

## II-559 - ANÁLISE DE *CLUSTERS* DO SERVIÇO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE DA PARAÍBA A PARTIR DE INDICADORES

**Ayrton Flavio Nascimento de Sousa<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG.

**Elis Gean Rocha<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Doutora em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela UFCG.

**Lorena Rayssa Cunha França<sup>(3)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Doutoranda em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela UFCG.

**Marília Marcy Cabral de Araújo<sup>(4)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (UnB). Doutora em Estruturas e Construção Civil pela UnB. Professora da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.

**Tércio Aragão Brilhante<sup>(5)</sup>**

Graduado em Direito pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Mestre em Direito pela UNIFOR. Procurador Federal da Procuradoria Federal Especializada junto à Fundação Nacional de Saúde (Funasa).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Landislaui Rodrigues de Souza, 96 - Centenário - Campina Grande - PB - 58428090 - Brasil - Tel: +55 (83) 98618-3151 - e-mail: [ayrtonflavions@gmail.com](mailto:ayrtonflavions@gmail.com).

### RESUMO

O Marco Legal do Saneamento prevê que a universalização do serviço de esgotamento sanitário atinja 90% da população com coleta e tratamento até o ano de 2033. A caracterização da prestação dos serviços de esgotamento sanitário deve ser realizada a partir de indicadores econômico-financeiros, administrativos, operacionais e de qualidade. Assim, a utilização de análise de agrupamento nos processos avaliativos associado a indicadores de desempenho, pode contribuir na identificação de grupos com diferentes características, potencializando a organização de dados complexos em agrupamentos de fácil compreensão para priorização de ações exequíveis por parte dos gestores. Este trabalho tem como objetivo avaliar o serviço de esgotamento sanitário de 49 municípios de pequeno porte do estado da Paraíba, partícipes do TED n° 003/2019 Funasa/UFCG, utilizando o método de Ward de análise de agrupamentos para os indicadores de cobertura, tratamento e domicílios com banheiro, viabilizando a análise da relação entre as características obtidas e a geolocalização dos municípios a partir das Microrregiões de Água e Esgoto da Paraíba. Os municípios foram divididos em cinco agrupamentos. Apesar dos municípios do *cluster 1* coletarem o esgoto, o tratamento é pouco realizado, sendo o esgoto lançado de forma direta nos corpos hídricos ou no solo, como pôde ser verificado em visitas técnicas aos municípios. No *cluster 2*, onde os municípios apresentaram taxa de cobertura da rede de esgoto superiores a 50%, também apresentaram bons indicadores no atendimento rural, sendo notória a influência do atendimento na zona rural no desempenho do município para a universalização do serviço. O *cluster 3* composto por três municípios tem como característica principal a alta taxa de tratamento do esgoto coletado nos municípios, entretanto apresentam déficit de cobertura, tanto na zona urbana quanto na rural. Formado por oito municípios, o *cluster 4* apresentou o baixo desempenho tanto para os indicadores de cobertura, como para tratamento do esgoto, se comparado aos demais municípios analisados. O maior agrupamento gerado foi o *cluster 5* (17 municípios) que possuem similaridades na taxa de domicílios com banheiro, que foram inferiores à média da Paraíba para 82,3% dos municípios em estudo. Apesar da baixa relação existente entre os *clusters* e a geolocalização dos municípios, foi possível identificar os principais desafios da prestação regionalizada do serviço para as microrregiões do Litoral, Borborema e Alto Piranhas. Desta forma, pode sugerir que para atingir a efetividade da prestação dos serviços de esgotamento sanitário e sua universalização no Estado é necessário um plano de ações por microrregião de água e esgoto, com iniciativas específicas de cada gestão municipal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise de agrupamento, Método de Ward, PMSB, Coleta de esgoto, Saneamento Rural.

## INTRODUÇÃO

A Lei Federal nº 11.445/2007, atualizada pela Lei Federal nº 14.026/2020, define o saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e manejo e drenagem de águas pluviais. Além disso, apresenta como um dos princípios fundamentais, no inciso I do artigo 2º, a universalização do acesso e efetiva prestação dos serviços de saneamento básico (BRASIL, 2020).

Ao se tratar de esgotamento sanitário, a Lei Federal supracitada prevê ainda que a universalização atinja 90% da população com coleta e tratamento até o ano de 2033. Entretanto, Coutinho (2021) afirma que, historicamente, são detectadas ineficiências quanto à oferta de saneamento básico no Brasil, tanto referente à universalização do serviço prestado, quanto à sua qualidade e efetividade.

De acordo com o panorama de esgotamento sanitário apresentado pelo Instituto Trata Brasil (2020), apenas 55% da população brasileira possui rede coletora de esgoto e somente 50,8% do esgoto coletado é tratado, os demais são lançados diretamente no meio ambiente, degradando os recursos naturais. Além disso, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC) (2019) informou que 97,8% dos domicílios brasileiros possuem banheiro ou sanitário de uso exclusivo, enquanto quatro milhões de habitantes ainda não dispõem destas instalações. A pesquisa ainda apresenta as médias estaduais e na Paraíba a taxa atingiu 96,9% no ano de 2019.

Ainda de acordo Instituto Trata Brasil (2020), no estado da Paraíba estes indicadores estão abaixo da média nacional, onde apenas 38,21% da população tem o esgoto coletado e destes, somente 43,83% é tratado. Essa problemática está associada a deficiências no planejamento, gestão e investimentos no setor. Contudo, um elemento importante para implementação de ações e projetos no setor é avaliar e compreender o cenário existente e estabelecer prioridades para garantir a efetividade das melhorias propostas na prestação do serviço de esgotamento sanitário a nível de município, microrregião e estado.

Desse modo, os sistemas de avaliação da prestação de serviço por meio de indicadores de desempenho mostram-se importantes para monitorar e estabelecer melhorias contínuas para a eficácia e eficiência do serviço prestado, impactando diretamente a qualidade, a comparabilidade e o acompanhamento dos resultados de entidades similares nas esferas municipal, estadual e nacional (VIEIRA e BAPTISTA, 2008).

A Fundação Nacional de Saúde (Funasa) (2018) define que a caracterização da prestação dos serviços de esgotamento sanitário deve ser realizada a partir de indicadores econômico-financeiros, administrativos, operacionais e de qualidade. E, ainda, ressalta a importância da avaliação dos indicadores na elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico para a condução de uma gestão e regulação eficientes nos municípios. Para isso, é imprescindível o interesse dos gestores municipais na coleta e preenchimento de dados fidedignos, a fim de uma avaliação efetiva dos serviços prestados.

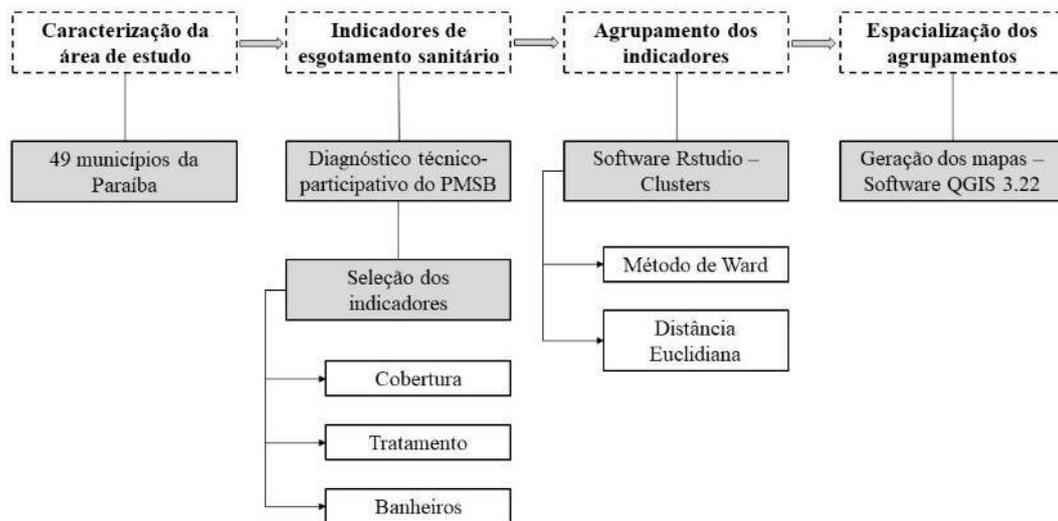
Essa avaliação por meio de indicadores objetiva dar subsídio aos gestores públicos na aplicação de ações efetivas, visando a universalização dos serviços. Tanaka *et al.* (2020) afirmam que, associado à avaliação dos indicadores de desempenho, a utilização de análise de agrupamento (*cluster analysis*) nos processos avaliativos pode contribuir na identificação de grupos com diferentes desempenhos, potencializando a organização de dados complexos em agrupamentos de fácil compreensão para priorização de ações exequíveis por parte dos gestores.

## OBJETIVO

Avaliar o serviço de esgotamento sanitário de 49 municípios de pequeno porte do estado da Paraíba, partícipes do TED 003/2019 Funasa/UFCEG, utilizando o método de Ward de análise de agrupamentos (*cluster analysis*) para os indicadores de cobertura, tratamento e domicílios com banheiro, viabilizando a análise da relação entre as características obtidas e a geolocalização dos municípios a partir das Microrregiões de Água e Esgoto da Paraíba.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A Figura 1 apresenta as etapas metodológicas realizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

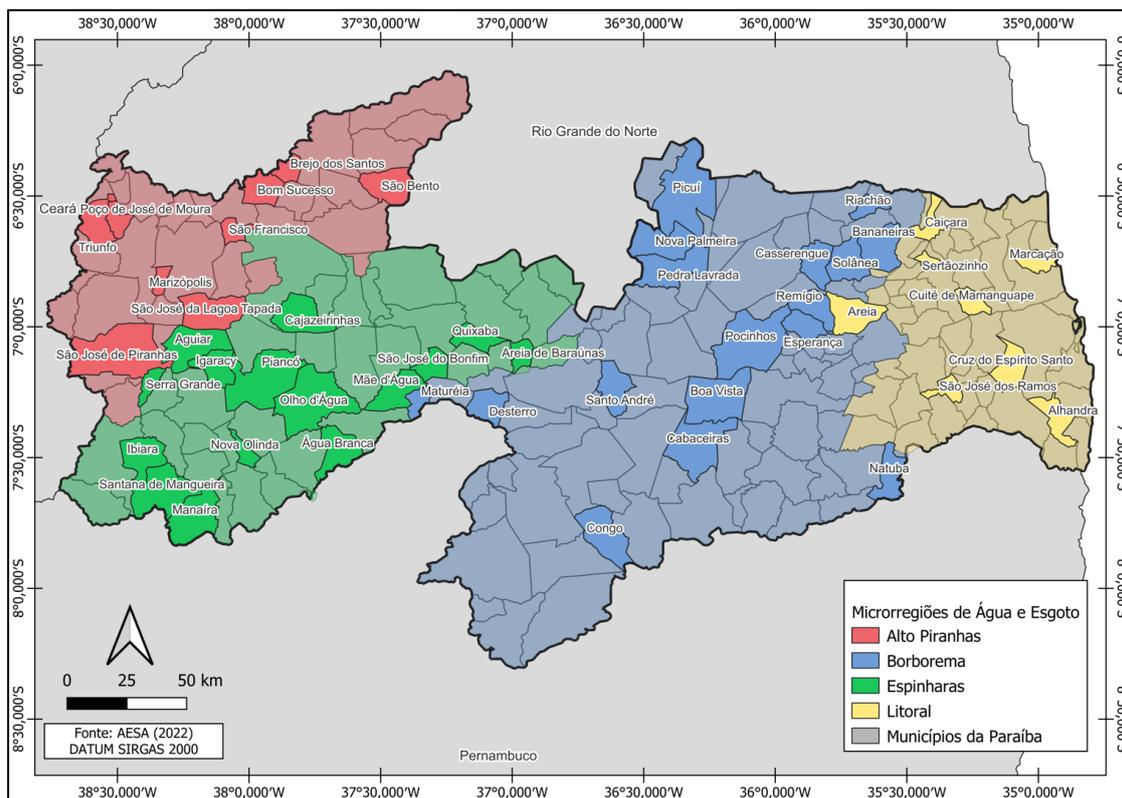


**Figura 1: Fluxograma das etapas metodológicas**

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Funasa e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) firmaram parceria para elaboração da minuta dos Planos Municipais de Saneamento Básico de 49 municípios paraibanos com população inferior a 50 mil habitantes, a partir da realização do Termo de Execução Descentralizada nº 003/2019 (PMSB-PB/UFCG, 2021). Os municípios que foram selecionados no TED supracitado compõem a área de estudo deste trabalho e estão apresentados na Figura 2.

Com o objetivo de atingir a universalização dos serviços de saneamento básico, o Governo do Estado instituiu, por meio da Lei Complementar nº 168/2021, as Microrregiões de Água e Esgoto da Paraíba. Estas possuem “funções públicas de direito comum o planejamento, a regulação, a fiscalização e a prestação, direta ou contratada, dos serviços públicos de abastecimento de água, esgotamento sanitário e de manejo de águas pluviais urbanas” (PARAÍBA, 2021). Salienta-se a importância de estruturar o saneamento dos municípios a partir da intermunicipalidade em cada microrregião. O Quadro 1 apresenta os municípios desse estudo divididos pelas microrregiões do Litoral, da Borborema, de Espinharas e do Alto Piranhas da Paraíba.



**Figura 2: Municípios participantes do TED 003/2019 Funasa/UFPG**

**Quadro 1: Municípios divididos por microrregiões de água e esgoto da Paraíba. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2021).**

MICRORREGIÕES DE ÁGUA E ESGOTO DA PARAÍBA	MUNICÍPIOS ATENDIDOS
Litoral	Alhandra, Areia, Caiçara, Cruz do Espírito Santo, Cuité de Mamanguape, Marcação, São José dos Ramos e Sertãozinho.
Borborema	Bananeiras, Boa Vista, Cabaceiras, Casserengue, Congo, Desterro, Esperança, Maturéia, Natuba, Nova Palmeira, Pedra Lavrada, Picuí, Pocinhos, Remígio, Riachão, Santo André e Solânea.
Espinharas	Água Branca, Aguiar, Areia de Baraúnas, Cajazeirinhas, Ibiara, Igaracy, Mãe d'Água, Manaíra, Nova Olinda, Olho d'Água, Piancó, Quixaba, Santana de Mangueira, São José do Bonfim e Serra Grande.
Alto Piranhas	Bom Sucesso, Brejo dos Santos, Marizópolis, Poço de José de Moura, São Bento, São Francisco, São José da Lagoa Tapada, São José de Piranhas e Triunfo.

### INDICADORES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Os indicadores utilizados neste artigo foram levantados nas etapas do Diagnóstico Técnico-Participativo e do Prognóstico do Saneamento Básico do TED n° 003/2019 UFPG/Funasa. Foram calculados a partir dos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), do censo de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), bem como das informações levantadas por meio de visitas técnicas e disponibilizadas pelos membros das Prefeituras Municipais no Comitê Executivo do PMSB.

O Quadro 2 apresenta os indicadores selecionados que englobam informações referentes ao serviço de esgotamento sanitário quanto a cobertura, tratamento e aos domicílios com banheiros, tanto para a zona urbana quanto para a zonal rural. Os indicadores de atendimento IND001, IND002, IND003, IND004 e IND006 foram desenvolvidos a partir de

mapas elaborados para o PMSB desses municípios, com o objetivo de preencher uma lacuna nos dados disponíveis sobre o serviço de esgotamento sanitário quanto a cobertura, tratamento e tipo de soluções utilizadas pela população.

**Quadro 2: Indicadores do serviço de esgotamento sanitário escolhidos para o estudo. Fonte: Adaptado de PMSB-PB/UFCG (2021).**

INDICADOR	EQUAÇÃO	UNIDADE	FONTE
Taxa de domicílios urbanos atendidos por rede coletora ou fossa séptica (IND001)	(Área com domicílios atendidos por rede coletora ou fossa séptica / Área habitada da mancha urbana) · 100	%	PMSB-PB/UFCG (2022)
Taxa de domicílios rurais atendidos por rede coletora ou fossa séptica (IND002)	(Número de domicílios rurais atendidos por rede coletora ou fossa séptica / Área habitada da mancha urbana) · 100	%	Adaptado de IBGE (2010)
Indicador de cobertura da rede coletora (IND003)	(Área com rede coletora / Área habitada da mancha urbana) · 100	%	PMSB-PB/UFCG (2021)
Extensão da rede de esgoto por área (IND004)	(Extensão da rede de esgotos / Área com rede) · 1000	m/m <sup>2</sup>	PMSB-PB/UFCG (2021)
Indicador de tratamento de esgoto (IND005)	(Volume de esgoto coletado tratado / Volume de esgoto coletado) · 100	%	PMSB-PB/UFCG (2022)
Indicador de cobertura da ETE (IND006)	(Área de rede coletora com esgoto tratado / Área habitada da mancha urbana) · 100	%	PMSB-PB/UFCG (2021)
Taxa de domicílios urbanos e rurais que possuem banheiro ou sanitário de uso exclusivo (IND007)	(Número total de domicílios que possuem banheiro ou sanitário de uso exclusivo / Total de domicílios) · 100	%	Adaptado de IBGE (2010)

## AGRUPAMENTO DOS INDICADORES

A análise de agrupamento visa classificar os objetos estudados por similaridade ou dissimilaridade entre si, organizando o conjunto de dados em grupos que possuem características semelhantes. As semelhanças são avaliadas por uma métrica apropriada que determina as distâncias entre cada objeto (ALBUQUERQUE, 2013).

Dentre os diversos métodos de agrupamentos de dados, o método de Ward busca atingir o menor erro interno entre os objetos que compõe cada agrupamento e a medida de similaridade utilizada é a soma dos quadrados dos desvios de cada objeto para minimizar a soma dos quadrados dentro do grupo (MURTAGH e LEGENDRE, 2014). Segundo Doni (2004), o método de Ward apresenta bons resultados quando utilizado com distâncias euclidianas, com tendência a combinar grupos com elementos parecidos e é sensível à presença de *outliers*.

O *software* estatístico utilizado para a análise de agrupamento foi o R combinado com o RStudio, que apresenta a interface de forma simplificada para realização dos processos. A metodologia se baseou no documento 133 da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (2020) que apresenta uma abordagem prática de análise exploratória de agrupamentos hierárquicos no *software* R através de *scripts* desenvolvidos para cada método de agrupamento (FERREIRA *et al.*, 2020).

Para isso, a função utilizada no R foi a *hclust* do pacote *stats*, com o método de Ward (*method=ward*), utilizando as distâncias euclidianas (*method = 'euclidian'*) na combinação dos grupos. Na sequência, foi gerado o dendrograma (*dend.ward*), que apresenta os grupos gerados pelo método, bem como o nível de similaridade entre os municípios em estudo.

## ESPAIALIZAÇÃO DOS INDICADORES

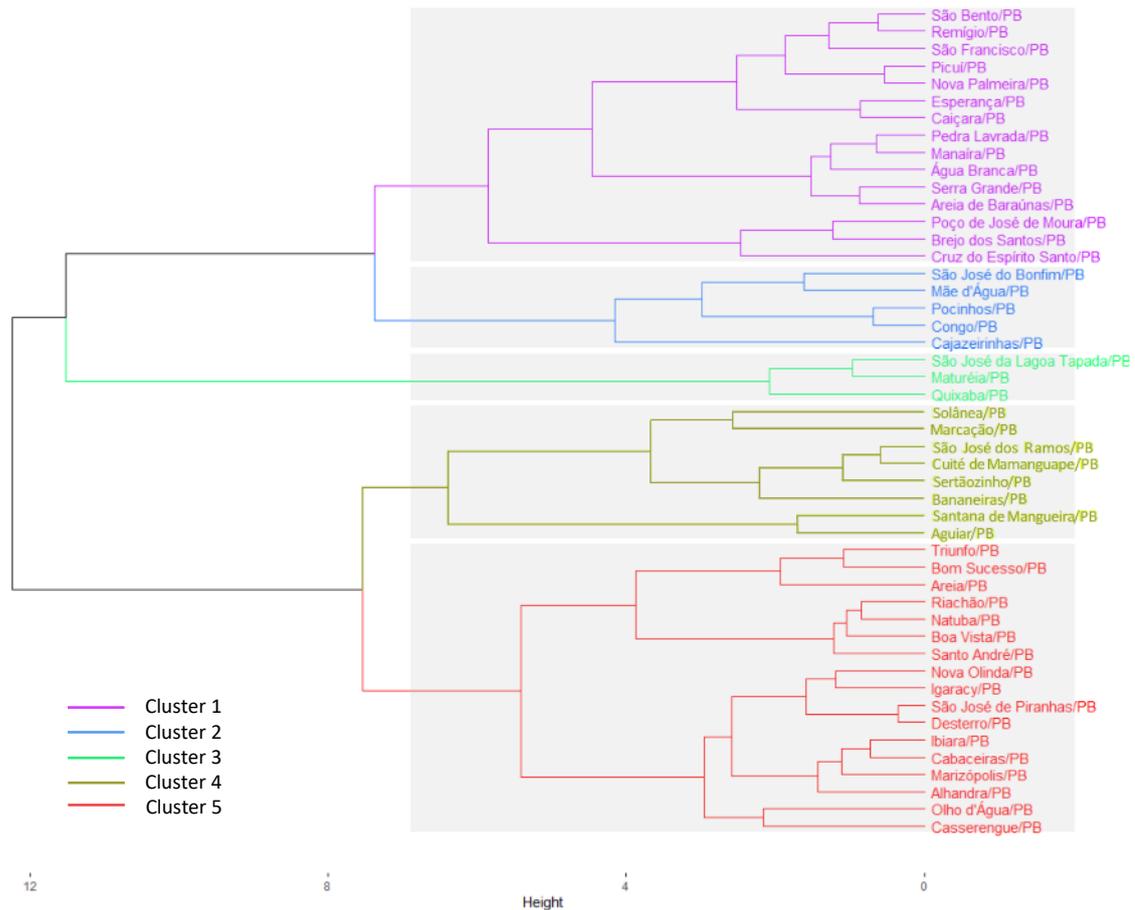
A partir da utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e com as informações das análises de agrupamento, foi possível elaborar o mapeamento dos grupos de municípios gerados com base nos indicadores analisados, a fim de detectar a influência da geolocalização nas características do seu sistema de esgotamento sanitário,



a partir das microrregiões de água e esgoto da Paraíba (Litoral, Borborema, Espinharas e Alto Piranhas). O *software* utilizado para a elaboração dos mapas foi o *QGIS* 3.22, utilizando-se *shapefiles* disponibilizadas pelo IBGE e pela Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESPA).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da aplicação da técnica citada, utilizando os indicadores de cobertura, tratamento e domicílios com banheiro, foi possível dividir os municípios estudados em cinco agrupamentos apresentados na Figura 3 por diferentes cores.



**Figura 3: Agrupamentos gerados a partir dos indicadores de esgotamento sanitário**

O *cluster 1* englobou 15 municípios dos 49 estudados e sua principal característica é o baixo valor do indicador de atendimento do serviço de esgotamento sanitário na zona rural, 60% dos municípios desse *cluster* possuem cobertura na área rural por rede ou fossa séptica inferior a 10%. Associado a isso, pode-se constatar que o indicador urbano de atendimento por fossa séptica ou rede coletora de esgotos variou de 62% a 100% de cobertura, ou seja, o *cluster* agrupou municípios com bons indicadores de atendimento urbano e baixo para o rural. Quanto ao indicador de domicílios com banheiros, o *cluster 1* possui 11 dos 15 municípios com taxas inferiores à média estadual de 2019 (96,9%).

Entretanto, apesar da alta taxa de atendimento na zona urbana, apenas três municípios possuem tratamento de esgoto, com taxas de cobertura da ETE inferiores a 42%. Assim, embora os municípios do *cluster 1* realizem coleta de esgoto, o tratamento é pouco realizado, sendo o esgoto lançado de forma direta nos corpos hídricos ou no solo, como pôde ser verificado em visitas técnicas aos municípios (Figura 4). O despejo de efluentes domésticos sem tratamento pode propiciar impactos negativos nos âmbitos da saúde da população, por meio do aumento dos indicadores de Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI), e da economia local, tendo em vista que a contaminação do solo e da água pode afetar as atividades de turismo e limitar a produção agrícola e industrial.



**Figura 4: Lançamento de esgoto a céu aberto, sem tratamento: a) Esperança/PB; b) São Francisco/PB; c) Manaíra/PB; d) Areia de Baraúnas/PB**

Segundo Campos e Zukowski Jr. (2022), o aumento de casos de doenças de transmissão hídrica está associado a ausência de coleta e tratamento de esgoto doméstico tanto na zona urbana quanto na rural. Desse modo, o financiamento de obras para a expansão da rede coletora de forma proporcional à capacidade da ETE é necessário, a fim de contribuir com a melhoria da saúde dos municípios e otimizar a prestação do serviço de esgotamento sanitário.

Os municípios de Cajazeirinhas/PB, Congo/PB, Mãe d'Água/PB, Pocinhos/PB e São José do Bonfim/PB foram agrupados no *cluster 2*, a similaridade apresentada por estes é a alta taxa de domicílios atendidos na zona rural (superiores a 43%) por rede coletora ou fossa séptica se comparados aos demais municípios estudados, com destaque para o município de São José do Bonfim/PB que possui 88,63% dos domicílios rurais atendidos. Além disso, os municípios do *cluster 2* apresentaram indicador de cobertura da rede de esgoto superiores a 50%, que relaciona a área atendida por rede coletora com a mancha urbana do município.

É notória a influência da taxa de atendimento na zona rural na universalização do serviço nos municípios, o que indica a importância de investimentos dos gestores públicos em soluções adequadas para o esgotamento sanitário dessas áreas. Apesar da fossa séptica ser comumente adotada em áreas rurais, Tonetti *et al.* (2018) indica que soluções alternativas de esgotamento sanitário podem ser utilizadas nessas localidades, como os jardins flutuantes, círculo de bananeiras, fossa verde, fossa biodigestora e vermifiltros. Essas tecnologias são acessíveis, facilmente replicáveis, com baixo custo e fácil operação, que propiciam uma manutenção simples e utilizam materiais disponíveis na região ao qual serão implementadas.

O *cluster 3* composto por Maturéia/PB, Quixaba/PB e São José da Lagoa Tapada/PB tem como característica principal a alta taxa de tratamento do esgoto coletado nos municípios (100%, 83% e 100%, respectivamente). Em contrapartida, a taxa de cobertura da ETE é inferior a 50% para os três municípios, apesar do tratamento ser realizado, há a necessidade de expansão da área de cobertura da ETE. Os municípios apresentam déficit de cobertura, tanto na zona urbana (34%, 55% e 36%), quanto na zona rural, com taxas de domicílios atendidos por rede coletora ou fossa séptica abaixo de 13%. Salienta-se que os gestores públicos devem planejar o atendimento da ETE de forma associada à expansão da rede coletora, a fim de garantir a universalização dos serviços no município.

Formado por oito municípios, o *cluster 4* apresentou o baixo desempenho tanto para os indicadores de cobertura, como para tratamento do esgoto, se comparado aos demais municípios participantes do TED 03/2019 Funasa/UFCEG. Quanto ao indicador de atendimento urbano, os municípios de Cuité de Mamanguape/PB e Santana de Mangueira/PB apresentaram taxa zero de domicílios atendidos, não possuindo nem rede de esgotamento, nem fossas sépticas na zona urbana dos municípios. Essa realidade também foi verificada *in loco*, nas visitas técnicas do Diagnóstico Técnico-Participativo do PMSB, onde observou-se a utilização de fossas rudimentares e o despejo de águas a céu aberto em Cuité de Mamanguape/PB (Figura 5) e o lançamento de esgoto no sistema de drenagem de águas pluviais em Santana de Mangueira/PB (Figura 6). No que se refere ao indicador de atendimento rural, apenas um município apresentou taxa superior a 20%, o que indica a ausência de políticas públicas para as comunidades rurais dos municípios englobados nesse *cluster*.



**Figura 5: Lançamento de águas cinzas a céu aberto na zona urbana de Cuité de Mamanguape/PB**

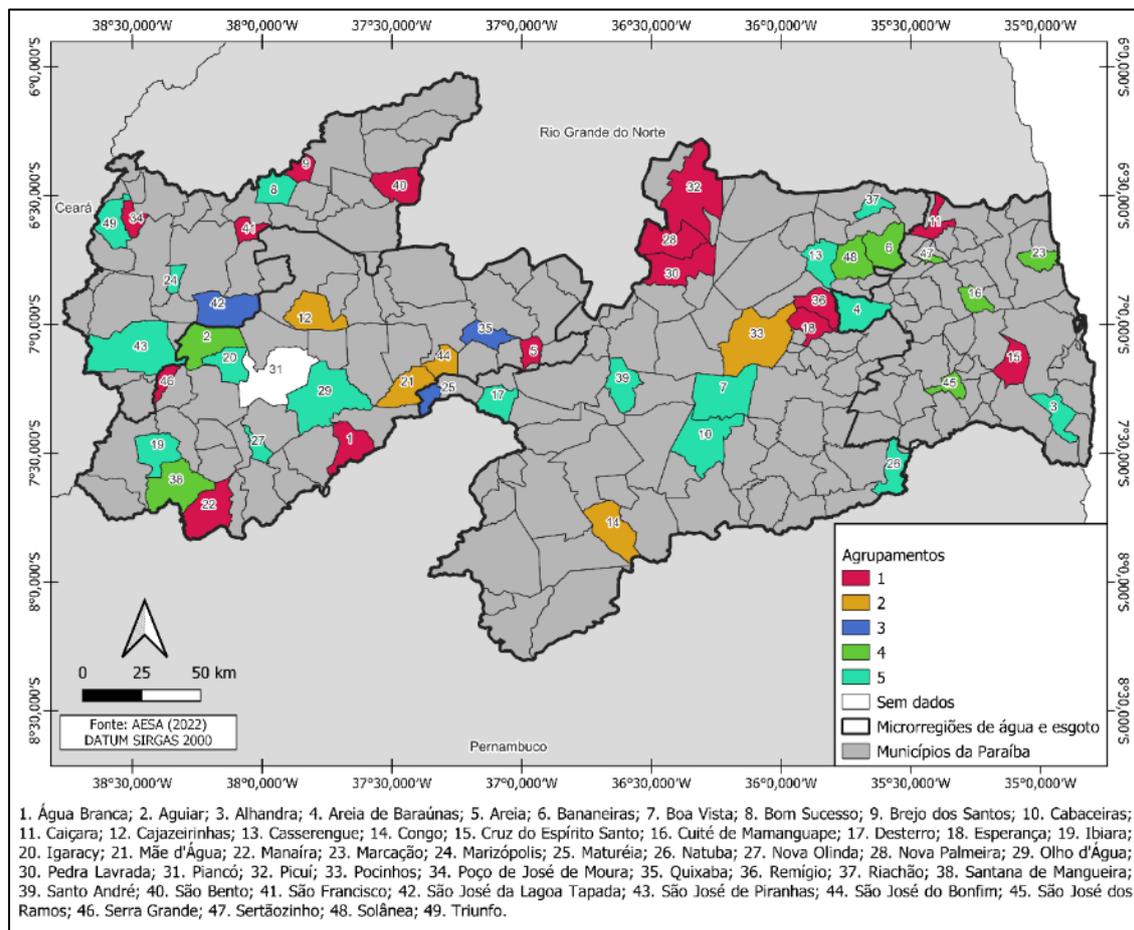


**Figura 6: Canais de drenagem que recebem despejos de esgoto doméstico na área urbana de Santana de Mangueira/PB**

Salienta-se que, dos municípios do *cluster* 4, apenas três apresentaram taxa de domicílios com banheiro superiores à média estadual do ano de 2019 (96,9%). Os municípios de Santana de Mangueira/PB e Aguiar/PB possuem as piores taxas deste indicador entre os municípios estudados, 71,77% e 70,77% respectivamente, de modo que muitos municípios ainda possuem casas sem banheiro. Os investimentos do poder público federal e municipal em ações efetivas de melhorias sanitárias nos domicílios são importantes para garantia da saúde e qualidade de vida, principalmente em áreas precárias da zona rural. Salienta-se que o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) institui diretrizes para o esgotamento sanitário em comunidades rurais, dentre elas a diretriz 4 para “garantir que a população tenha banheiro no domicílio, com vistas a propiciar maior conforto e segurança à família” (BRASIL, 2019).

O maior agrupamento gerado foi o *cluster* 5 (17 municípios) que possuem taxas de cobertura de atendimento urbano variando de 2 a 62%, devido às similaridades apresentadas em outros indicadores como a taxa de domicílios com banheiro, que foram inferiores à média estadual para 82,3% dos municípios em estudo. Apenas o município de Areia/PB possui estação de tratamento de esgoto nesse agrupamento, os demais lançam o esgoto coletado de forma ambientalmente inadequada. Quanto ao atendimento por rede coletora ou fossa séptica na zona rural, 12 dos 17 municípios apresentaram taxas inferiores à 10%. A Fundação Nacional de Saúde, por meio do PNSR (BRASIL, 2019), visa sanar o déficit de atendimento na zona rural a partir da primeira diretriz que prevê a priorização da implantação de serviços públicos de esgotamento sanitário de maior aceitabilidade e de fácil manejo pela população local.

Levando em conta os agrupamentos gerados e com as divisões das microrregiões de água e esgoto da Paraíba, os municípios foram especializados em diferentes cores para cada *cluster*, conforme o mapa da Figura 7.



**Figura 7: Espacialização dos *clusters* gerados a partir das microrregiões de água e esgoto da Paraíba**

No mapa da Figura 7, é notória a predominância de municípios do *cluster* 4, com baixo desempenho de coleta e tratamento, na microrregião do Litoral, percebe-se também a presença de municípios dos *clusters* 1 e 5. As principais semelhanças entre os *clusters* citados são as baixas taxas de atendimento do serviço de esgoto na zona rural, apenas Marcação/PB apresentou valor superior a 15%, bem como ausência de tratamento de esgoto nos municípios da microrregião, exceto em Areia/PB e Cruz do Espírito Santo/PB. Essas problemáticas são desafios para a universalização do serviço de esgotamento sanitário na microrregião do Litoral.

Dos 17 municípios inseridos na microrregião da Borborema, apenas Solânea/PB e Maturéia/PB realizam tratamento do esgoto coletado. Há uma disparidade quando se trata do indicador de atendimento na zona urbana para esta microrregião, possuindo cinco municípios do *cluster* 1 com valores superiores a 80%, em contrapartida possui seis municípios com indicador inferior a 20%. Essas diferenças demonstram a necessidade de estudo para elaboração de ações coordenadas e distribuição proporcional de recursos para os municípios da microrregião, a partir da priorização dos sistemas mais deficitários, que causam danos à saúde pública e ao meio ambiente.

Há a presença de municípios de todos os *clusters* na microrregião de Espinharas, não havendo padronização dos indicadores da prestação do serviço de esgotamento sanitário para esta, exceto para a taxa de domicílios com banheiro ou sanitário de uso exclusivo, na qual todos os municípios da microrregião possuem valores inferiores à média da Paraíba. Dos 10 municípios com piores taxas deste indicador, nove fazem parte da microrregião Espinharas. Esse déficit indica a necessidade de investimento e ações para instalação de módulos sanitários nas áreas de situação precária, visto que a ausência destes pode afetar diretamente a saúde dos moradores.

A similaridade entre os municípios localizados na microrregião do Alto Piranhas foi a baixa taxa de atendimento na zona rural, onde todos apresentaram valores inferiores a 10,6%. A implantação de soluções individuais adequadas de esgoto para populações dispersas na zona rural é primordial para que a universalização do serviço ocorra nas localidades que, mesmo possuindo bom indicador de domicílios com banheiro, ainda lançam esgoto a céu aberto ou utilizam fossas rudimentares.

Apesar das relações existentes entre os *clusters* e a geolocalização dos municípios, percebe-se uma variabilidade deles ao longo da Paraíba, havendo baixa relação dos indicadores de desempenho do serviço de esgotamento sanitário com a localização no Estado dos municípios estudados. Segundo Castro e Koga (2019), a efetividade da prestação dos serviços de esgotamento sanitário está associada a organização da gestão dos serviços, bem como o dimensionamento dos recursos necessários para a prestação do serviço.

Salienta-se que, a Lei Federal nº 14.026/2020, atualiza a Lei Federal nº 11.445/2007, no que tange à prestação de serviços, em seu artigo 2º parágrafo XIV trata da “prestação regionalizada dos serviços, com vistas à geração de ganhos de escala e à garantia da universalização e da viabilidade técnica e econômico-financeira dos serviços”. Dessa forma, apesar das diferenciações na prestação dos serviços em cada microrregião na Paraíba, é necessário entender as peculiaridades de cada uma delas, a fim de atingir as funções públicas de interesse comum da Lei Complementar nº 168/2021 que prevê o planejamento, a regulação, a fiscalização e a prestação dos serviços de esgotamento sanitário de forma regionalizada.

No eixo do esgotamento sanitário, a regionalização dos serviços pode trazer benefícios como a ampliação do acesso à rede de esgoto, a redução dos custos de operação e manutenção e a melhoria da qualidade dos serviços prestados. Para as áreas rurais, a regionalização também pode ser uma estratégia importante para garantir a oferta dos serviços, por meio da integração de municípios e da utilização de soluções integradas de saneamento, levando em conta as peculiaridades locais, o uso de tecnologias apropriadas e o envolvimento da comunidade na gestão dos serviços.

Entretanto, a prestação regionalizada é uma abordagem que cria alguns desafios, como a integração de municípios que possuem interesses e realidades diferentes. Além disso, o estímulo a privatização também gera preocupações quanto à tarifação, à falta de transparência na gestão e ao atendimento a populações dispersas e de baixa renda, como aquelas encontradas em pequenos municípios e áreas rurais.

## **CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES**

Foi possível verificar que o *cluster* 1 apresentou bons indicadores de cobertura para a zona urbana, entretanto baixo atendimento para domicílios na zona rural. Já para o *cluster* 2, a principal similaridade foi o atendimento por soluções adequadas de esgoto (rede coletora ou fossa séptica) na zona rural, superior a 43% para todos os municípios.

O *cluster* 3 destaca-se pelos altos valores do indicador de tratamento do esgoto coletado, superiores a 83%. Entretanto, apresentou baixo indicador de cobertura, tanto no urbano quanto no rural.

O *cluster* 4 abrangeu os municípios com menor desempenho de cobertura e tratamento do esgoto gerado, esse déficit pode estar associado a falta de planejamento e investimento para o setor, por parte do poder público. O *cluster* 5 apresentou alta variabilidade quanto ao atendimento por soluções adequadas. Entretanto, apenas um município possui ETE. A taxa de domicílios com banheiros para esse *cluster* foi superior a 82%.

Ao espacializar os municípios a partir das microrregiões de água e esgoto da Paraíba, identificou-se pouca correlação entre a distribuição dos *clusters* e a geolocalização dos municípios avaliados no Estado. Apesar disso, foi possível perceber que, na microrregião do Litoral, as baixas taxas de cobertura do serviço de esgoto na zona rural e de tratamento do esgoto coletado nos municípios são desafios para a universalização do serviço na microrregião. Já na microrregião da Borborema, há a necessidade de atenção para a distribuição dos recursos e realização de ações de modo que a prestação do serviço de forma regionalizada amenize as dissimilaridades existente nos indicadores dos municípios. Na microrregião do Alto Piranhas, a baixa taxa do serviço de esgoto na zona rural demonstra a necessidade de implantação de soluções individuais adequadas de esgoto para as populações dispersas.

Desta forma, pode sugerir que para atingir a efetividade da prestação dos serviços de esgotamento sanitário e sua universalização no Estado é necessário um plano de ações por microrregião de água e esgoto, com iniciativas

específicas de cada gestão municipal. Embora a prestação regionalizada seja uma abordagem que pode contribuir para a universalização dos serviços de saneamento básico, é importante considerar os aspectos negativos de sua implementação, principalmente para os pequenos municípios e áreas rurais, como forma garantir que os benefícios possam ser maximizados e os desafios mitigados.

A utilização de indicadores para avaliar a qualidade do serviço prestado é essencial para compreensão da real situação dos municípios estudados. Além disso, a técnica de análise por agrupamentos pode contribuir de maneira assídua para a gestão estadual dos serviços de esgotamento sanitário, visto que a partir da verificação dos grupos gerados, suas fragilidades e potencialidades, pode-se fazer um melhor direcionamento dos recursos destinados para o setor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE, M. A. Análise de agrupamento hierárquica e incremental: estudo de caso em ciências florestais. Tese (Doutorado em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Estatística e Informática, Recife – PE. 2013.
2. BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília: Diário Oficial da União, 2007. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm)>. Acesso em: 06 out. 2022.
3. BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2020. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>>. Acesso em: 06 out. 2022.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Programa Nacional de Saneamento Básico Rural – PNSR. Brasília – DF. 2019.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Termo de referência para elaboração de plano municipal de Saneamento Básico / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2018.
6. CAMPOS, V. C.; ZUKOWSKI JR, J. C. Avaliação do índice de cobertura de esgoto no mundo no período de 2000 a 2020: situação do indicador nos países e importância do monitoramento desta informação. International Journal of Latest Research in Humanities and Social Science – IJLRHSS, v.5, p. 135-143. 2022.
7. CASTRO, A. O.; KOGA, W. I. Planos Municipais de Saneamento Básico – Baixa Realização e Baixíssima Efetividade. Boletim de Informações – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, n. 468, p. 23-44. 2019.
8. COUTINHO, R. P. A. Trajetória político-institucional do saneamento básico no Brasil: do PLANASA à Lei 14.026/2020. Revista de direito da administração pública, a. 6, v. 1, n. 3, p. 100-112. 2021.
9. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Análise de cluster não supervisionado em R: agrupamento hierárquico / Rogério Resende Martins Ferreira, Fernando Antônio de Pádua Paim, Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues, Gustavo Spadotti Amaral Castro. - Campinas: Embrapa Territorial, 2020.
10. FERREIRA, R. R. M.; PAIM, F. A. de P.; RODRIGUES, V. G. S.; CASTRO, S. A. Análise de cluster não supervisionado em R: agrupamento hierárquico. Documento 133 – Embrapa Territorial. Campinas – SP. 2020. 43 p.: il. ; (Documentos / Embrapa Territorial, ISSN 0103-7811; 133).
11. FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Termo de Execução Descentralizada nº003/2019. Brasília: FUNASA, 2019. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/termos-de-execucao-descentralizada-ted>>. Acesso em: 06 out. 2022.
12. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico de 2010. Brasília – DF. 2010.
13. INSTITUTO TRATA BRASIL. Panorama do esgotamento sanitário à nível nacional e regional. Organização da Sociedade Civil de Interesse Público. Rio de Janeiro – RJ. 2020. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/esgoto/>> Acesso em: 06 nov. 2022.
14. MURTAGH, F. LEGENDRE, P. Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion? Journal of Classification v. 31, p.274-295. 2014.
15. PARAÍBA. Lei Complementar nº 168, de 22 de junho de 2021. Institui as Microrregiões de Água e Esgoto do Alto Piranhas, do Espinharas, da Borborema e do Litoral e suas respectivas estruturas de governança. Diário Oficial do Estado da Paraíba, João Pessoa – PB. 2021.



16. PMSB. Plano Municipal de Saneamento Básico. UFCG. Universidade Federal de Campina Grande. Diagnóstico Técnico-Participativo. Campina Grande: UFCG, 2021. Disponível em: <<https://pmsb-funasa.uaec.ufcg.edu.br/index.php/municipios>>. Acesso em: 28 out. 2022.
17. PMSB. Plano Municipal de Saneamento Básico. UFCG. Universidade Federal de Campina Grande. Prognóstico do Saneamento Básico. Campina Grande: UFCG, 2022. Disponível em: <<https://pmsb-funasa.uaec.ufcg.edu.br/index.php/municipios>>. Acesso em: 28 out. 2022.
18. TANAKA, O. Y.; DRUMOND JR, M.; CRISTO, E. B.; SPEDO, S. M.; PINTO, N. R. da S. Uso da análise de clusters como ferramenta de apoio à gestão no SUS. Saúde Soc, v. 24, p. 34-45. São Paulo – SP. 2015.
19. TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; MADRID, F. J. P. L.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. O.; DUARTE, N. C.; FERNANDES, P. M.; COASACA, R. L.; GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: Referencial para a escolha de soluções. 1 ed. Campinas: Biblioteca UNICAMP, 2018.
20. VIEIRA, J. M. P.; BAPTISTA, J. M. Indicadores de Desempenho para Melhoria dos Serviços de Saneamento Básico. Revista de Engenharia Civil, n. 33, p. 87-112. 2008.