



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**

**ESTUDO DAS PERDAS DE ÁGUA PELO SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO HUMANO NOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO  
AGRESTE DE PERNAMBUCO, BRASIL**

**GABRIEL JOSÉ DE SOUZA**

**RECIFE, Agosto/2018**

# INFORMAÇÕES GERAIS

## **ESTUDO DAS PERDAS DE ÁGUA PELO SISTEMA DE ABASTECIMENTO HUMANO NOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO AGRESTE DE PERNAMBUCO, BRASIL**

**Aluno:** Gabriel José de Souza

**E-mail:** gabriel14jose@gmail.com

**Telefone:** (81) 99209-0929

Relatório de Estágio Supervisionado Obrigatório vinculado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental (Sede) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

**Professor Orientador:** Rosangela Gomes Tavares

**RECIFE, Agosto/2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S729e Souza, Gabriel José de  
Estudo das perdas de água pelo sistema de abastecimento humano nos municípios da região agreste de Pernambuco, Brasil/ Gabriel José de Souza. – 2018.  
34 f. : il.

Orientadora: Rosangela Gomes Tavares.  
Coorientador: Rodrigo Cândido Passos da Silva.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, BR-PE, 2018.  
Inclui referências.

1. Água – Desperdício 2. Água – Distribuição 3. COMPESA  
4. Abastecimento de água I. Tavares, Rosangela Gomes, orient.  
II. Silva, Rodrigo Cândido Passos da, coorient. III. Título

CDD 628.1

# **RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO**

## **ESTUDO DAS PERDAS DE ÁGUA PELO SISTEMA DE ABASTECIMENTO HUMANO NOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO AGRESTE DE PERNAMBUCO, BRASIL**

---

Nome e assinatura do aluno

---

Nome e assinatura do orientador

---

Nome e assinatura do supervisor

**RECIFE, AGOSTO/2018**

## **Lista de ilustrações**

Figura 1- Localização geográfica da Mesorregião do Agreste de Pernambuco.....	6
Figura 2- Organograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.....	12
Figura 3- Série histórica dos índices técnicos dos municípios do Agreste pernambucano.....	19
Figura 4- Análise dos índices técnicos para o ano de 2017.....	20
Figura 5- Correlação dos indicadores referentes aos PCs 1 e 2.....	22

## Lista de quadros

Quadro 1- Municípios compreendidos pelas microrregiões do Agreste.....	6
Quadro 2- Indicadores utilizados na série histórica.....	13

## Lista de abreviaturas

ACP – Análise de Componentes Principais

CAESB – Companhia de Saneamento do Distrito Federal

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento

COPANOR – Companhia de Serviços de Saneamento Integrado do

Norte e do Nordeste de Minas Gerais

CP – Componentes Principais

CPC – Consumo *Per Capita* de Água

DD – Densidade Demográfica

EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento

IM – Índice de Micromedição

IPF – Índice de Perdas no Faturamento

IPA – Índice de Perdas de Água

IPD – Índice de Perdas na Distribuição

IVDE – Índice de Volume Distribuído por Economia

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Médio

PA – População Abastecida

PCA – *Principal Component Analysys*

PRECIP – Precipitação

PIB – Produto Interno Bruto

RMPC – Renda Média *Per Capita*

SIP – Sistema de Informações Operacionais

VD – Volume Distribuído

VDE – Volume Distribuído por Economia

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1	Caracterização do local de estudo .....	7
1.2	Contextualização do problema .....	8
1.3	OBJETIVOS .....	8
1.4	JUSTIFICATIVA .....	9
<b>2</b>	<b>EMPRESA EM ESTUDO .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>13</b>
4.1	Série histórica das perdas de água .....	13
4.2	Análise de perdas para 2017 .....	14
4.3	Correlação dos indicadores técnicos e socioeconômicos .....	15
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>18</b>
5.1	Série histórica das perdas de água .....	18
5.2	Análise de perdas para 2017 .....	19
5.3	Correlação dos indicadores técnicos e socioeconômicos .....	21
	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>24</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>25</b>

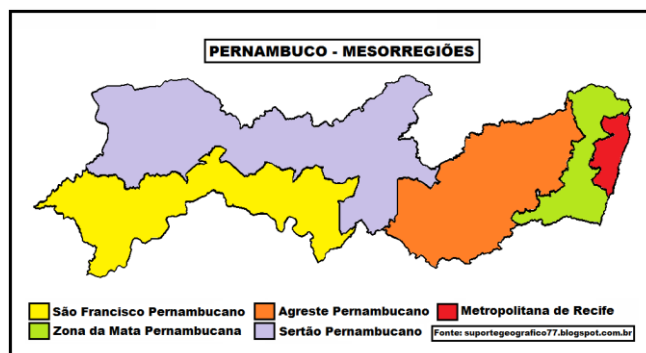


# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Caracterização do local de estudo

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Pernambuco é dividido em segmentações geográficas denominadas mesorregiões e microrregiões. O Agreste (Figura 1), objeto de estudo desta análise de dados, compõe uma destas mesorregiões e subdivide em Agreste Central, Agreste Meridional e Agreste Setentrional (Quadro 1).

**Figura 1. Localização geográfica da Mesorregião do Agreste de Pernambuco**



Fonte: Suporte geográfico 77, 2017.

**Quadro 1. Municípios compreendidos pelas microrregiões do Agreste**

Microrregiões	Municípios
Agreste central	Agrestina, Alagoinha, Altinho, Barra de Guabiraba, Belo Jardim, Bezerros, Bonito, Brejo da Madre de Deus, Cachoeirinha, Camocim de São Felix, Caruaru, Cupira, Gravatá, Ibirajuba, Jatáuba, Lagoa dos Gatos, Panelas, Pesqueira, Poção, Riacho das Almas, Sairé, Sanharó, São Bento do Una, São Caitano, São Joaquim do Monte, Tacaimbó.
Agreste meridional	Águas Belas, Angelim, Bom Conselho, Brejão, Buíque, Caetés, Calçado, Canhotinho, Capoeiras, Correntes, Garanhuns, Iati, Itaíba, Jucati, Jupi, Jurema, Lagoa do Ouro, Lajedo, Palmeirina, Paranatama, Pedra, Saloá, São João, Terezinha, Tupanatinga, Venturosa.
Agreste setentrional	Bom Jardim, Casinhas, Cumaru, Feira Nova, Frei Miguelinho, João Alfredo, Limoeiro, Machados, Orobo, Passira, Salgadinho, Santa Cruz do Capibaribe, Santa Maria do Cambuca, São Vicente Férrer, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama, Vertente do Lério, Vertentes

A mesorregião do agreste pernambucano apresenta população estimada para o ano de 2017 de 2.377.748 habitantes (IBGE, 2017), taxa de crescimento populacional média de 1,09% ao ano, área de 26.161,6 km<sup>2</sup> e taxa de urbanização

média de 57,9% (IBGE, 2017). Além disto, possui Produto Interno Bruto médio de R\$ 1.103.406.953,44, sendo o PIB *per capita* de R\$ 28.034,00, com base no censo de 2010 (IBGE, 2010).

O Agreste é uma zona de transição entre a zona da mata e o sertão, e está localizada sobre a borda ocidental do Planalto da Borborema, com altitude média de 400 m até mais que 1000 m nos pontos mais elevados. A estrutura geológica predominante é a cristalina, sendo responsável, junto com o clima semiárido, por formações abruptas (pedimentos e pediplanos). A região apresenta uma vegetação de transição e suas características se misturam com a da Mata Atlântica, na parte mais oriental e com a Caatinga, na parte mais ocidental. O Agreste caracteriza-se também, por uma economia diversificada, com o cultivo de lavouras como milho, feijão, mandioca, entre outras, e pecuária leiteira e de corte, geralmente a região possui índices pluviométricos mais altos que o do sertão com média anual entre 800 e 1000 milímetros, mas ainda é conhecida como uma região de clima seco (BLOG, 2016).

## **1.2 Contextualização do problema**

A região Nordeste do Brasil é a que mais sofre com os problemas de seca resultantes das épocas de estiagem do País (IBGE 2010). A consequência deste déficit pluviométrico, dentre outros, se traduz nos altos percentuais de perdas de água nos sistemas de abastecimento que atendem aos estados desta região.

A qualidade dos serviços de abastecimento hídrico da população de cada estado varia de acordo com as características intrínsecas e extrínsecas do local. Essas características estão atreladas aos dados demográficos, extensão territorial e clima, como também a economia, a educação e a cultura dessas populações.

## **1.3 OBJETIVOS**

Este trabalho visa avaliar os índices de perdas de água da Companhia de Saneamento de Pernambuco (Compesa) em uma séria histórica de 9 anos, especificamente nos municípios do Agreste do estado. Além disso, apontar os fatores determinantes para este cenário. Esta pesquisa busca auxiliar os gestores

municipais na proposição de soluções adequadas, viáveis, eficientes e sustentáveis para esta problemática, e contribuir para a gestão dos recursos hídricos.

## **1.4 JUSTIFICATIVA**

O presente estudo é caracterizado como uma pesquisa aplicada, pois o conhecimento gerado apresenta uma aplicação prática, buscando soluções para problemas específicos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Quanto aos objetivos, caracteriza-se como uma pesquisa exploratória e descritiva (GIL, 2010), uma vez que busca maior familiaridade com o problema proposto e por descrever as características de determinada população, por meio das relações entre as variáveis técnicas e socioeconômicas.

A pesquisa apresenta uma abordagem quantitativa do problema, pois os dados técnicos e socioeconômicos são tratados por análise estatística, de modo a auxiliar na compreensão do tema estudado. O diagnóstico foi realizado a partir do levantamento de dados secundários, sendo os dados técnicos advindos dos relatórios mensais da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) e os socioeconômicos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Banco de Dados do Estado de Pernambuco (BDE/PE). O método científico utilizado para o estudo foi o indutivo (GOTELLI; ELLISON, 2011), cujas generalizações foram derivadas a partir do aprofundamento de casos específicos da realidade concreta.

## **2 EMPRESA EM ESTUDO**

A empresa em questão que forneceu o banco de dados para realização da pesquisa foi a Compainha Pernambucana de Saneamento (Compesa). Os dados relacionados à pesquisa foram índices de micromedição IM, índices de perdas no faturamento IPF, índices de perda de água IPA índices de perdas na distribuição IPD e índice de volume distribuído por economia IVDE.

Estes foram obtidos nos relatórios mensais do Sistema de Informações Operacionais (SIP) para os meses de janeiro a dezembro de 2017, e com base numa série histórica da média dos indicadores entre os anos de 2008 a 2017. Os índices utilizados em cada mês foram resultantes dos valores médios mensais dos municípios do Agreste.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com estudos realizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) para o ano de 2016, a região Nordeste apresenta índice de perdas de água na distribuição de 46,3%, superior à média nacional de 38,1%. Embora nos últimos tenha havido um aumento nos investimentos em água para os estados da região Nordeste, este cenário não se refletiu na redução dos índices de perdas de água dos sistemas de abastecimento humano (CAMBRAINHA et al. 2015).

Diante disto, várias pesquisas vêm sendo realizadas em busca de diagnosticar as perdas de água e propor soluções para mudar este cenário. Neste sentido, Pertel et al. (2016) avaliaram 22 companhias estaduais de abastecimento com base em quatro indicadores de perdas de água: índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado, índice de faturamento, índice de perdas na distribuição e índice de perdas por ligação. Os autores verificaram que a melhor qualidade dos serviços prestados estava diretamente relacionada aos menores extratos populacionais dos estados atendidos pelas companhias. Já o trabalho realizado por Martins et al. (2016) analisaram os dados dos índices de perdas na distribuição e no faturamento da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa-Lavras) dentro de uma série histórica entre os anos de 2001 a 2003. Os autores notaram que os índices de perdas estariam diretamente ligados ao crescimento populacional dos últimos anos, e que esses índices foram reduzidos em 0,35% para as perdas de faturamento e 0,31% para perdas de distribuição entre os anos de 2002 e 2003, os quais estavam relacionados com a implantação do Programa de Redução de Perdas desenvolvido pela Copasa.

Ainda nesta perspectiva, Lucatti e Kellner (2014) avaliaram o consumo de água das populações da cidade de São Carlos/SP e verificaram a existência de correlação entre o consumo médio *per capita* e a renda média das populações de cada bairro da cidade. Trabalhos realizados por Silva (2014), que avaliou a eficiência do sistema de abastecimento de companhias do estado de São Paulo, e por Sobrinho e Borja (2016), que realizou este mesmo estudo no estado da Bahia, verificaram que as perdas são fatores que influenciam diretamente na qualidade do serviço oferecido.

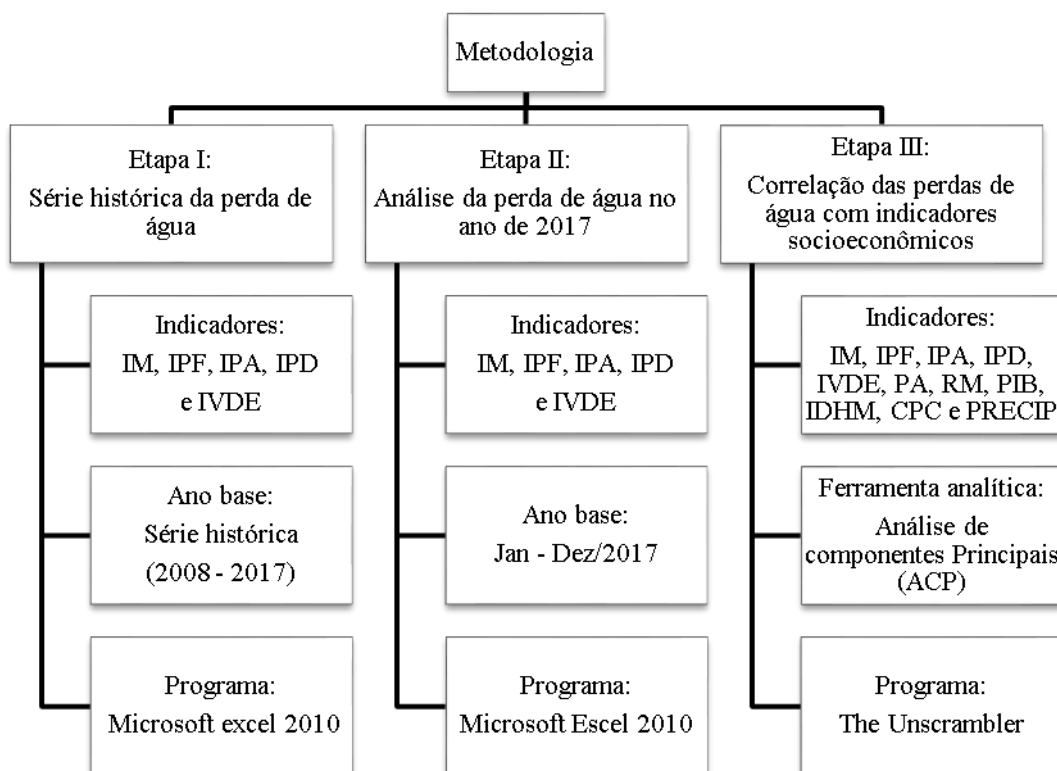
De acordo com pesquisas realizadas sobre a avaliação de métodos para o controle de perdas em Recife-PE foi possível perceber que quando se utiliza de

investimentos aplicados a tecnologias que visam a diminuição dos índices de perdas pelas companhias de abastecimento é possível reduzir esses efeitos, de maneira a resultar em avanços econômicos para o município e para a prestadora de serviço (SANTOS 2014; MONTENEGRO 2014).

## 4 METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada em três etapas: série histórica dos indicadores técnicos de perdas de água, análise da perda de água no ano de 2017 e correlação dos indicadores técnicos e socioeconômicos (Figura 2). Os procedimentos metodológicos para cada etapa estão descritos a seguir.

**Figura 2. Organograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa**



### 4.1 Série histórica das perdas de água

Os índices de perdas de água representam um dos maiores desafios para a eficiência dos sistemas de abastecimento humano, sobretudo na etapa da distribuição da água. Atrelado a isto, a perda financeira com a água produzida, muitas vezes não faturada, resulta no déficit de recursos financeiros e onera o serviço, o qual é fundamental para o desenvolvimento do saneamento no país.

O estudo da série histórica das perdas de água no agreste pernambucano foi realizado nos meses de junho e dezembro em um horizonte de 10 anos (2008 – 2017). Como esta mesorregião não apresenta grandes variações climáticas foi escolhido o mês representativo para o inverno (junho) e para o verão (dezembro).

Os dados secundários foram advindos dos relatórios mensais de gestão da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa). De todos os municípios do Agreste, apenas dez não foram contemplados no estudo por não apresentarem informações suficientes para análise. Estes municípios foram: Cumaru, Iati, Jataúba, Jucati, Jupi, Passira, Poção, Riacho das Almas, Taquaritinga do Norte e Toritama.

Os indicadores técnicos relacionados às perdas de água utilizados na série histórica foram: índice de micromedicação (IM), índice de perdas no faturamento (IPF), índice de perdas de água (IPA), índice de perdas na distribuição (IPD) e o índice do volume distribuído por economia (IVDE). Estes índices foram resultantes dos valores médios apresentados pelos municípios da mesorregião do Agreste no período estudado, considerando todas as gerências responsáveis pelo serviço prestado em cada município. O mês de dezembro dos anos 2011 e 2012 não foram contemplados no estudo, por não estarem disponibilizados nos relatórios avaliados.

**Quadro 2. Indicadores utilizados na série histórica**

Indicador	Abreviação	Definição	Unidade	Fórmula
Índice de perdas na distribuição	IPD	Índice referente à perda de água na etapa de distribuição	%	$IPD = \frac{VD - VDE}{VD} \times 100$
Índice de perda de água	IPA	Índice relacionado à perda de água total no sistema de distribuição	%	$IPA = \frac{VD - [GM + (CE \times K)]}{VD} \times 100$
Índice de perdas no faturamento	IPF	Índice referente à perda de água faturada	%	$IPF = \frac{VD - VF}{VD} \times 100$
Índice de micromedicação	IM	Percentual do quantitativo de volume distribuído em cada economia	%	$IM = \frac{GM}{GM + CE} \times 100$
Índice de volume distribuído por economia	IVDE	Percentual do volume de água que é distribuído para a população dos municípios	%	$IVDE = \frac{VDE}{VD} \times 100$

Legenda: VD – Volume distribuído (m<sup>3</sup>), CM – Consumo medido (m<sup>3</sup>), CE – Consumo estimado (m<sup>3</sup>), K – Coeficiente de correção de volume consumido estimado (1,8), VF – Volume faturado (m<sup>3</sup>), VDE – Volume distribuído por economia (m<sup>3</sup>).

## 4.2 Análise de perdas para 2017

Com base nos relatórios SIP da Compesa foram retiradas as médias dos indicadores IM, IPF, IPA, IPD e IVDE, os mesmos para a série histórica, no entanto



as amostras para o estudo agora serão especificadas como os municípios da região agreste do estado. Tendo como base os meses de janeiro a dezembro do presente ano de estudo.

### 4.3 Correlação dos indicadores técnicos e socioeconômicos

O estudo de correlação entre os indicadores técnicos e socioeconômicos obtidos para a Região Agreste foi realizado com base no ano de janeiro a dezembro de 2017. Os dados técnicos utilizados no estudo foram os mesmo citados nos itens 2.3 e 2.4, os quais foram obtidos nos relatórios mensais da Compesa. Já os indicadores socioeconômicos e climático (Quadro 2) foram advindos do IBGE (2010; 2017) e do BDE (2017).

**Quadro 3. Indicadores socioeconômicos e climático**

Indicador	Abreviação	Definição	Unidade	Fonte
População abastecida	PA	População abastecida pelo sistema de abastecimento humano	hab.	SIP (2017)
Renda Média	RM	Indicador referente ao desenvolvimento econômico de uma região	R\$	IBGE (2010)
Produto interno bruto	PIB	Somatório de todos os bens e serviços finais produzidos por uma região em determinado período	R\$	IBGE (2010)
Índice de desenvolvimento humano municipal	IDHM	Classifica um município com base no grau de desenvolvimento humano	%	IBGE (2010)
Consumo per capita de água	CPC	Quantidade de água consumida por um habitante em um dia	m <sup>3</sup> / hab. dia	SIP (2017)
Precipitação	PRECIP	Fenômeno meteorológico referente à queda de água do céu	mm	APAC (2017)

Os dados técnicos e a população abastecida foram decorrentes da média anual dos municípios compreendidos pela mesorregião do Agreste. Já o consumo *per capita* (CPC) foi obtido por meio da Eq. 1

$$CPC = \frac{VD}{PA * t} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde, VD corresponde ao volume distribuído, PA a população média abastecida e t refere-se ao tempo em dias.

No estudo de correlação foram utilizados 60 municípios do Agreste pernambucano. Assim, a matriz usada nesta etapa teve dimensão 60 x 12, sendo referente aos municípios da mesorregião estudada e aos indicadores socioeconômicos, técnicos e climático, como descrito acima. Os dados foram previamente padronizados conforme o método do Z-Score (Kreyszig, 1979; Jang et al., 2018) (Eq. x), para que tivessem a mesma medida de escala, favorecendo a interpretabilidade dos dados (WANG et al., 2013).

$$Z = (x - \mu) / \sigma \quad (\text{Eq. } 2)$$

Onde, Z = escore padrão; x = Valor da variável não padronizada;  $\mu$  = Média aritmética do indicador;  $\sigma$  = Desvio padrão do indicador.

Com o objetivo de estabelecer um padrão de correlação entre os índices de perdas de água no abastecimento humano dos municípios atendidos pela Compesa na mesorregião do Agreste com variáveis socioeconômicas e climática, foi utilizada a técnica multivariada denominada por Análise de Componente Principal (ACP). A análise multivariada utiliza, simultaneamente, todas as variáveis na interpretação teórica dos dados obtidos. Segundo Hair et al. (2010), é uma técnica de análise quantitativa exploratória e não confirmatória dos dados, pois o tratamento das amostras em estudo geram perguntas/hipóteses e não respostas/confirmações.

A ACP, denominada por Hotelling de *Principal Component Analysis* (PCA) (HOTELLING, 1933), é uma ferramenta exploratória que possibilita a análise multivariada de dados, sem perdas significativas de informações, gerando padrões nos dados, de modo que semelhanças e diferenças sejam destacadas (SANTO, 2012). A análise consiste na conversão de uma matriz original n x p em uma matriz sintética (onde n é o número de indivíduos e p representa o conjunto de variáveis); na determinação de autovalores e autovetores; e na obtenção de combinações lineares das variáveis originais, as quais são denominadas de Componentes Principais (CP) (BRO; SMILDE, 2014).

As CP são expressas por cargas fatoriais para cada variável presente na estrutura dos dados, denominadas autovetores. Também, cada componente acumula uma parte da variabilidade total, gerando uma estimativa da variância compartilhada por cada componente, chamada de autovalores (HAIR et al., 2009). Esta CP possui dimensão equivalente a matriz original, independência estatística, indivíduos similares agrupados e eliminação das variáveis originais com pouca informação.

Cada combinação linear maximiza a variabilidade dos dados deixados pela matriz anterior. Assim, a primeira componente (CP1) apresentará maior grau de explicabilidade dos dados da matriz original, e a segunda componente (CP2) explicará o máximo da variância restante da CP1. A CP pode ser determinada por meio do algoritmo de variância-covariância ( $\Sigma$ ) ou de correlação (R) (Soares et al., 2017). No presente estudo, utilizou-se a matriz de correlação, assim como feito por Agovino et al. (2014), para determinar os fatores determinantes nas perdas de água oriundas dos sistemas de abastecimento humano dos municípios da região x.

A definição do número de CP utilizada no estudo seguiu o critério de Jolliffe (1986), o qual foi reforçado por Mardia (1979), na qual foram selecionadas as CP que apresentassem variância total superior a 70%. As variáveis determinantes em cada CP foram definidas conforme realizado por Finkler et al. (2015), sendo selecionada aquelas que apresentaram cargas fatoriais (autovetores) superiores a 0,5. O método de validação utilizado foi o leverage correlation, de modo que a matriz de dados tivesse média igual a zero e desvio padrão igual a 1. O círculo unitário foi método gráfico adotado para a análise de correlação, assim como feito por Jardim et al. (2014). O programa estatístico utilizado foi o The Unscrambler v. 9.7.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

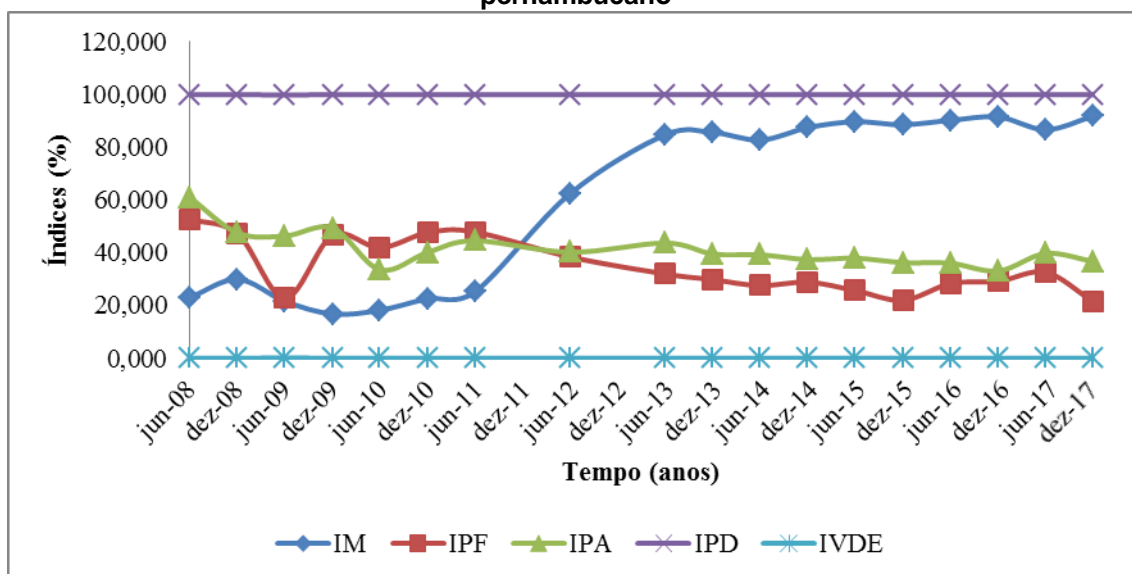
### 5.1. Série histórica dos índices técnicos

A Tabela 1 e a Figura 3 apresentam a média dos índices de micromedição, perdas no faturamento perdas de água, perdas na distribuição e volumes distribuídos por economia respectivamente, de todos os municípios do Agreste para os meses de junho e dezembro dos anos de 2008 a 2017.

**Tabela 1. Série histórica dos indicadores de perda de água do Agreste pernambucano**

TEMPO	INDICADORES				
	IM	IPF	IPA	IPD	IVDE
Jun./08	23,0651	52,7789	60,9443	99,9741	0,0259
Dez./08	29,9559	47,2255	47,5450	99,9733	0,0267
Jun./09	21,5797	22,8333	46,3889	99,8622	0,1378
Dez./09	16,7864	46,6117	49,3782	99,9742	0,0258
Jun./10	18,2283	41,9128	33,5453	99,9759	0,0241
Dez./10	22,5852	47,6825	40,1644	99,9753	0,0247
Jun./11	25,2131	47,8797	44,5816	99,973	0,0270
Jun./12	62,4949	38,4055	40,2234	99,9742	0,0258
Jun./13	84,7685	31,9634	43,7086	99,9659	0,0341
Dez./13	85,6239	29,8049	39,5393	99,9794	0,0206
Jun./14	82,7318	27,5575	39,2599	99,97858	0,0214
Dez./14	87,4897	28,8650	37,4109	99,9795	0,0205
Jun./15	89,7058	25,6725	37,9628	99,9451	0,0549
Dez./15	88,5700	21,9900	36,2700	99,9801	0,0199
Jun./16	90,2351	28,3564	36,0361	99,9791	0,0209
Dez./16	91,5092	29,2089	33,0946	99,97764	0,0224
Jun./17	86,7012	32,5854	39,7389	99,96683	0,0332
Dez./17	91,8304	21,4269	36,7299	99,98418	0,0158

**Figura 3. Série histórica dos índices técnicos dos municípios do Agreste pernambucano**



De acordo com o gráfico é possível perceber que os indicadores relacionados ao índice de perdas na distribuição e índice de volume distribuído por economia permaneceram constantes durante basicamente toda a série histórica. Com relação ao índice de micromedicação é possível identificar um aumento significativo dos resultados no decorrer do estudo, sendo de 23% em 2008 e chegando a aproximadamente 91% no final em 2017. Os demais indicadores apresentaram variações bruscas apenas nos anos iniciais se tornando praticamente estáveis no decorrer da série histórica.

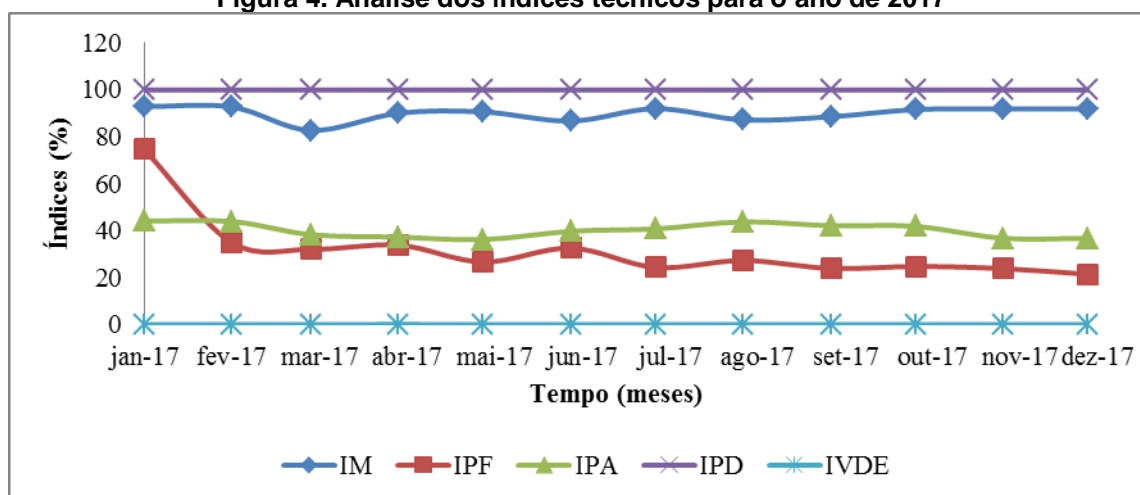
O crescimento significativo do índice de micromedicação da série de estudo indica que houve um aumento no controle do volume de água que era distribuído para as populações de cada município. Borges (2007) conclui em seu trabalho que a eficiência no sistema de micromedicação está relacionada com a determinação de índices de perdas de água, além de estar diretamente ligada com o prejuízo financeiro das companhias de saneamento.

## 5.2. Análise dos índices técnicos no ano de 2017

A tabela 2 e a Figura 4 apresentam as médias dos mesmos índices avaliados para todos os municípios da Região Agreste agora tendo como base todos os meses do ano de 2017.

**Tabela 2. Série Histórica dos dados técnicos para o ano base de 2017**

TEMPO	INDICADORES				
	IM	IPF	IPA	IPD	IVDE
Jan./17	92,84590	74,58752	44,11105	99,97457	0,02543
Fev./17	92,66971	34,95542	43,90429	99,96841	0,03159
Mar./17	82,72286	32,02931	38,31488	99,96391	0,03609
Abr./17	90,05456	33,83912	37,23532	99,94926	0,05074
Mai./17	90,57029	26,65143	36,23740	99,97687	0,02313
Jun./17	86,70123	32,58543	39,73895	99,96683	0,03317
Jul./17	91,97468	24,32229	40,78651	99,98366	0,01634
Ago./17	87,17951	27,32109	43,75485	99,98153	0,01847
Set./17	88,53741	23,89780	42,10986	99,97431	0,02569
Out./17	91,60149	24,76982	41,83681	99,98321	0,01679
Nov./17	91,81698	23,81400	36,75314	99,98245	0,01755
Dez./17	91,83036	21,42691	36,72986	99,98418	0,01582

**Figura 4. Análise dos índices técnicos para o ano de 2017**

De acordo com o gráfico, nota-se o comportamento constante entre os indicadores IVDE e IPD, os demais índices apresentaram variações que não foram tão significativas no decorrer dos meses de 2017 com exceção do índice de perdas no faturamento que decresceu significativamente de 74% em 2008 para 21% em 2017.

Os resultados de pesquisas realizadas por Pertel (2010) apresentam a média dos indicadores referentes a micromedição, perdas de faturamento e perdas na distribuição que foram de respectivamente 23,30% 57,00% e 66,20% para a companhia de abastecimento de Pernambuco no respectivo ano. Com relação a esses dados a média desses mesmos indicadores para a região Agreste do estado

agora no ano de 2017 foram de: 89,24% para o índice de micromedição, 26,53% para o índice de perdas no faturamento e 99,84% para o índice de perdas na distribuição.

### 5.3. Correlação dos indicadores socioeconômicos, climático e técnicos

De acordo com os resultados obtidos através do programa *The Unscrambler* notou-se que as PCs 1, 2, 3 e 4 são as maiores responsáveis por explicar a variabilidade do conjunto de dados. Assim, as 4 PCs explicam 80,2% do modelo (Tabela 3)

**Tabela 3. Variância explicada e total das componentes principais**

Componentes principais (CP)	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	32.272	7.901
2	53.301	22.357
3	68.433	34.447
4	80.270	46.440
5	87.190	48.977
6	93.143	63.954
7	96.758	73.369
8	98.984	80.346
9	99.843	94.357
10	99.943	98.353
11	100.000	m

A tabela 4 representa os autovetores referentes à capacidade que as primeiras 4 PCs, tem de representar de maneira significativa as variáveis de estudo.

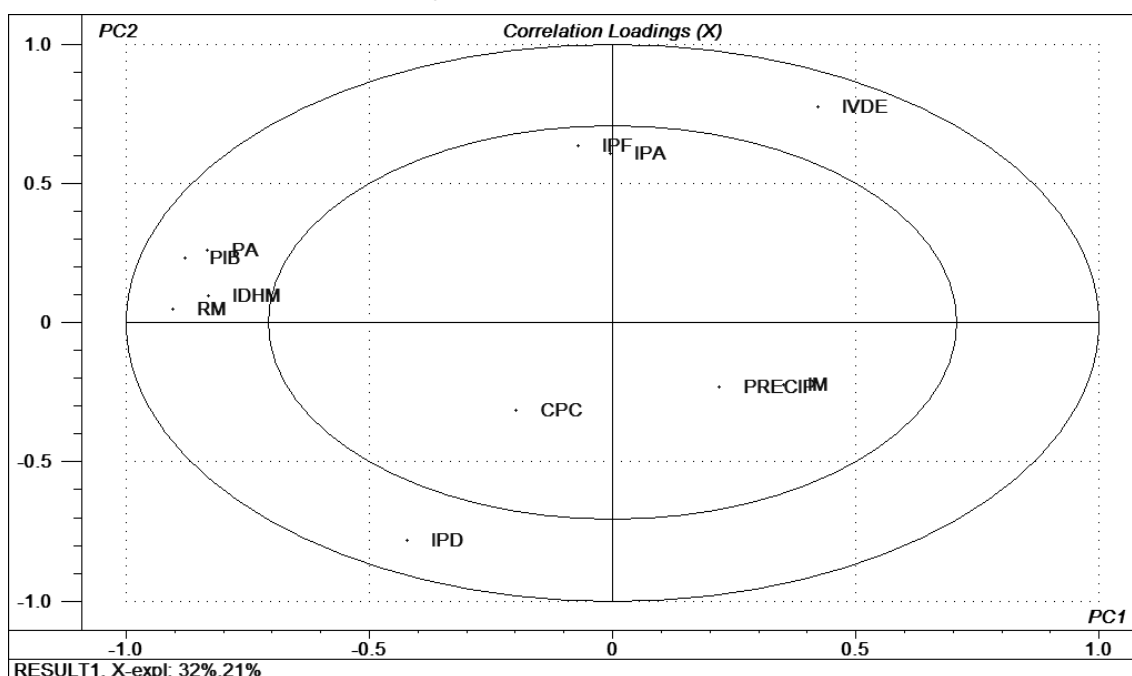
**Tabela 4. Autovetores das PCs 1, 2, 3 e 4**

Indicadores	Componentes Principais			
	1	2	3	4
IM	0.351	-0.223	0.297	0.521
IPF	-7.087e-02	0.634	0.313	-0.586
IPA	-4.479e-03	0.605	0.558	-0.356
IPD	-0.422	-0.781	6.623e-02	-0.417
IVDE	0.422	0.775	-5.655e-02	0.428
PA	-0.834	0.259	0.112	0.230
RM	-0.904	4.710e-02	-4.103e-02	0.171
PIB	-0.880	0.232	9.326e-02	0.248
IDHM	-0.831	9.779e-02	-0.123	4.780e-02
CPC	-0.199	-0.316	0.763	0.119
PRECIP	0.219	-0.230	0.734	0.206

Legenda: IM – índice de micromedição (%), IPF – índice de perdas no faturamento (%), IPA – índice de perdas de água (%), IPD – índice de perdas na distribuição (%), IVDE índice de volume distribuído por economia (%), PA – população abastecida (hab), RM – renda média per capita (R\$), PIB – produto interno bruto (R\$), IDHM – índice de desenvolvimento humano municipal (%), CPC - consumo per capita de água (m<sup>3</sup> / hab. dia), PRECIP – precipitação (mm).

De acordo com a análise dos resultados é possível perceber que a PC1 fica responsável por explicar os indicadores socioeconômicos como RM, PIB e IDHM, além do PA como indicador técnico. Quanto à PC2 é possível perceber que está maior relacionada com os indicadores técnicos como IPF, IPA, IPD e o IVDE. Os indicadores como CPC e PRECIP são melhores explicados pela PC3, enquanto que a PC4 fica responsável por definir as características do indicador IM como visto na análise. A Figura 5 apresenta a correlação dos indicadores analisados com as PCs 1 e 2 avaliadas.

**Figura 5. Correlação dos indicadores referentes aos PCs 1 e 2.**



De acordo com os dados obtidos no gráfico fica claro que os indicadores como PIB, PA, IDHM e RM estão correlacionados negativamente entre si, enquanto que os indicadores IPF, IPA e IVDE, estão correlacionados positivamente entre si, diferente do IPD que se correlaciona com os demais positivamente.

Uma pesquisa realizada pelo Fundace (2013) ressalta que os índices de perdas de faturamento podem estar diretamente relacionados com a abrangência e a qualidade dos serviços que são prestados pelas companhias de distribuição. Além de classificar o Nordeste como a região com o menor volume diário distribuído per capita e totalizando um índice de perdas superior a 40%.



De acordo com Von Sperling et al., 2002, o nível socioeconômico da população abastecida é um dos fatores que influencia o consumo per capita de água, devido a utilização de equipamentos domésticos que consomem mais água como máquina de lavar roupas a lavagem de automóveis e etc. Por pessoas de maior poder econômico ou maior nível de renda.

Carmo et al. (2013) observou que existe uma correlação significativa entre renda da população abastecida e consumo de água, seu estudo realizado para as capitais brasileiras entre os anos de 2000 e 2010 determinou que capitais que possuem alta renda per capita apresentam elevados padrões de consumo de água, em contrapartida as capitais de baixa renda per capita apresentam baixos padrões de consumo hídrico.

## 6 CONCLUSÕES

Tendo visto o processo correlativo entre os indicadores estudados é possível concluir que índices como o de micromedição, perda de água, volumes distribuídos, e perdas no faturamento estão diretamente relacionados com a eficiência dos sistemas de distribuição de água pelas companhias de saneamento.

A avaliação de indicadores socioeconômicos como renda per capita, população e dados de consumo pode servir na identificação de sistemas com perdas de água. Com base na série histórica dos indicadores entre os anos de 2008 a 2017 a região Agreste do Estado de Pernambuco apresentou um decréscimo significativo nos índices de perdas no faturamento, além do notório aumento dos índices de micromedição nos municípios da região. Resultados que podem ser explicados pelo emprego de iniciativas que visam o combate às perdas de água.

Dessa forma se faz necessário um estudo que determine as particularidades de cada um desses indicadores dentro dos sistemas de distribuição de maneira que se possa quantificar as perdas e determinar suas causas.

## REFERÊNCIAS

AGOVINO, M.; PARODI, G.; SÀNCHEZ BARAJAS, G. **An analysis od disabled people and the labor market in Mexico.** *Latin Am. Res. Rev.*, v. 49, n. 2, 2014, p. 221–242.

APAC. **Boletins Climáticos.** Disponível em <[http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/boletins\\_climaticos\\_old.php](http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/boletins_climaticos_old.php)>. Acesso em 07 ago de 2018.

BDE. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.** Disponível em <[http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao\\_formato2.aspx?CodInformacao=785&Cod=3](http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=785&Cod=3)>. Acesso em 14 jul de 2018.

BDE. **Produto Interno Bruto - PIB per capita.** Disponível em <[http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao\\_formato2.aspx?CodInformacao=1294&Cod=3](http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=1294&Cod=3)>. Acesso em 14 jul de 2018.

BDE. **Renda per capita.** Disponível em <[http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao\\_formato2.aspx?CodInformacao=788&Cod=3](http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=788&Cod=3)>. Acesso em 14 jul de 2018.

BLOG, Professor Rafael. **Formação Territorial de Pernambuco.** Disponível em:<<https://professorrafaelblog.files.wordpress.com/2016/04/geografia1.pdf>>.Acesso em: 06 jul. 2018.

BRO, R.; SMILDE, A.K. **Principal component analysis.** *Analytical Methods*, v. 6, 2014, p. 2812-2831.

CAMBRAINHA, G. M. G.; FONTANA, M. E. **Análise da aplicação de investimentos em perdas de água no nordeste brasileiro.** *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria*, v. 19, n. 02, p. 983-994, 2015.

CARMO, R. L.; DAGNINO, R. S.; FEITOSA, F. F.; JOHANSEN, I. C.; CRAICE, C. **População e consumo urbano de água no Brasil: Interfaces e desafios.** In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

FINKLER, N. R.; PERESIN, D.; COCCONI, J.; BORTOLIN, T. A.; RECH, A.; SCHNEIDER, V. E.; **Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal**. Rev. Amb. Água, v. 10, n. 4, p. 784-792, 2015.

FUNDACE . **PERDAS DE ÁGUA: ENTRAVES AO AVANÇO DO SANEAMENTO BÁSICO E RISCOS DE AGRAVAMENTO À ESCASSEZ HÍDRICA NO BRASIL..** Disponível em <<http://tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/perdas-de-agua/estudo-completo.pdf>>. Acesso em 11 jun. 2018.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184p

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatísticas em Ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. **Multivariate Data Analysis**. Pearson, Ed. 2010.

HOTELLING, H., 1933. **Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components**, Journal of Educational Psychology, v. 24, pages 417-441 and 498-520.

IBGE. **Estimativas de população para 31 de outubro de 2017**. Disponível em <[https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2017/estimativa\\_tcu.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2017/estimativa_tcu.shtm)>. Acesso em 11 jun. 2018.

IBGE. **Cidades – Panorama Pernambuco**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>>. Acesso em 11 jun. de 2018.

JANG, D.; PARK, H.; CHOI, G. **Estimation of Leakage Ratio Using Principal Component Analysis and Artificial Neural Network in Water Distribution Systems**. Sustainability, v. 10, n. 750, 2018.

JARDIM, F. A. et al. **Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 19, n. 3. 2014.

JOLLIFFE, I.T. **“Principal Component Analysis”**, Springer-Verlag, 1986.

KAISER, H. F. **The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis.**

LUCATTI, T. B. M.; KELLNER, E. Correlação entre as características físicas e locais dos lotes e o consumo efetivo de água: análise do sistema de abastecimento da cidade de São Carlos (SP). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 02, n. 09, 2014.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. **Multivariate analysis.** London: Academic, 1979.

MARTINS, I. P.; PICCOLI, R. H.; VILELA, N. M. S.; THEBALDI M. S. Índices de perdas de distribuição e faturamento de água no sistema de abastecimento público de Lavras, Minas Gerais. **XIII Congresso Nacional De Meio Ambiente De Poços De Caldas.** Setembro 2016

PERTEL, M.; AZEVEDO, J.P.S.; VOLSCHAN, J. I. Uso de indicadores de perdas para seleção de um *benchmarking* entre as companhias estaduais de serviço de distribuição de água no Brasil. **Eng Sanit Amb (online)**, v.21, n.1, 2016, p. 159-168.

Psychometrika, v. 23, n. 03, p. 187-200, 1958.

Kreyszig, E. **Advanced Engineering Mathematics**, 4th ed.; John Wiley & Sons Inc.: Hoboken, NJ, USA, 1979.

SANTO, R. E. **Utilização da Análise de Componentes Principais na compressão de imagens digitais.** Einstein, v. 10, n. 2, p. 135-139, jun. 2012.

SCHNEIDER, D.D.; SANTOS, R.; MARTINEZ, R.C.; COUTINHO, M.V.; MALHEIROS, T.F.; TEMÓTEO, T.G. Indicadores para serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário voltados às populações vulneráveis. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** .17, 65-76. 2010.

SOARES, M.A.R.; QUINA, M.J.; REIS, M.S.; QUINTA-FERREIRA, R. (2017) **Assessment of co-composting process with high load of an inorganic industrial waste**. Waste Management, v. 59, p 80–89

SOBRINHO, R. A.; BORJA, P. C. **Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS**. Eng Sanit Amb (online), local, v.21, n.4, 2016, p. 783-795.

TRATA BRASIL . **PERDAS DE ÁGUA 2018 (SNIS 2016): DESAFIOS PARA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E AVANÇO DA EFICIÊNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO**. Disponível em < <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>>. Acesso em 11 jun. 2018.

VON SPERLING, M.; SANTOS, A. S. P.; MELO, M. C.; LIBÂNIO, M. **Investigação de fatores de influencia no consumo per capita de água em estados brasileiros e em cidades de Minas Gerais**. In: VI Simpósio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória, 2002.

WANG, H.; SHANGGUAN, L.; WU, J.; GUAN, R. **Multiple linear regression modeling for compositional data**. Neurocomputing, v. 122, 2013, p. 490–500.