se a investigação de estratégias específicas para a redução das perdas de água nos municípios identificados como críticos, bem como a avaliação do impacto das políticas públicas e investimentos em infraestrutura na eficiência dos sistemas de abastecimento de água. Além disso, estudos comparativos com outras regiões do Brasil podem enriquecer ainda mais o conhecimento sobre o tema e contribuir para a melhoria da gestão dos recursos hídricos em nível nacional.

REFERÊNCIAS

(AESBE), Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. **Série Balanço Hídrico – Guias Práticos**. Distrito Federal, 2015. 6 v.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019.

ANTÓNIO KHANLAWIA; GONZAGA CHILOLE; LUÍS CRISTÓVÃO. Avaliação das perdas de água em redes de distribuição: Município de Chimoio, Moçambique. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e4911628535-e4911628535, 19 abr. 2022.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de Saneamento**. Brasília: Funasa, 2015.

BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto**. Brasília: SNIS, 2021.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de Saneamento**. Brasília: Funasa, 2015.

BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto**. Brasília: SNIS, 2021.

CAERN, Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - **Relatório de ocorrências de vazamentos em rede de abastecimento de água para nas zonas sul, leste e oeste de Natal**. Natal: CAERN, 2019

CAERN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. **A Companhia**. RN, 2020. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/caern/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=496&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=A+Caern>>. Acesso em: 10 jan. de 2022

CAERN - COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Plano de Contingência e Emergência** – Natal. 2018.

CODEVASF. **BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE**. Rio Grande do Norte: Codevasf, 2020.

FERREIRA DA SILVA, F. **Avaliação das perdas de água em um Distrito de Medição e Controle do Sistema de Abastecimento de Água do município de São José/SC**. repositorio.animaeducacao.com.br, 29 jun. 2022.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2 ed. Brasília: Funasa, 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estado: Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn.html>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades: Macaíba, 2022.

Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades: São Gonçalo do Amarante, 2022.

Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades: Natal, 2022.

Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades: Mossoró, 2022.

Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades: Parnamirim, 2022. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Macaíba: perfil do seu município**. Natal, 2013. Disponível no site www.idema.rn.gov.br.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **PERDAS DE ÁGUA 2020 (SNIS 2018): DESAFIOS PARA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E AVANÇO DA EFICIÊNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO**. São Paulo: Trata Brasil, 2021.

MACAÍBA. **Diagnostico integrado**. Natal: FUNCERN, 2019. Disponível em: <https://macaiba.rn.gov.br/plano-diretor/>.

PEIXOTO, F. D. S. et al. Uma Cidade Sobre as Águas: Uso E Qualidade Das Águas Subterrâneas Em Mossoró/Rn. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 12, p. 294–307, 2021.

PEREIRA, Sansara Félix; TINÔCO, Juliana Delgado. Avaliação das perdas de água em sistema de abastecimento de água: estudo no setor parque das nações, Parnamirim/RN. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 32-45, 2021.

PHILIPPI JR, A.; GALVÃO JR, A. DE C. **Gestão do saneamento básico: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. 1º. ed. Barueri, SP: Manole, 2012.

PORTELA, R. R. DE J.; COSTA, R. B. DA; CORREIA, J. B. ANÁLISE DAS PERDAS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NOS MUNICÍPIOS DO MATO GROSSO DO SUL. **GEOFRONTER**, v. 9, 29 jun. 2023.

SANTOS, Danielle Dionisia. **AValiação da metodologia para controle de perdas de água em sistema de distribuição no Recife-PE**. 2013. 121 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SILVA, B. L.; TROLEIS, A. L. A ESTRUTURA HÍDRICA DO TERRITÓRIO DO RIO GRANDE DO NORTE. **Sociedade e Território**, v. 31, n. 2, p. 73–96, 7 jan. 2020.

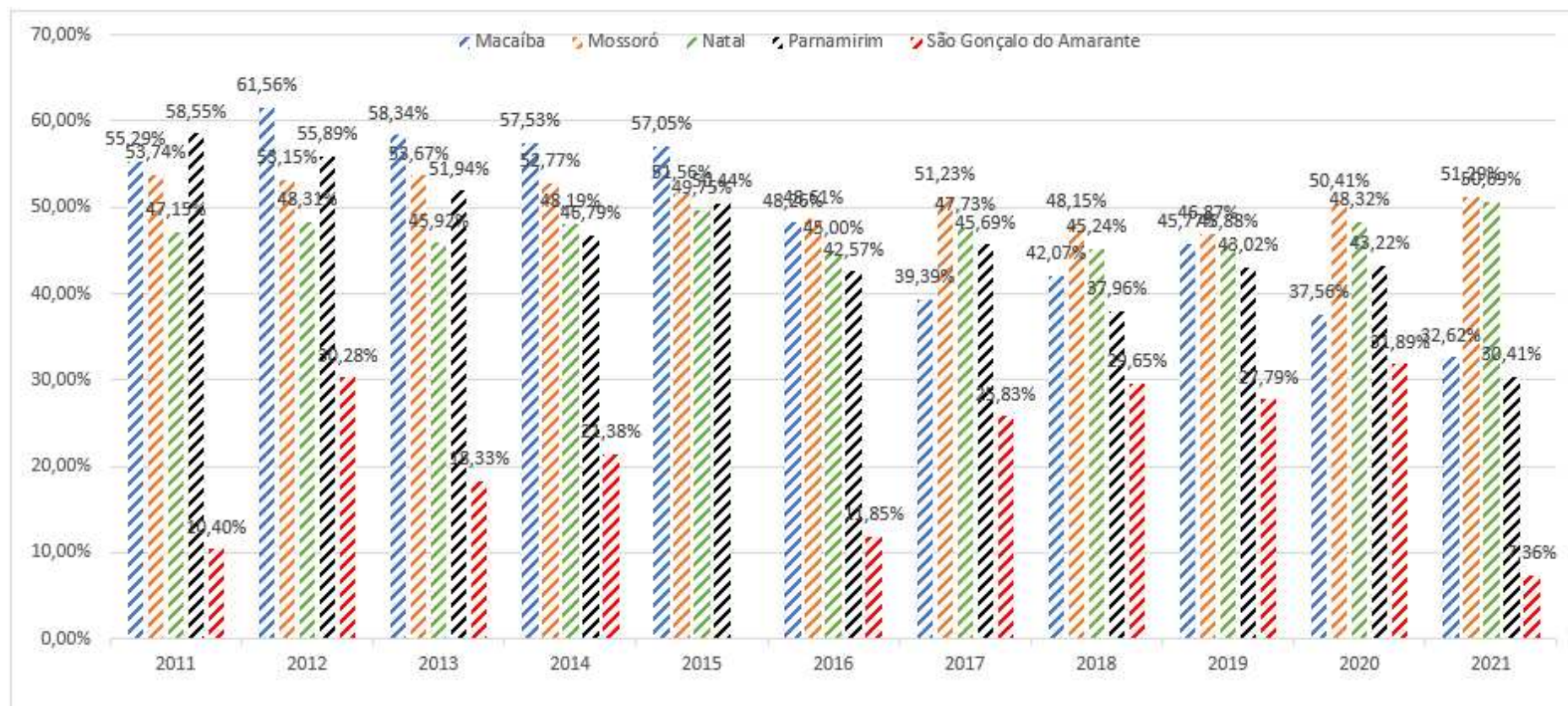
SNIS. Sistema Nacional de Informações do Saneamento, 2023. Governo Federal. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano. Brasília.

SNIS. **Perguntas frequente sobre SNIS, 2019.** Disponível em: <http://www.snis.gov.br/perguntas-frequentes>.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. (2020) **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto.** Brasília: Ministério das Cidades/SNSA/PMSS.

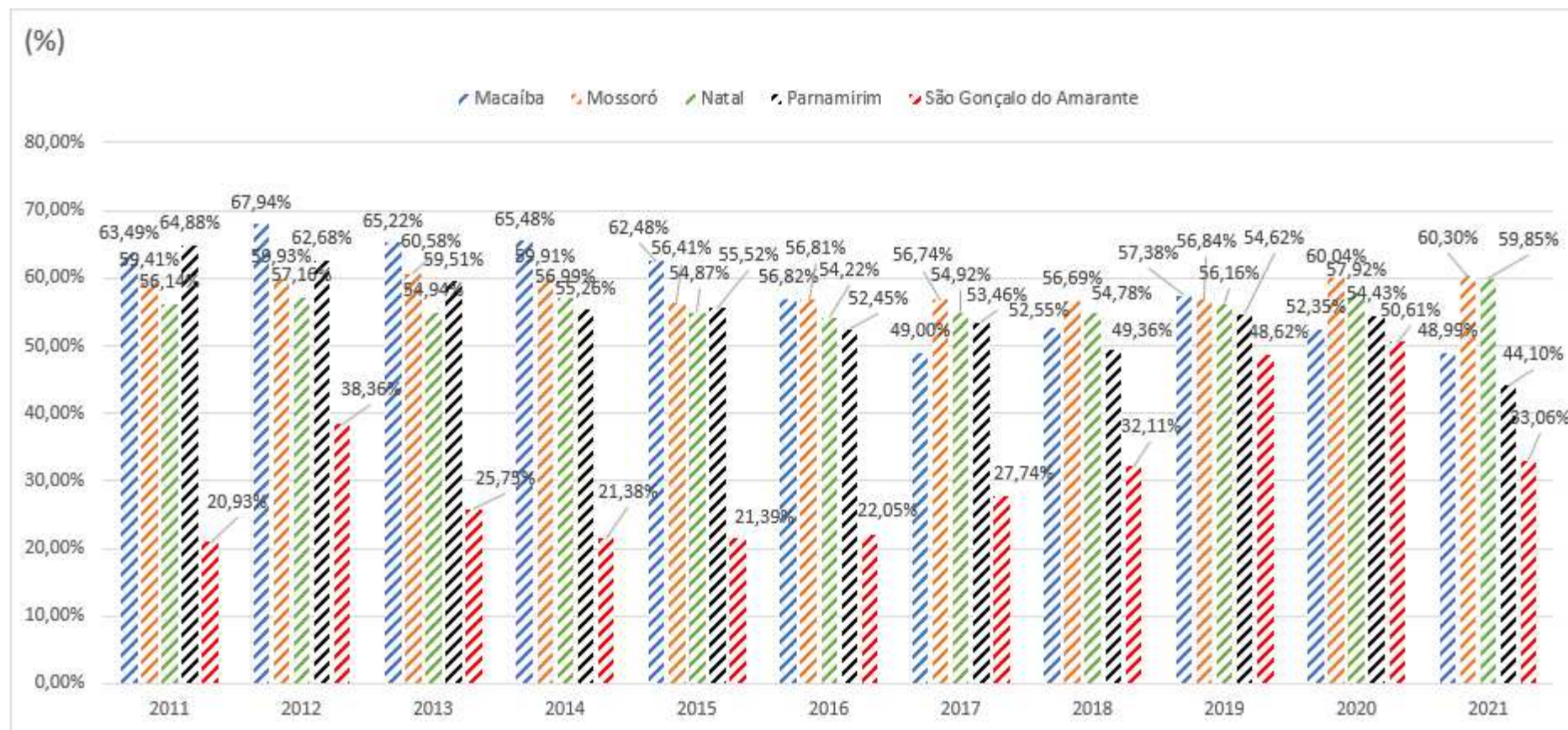
APÊNDICE A – *DASHBOARD* DOS 5 MUNICÍPIOS ESTUDADOS AO LONGO DE 10 ANOS.

Gráfico 25: IN013 - Índice de perdas faturamento, Série histórica



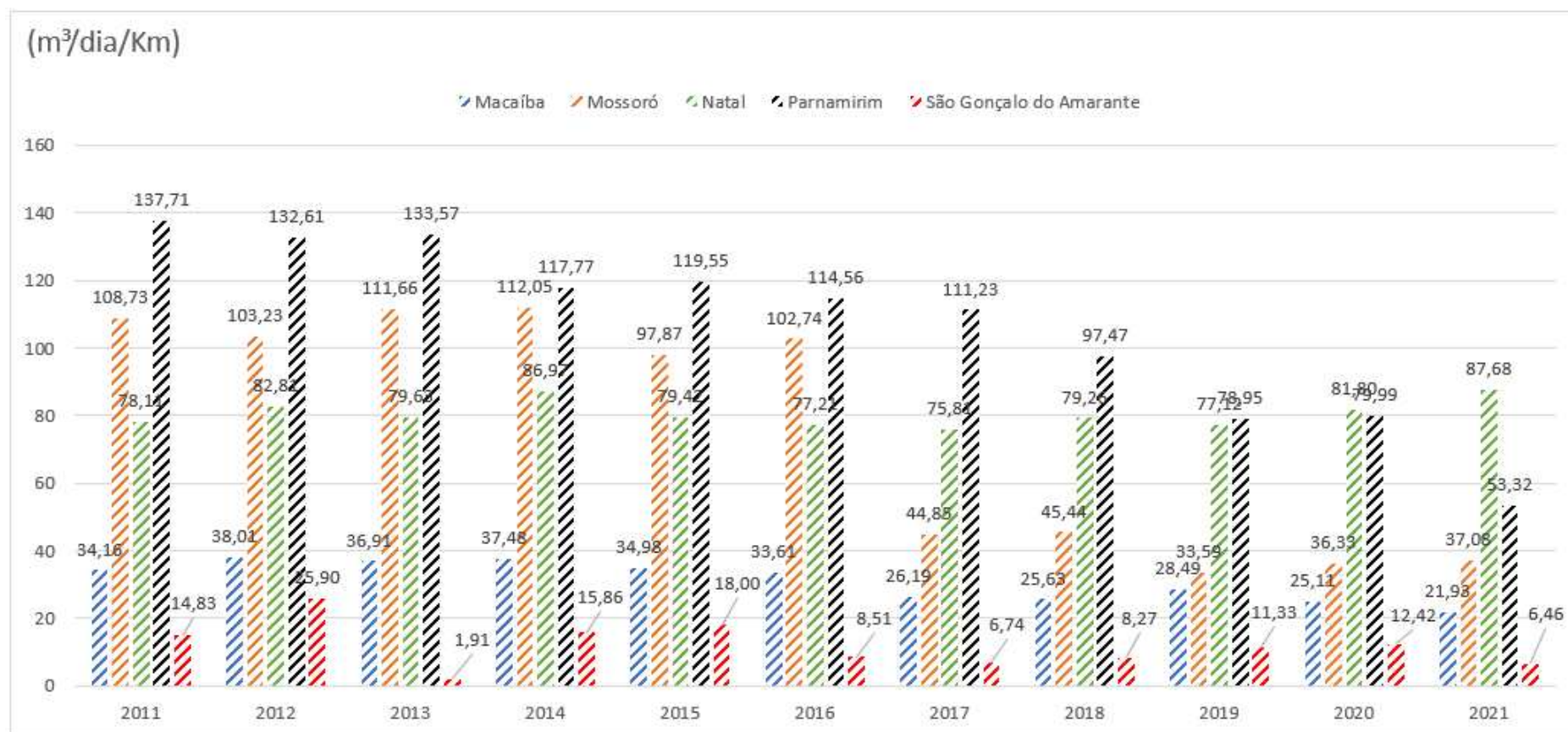
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 26: IN049 - Índice de perdas na distribuição, Série histórica



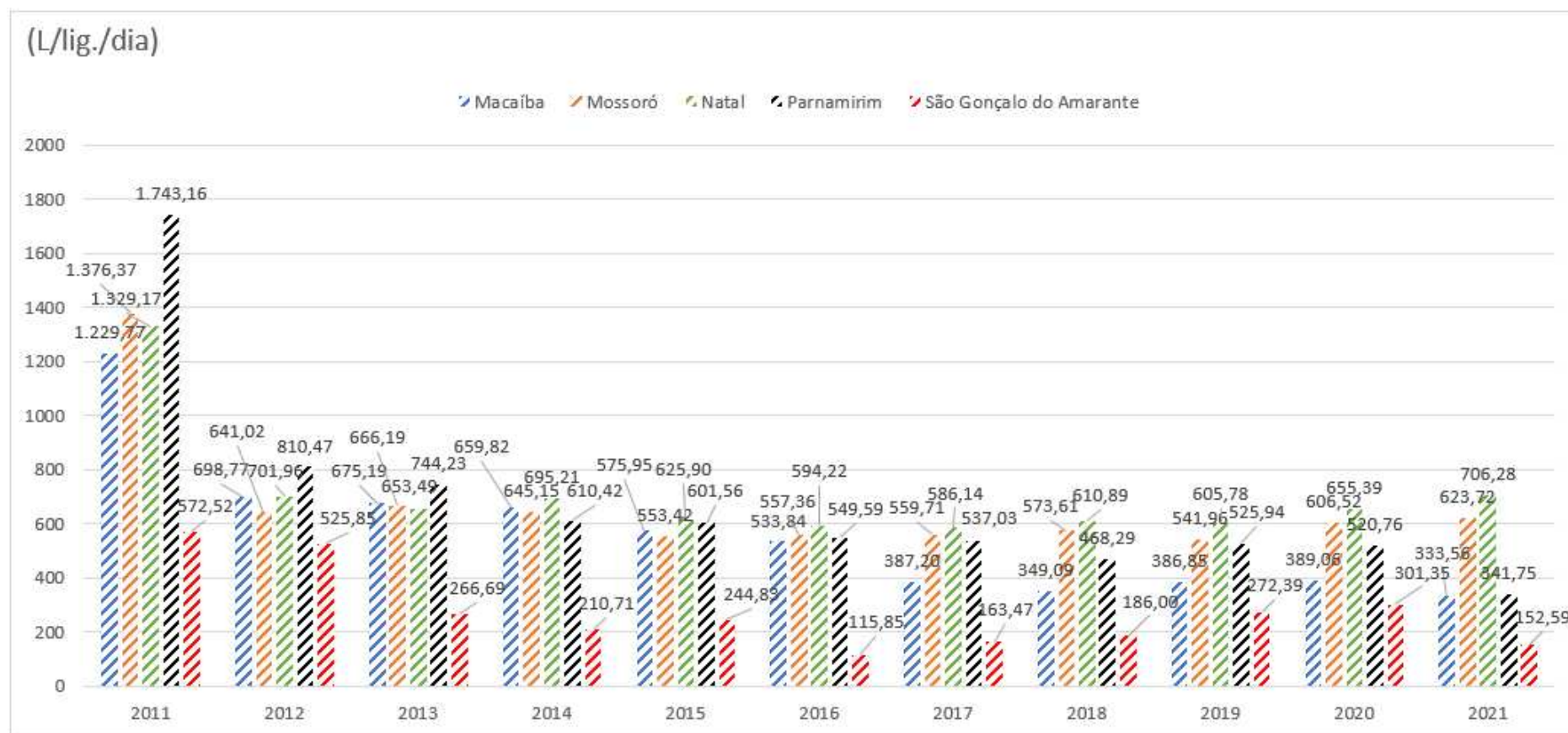
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 27: IN050 - Índice de bruto de perdas lineares, Série histórica



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 28: IN051 - Índice de perdas por ligação, Série histórica



Fonte: Autoria própria.