

## APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

## APPLICATION OF DATA ENVELOPEMENT ANALYSIS IN THE WATER RESOURCE MANAGEMENT

## APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ENVOLTURA DE DATOS EN LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Gabriel Luciano Borges de Carvalho<sup>1</sup>  
Denise Helena Lombardo Ferreira<sup>2</sup>  
Cibele Roberta Sugahara<sup>3</sup>

**Resumo:** Os problemas gerados nas bacias hidrográficas por interferência humana ocorrem sobretudo devido à ausência de conhecimento ou de consciência sobre a fundamental importância do recurso água. O objetivo dessa pesquisa é verificar a eficiência de municípios quanto à gestão dos recursos hídricos. Para tanto, foi aplicada a Análise Envoltória de Dados, segundo parâmetros relacionados ao abastecimento de água no período de 2010 e 2019 para os municípios brasileiros, municípios das sub-bacias hidrográficas dos Rios Atibaia e Piracicaba e Unidades de Federação brasileiras. Conclui-se que os municípios pertencentes às sub-bacias hidrográficas estudadas possuem as maiores eficiências quanto a esses parâmetros.

**Palavras-chave:** Bacias hidrográficas. Análise Envoltória de Dados. Eficiência. Recursos hídricos.

**Abstract:** The problems generated in hydrographic basins by human interference occur mainly due to the lack of knowledge or awareness of the fundamental importance of the water resource. The objective of this research is to verify the efficiency of municipalities regarding the management of water resources. Therefore, Data Envelopment Analysis was applied, according to parameters related to water supply in the period 2010 and 2019 for Brazilian municipalities, municipalities of the Atibaia and Piracicaba Rivers sub-basins and Brazilian Federation Units. It is concluded that the municipalities belonging to the studied hydrographic sub-basins have the highest efficiencies regarding these parameters.

**Keywords:** Hydrographic Basins. Data Envelopment Analysis. Efficiency. Water resources.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Química. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, PUC-Campinas, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4503-1022>. E-mail: [gabriel.lbc@puccampinas.edu.br](mailto:gabriel.lbc@puccampinas.edu.br)

<sup>2</sup> Doutora em Educação Matemática. Pesquisadora e Professora do Mestrado em Sustentabilidade. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, PUC-Campinas, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3138-2406>. E-mail: [lombardo@puc-campinas.edu.br](mailto:lombardo@puc-campinas.edu.br)

<sup>3</sup> Doutora em Ciência da Informação. Pesquisadora e Professora do Mestrado em Sustentabilidade. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, PUC-Campinas, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3481-8914>. E-mail: [cibesu@puc-campinas.edu.br](mailto:cibesu@puc-campinas.edu.br)

**Resumen:** Los problemas generados en las cuencas hidrográficas por la intervención humana se dan principalmente por la falta de conocimiento o conciencia de la importancia fundamental del recurso hídrico. El objetivo de esta investigación es verificar la eficiencia de los municipios en cuanto a la gestión de los recursos hídricos. Por lo tanto, se aplicó el Análisis Envoltura de Datos, según parámetros relacionados con el suministro de agua en el período 2010 y 2019 para municipios brasileños, municipios de las subcuencas de los ríos Atibaia y Piracicaba y Unidades de la Federación Brasileña. Se concluye que los municipios pertenecientes a las subcuencas hidrográficas estudiadas presentan las mayores eficiencias respecto a estos parámetros.

**Palabras-clave:** Cuencas hidrográficas. Análisis Envoltura de Datos. Eficiencia. Recursos hídricos.

Submetido 02/02/2022

Aceito 14/12/2022

Publicado 15/12/2022

## Introdução

O modelo de desenvolvimento mundial que tem se sucedido desde a Revolução Industrial parece não integrar o meio ambiente em suas decisões (PERALTA et al., 2012), de tal forma que o modo de produção industrial e consumista faz da economia o principal eixo da sociedade (BOFF, 2015). Sartori e Gewehr (2011) destacam que os recursos naturais se encontram em extinção devido ao elevado crescimento industrial, e essa degradação põe em risco a manutenção da vida do ser humano. Adicionalmente, Kruglianskas e Pinsky (2014) assinalam que o homem coloca em risco a sua sobrevivência quando destrói a biodiversidade e acaba com os recursos da Terra. Ademais, Boff (2015) reconhece que é necessário equilibrar a Terra, proteger e conservar seus ecossistemas em busca da prosperidade.

Tendo em vista a produção e consumo sem a preocupação com a preservação do meio ambiente, mais de 150 líderes mundiais se reuniram, em setembro de 2015, na sede da Organização das Nações Unidas (ONU) em Nova York para adotarem uma agenda de Desenvolvimento Sustentável, a Agenda 2030, com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que devem ser implementados durante os 15 anos seguintes. Esses objetivos buscam um equilíbrio entre as três dimensões do Desenvolvimento Sustentável: a econômica, a social e a ambiental. Dentre os 17 objetivos, particularmente, o ODS 6 da Agenda 2030 consiste em assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos (ONU-BR, 2021). Esse objetivo é composto por oito metas, que visam assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento, trata do saneamento e recursos hídricos em uma perspectiva integrada. Dessa forma, o ODS 6 permite avaliar o cenário de cada país quanto à disponibilidade de recursos hídricos, demandas e usos da água para as atividades humanas, ações de conservação dos ecossistemas aquáticos, redução de desperdícios e acesso ao abastecimento de água, esgotamento sanitário e tratamento dos esgotos.

Os recursos hídricos representam extrema importância para a sobrevivência do ser humano. Nesse sentido, as bacias hidrográficas desempenham um papel fundamental na tomada de decisões para elaboração de políticas públicas, de planejamento e de gestão territorial, com destaque para a gestão ambiental eficiente das bacias que pode atenuar o seu processo erosivo (LELIS et al., 2012). Em 1993 foi criado o Comitê das bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (CBH- PCJ), com uma equipe especializada que tem cada vez mais se esforçado para melhorar a gestão das bacias hidrográficas PCJ. O Comitê de bacia hidrográfica

é "um fórum em que um grupo de pessoas se reúne para discutir sobre um interesse comum - o uso d'água na bacia" (BRASIL, 2011, p. 11). O Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Bacias PCJ) (COMITÊS PCJ, 2019) demonstra que o CBH-PCJ está alinhado com a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, mais especificamente o ODS 6.

Levando em conta a importância de modelos matemáticos e/ou estatísticos na representação do mundo real no auxílio da tomada de decisões, é fundamental fazer uso desses modelos para apoiar o processo decisório. Nesse contexto, a pesquisa proposta consiste em verificar a eficiência de municípios quanto à gestão dos recursos hídricos a partir da aplicação da ferramenta Análise Envoltória de Dados.

## Metodologia

O método utilizado é descritivo, visando descrever as características de consumo e abastecimento de água a partir de dados secundários obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2020). Primeiramente foi realizada uma análise preliminar das informações e dados obtidos, de forma a selecioná-los, para posteriormente utilizá-los na ferramenta Análise Envoltória de Dados em linguagem R.

## Análise Envoltória de Dados

A Análise Envoltória de Dados (DEA – *Data Envelopment Analysis*) é uma ferramenta estatística não-paramétrica que avalia a eficiência de unidades de tomada de decisão, comparando entidades (DMUs – *Decision Making Units*) que realizam tarefas similares e se diferenciam pela quantidade de recursos (inputs) e de bens (outputs) envolvidos (MILIONI; ALVES, 2013). A literatura apresenta dois modelos clássicos: CRS e VRS. O modelo CRS (*Constant Returns to Scale*) ou CCR (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978), aborda como hipótese o retorno constante à escala. O modelo VRS (*Variable Returns to Scale*) ou BCC (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984), leva em conta situações da eficiência de produção com variação de escala e não admite proporcionalidade entre inputs e outputs. O DEA avalia uma eficiência relativa de cada DMU a partir da sua comparação com as demais DMU's avaliadas. Essa comparação é possível a partir do estabelecimento de variáveis de entrada e

saída, as quais são atribuídos pesos que, respectivamente, minimizam e maximizam esses resultados (SUGUIY, 2017).

De acordo com Ângulo-Meza et al. (2005), no modelo DEA, a eficiência é resultado da comparação entre as unidades produtivas a partir de uma quantidade limitada de recursos. Para as unidades produtivas ineficientes, é possível alcançar a fronteira de eficiência a partir da alteração dos pesos atribuídos às variáveis de entrada e saída e da comparação do montante máximo produzido pelas DMU's mais produtivas.

O modelo VRS, por trabalhar com retornos variáveis de escala, deixa de considerar a proporcionalidade entre as entradas e saídas, como ocorre no modelo CRS, pelo axioma da convexidade. Com isso, as DMU's que operam com baixos valores de input têm retornos crescentes de escala enquanto que as DMU's com valores maiores têm retornos decrescentes. O modelo VRS possibilita que as DMU's consumam quantidades significativas de recursos e tenham retornos decrescentes de escala e vice-versa (GOMES GARCIA; SILVA; FREITAS, 2017). Sugiuy (2017) observa que no modelo CRS os valores de eficiência são mais baixos.

### **Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí**

O Comitê das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí é uma organização que debate acerca da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, estimulando estudos de metas e padrões de consumo para identificar possíveis melhorias no escopo em que as bacias dos rios estão localizadas.

Segundo o Caderno de Capacitação divulgado pela ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, dentre as incumbências do Comitê das Bacias PCJ, podem-se citar (BRASIL, 2011, p. 62 a 66):

- Implantação de cobrança pelo uso das águas nas bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí;
- Identificação de parâmetros que são significantes e sujeitos a cobrança pelo uso de águas,
- Realização e divulgação de programa sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos nas Bacias PCJ;
- Elaboração de Programas de Investimentos, cuja principal fonte de renda é a arrecadação da cobrança dos usuários dos recursos hídricos inseridos na Bacia.

Nas Bacias PCJ constam 76 municípios, dos quais 71 são paulistas e 5 municípios fazem parte do estado de Minas Gerais, caracterizados por possuírem predominância de ocupação urbana nas áreas de contribuição. Cerca de 7% da área total das Bacias localizam-se em Minas Gerais onde estão as nascentes do Rio Atibaia e do Rio Jaguari. A bacia caracteriza-se por possuir uma área total de drenagem superficial de, aproximadamente, 15.377 km<sup>2</sup> em que constam as seguintes Bacias: Bacia do Rio Capivari (1.568 km<sup>2</sup>), Bacia do Rio Jundiá (1.154 km<sup>2</sup>) e Bacia do Rio Piracicaba (12.655 km<sup>2</sup>) (COMITÊS PCJ, 2019). O Quadro 1 permite visualizar as subdivisões das Bacias PCJ.

**Quadro 1.** Subdivisão das Bacias PCJ

Bacia	Sub-Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Nº Zonas	Nº ACs
Capivari	Capivari	1.568,34	6	25
Jundiá	Jundiá	1.154,46	5	22
Piracicaba	Atibaia	2.816,11	5	43
	Camanducaia	1.040,00	2	17
	Corumbataí	1.719,46	5	21
	Jaguari	3.303,96	7	46
	Piracicaba	3.775,48	7	51
	Total Piracicaba	12.655,01	26	178
<b>Total Bacias PCJ</b>		15.377,81	37	225

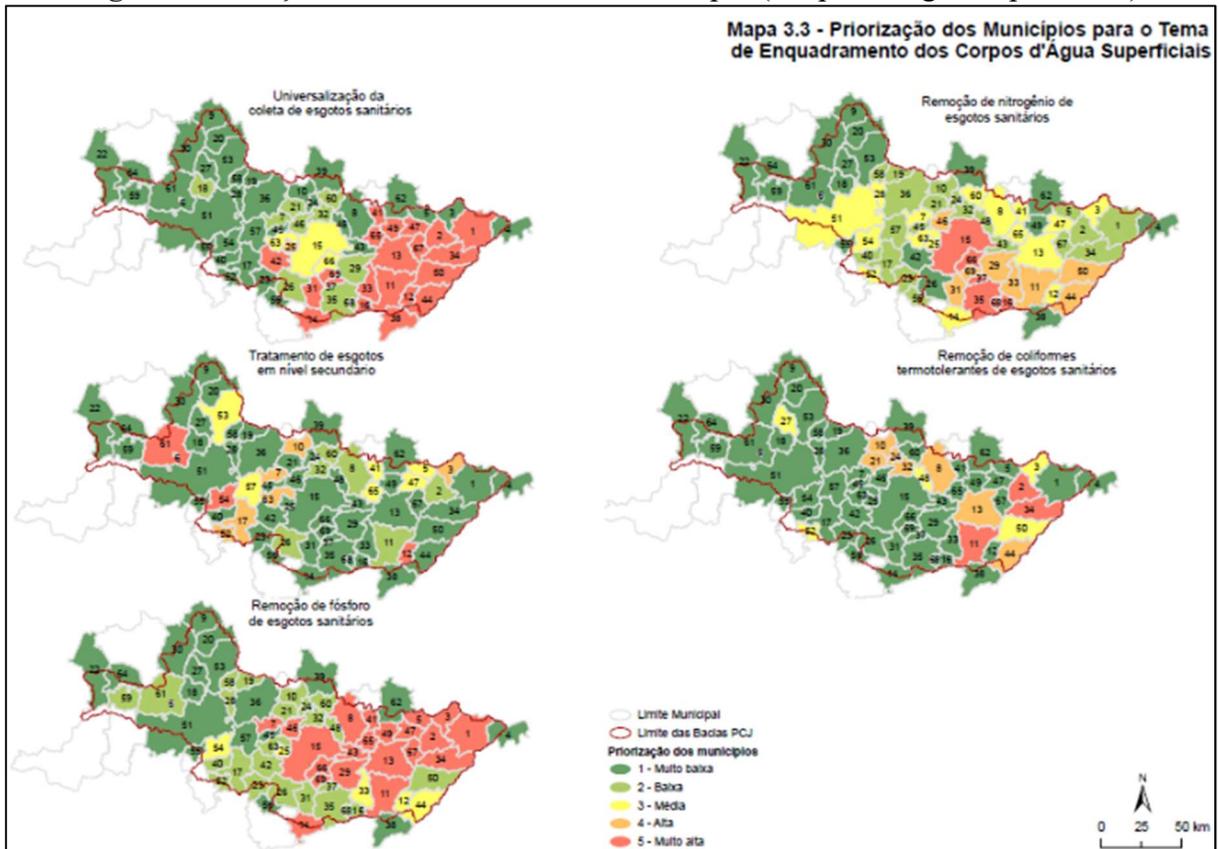
Fonte: Elaboração própria, adaptado de Comitês PCJ (2019).

Quanto à ocupação, foram estimadas as habitações proporcionalmente à área dos municípios resultando em 1,58 milhão de residências particulares, tal que 96% localizam-se em áreas urbanas e o restante em zonas rurais. Quanto à qualidade de vida, 99% da população localizadas em zonas urbanas possuem fornecimento de energia elétrica, 94% são atendidos por abastecimento de água e 88% têm atendimento de serviços sanitários. Quanto às zonas rurais, 99% possuem energia elétrica; para abastecimento de água são aproveitadas nascentes e poços artesanais e para necessidades sanitárias são usadas fossas rudimentares e fossas sépticas (COMITÊS PCJ, 2019).

No contexto de enquadramento e eficiência, foram definidas as Áreas Críticas que a partir de informações espaciais permitem o direcionamento de esforços para otimização e busca de melhorias na gestão (COMITÊS PCJ, 2019). As Figuras 1 e 2 ilustram as prioridades de cada

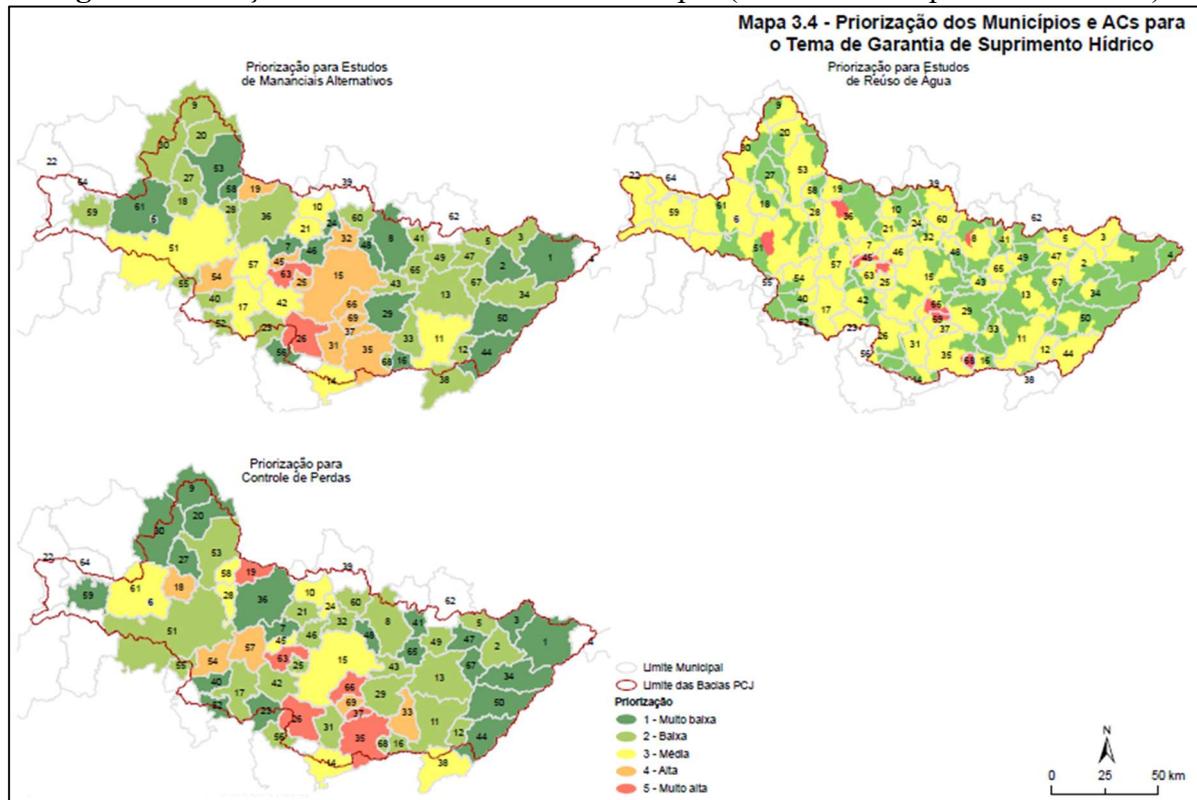
município de acordo com a situação dos corpos d'água superficiais e garantia de suprimento hídrico, respectivamente.

**Figura 1.** Situação de Prioridade de cada Município (Corpos d'Água Superficiais)



Fonte: (COMITÊS PCJ, 2019, p. 93).

**Figura 2.** Situação de Prioridade de cada Município (Garantia de Suprimento Hídrico)



Fonte: (COMITÊS PCJ, 2019), p. 94).

A partir dessas informações foram traçados cenários de referência para os períodos subsequentes até 2035 (COMITÊS PCJ, 2019).

### Coleta de Dados

Os dados e informações coletados versam sobre abastecimento de água, população e quantidade de ligações ativas, obtidas do SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2020). O Quadro 2 destaca as variáveis selecionadas e os respectivos significados, bem como o seu uso como input ou output no modelo DEA.

**Quadro 2.** Variáveis selecionadas para o modelo DEA

Variável	Orientação
AG001 - População total atendida com abastecimento de água	Output
AG002 - Quantidade de ligações ativas de água	Input
AG004 - Quantidade de ligações ativas de água micromedidas	Input
AG005 - Extensão da rede de água	Input
AG006 - Volume de água produzido	Output
AG007 - Volume de água tratada em ETAs	Output
AG010 - Volume de água consumido	Input
AG026 - População urbana atendida com abastecimento de água	Output

Fonte: Os autores (2022).

Para a presente pesquisa optou-se por utilizar o modelo VRS com orientação a output, propondo-se maximizar a população atendida com abastecimento de água, volume de água produzido e o volume de água tratada.

Na próxima seção apresenta-se a análise estatística dos dados e os resultados obtidos das rodadas realizadas para os anos 2010 e 2019 com a aplicação do modelo VRS com orientação a output, considerando as variáveis destacadas no Quadro 2.

## Resultados

### Análise Estatística

Neste tópico são apresentadas estatísticas dos dados coletados. Destaca-se que foi necessário o tratamento de alguns dados faltantes (NaN). Para contornar esse problema decidiu-se fazer a mediana dos dados presentes. Dessa forma, a seguinte sequência foi realizada:

- Identificar dados NaN;
- Verificar qual o impacto desses dados ao modelo;
- Tomar decisão de tratamento.

O tratamento de dados permite, através de funções, realizar operações de retirar, preencher, substituir valores de interesse por quaisquer outros valores que podem ou não ser definidos pelo usuário. A função *dropna*, por exemplo, busca por valores NaN e de acordo com os parâmetros definidos pelo usuário realiza operações de descarte da linha ou coluna do *dataframe*. Já a função *fillna* atua de maneira oposta, buscando no *dataframe* os valores NaN

e, de acordo com parâmetros inseridos pelo usuário, preenche os mesmos por algum valor definido pelo usuário.

No caso de valores NaN optou-se por uma metodologia tradicional e padrão, que consiste em substituir os valores *Not-a-number* pela mediana do conjunto de dados. Os valores NaN são geralmente reconhecidos de diversas formas, podendo assumir formas mais específicas desde pontos flutuantes, inteiros, booleanos, objetos gerais, e ocorrem quando o tipo de dado considerado não é reconhecido. Decidiu-se por utilizar a classe *SimpleImputer* que contém estratégias simples, mas que solucionam perfeitamente os problemas aqui tratados. *SimpleImputer* é uma classe da biblioteca *Sci-kit learn* usada para substituir valores tipo NaN (variável numérica ou categórica) relacionada a uma ou mais *features* – aqui consideradas como as colunas do *dataframe* que contém os dados de interesse. A seguir são destacadas algumas opções para contornar os valores nulos no DEA.

1. Substituir por valor x, tal que seja positivo e suficientemente grande em relação aos inputs/outputs;
2. Tornar os valores negativos ou zero em um valor de magnitude muito menor em relação aos outros números do *dataset* (BOWLIN, 1998).

Ambas opções foram obtidas de: *Modeling Data Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis*. Quanto à padronização, os valores foram normalizados em uma escala que possui mínimo 0 (zero) e máximo 1 (um), a fim de evitar que os modelos possam privilegiar *features* que tenham valores muito maiores que as demais.

A seguir são apresentadas as análises estatísticas utilizadas para os dados coletados. Utilizou-se o Coeficiente Linear de Pearson para estimar o poder de ajuste  $R^2$  entre os dados analisados. A Tabela 1 apresenta as equações lineares e o valor de  $R^2$  que relaciona a variável AG001 e as demais, obtidas para os anos 2010 e 2019.

**Tabela 1.** Equação Linear e o Poder de Ajuste

Variável AG001	2010		2019	
Variável	Equação Linear	$R^2$	Equação Linear	$R^2$
AG002	$y = x - 0,7$	1,0	$y = 0,9x - 0,4$	1,0
AG010	$y = x - 3,4$	1,0	$y = x - 2,7$	0,9
AG026	$y = x - 0,4$	0,9	$y = 1,1x - 0,8$	0,9

Fonte: Os autores (2022).

Optou-se por compreender as variáveis listadas no Quadro 2 de maior impacto em relação à variável AG001 (População atendida com abastecimento de água), com a finalidade de verificar quais dessas variáveis são mais correlacionadas positivamente com a variável AG001. Os resultados revelam que as variáveis AG002, AG010 e AG026 são as mais correlacionadas.

A partir da Tabela 1, nota-se uma correlação positiva entre os parâmetros analisados, ou seja, a população atendida com abastecimento de água depende diretamente da quantidade de ligações de água e possui variação proporcional ao volume de água consumido.

### **Resultados das Eficiências**

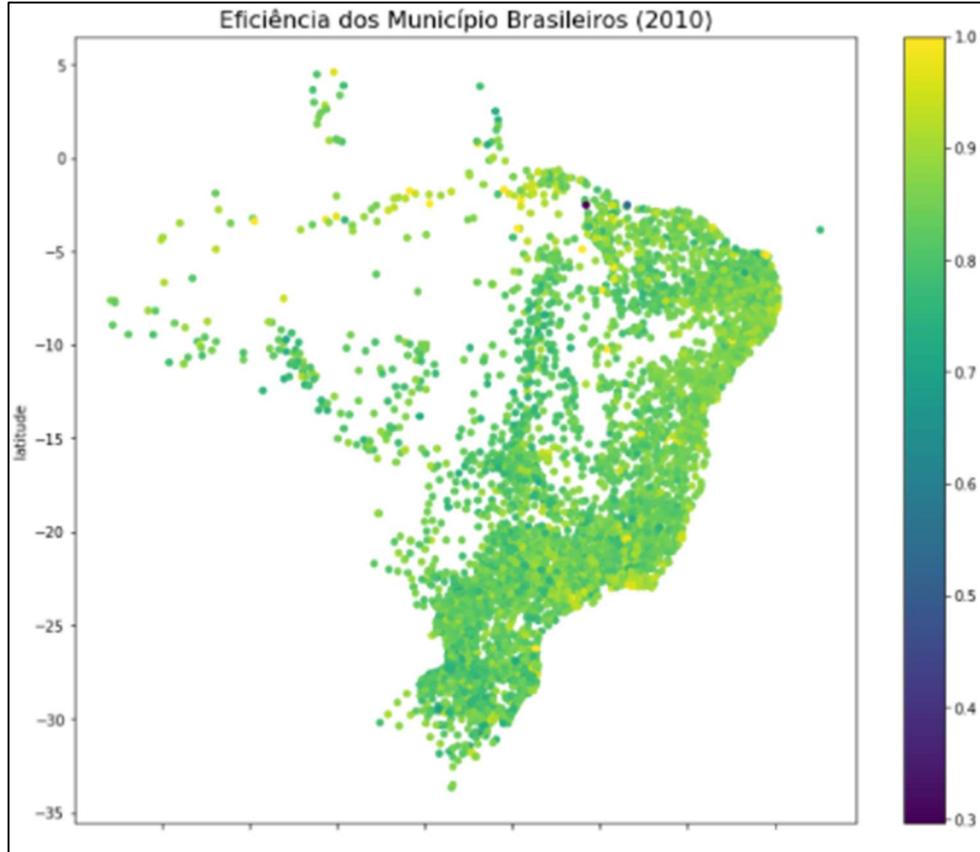
Os valores das eficiências foram obtidos a partir da biblioteca *lpSolve* disponível na documentação CRAN – *Comprehensive R Archive Network*. A seguir são discutidas as três rodadas com as variáveis definidas no Quadro 2, para os anos de 2010 e 2019, considerando as seguintes DMUs: a) Municípios brasileiros; b) Municípios das sub-bacias hidrográficas dos Rios Atibaia e Piracicaba; c) Unidades de Federação brasileiras.

### **Municípios brasileiros**

A Figura 3a permite visualizar os scores de eficiência para os municípios brasileiros para o ano de 2010, e, respectivamente, a Figura 3b para 2019.

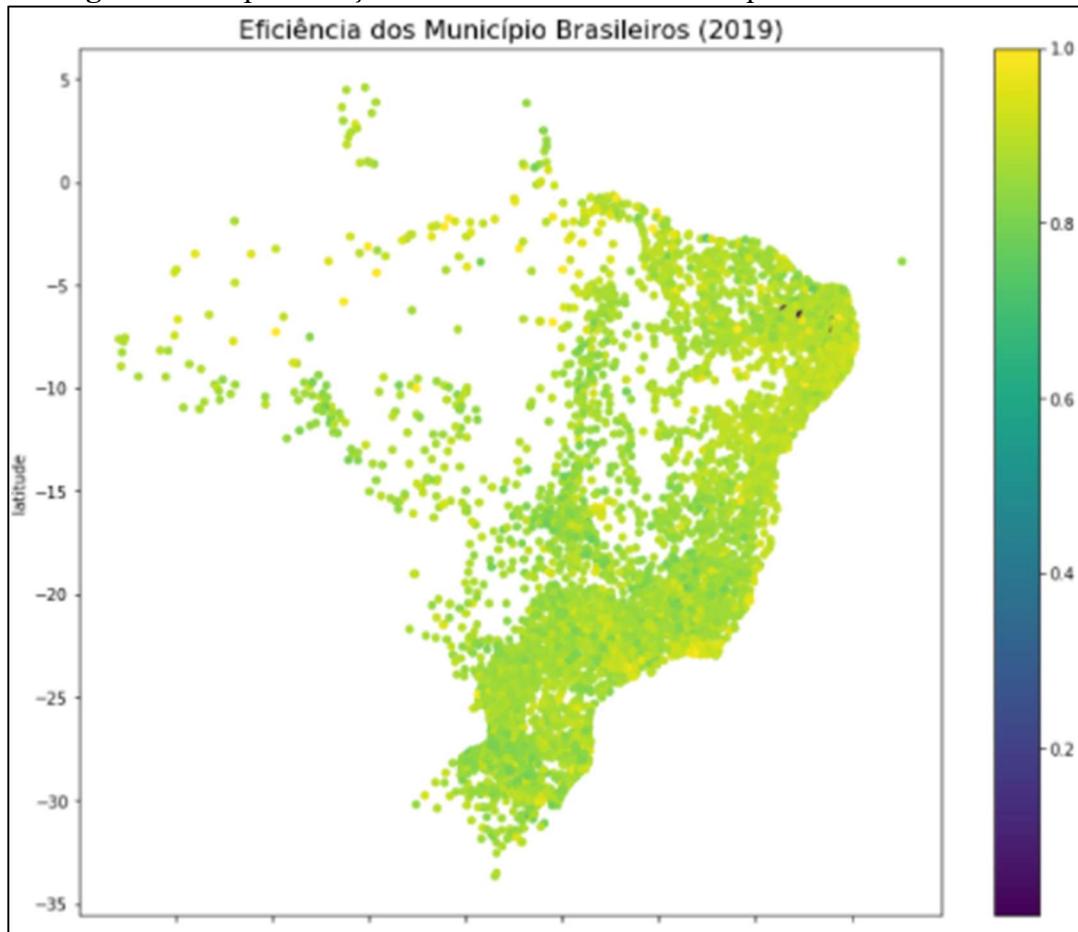
A Figura 3a mostra um declínio acentuado da eficiência municipal para o ano de 2010 para os parâmetros analisados, diferentemente do que ocorreu no ano de 2019 (Figura 3b). É possível observar que no ano de 2019, a maioria dos municípios alcançou eficiência satisfatória, acima de 80%, evidenciando-se que os gestores e comitês melhoraram o abastecimento de água para a comunidade, podendo inferir que o Comitê das Bacias PCJ está engajado e, atualmente, possui habilidades e competências técnicas que atuam no combate à escassez de água dos municípios. Entretanto, é necessário um estudo mais robusto e com variáveis mais representativas em termos de impacto social e ambiental.

**Figura 3a.** Representação das eficiências dos Municípios Brasileiros - 2010



Fonte: Os autores (2022).

**Figura 3b.** Representação das eficiências dos Municípios Brasileiros - 2019

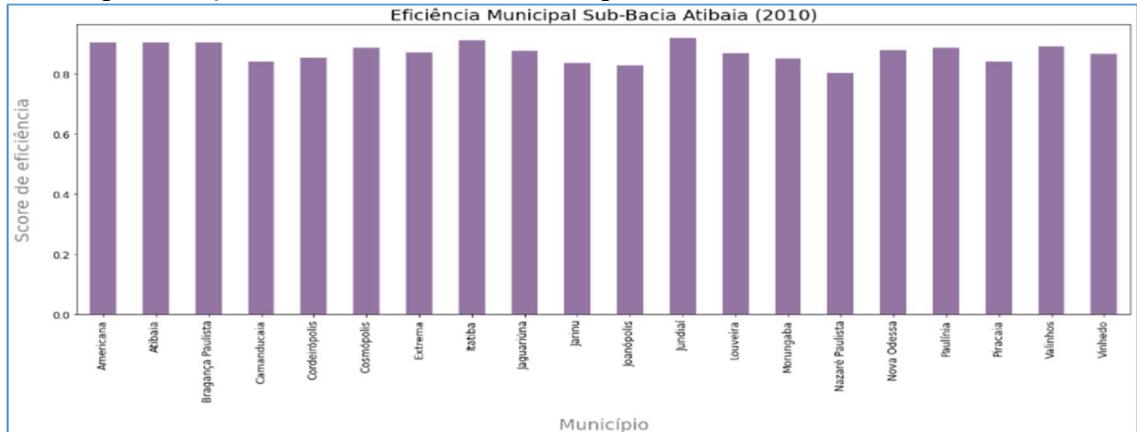


Fonte: Os autores (2022).

### **Municípios das sub-bacias hidrográficas dos Rios Atibaia e Piracicaba**

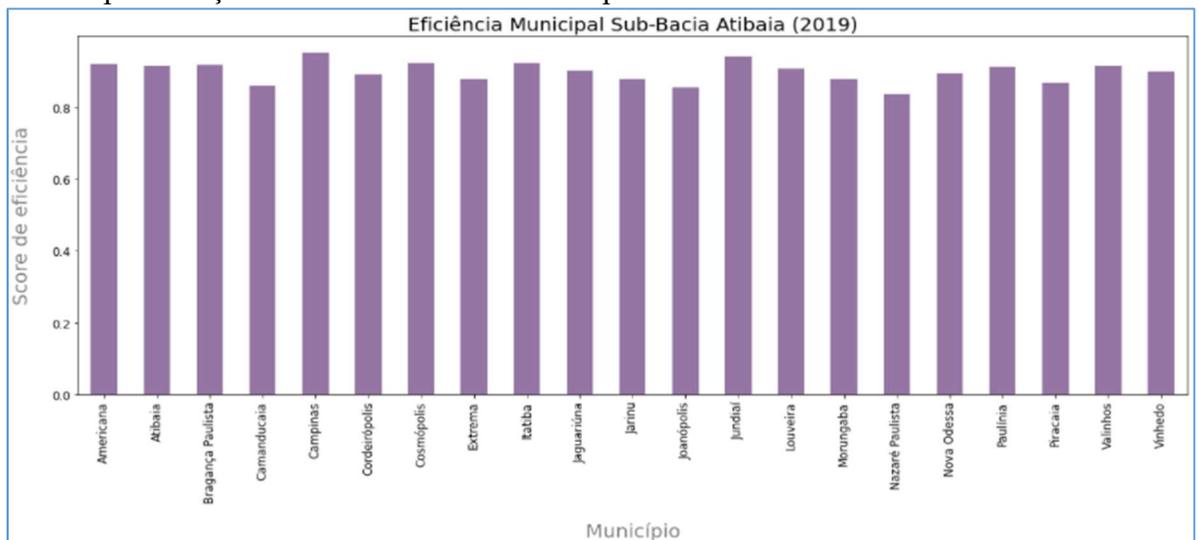
A Figura 4a destaca as eficiências obtidas para os municípios inseridos na sub-bacia do Rio Atibaia para o ano de 2010, e, respectivamente, a Figura 4b para 2019.

**Figura 4a.** Representação das eficiências dos municípios da sub-bacia do Rio Atibaia - 2010



Fonte: Os autores (2022).

**Figura 4b.** Representação das eficiências dos municípios da sub-bacia do Rio Atibaia - 2019



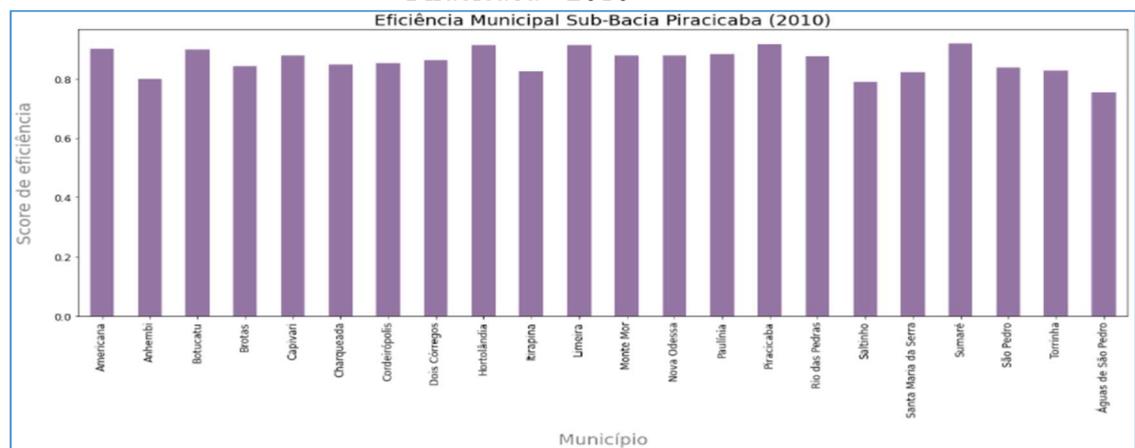
Fonte: Os autores (2022).

Na sub-bacia do Rio Atibaia para o ano de 2010, os municípios com as primeiras posições de eficiência foram: Jundiaí (95,7%), Itatiba (91%), Atibaia (90,4%), Bragança Paulista (90,3%) e Americana (90,1%). Já para o ano de 2019, Campinas foi o município que

mostrou ter maior *score* de eficiência (95,1%), na sequência destacam-se os municípios de Jundiá (94,3%), Cosmópolis (92,4%), Itatiba (92,4%) e Americana (92%).

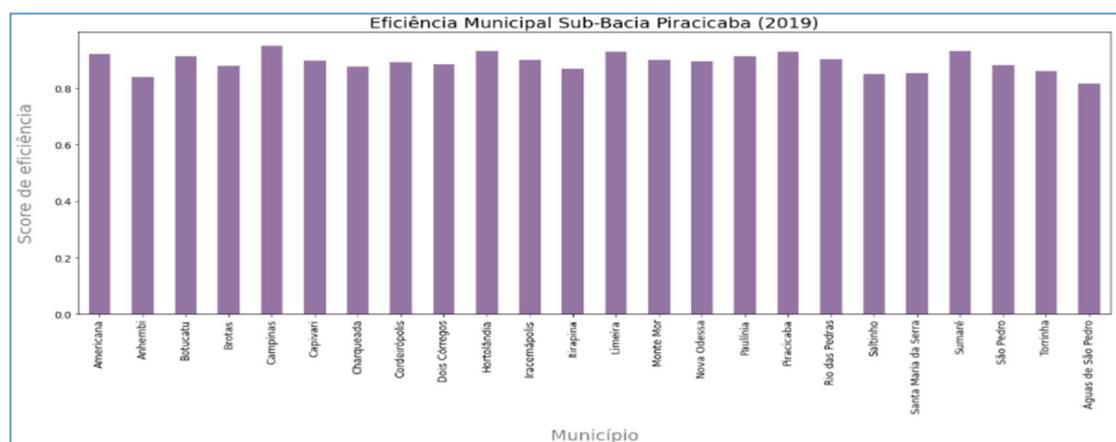
A Figura 5a apresenta as eficiências obtidas para os municípios inseridos na sub-bacia do Rio Piracicaba para o ano de 2010, e, respectivamente, a Figura 5b para 2019.

**Figura 5a.** Representação das eficiências dos municípios da sub-bacia do Rio Piracicaba - 2010



Fonte: Os autores (2022).

**Figura 5b.** Representação das eficiências dos municípios da sub-bacia do Rio Piracicaba - 2019



Fonte: Os autores (2022).

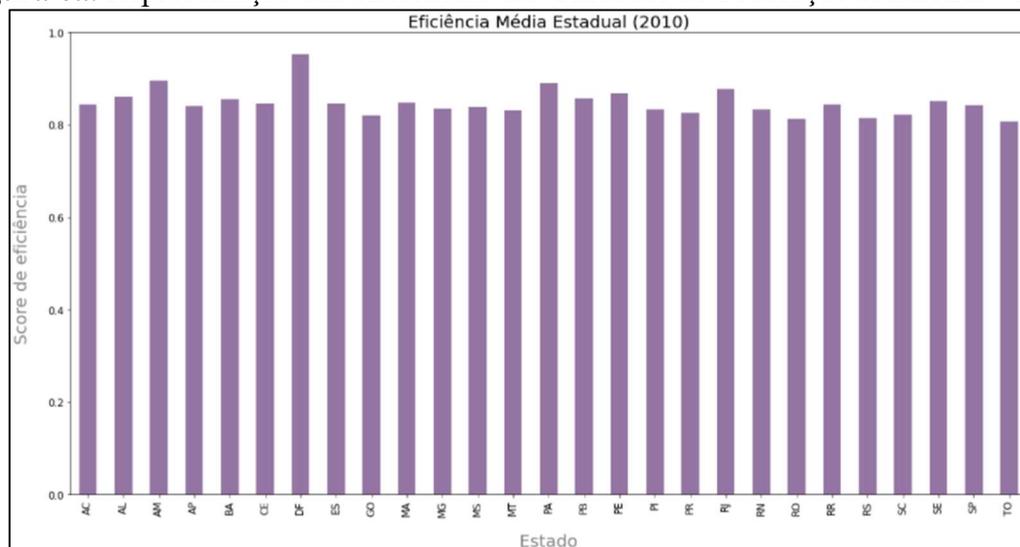
Na sub-bacia Piracicaba para o ano de 2010, os municípios com as primeiras posições de eficiência foram: Sumaré (92%), Piracicaba (91,7%), Hortolândia (91,5%), Limeira (91,4%)

e Americana (90,1%). Já para o ano de 2019, o município de Campinas manteve-se na primeira posição de eficiência (95,1%), na sequência destacam-se os municípios de Sumaré (93,3%), Hortolândia (93,1%), Limeira (92,9%) e Piracicaba (92,9%).

### Unidades de Federação brasileiras

A Figura 6a mostra a representação gráfica dos valores das eficiências obtidas das Unidades de Federação brasileiras para o ano de 2010 e, respectivamente, a Figura 6b para 2019.

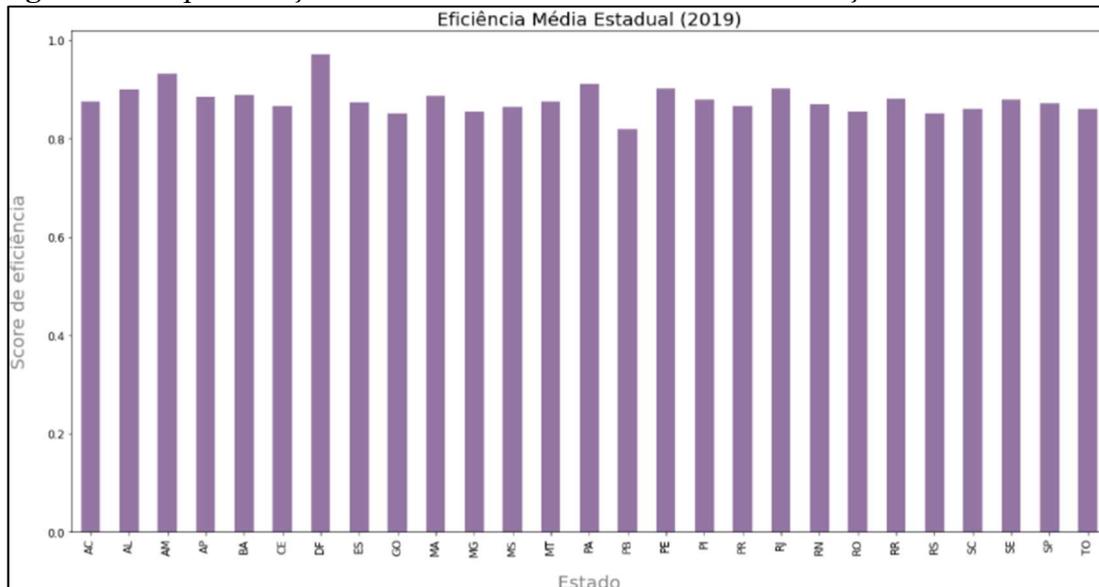
**Figura 6a.** Representação das eficiências das Unidades de Federação brasileiras - 2010



Fonte: Os autores (2022).

A partir da Figura 6a é possível observar que o Distrito Federal possui a maior eficiência (aproximadamente 95%), seguido por Amazonas (89,5%) e Pará (89%). É possível concluir que todas as Unidades de Federação brasileiras possuem eficiência maior ou igual a 80% para o ano de 2010, entretanto, os estados brasileiros localizados na Região Norte possuem maiores eficiências se comparado com os demais.

**Figura 6b.** Representação das eficiências das Unidades de Federação brasileiras - 2019



Fonte: Os autores (2022).

Para o ano de 2019, a Figura 6b possibilita concluir que em geral os estados brasileiros aumentaram seus respectivos scores de eficiência, Distrito Federal (97,1%), seguido por Amazonas (93,1%) e Pará (91,1%).

## Conclusão

A pesquisa realizada auxiliou na compreensão dos principais problemas, na identificação de pontos críticos que devem ser acompanhados com maiores cuidados e as possíveis alternativas, de forma a identificar regiões que necessitam de melhor abastecimento e gargalos que devem ser suprimidos, bem como classificar os municípios baseando-se na ferramenta Análise Envoltória de Dados.

Considerando-se os cenários de tratamento e abastecimento de água para as Unidades de Federação brasileiras, pode-se observar que as melhores eficiências obtidas não foram atribuídas para os estados da Região Sul do país, como era esperado. Esse fato direciona a necessidade de estudos mais aprofundados e que possam abordar temas sociais latentes da sociedade, principalmente no que tange à alta densidade populacional nos estados das regiões Sul/Sudeste.

Para estudos futuros recomenda-se consultas a especialistas sobre o tema que possam dar direcionamento às análises mais profundas e que permitam ultrapassar o escopo acadêmico, a fim de embasar tomadas de decisão e formulação de políticas públicas; utilização de maiores informações a fim de prever locais que possam sofrer com escassez hídrica.

## Referências

ÂNGULO-MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; MELLO, J. C. B. S. de; GOMES, E. G. ISYDS-Integrated System for Decision Support (SIAD-Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** Agência Nacional de Águas. - Brasília: SAG, 2011.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019.** Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p. Disponível em: <[http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico\\_SNIS\\_AE\\_2019\\_Publicacao\\_31032021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Publicacao_31032021.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2021.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é, o que não é.** Petrópolis, RJ: Vozes, 2015.

BOWLIN, W. F. Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA). **Journal of Cost Analysis**, v. 7, p. 3-27, 1998.

CHARNES, A; COOPER, W. W; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.

COMITÊS PCJ. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos: versão simplificada (Ano Base 2018).** Piracicaba: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2019.

GOMES GARCIA, B. T. de; SILVA, M. A. V. da; FREITAS, M. A. V. de. Analysis of Efficiency in the Generation of Waste in General Cargo Port Terminals using DEA. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 3, n. 1, p. 60-79, 2017.

KRUGLIANSKAS, I.; PINSKY, V. C. **Gestão Estratégica da Sustentabilidade: experiências brasileiras.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L.; FONSECA; SANTIAGO, A. F.; LIMA, D. C. DE; ROCHA. E. O. Análise de sensibilidade e calibração do modelo SWAT aplicado em bacia hidrográfica da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n.2, p. 623-634, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200031>>.

MILIONI; A. Z.; ALVES, L. B. Ten years of research parametric data envelopment analysis, **Pesquisa Operacional**, v. 33, n. 1, p. 89-104, 2013.

ONU-BR. Organização das Nações Unidas - Brasil. **Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>>. Acesso em: 22 out. 2021.

PERALTA, C. E.; LEITE, J. R. M. in LEITE, J. R. M.; MONTERO, C.E.P.; MELO, M.E. (Org.) **Temas da Rio+20: Desafios e Perspectivas**. Florianópolis: Fundação Boiteux, p. 12-40, 2012.

SARTORI, L. P.; GEWEHR, L. O Crescimento Econômico e as Consequências das Externalidades Ambientais Negativas Decorrente do Processo Produtivo. **Revista de Direito e Socioambiental**, v. 2, n. 2, p. 439-458, 2011.

SUGUIY, T. **Eficiência versus Satisfação no Transporte Público**: um Estudo das Práticas nas Cidades Brasileiras. Tese (Doutorado) 160 fls. Universidade Estadual de Campinas, 2017.