



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL DAS CAPITAIS BRASILEIRAS POR MEIO DO ÍNDICE DE QUALIDADE E EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE LIMPEZA URBANA (IQE_{SLU})

* Edvan Araújo de Sousa Júnior¹
Cristiane de Paula Guilherme¹
Paulo Eduardo da Silva Costa¹

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF THE BRAZILIAN CAPITAL BY MEANS OF THE QUALITY AND EFFICIENCY INDEX OF URBAN CLEANING SERVICES (IQE_{SLU})

Recibido el 16 de enero de 2018; Aceptado el 26 de junio 2019

Abstract

Considering the reciprocal relationship between the environment and sanitation, this article aims to evaluate the environmental performance of Brazilian capitals through the Quality and Efficiency Index of Urban Cleaning Services (IQE_{SLU}). The index was developed by the Hydraulics Researches Institute of the Federal University of Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) and consists of 13 subindex that address different aspects regarding the sanitation services provided to the population. In order to prepare the study, it was necessary to consult the databases of the Federal Government, the main one being the historical series of the National Information System on Sanitation (SNIS). As a result, the index indicated that the capital of the state of Paraná is the national leader in the provision of health service.

Keywords: environmental impacts, quality and efficiency index, sanitation, subindex of environmental impacts, urban cleaning service.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Congonhas, Brasil.

* *Autor correspondente:* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Congonhas. Rua José Pinto Fernandes, 383, Vila Caetano, Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais. 35860-000. Brasil. Email: edvanjrx@hotmail.com

Resumo

Tendo em vista a relação recíproca existente entre o meio ambiente e o saneamento, o presente artigo tem como objetivo avaliar o desempenho ambiental das capitais brasileiras por meio do Índice de Qualidade e Eficiência dos Serviços de Limpeza Urbana (IQE_{SLU}). O índice foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) e é composto por 13 subíndices que abordam diferentes aspectos no que se refere aos serviços de saneamento prestados à população. Para elaboração do estudo, foi preciso fazer consultas nas bases de dados do Governo Federal, sendo a principal delas, a série histórica do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Como resultado, o índice indicou que a capital do estado do Paraná é a líder nacional na prestação de serviço sanitário.

Palavras chave: impactos ambientais, índice de qualidade e eficiência (iqe), saneamento, serviço de limpeza urbana (slu), subíndices de impactos ambientais.

Introdução

É notória as mudanças de infraestrutura que o Brasil passou durante as décadas passadas. Tais mudanças deve-se ao forte processo de industrialização que culminaram na crescente urbanização. Nas primeiras décadas do século XX, por exemplo, a maioria da população brasileira vivia na zona rural, diferentemente do início do século XXI, onde 81.3% da população total vivia nos centros urbanos. Com essa inversão, alguns setores da ordem pública passaram a operar com déficit, principalmente o setor de saneamento, tornando-se um verdadeiro problema para a esfera ambiental (Brasil, 2009).

Existe uma relação recíproca entre o meio ambiente e o saneamento, ou seja, tanto o saneamento afeta a qualidade ambiental quanto a qualidade ambiental pode ser fundamental para implementar medidas de saneamento básico. Entende-se por saneamento básico um conjunto de serviços de infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (Brasil, 2016).

O Serviço de Limpeza Urbana (SLU) é um conjunto de atividades operacionais que possui como atividade principal a coleta, o transporte e o tratamento final do lixo doméstico e/ou oriundo da varrição e limpeza das vias públicas. Segundo Deus, *et al.* (2002), o serviço de limpeza urbana necessita de avaliações periódicas para ajudar no equacionamento dos problemas que ocorrem durante a execução. Sendo assim, utilizar métodos estatísticos para definir indicadores, índices ou subíndices de desempenho são fundamentais não só para monitoramento da eficiência dos serviços, mas para mensurar a qualidade ambiental e social intrínsecos ao serviço.

Desse modo, o SLU tem assumido um papel de destaque entre duas vertentes distintas: seja por meio da demanda da sociedade de modo geral ou dos grupos locais. Em uma das vertentes percebe-se a veiculação de doenças ocorridas devido à contaminação de cursos d'água e lençóis freáticos devido ao manejo irregular do lixo – exemplo disso – são os lixões. Por outra perspectiva, no entanto, devido às pressões advindas em prol do meio ambiente, vários setores governamentais e a sociedade começaram a se mobilizar para enfrentar o problema (Ribeiro, *et al.*, 2006).

Diante do enorme problema enfrentado, encarar o desenvolvimento urbano acelerado dos municípios, onde ainda existem domicílios que até então não contam com serviços básicos de saneamento, requer inúmeros estudos que realize diagnósticos atuais. Portanto, o objetivo deste estudo é aplicar o Índice de Qualidade e Eficiência do Serviço de Limpeza Urbana (IQE_{SLU}) nas capitais brasileiras e identificar a capital que possui o melhor serviço de limpeza e manejo dos resíduos. O índice leva em consideração diversos itens correlacionados entre si, tais como: densidade demográfica, renda, custo de operação, mão-de-obra, entre outros.

Índice e subíndices de qualidade e eficiência dos serviços de limpeza urbana

O IQE_{SLU} foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS), sendo utilizado e implementado por De Luca, *et al.* (1999) na avaliação dos serviços de limpeza urbana. Para elaboração do índice foram escolhidos 2461 municípios de diferentes portes, onde 525 municípios, por intermédio das respectivas prefeituras, responderam um questionário de avaliação dos serviços de limpeza urbana (Deus, *et al.*, 2002).

Deus *et al.* (2002) expõe que as informações obtidas foram armazenadas em um banco de dados, e empregando o método de valoração foi possível agrupar os dados, e dessa forma, ajustar as funções matemáticas através do método dos mínimos quadrados. Com o auxílio da estatística, os subíndices foram agrupados em um índice geral, de forma que traduzisse o impacto ambiental descrito em cada subíndice.

Segundo Salles (2003), empregando-se o método de valoração, o índice desenvolvido pelo IPH/UFRGS compõe uma série de subíndices de qualidade sanitária, operacional, ambiental, de serviços, e de exclusão social, que foram estatisticamente agrupados num índice geral de forma a traduzir e espelhar o impacto gerado pela coleta, transporte e tratamento dos resíduos sólidos.

A escala final do índice varia entre 0 a 100, sendo 0 a pior situação e 100 a melhor. Segundo Deus *et al.* (2002) provavelmente não existirá os valores extremos, haja vista que os municípios brasileiros são dotados de algum tipo de serviço de coleta e/ou disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ou por não existir serviços de limpeza plenamente eficientes.

Aspectos metodológicos

O Governo Federal por meio do Ministério das Cidades (MCidades) criou e administra o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Dentre os objetivos do SNIS destaca-se a avaliação de desempenho dos serviços e a orientação das atividades regulatórias referente ao controle sanitário (Brasil, 2017).

A base de dados do SNIS tem se consolidado ano após ano, tornando-se referência para comparação e medição de desempenho sanitário. A base contém informações de cunho operacional, gerencial, financeiro e de qualidade, subdivididos em dois segmentos: água e esgoto (SNIS-AE), e resíduos sólidos (SNIS-RS). Atualmente, o sistema conta com a série histórica de dados dos últimos 14 anos, que são atualizados anualmente com base na declaração dos municípios (Brasil, 2017).

O estudo foi realizado em consonância com os dados gerados no SNIS, levando-se em consideração os dados mais recentes das 26 capitais brasileiras mais o Distrito Federal (Brasília). Também foi necessário realizar consultas em outras bases de dados, como no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Portal da Saúde do Sistema Único de Saúde (SUS), e o Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil.

Dessa forma, os subíndices serão descritos e equacionados conforme propuseram De Luca *et al.* (1999), e juntamente com os subíndices foi explanado como ocorreu coleta de dados para este estudo e o respectivo gráfico obtido com os resultados dos subíndices.

Subíndice de qualidade sanitária e operacional versus densidade demográfica (IQSO)

O primeiro subíndice mensura a qualidade sanitária e operacional em relação à densidade demográfica. Segundo Deus *et al.* (2002) onde a densidade populacional é alta, a coleta dos resíduos torna-se mais econômica e viável, devido um menor consumo de insumos e de mão de obra. Para o cálculo deste subíndice utiliza-se a equação (1) instituída por De Luca, *et al.* (1999):

$$IQSO = 6.168 + 0.031 * X_1 - 2.556x10^{-6} * X_1^2$$

Equação (1)

para: $X_1 =$ densidade média populacional (hab. por km²)

Usando os dados do último censo realizado pelo IBGE, no ano de 2010, constatou-se que mais de 50% das capitais possuem um bom resultado (acima de 50), destacando-se a cidade do Rio de Janeiro/RJ (99) líder nacional no quesito. A figura 1 mostra o desempenho de cada capital brasileira.

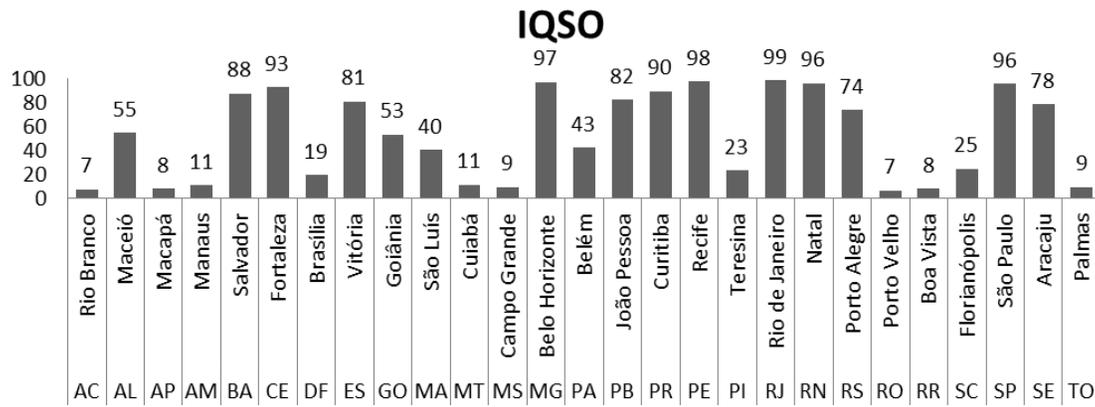


Figura 1. Subíndice de qualidade sanitária e operacional *versus* densidade demográfica (IQSO) das capitais brasileiras. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de qualidade sanitária versus doença associada aos RSU (IQSL)

O segundo subíndice enfatiza a qualidade sanitária em relação ao número de leptospirose, doença associada ao RSU. Apesar das ocorrências da doença não ser exclusivamente da ineficiência do serviço de limpeza urbana, tal manejo ineficiente pode contribuir para piorar a situação. Um manejo eficiente pode reduzir e controlar a ocorrência da doença, enfatiza Deus *et al.* (2002).

Para o cálculo deste subíndice utiliza-se a equação (2) quando existir casos da doença, caso contrário, utiliza-se a equação (3) (De Luca *et al.*, 1999):

$$IQSL = 51.853 * e^{-0.0604 * X_2} \quad \text{se } x_2 > 1 \quad \text{Equação (2)}$$

$$IQSL = 100 \quad \text{se } x_2 = 0 \quad \text{Equação (3)}$$

para: X_2 = número de casos de doenças

A figura 2 apresenta o resultado do subíndice, com base nos dados do Portal da Saúde do SUS para os casos de leptospirose no ano de 2016, em cada um dos estados brasileiros, não ficando restrito apenas aos casos das capitais brasileiras. Portanto, de acordo com o subíndice, o desempenho dos estados brasileiros mostrou-se bem precário, sendo alguns deles próximo de zero. A exceção brasileira é Roraima (Boa Vista), já que o estado não apresentou nenhum caso da doença no ano de 2016.

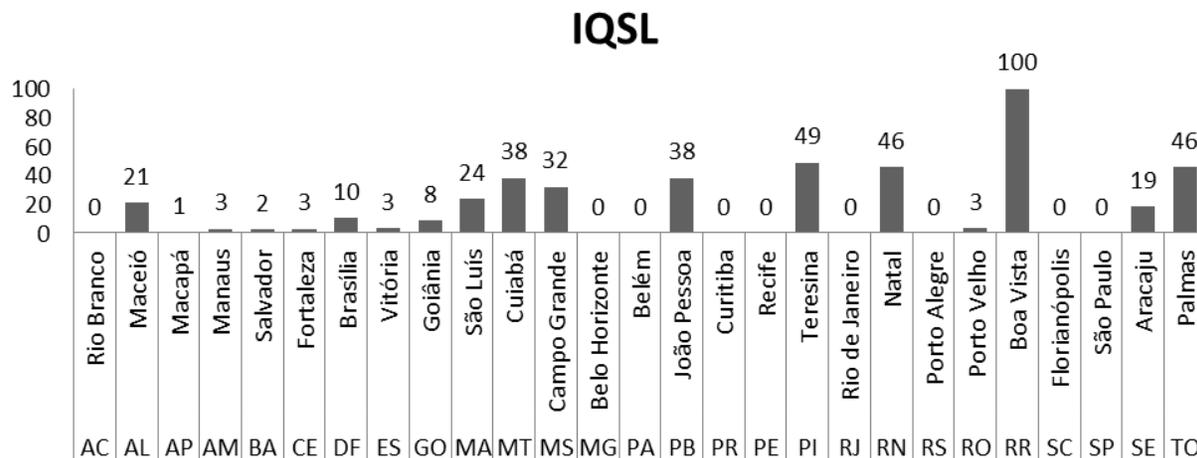


Figura 2. Subíndice de qualidade sanitária versus doença associada aos RSU (IQSL) das capitais brasileiras

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de impacto ambiental versus renda per capita (IIAR)

O terceiro subíndice descreve o impacto ambiental que possivelmente pode ser ocasionado pela renda *per capita*. Para Deus *et al.* (2002) quanto maior a renda *per capita*, maior será a produção de resíduos e, conseqüentemente, maior será o impacto ao meio ambiente e vice-versa. Para o cálculo deste subíndice utiliza-se a equação (4) (De Luca *et al.*, 1999):

$$IIAR = 85.94 - 4.2 \times 10^{-3} * X_2 + 9.16 \times 10^{-6} * X_2^2 - 6.72 \times 10^{-9} * X_2^3 + 1.3 \times 10^{-12} * X_2^4 - 7.69 \times 10^{-17} * X_2^5 \quad \text{Equação (4)}$$

para: X_2 = renda per capita (R\$ por hab. por ano)

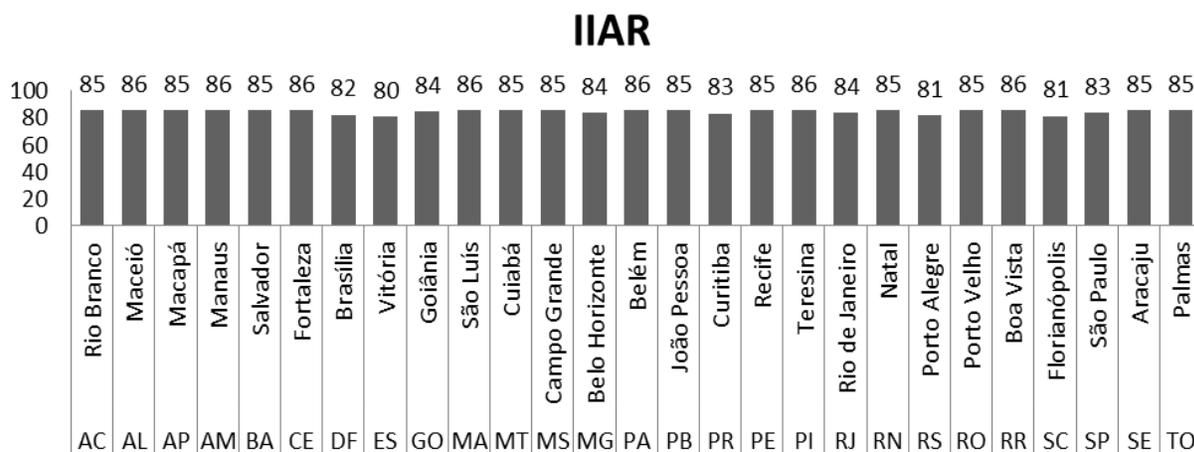


Figura 3. Subíndice de impacto ambiental versus renda per capita (IIAR) das capitais brasileiras

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

A figura 3 apresenta o resultado do subíndice com base nos dados, do ano de 2010, do Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil. O Atlas foi desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em parceria com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e a Fundação João Pinheiro (FJP). Percebe-se que, o subíndice, possui um certo equilíbrio entre as capitais brasileiras oscilando entre 80 a 86.

Subíndice de qualidade ambiental dos serviços versus produtividade por funcionário de coleta (IQSP)

O quarto subíndice correlaciona a qualidade ambiental dos serviços com a produtividade por funcionário de coleta. De acordo com Deus *et al.* (2002) quanto maior a produtividade por funcionário menos chances de contaminação ao meio ambiente. Para produtividade superior a 1.5 ton./funcionário, a equação (6) é utilizada, diferentemente se a produtividade por inferior a 1.5 ton./funcionário deve-se, portanto, utilizar a equação (5) (De Luca *et al.*, 1999):

$$IQSP = 66.67 * X_4$$

$$se 0 \leq x_4 \leq 1.5$$

Equação (5)

$$IQSP = 100$$

$$se x_4 > 1.5$$

Equação (6)

para: X_4 = produtividade por funcionário (toneladas)

A figura 4 indica que quase todas as capitais brasileiras apresentam o subíndice máximo (100), com exceção de Porto Velho/RO (92). Os dados para elaboração do subíndice foram coletados no SNIS, tendo como ano de referência 2015. Foi usado o indicador IN018 (Produtividade média dos empregados na coleta em relação à massa coletada), que leva em consideração a quantidade coletada pelo agente público e privado, em relação à quantidade de coletores e motoristas de agentes públicos e privados alocados no serviço de coleta de resíduos públicos urbanos e domésticos."

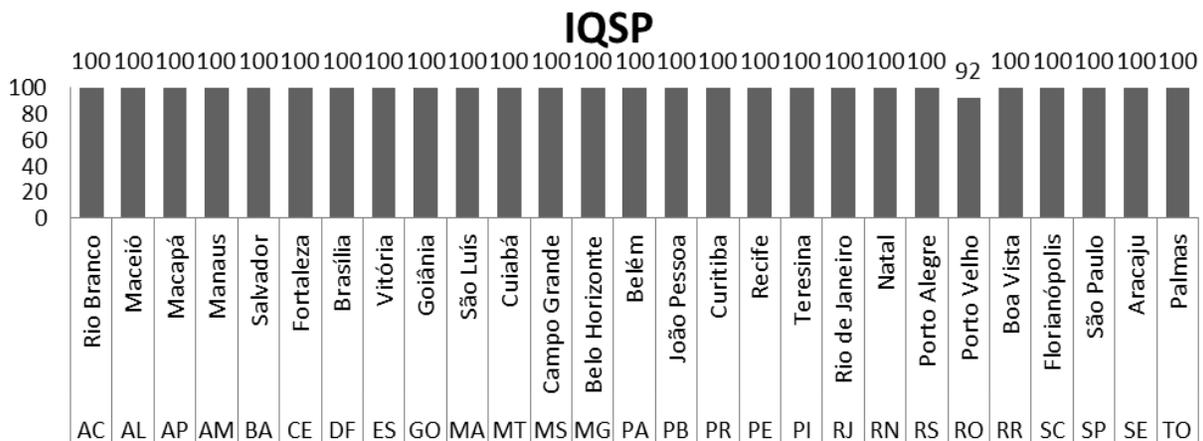


Figura 4. Subíndice de qualidade ambiental dos serviços versus produtividade por funcionário de coleta (IQSP) das capitais brasileiras. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de impacto ambiental versus produção per capita (IAPC)

O quinto subíndice avalia o impacto ambiental em relação à produção *per capita*. Tal subíndice é um bom indicador de ocorrência de problemas sanitários e ambientais quando os serviços não são eficientes, destaca Deus *et al.* (2002). Portanto, o subíndice leva em consideração a produção *per capita* (Kg/hab./dia); quando a produção está entre $0 \leq X_5 \leq 0.25$ a equação a ser usada é a equação (7), acima de 0.25 (Kg/hab./dia) até 1 (Kg/hab./dia) a equação (8), e por fim, acima de 1 (Kg/hab./dia) a equação (9) (De Luca *et al.*, 1999):

$IAPC = 100$ se $0 \leq x_5 \leq 0.25$ Equação (7)

$IAPC = -60 * X_5 + 115$ se $0.25 \leq x_5 \leq 1$ Equação (8)

$IAPC = -12.15 * X_5 + 58.60$ se $x_5 > 1$ Equação (9)

para: $X_5 =$ produção *per capita* (kg/por hab./por dia)

A figura 5 foi elaborada com base nos dados coletados do SNIS, tendo como ano de referência 2015. Para sua elaboração foi utilizado o indicador sobre coleta domiciliar e pública IN021 (Massa coletada *per capita* em relação à população urbana). Das 27 cidades analisadas Macapá/AP foi a que obteve melhor subíndice (77).

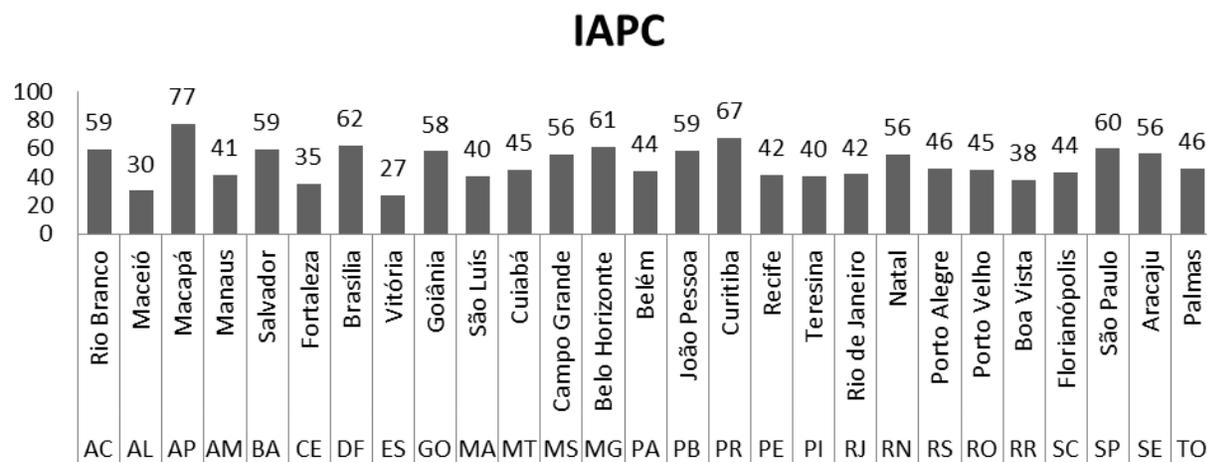


Figura 5. Subíndice de impacto ambiental versus produção per capita (IAPC) das capitais brasileiras
Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de qualidade operacional versus distância média diária percorrida pelos veículos de coleta (IQOD)

O sexto subíndice estima a qualidade operacional em relação à distância média diária percorrida pelos veículos de coleta. No aspecto logístico, quanto maior a distância de coleta, maior será o consumo de insumos e mão-de-obra, elevando assim o custo e os impactos ambientais (Deus *et al.*, 2002). O subíndice é calculado com base na distância média percorrida pelos veículos por dia, conforme a equação (10) (De Luca *et al.*, 1999):

$$IQOD = 97.60 + 9.32 \times 10^{-2} * X_6 - 0.886 \times 10^{-3} * X_6^2 + 1.17 \times 10^{-6} * X_6^3 - 4.60 \times 10^{-10} * X_6^4 \quad \text{Equação (10)}$$

para: X_6 = distância média percorrida na coleta (km por dia)

A figura 6 foi elaborada com base nas informações de coleta domiciliar e pública com o seguinte código na base de dados do SNIS: CO150 (A distância do centro de massa à unidade destinação final quando maior do que 15 Km (referente somente à distância de ida)) ou CO152 (A distância de transporte à unidade destinação final quando maior do que 15 Km (referente somente à distância de ida)). A escolha de um ou outro código deve-se à distância até o local de destinação final dos resíduos. Todas as capitais ficaram com o subíndice acima de 90, com exceção do Rio de Janeiro/RJ (75), Florianópolis/SC (85) e Curitiba/PR (89).

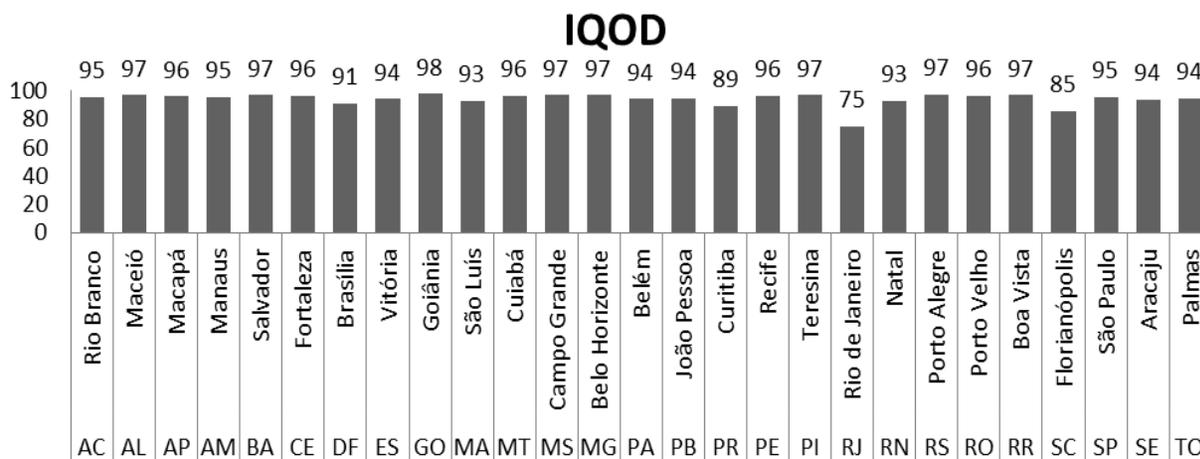


Figura 6. Subíndice de qualidade operacional versus distância média diária percorrida pelos veículos de coleta (IQOD) das capitais brasileiras. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de qualidade dos serviços versus número de funcionários (IQSF)

O sétimo subíndice aponta que existe uma relação altamente significativa entre o número de funcionários e a qualidade dos serviços prestados (Deus *et al.*, 2002). O subíndice é calculado com base no número de funcionários por 1000 habitantes, conforme apresentado na equação (11) (De Luca *et al.*, 1999):

$$IQSF = 135.25 - 35.76 * x_7 + 11.27 * X_7^2 - 1.47 * X_7^3 + 7.8x10^{-2} * X_7^4 - 1.44x10^{-3} * X_7^5 \quad \text{Equação (11)}$$

para: X_7 = número de funcionários por 1000 habitantes

A figura 7 apresenta o resultado do subíndice de todas as capitais. Para realizar o cálculo foi utilizado o número de funcionários (TB015) dividido pela estimativa populacional da própria base de dados do SNIS. A cidade de São Paulo/SP possui o maior subíndice (121), seguida por São Luís/MA (114) e Macapá/AP (112), respectivamente.

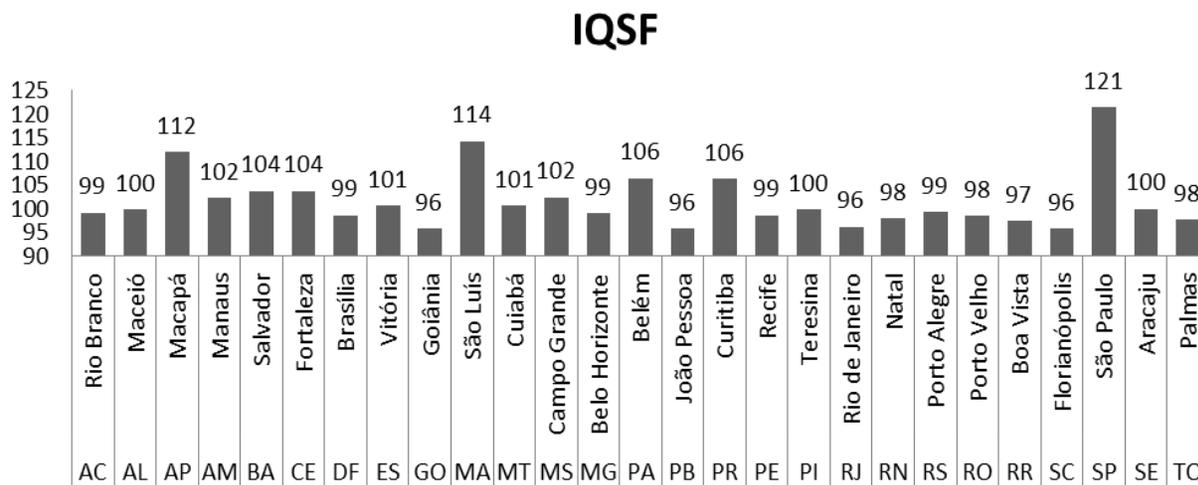


Figura 7. Subíndice de qualidade dos serviços versus número de funcionários (IQSF) das capitais brasileiras

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de qualidade sanitária e ambiental versus tipos de tratamento na área de disposição final (IQSTT)

O oitavo subíndice evidencia os tipos de tratamento na área de disposição final, além da qualidade sanitária e ambiental esperada no manuseio adequado dos resíduos sólidos. Segundo Deus *et al.* (2002), a melhor situação sanitária e ambiental é formada pelo trinômio: aterro sanitário, usina de triagem e reciclagem, e usina de compostagem. O subíndice é calculado com base nas instalações do município para o manejo e tratamento do lixo, recebendo a seguinte categorização de acordo com as equações (12) a (17) (De Luca *et al.*, 1999):

$$IQSTT = 100 \text{ se } x_g \text{ for igual a aterro sanitário + usina (triagem + reciclagem + compostagem)} \quad \text{Equação (12)}$$

$$IQSTT = 60 \text{ se } x_g \text{ for igual a aterro sanitária + usina (triagem + reciclagem)} \quad \text{Equação (13)}$$

$$IQSTT = 40 \text{ se } x_g \text{ for igual a aterro sanitário} \quad \text{Equação (14)}$$

$$IQSTT = 30 \text{ se } x_g \text{ for igual a aterro controlado} \quad \text{Equação (15)}$$

$$IQSTT = 20 \text{ se } x_g \text{ for igual a queima} \quad \text{Equação (16)}$$

$$IQSTT = 5 \text{ se } x_g \text{ for igual a lixão} \quad \text{Equação (17)}$$

para: X_g = tipo de tratamento (disposição final)

Conforme a figura 8, apenas 16 capitais possuem o conhecido “trinômio ambiental”, mas grande parte delas destina o maior fluxo de material aos aterros controlados ou lixões. Embora tenha uma usina de compostagem, os municípios operam com um volume considerado baixo referente ao que é produzido e não tratado. Outro aspecto de destaque é a tecnologia usada por algumas capitais no tratamento dos resíduos, já que algumas fazem uso de micro-ondas ou autoclaves no tratamento dos resíduos. É relevante ressaltar que algumas capitais possuem unidades específicas para o tratamento do entulho produzido pela construção civil. Tais informações foram coletadas no SNIS tendo como código de referência UP003, no qual o município deve informar os tipos de unidades de tratamento que o município administra ou faz uso.

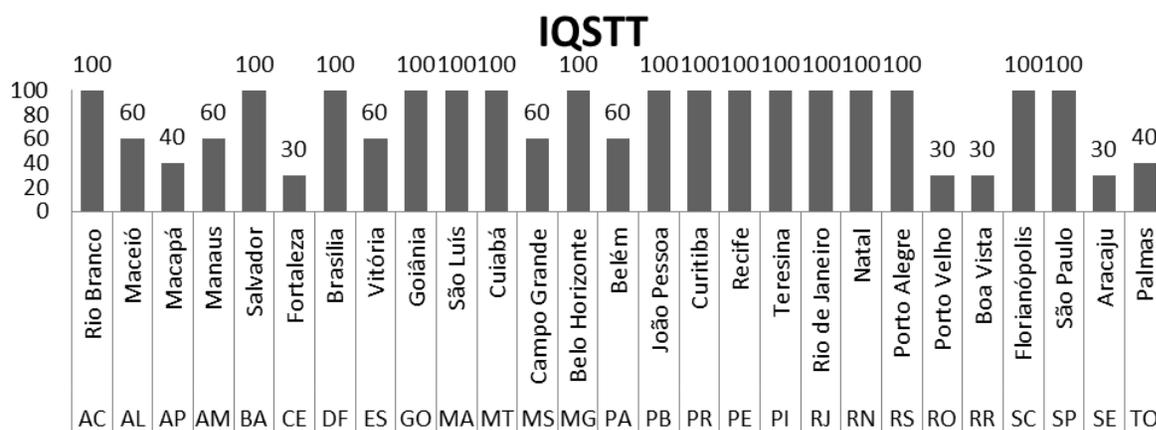


Figura 8. Subíndice de qualidade sanitária e ambiental versus tipos de tratamento na área de disposição final (IQSTT) das capitais brasileiras. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de qualidade sanitária e ambiental versus operação do local de tratamento e/ou disposição final (IQSAOP)

O nono subíndice leva em consideração à operação do local de tratamento e/ou a disposição final dos resíduos em relação à qualidade sanitária. Deus *et al.* (2002) descreve como atributos negativos os resíduos espalhados, a presença de aves, odores característicos, roedores e fumaça. As aves e roedores são associados à disseminação de doenças, quanto aos resíduos espalhados deve-se a má gestão e operação do local. O subíndice é calculado com base nos atributos descritos, recebendo a seguinte categorização de acordo as equações (18) a (21) (De Luca *et al.*, 1999):

$IQSAOP = 100$ se x_9 não apresentar qualquer dos atributos negativos Equação (18)

$IQSAOP = 60$ se x_9 apresentar resíduos espalhados, aves e mau cheiro Equação (19)

$IQSAOP = 40$ se x_9 apresentar resíduos espalhados, aves, mau cheiro e roedores Equação (20)

$IQSAOP = 20$ se x_9 apresentar resíduos espalhados, aves, mau cheiro, roedores e fumaça Equação (21)

para: X_9 = atributos negativos no local de tratamento (disposição final)

Apesar de não existir campos específicos no SNIS que contemplem os problemas com aves, mau cheiro e roedores, o estudo limitou-se em analisar a informação do código UP027 (Existe cercamento da área, tornando-se inibidora de animais de médio e grande porte) e UP038 (Há presença de animais na área, tal informação leva em consideração, por exemplo, vacas, porcos, cavalos, mas exclui aves e roedores). Assim sendo, todos os municípios obtiveram subíndices iguais (40), conforme a figura 9.

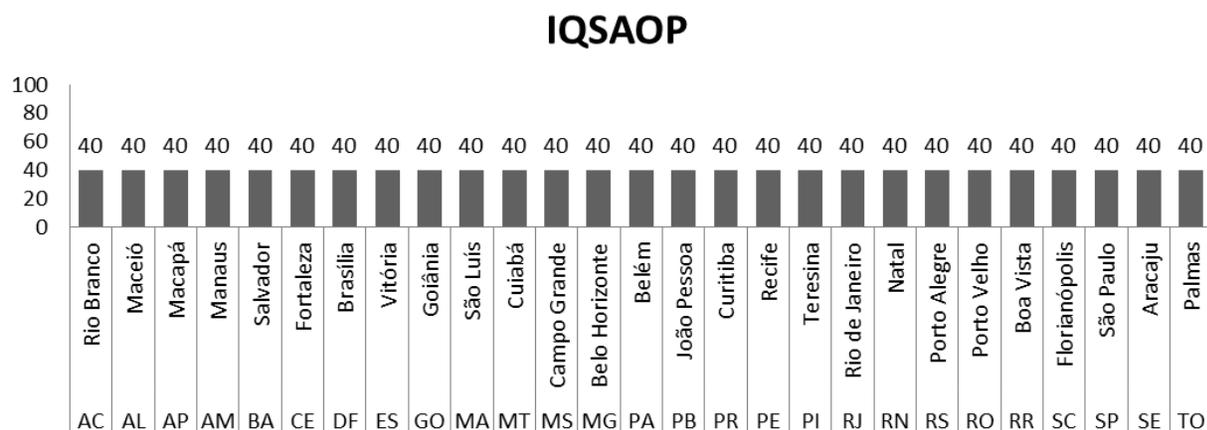


Figura 9. Subíndice de qualidade sanitária e ambiental versus operação do local de tratamento e/ou disposição final (IQSAOP) das capitais brasileiras. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de exclusão social (IES)

O décimo subíndice enfatiza a exclusão social devido às condições básicas de saneamento oferecido. Deus *et al.* (2002) afirma que tal subíndice é de qualificação negativa para a sociedade, pois, a presença de catadores habitando ou sobrevivendo nas áreas de disposição final indica um fator de desigualdade social. O subíndice é calculado com base no número de catadores adultos e crianças no local de disposição. Para fins de cálculo do subíndice a equação (22) demonstra a construção do subíndice (De Luca *et al.*, 1999):

$$IES = -5 * X_{10} + 100$$

Equação (22)

para: X_{10} = número de catadores adultos e crianças no local de disposição

Apesar do banco de dados do SNIS ter campos específicos para tais dados, por exemplo, os campos com código UP082 e UP083 (Quantidade de catadores até 14 anos e maiores de 14 anos trabalhando na área de disposição final, respectivamente), os mesmos não foram preenchidos. Ainda assim, tentando criar meios de validar tal subíndice procurou-se guiar pela informação UP039 do SNIS, no qual informa se existem domicílios de catadores na área da unidade de tratamento, evidenciando a existência e permanência de pessoas no local de disposição, mas, mesmo assim, tal campo não foi informado pelos órgãos responsáveis do município. Diante do exposto, o índice não obteve dados para ser calculado, sendo atribuído zero para todas as capitais. A figura 10 mostra o subíndice de todas as capitais iguais considerando um cenário pessimista, onde pelo menos 20 pessoas habitam as áreas de tratamento.

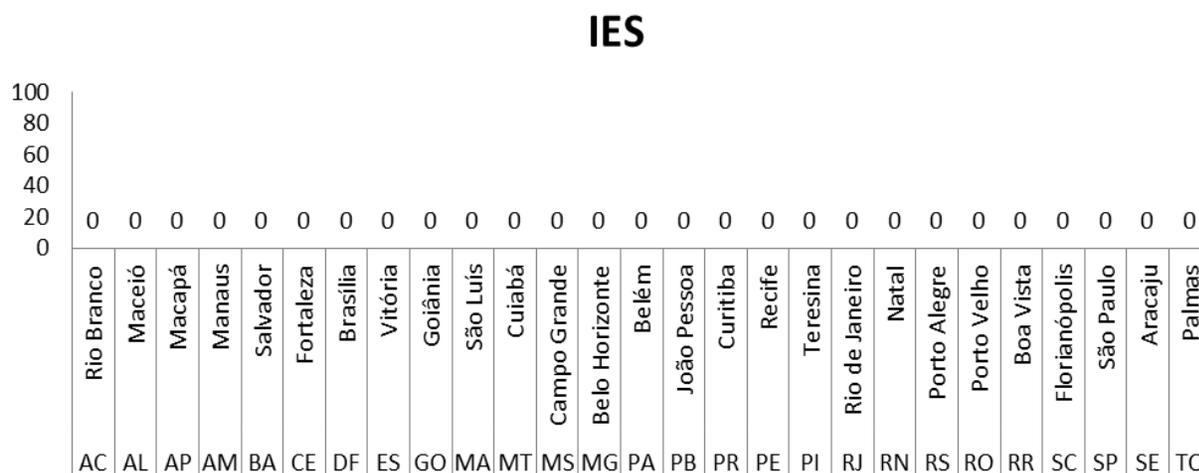


Figura 10. Subíndice de exclusão social (IES) das capitais brasileiras. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de qualidade provável dos serviços versus reposição de custos pela tarifa/taxa (IQSR)

O décimo primeiro subíndice define monetariamente a reposição dos custos pela tarifa/taxa na qualidade provável dos serviços. Deus *et al.* (2002) descreve que a qualidade dos serviços públicos tende a decair bruscamente, se não houver uma adequada cobertura dos custos de operação e manutenção. Tal subíndice é representado na equação (23), o subíndice é a porcentagem entre receita e despesa com RSU (De Luca *et al.*, 1999):

$$IQSR = X_{11}$$

Equação (23)

para: X_{11} = reposição do custo pela tarifa (ou taxa)
(em porcentagem)

Para construção do subíndice considerou-se a o indicador IN005 da base de dados do SNIS. Esse indicador determina a autossuficiência financeira da prefeitura no manejo dos resíduos sólidos urbanos. Entretanto, os dados para a construção do indicador contaram com anos anteriores a 2015, devido não constar na base de dados a receita auferida com as tarifas.

A figura 11 mostra os subíndices de cada capital, para as cidades que obtiveram o índice zero deve-se a não divulgação da receita auferida no SNIS. A capital do Estado do Rio de Janeiro, obteve índice máximo no quesito.

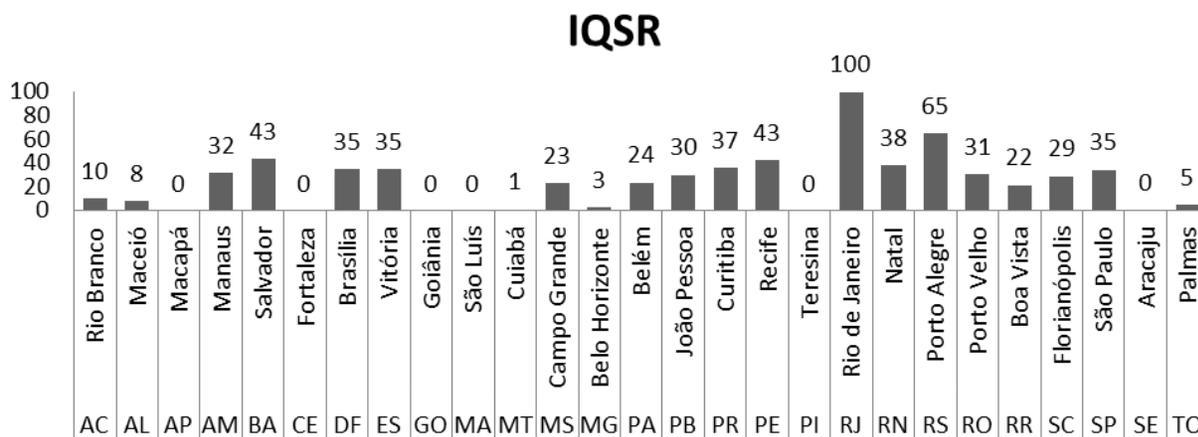


Figura 11. Subíndice de qualidade provável dos serviços versus reposição de custos pela tarifa/taxa (IQSR) das capitais brasileiras. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de qualidade ambiental dos serviços versus existência de separação na fonte (IQASF)

O décimo segundo subíndice visa evidenciar que, quando a separação é feita na fonte geradora, existe uma significativa melhoria na qualidade ambiental. Dentre as fontes, seja doméstica e/ou

comercial, existe um mercado de reciclagem pouco desenvolvido e a ausência de comprometimento com a causa ambiental na maioria dos municípios, descreve Deus *et al.* (2002). O subíndice é representado pelas equações (24) e (25) considerando o percentual de separação de RSU diretamente na fonte de origem (De Luca *et al.*, 1999):

$$IQASF = 10 * X_{12}$$

$$IQASF = \% \text{ de separação de RSUs} \quad \text{se } x_{12} > 10\%$$

Equação (24)

Equação (25)

para: X_{12} = porcentagem de separação na fonte

A figura 12 mostra que apenas quatro cidades, Porto Alegre/RS (74), Curitiba/PR (66), Brasília/DF (64) e Florianópolis/SC (60) possuem um subíndice elevado, entretanto, todas as capitais separam menos de 10% do material direto na fonte. As outras cidades apresentam um subíndice abaixo de 25. Para cálculo deste subíndice utilizou-se o indicador com código IN053 (Taxa de material recolhido pela coleta seletiva – exceto matéria orgânica – em relação à quantidade total coletada de resíduos sólidos domésticos) da base de dados do SNIS do ano de 2015.

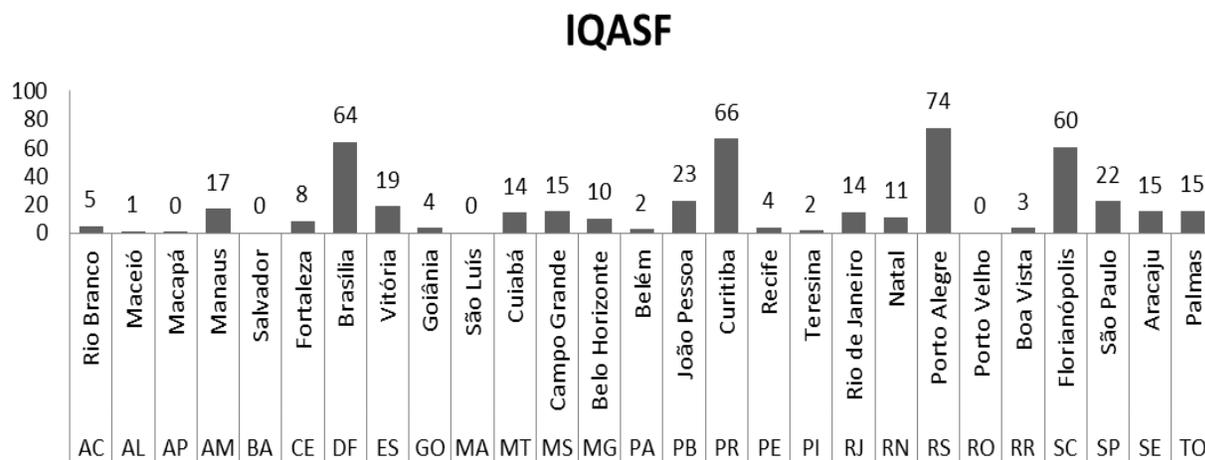


Figura 12. Subíndice de qualidade ambiental dos serviços versus existência de separação na fonte (IQASF) das capitais brasileiras. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Subíndice de qualidade provável dos serviços versus taxa/tarifa cobrada por cliente atendido (IQST)

O décimo terceiro subíndice restringe-se apenas em mensurar a qualidade provável do serviço no aspecto: taxa (ou tarifa) cobrada por cliente atendido. Em função da taxa cobrada do cidadão pode ser verificado quais as reais chances de ser prestado um serviço de qualidade e qual o grau de eficiência ou ineficiência do serviço prestado (Deus *et al.* 2002). O subíndice é representado pela equação (26) (De Luca *et al.*, 1999):

$$IQST = 39.99 - 0.233 * x_{13} - 3.12 \times 10^{-3} * X_{13}^2 + 5.73 \times 10^{-6} * X_{13}^3 - 7.81 \times 10^{-6} * X_{13}^4 + 2.60 \times 10^{-9} * X_{13}^5 \quad \text{Equação (26)}$$

para: X_{13} = taxa (ou tarifa) cobrada do cliente ou do município atendido

Por meio do indicador IN011, no qual leva em consideração a receita arrecada com taxas ou outras formas de cobrança pela prestação de serviços de manejo em relação a população urbana, foi possível calcular o subíndice tendo como base os anos de 2015 ou 2014 (conforme a disponibilidade).

A figura 13 apresenta todos os subíndices de cada capital, sendo que todas as capitais estão iguais ou abaixo de 40. O menor índice é de Boa Vista/RR com 18.

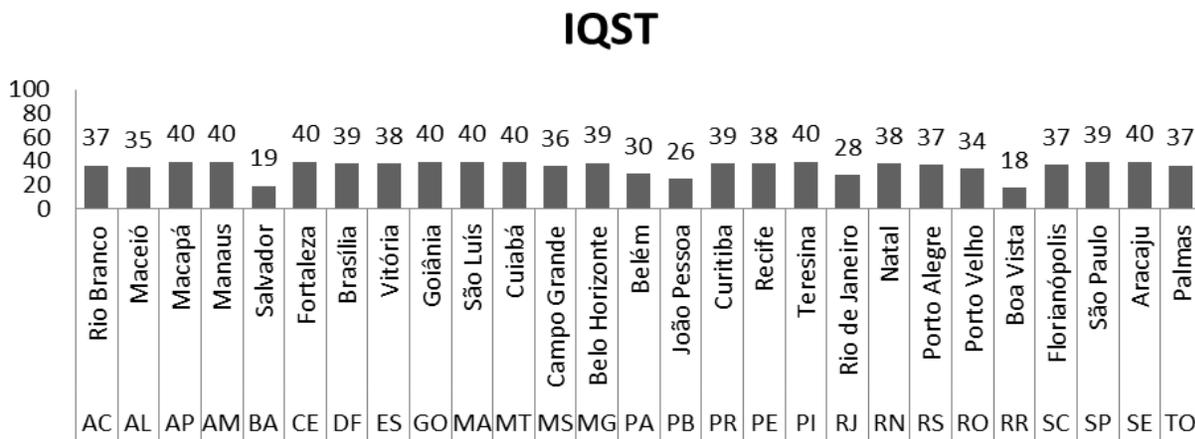


Figura 13. Subíndice de qualidade provável dos serviços versus taxa/ tarifa cobrada por cliente atendido (IQST) das capitais brasileiras. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Análise e discussão do índice de qualidade e eficiência dos serviços de limpeza urbana (IQESLU)

Após a realização de todos os 13 subíndices é preciso aplicá-los no IQE_{SLU}. Segundo Deus *et al.* (2002), o índice foi definido em função da importância estatística de cada subíndice na formulação do índice geral. O índice é ponderado de 0 a 100 resumindo a eficiência multidisciplinar, como sanitária, ambiental, social, etc. Os pesos de cada subíndice foi proposto por De Luca *et al.* (1999), explícitos na equação (27):

$$IQE_{slu} = 0.02 * IQSO + 0.05 * IQSL + 0.02 * IIR + 0.20 * IQSP + 0.17 * IAP + 0.05 * IQOD + 0.15 * IQSF + 0.04 * IQSTT + 0.04 * IQSAOP + 0.05 * IES + 0.04 * IQSR + 0.12 * IQASF + 0.05 * IQST \quad \text{Equação (27)}$$

A figura 14 apresenta o índice de todas as capitais dos estados brasileiros de acordo com o índice de qualidade e eficiência calculado com base nos resultados de todos os subíndices. A capital que obteve o maior índice foi Curitiba/PR (72), seguida por Porto Alegre/RS (70), e logo em seguida, Brasília/DF (69) e São Paulo/SP (68). No estudo realizado por Deus *et al.* (2002), Porto Alegre/RS também configurava como modelo em serviço de limpeza urbana no Brasil. As capitais que tiveram os piores índices foram Porto Velho/RO (53), Maceió/AL (55) e Fortaleza/CE (56), respectivamente.

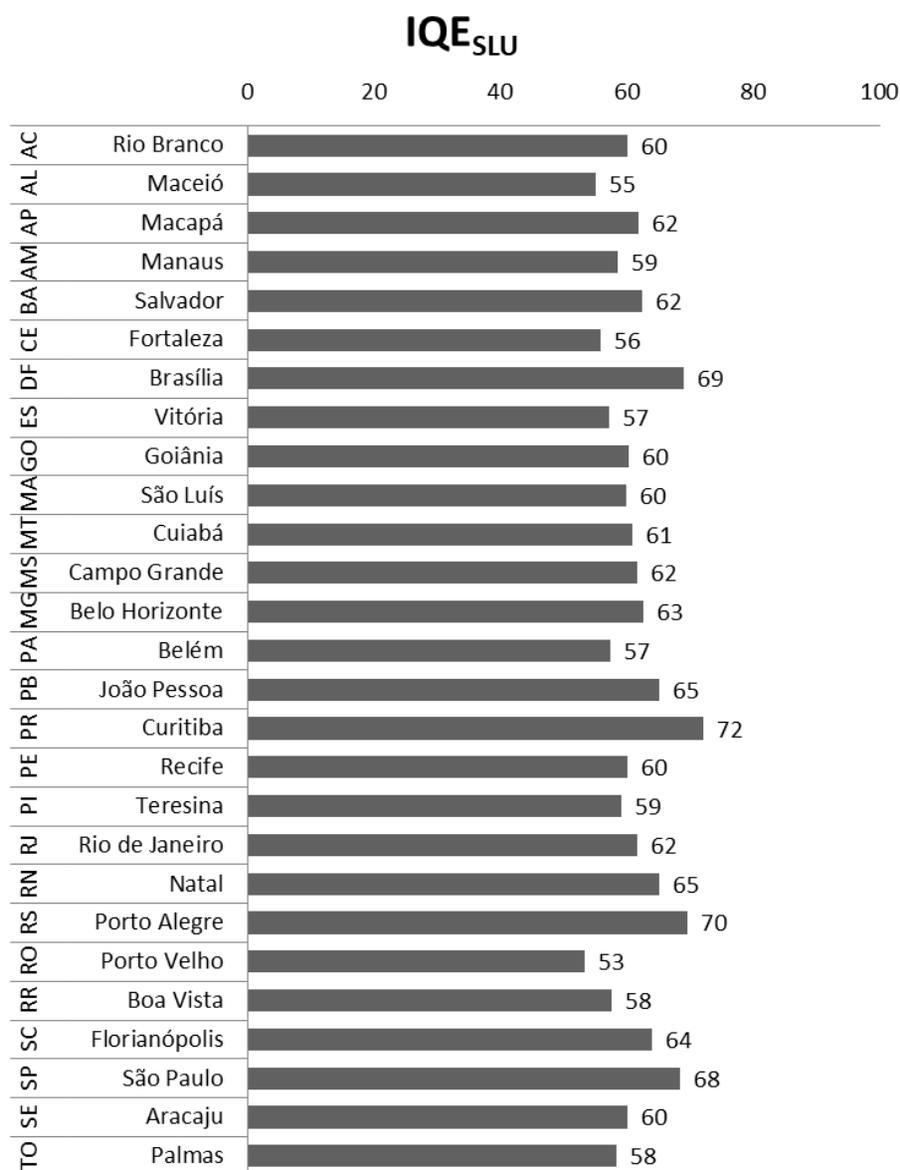


Figura 14. Índice de Qualidade e Eficiência dos Serviços de Limpeza Urbana (IQE_{SLU}).

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

Considerações finais

No estudo de Deus *et al.* (2002), as cidades que eram modelos de serviço de limpeza urbana no Brasil eram Belo Horizonte/MG, Porto Alegre/RS e Salvador/BA. No cenário atual, com dados atualizados, as três principais cidades são Curitiba/PR, Porto Alegre/RS e Brasília/DF, respectivamente. Portanto, Porto Alegre/RS ainda é um modelo de eficiência e qualidade em serviços prestados à população, que intrinsecamente estão relacionados com o meio ambiente.

O objetivo de estudo foi atingido e se mostrou conforme aos demais estudos, assim como a aplicabilidade do índice mostrou-se eficaz para o propósito. Em relação à base de dados, a mesma se mostrou sólida, mas alguns campos fundamentais para este estudo não foram informados pelo órgão municipal. Dessa forma, o subíndice de exclusão social (IES) não foi possível ser calculado por meio da base de dados do SNIS.

Uma oportunidade de estudo futura é aplicar o índice nas regiões metropolitanas brasileiras, tendo em vista que a criação de alianças e consórcios entre os municípios podem influenciar os dados informados pelas prefeituras municipais. A influência de outros municípios na disposição dos resíduos pode interferir no aspecto operacional e financeiro, bem como ambiental dos demais municípios.

Referências Bibliográficas

- Brasil (2009). *Programa nacional de capacitação de gestores ambientais: módulo específico licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários* (1 ed.). Brasília: MMA. Acesso em 1º de julho de 2017, disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/dai_pnc_publicacao/76_publicacao19042011110356.pdf
- Brasil (2016). *Resíduos sólidos e saneamento básico* (1 ed.). Brasília: Senado Federal. Acesso em 1º de julho de 2017, disponível em: http://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/520104/residuos_solidos_e_saneamento_basico_1_ed.pdf?sequence=1
- Brasil (2017). *Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2015* (1ª ed.). Brasília: Midades.SNSA. Acesso em 1º de julho de 2017, disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2015>
- Deus, A. B., Luca, S. J., Ribeiro, M. L., Dariva, J. (2002) *Índice de desempenho de serviços municipais de limpeza urbana* (18 ed., Vol. 18). Curitiba: SANARE -Revista Técnica da Sanepar. Acesso em 1º de julho de 2017, disponível em: <http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v18/Inddesempserv.htm>
- De Luca, S. J., Deus, A. B., Dariva, J., Ribeiro, M. L. (1999). *Avaliação dos serviços de limpeza urbana no Brasil: relatório final*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, Porto Alegre.
- IBGE (2016). *Cidades@*. Acesso em 1º de julho de 2017, disponível em Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: <https://cidades.ibge.gov.br>
- Ministério da Saúde (2017) *Situação epidemiológica - dados*. Acesso em 1º de julho de 2017, disponível em Portal da Saúde: <https://saude.gov.br/saude-de-a-z/leptospirose>
- Ministério das Cidades (2017) *Série histórica*. Acesso em 1º de julho de 2017, disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>



- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD); Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA); Fundação João Pinheiro (FJP). (2017) *Atlas de desenvolvimento humano no Brasil*. Acesso em 1º de julho de 2017, disponível em Atlas Brasil: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/home/>
- Ribeiro, M. L., Ide, C. N., Salles, M. P., & Salles, C. A. (2006) Diagnóstico e avaliação dos serviços de limpeza urbana por indicadores e índices no estado de Mato Grosso do Sul. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, **1**(1), 1-17. Acesso em 1º de julho de 2017, disponível em: <http://www.journals.unam.mx/index.php/aidis/article/view/13551>
- Salles, M. P. (2003) *Diagnóstico e avaliação por indicadores e índices dos serviços de limpeza urbana no estado de Mato Grosso do Sul*. Campo Grande: Programa de pós-graduação em tecnologias ambientais. Acesso em 1º de julho de 2017, disponível em <https://repositorio.ufms.br:8443/jspui/handle/123456789/1511>