

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**

**ESTUDO DAS PERDAS DE ÁGUA PELO SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO HUMANO NOS MUNICÍPIOS DAS REGIÕES DO  
SERTÃO E SÃO FRANCISCO DE PERNAMBUCO, BRASIL**

**CAROLINE CORDEIRO COSTA E SILVA**

**RECIFE, AGOSTO/2018**

# INFORMAÇÕES GERAIS

## **ESTUDO DAS PERDAS DE ÁGUA PELO SISTEMA DE ABASTECIMENTO HUMANO NOS MUNICÍPIOS DAS REGIÕES DO SERTÃO E SÃO FRANCISCO DE PERNAMBUCO, BRASIL**

**Aluno:** Caroline Cordeiro Costa e Silva

**E-mail:** carolinecordeiro\_cs@outlook.com

**Telefone:** (81) 9 9828-8021

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

S586e Silva, Caroline Cordeiro Costa e  
Estudo das perdas de água pelo sistema de abastecimento humano nos municípios das regiões do Sertão e São Francisco de Pernambuco, Brasil / Caroline Cordeiro Costa e Silva. – 2018.  
37 f. : il.

Orientadora: Rosangela Gomes Tavares.  
Coorientador: Valmir Cristiano Marques de Arruda.  
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. COMPESA 3. Abastecimento de água  
I. Tavares, Rosangela Gomes, orient. II. Arruda, Valmir Cristiano Marques de, coorient. III. Título

CDD 628.1

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	<b>Caracterização do local de estudo</b>	1
1.1.1.	Mesorregião do São Francisco	1
1.1.2.	Mesorregião do Sertão	2
1.2.	<b>Objetivos</b>	4
1.3.	<b>Justificativa</b>	4
2.	EMPRESA EM ESTUDO	5
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	6
4.	METODOLOGIA	8
4.1.	Generalidades	8
4.2.	<b>Série histórica da perda de água</b>	9
4.3.	<b>Análise de perdas de água em 2017</b>	11
4.4.	Correlação das perdas de água com indicadores socioeconômicos e climático	11
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5.1.	<b>Série histórica da perda de água</b>	15
5.1.1.	São Francisco	15
5.1.2.	Sertão	16
5.2.	<b>Análise de perdas de água em 2017</b>	18
5.2.1.	São Francisco	18
5.2.2.	Sertão	19
5.3.	Correlação das perdas de água com indicadores socioeconômicos e climático	20
5.3.1.	São Francisco	20
5.3.2.	Sertão	23
6.	CONCLUSÕES	27
	REFERÊNCIAS	28

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Caracterização do local de estudo

O estudo foi realizado nas mesorregiões do Sertão e do São Francisco de Pernambuco, o qual é composto por outras três mesorregiões: Região Metropolitana do Recife; Agreste e Zona da Mata. Pernambuco está localizado no centro-leste da Região Nordeste e tem como limites os estados da Paraíba (N), do Ceará (NO), de Alagoas (SE), da Bahia (S) e do Piauí (O), além de ser banhado pelo oceano Atlântico (L). Possui área territorial de 98.076,021 km<sup>2</sup> e população estimada em 9.473.266 habitantes (IBGE, 2017).

O estado possui 185 municípios, destes 56 serão abordados nesta análise.

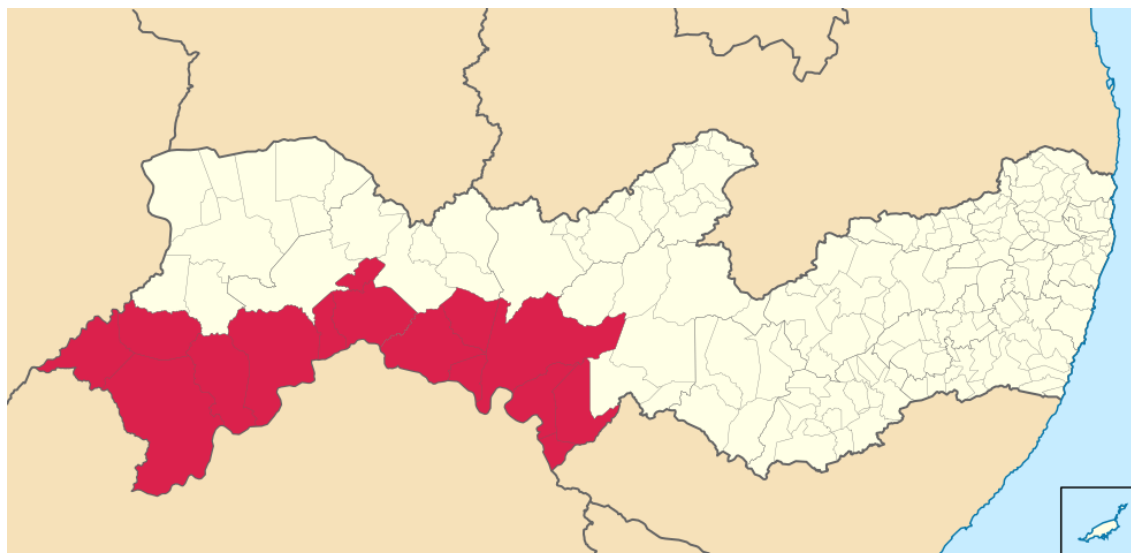
### 1.1.1. Mesorregião do São Francisco

A mesorregião do São Francisco (Figura 1) possui população estimada para o ano de 2017 de 654.350 habitantes (IBGE, 2017), ocupando uma área de 24.459,70km<sup>2</sup>. Esta mesorregião possui índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) médio de 0,61, produto interno bruto (PIB) médio de R\$ 320.627.412,57 e renda média municipal de R\$ 1.720.226.898.53 (IBGE, 2017). Esta é composta pelas microrregiões de Itaparica e Petrolina (Quadro 1), as quais compreendem 15 municípios.

Quadro 1. Municípios compreendidos pelas microrregiões da Mesorregião do São Francisco

Microrregiões	Municípios
Itaparica	Belém de São Francisco; Carnaubeira da Penha; Floresta; Itacuruba; Jatobá; Petrolândia e Tacaratu.
Petrolina	Afrânio; Cabrobó; Dormentes; Lagoa Grande; Orocó; Petrolina; Santa Maria da Boa Vista e Terra Nova.

Figura 1. Localização geográfica da microrregião do São Francisco pernambucano



Fonte: Wikipédia

A área é margeada pelo Rio São Francisco, que tem uma grande importância econômica na região. O rio possibilita uma agricultura irrigada riquíssima, o que coloca Pernambuco como um dos principais produtores e exportadores de frutas do país. O clima é considerado semiárido, caracterizado pelas baixas umidade e pluviosidade. A vegetação predominante é a caatinga, com seus arbustos e galhos retorcidos.

### 1.1.2. Mesorregião do Sertão

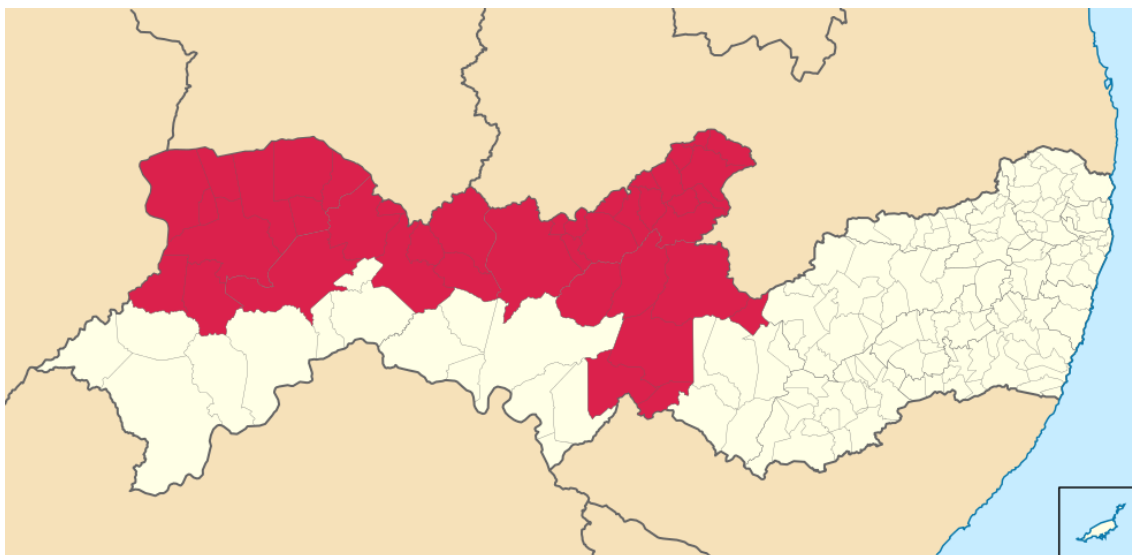
A mesorregião do sertão pernambucano (Figura 2) possui população estimada para o ano de 2017 de 1.064.246 habitantes (IBGE, 2017) e área de 37 894,13 km<sup>2</sup> (INGE, 2010). Esta mesorregião possui IDHM médio dos municípios compreendidos de 0,60, PIB médio municipal de R\$ 215.361.709 e renda média municipal de R\$ 754.302.230. É composta por quatro microrregiões (Quadro 2), compreendendo 41 cidades.

Quadro 2. Municípios compreendidos pelas microrregiões da Mesorregião do Sertão

Microrregiões	Municípios
Araripina	Araripina; Bodocó; Exu; Granito; Ipubi, Moreilândia; Ouricuri; Santa Cruz; Santa Filomena e Trindade.

Salgueiro	Cedro; Mirandiba; Parnamirim; Salgueiro; São José do Belmonte; Serrita; Terra Nova e Verdejante.
Pajeú	Afogados da Ingazeira; Brejinho; Calumbi; Carnaíba; Flores; Igaraci; Ingazeira; Itapetim; Quixaba; Santa Cruz da Baixa Verde; Santa Terezinha ; São José do Egito; Serra Talhada; Solidão; Tabira; Triunfo e Tuparetama.
Sertão do Moxotó	Arcoverde; Betânia; Custódia; Ibimirim; Inajá; Manari e Sertânia.

Figura 2. Localização geográfica da Microrregião do Sertão pernambucano.



Fonte: Wikipédia

Esta região é cortada por rios abundantes como rio Pajeú, rio Brígida e o rio Moxotó, além das nascentes do rio e Ipojuca se localizam em uma serra do município de Arcoverde. A vegetação predominante é a caatinga, com árvores de médio porte, arbustos e estepe. A fauna é composta principalmente por aves.

O índice pluviométrico é baixo em relação a outras regiões do estado, as médias pluviométricas anuais variam entre 600 mm e 1.500 mm, sendo mal distribuídas ao longo do ano. Os meses mais chuvosos são correspondentes ao do verão, com média entre 400 mm e 500 mm, e os menos chuvosos

correspondentes ao da primavera, com média entre 0 mm e 10 mm. As secas são muito severas e ocorrem com frequência, um entrave para o desenvolvimento econômico e social da região.

A pecuária extensiva ainda é a maior atividade econômica da região. Entretanto, esta sofre bastante nos períodos de longas estiagens, devido à escassez de pasto e água para os rebanhos. Uma alternativa bastante adotada por grandes produtores é a transferência dos animais para pastos de aluguel em estados como o Maranhão.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo do da análise é estudar o índice de perdas de água dos sistemas de abastecimento humano das regiões Sertão e São Francisco do estado de Pernambuco, além de identificar os fatores determinantes deste cenário. Com isto, visa auxiliar os gestores municipais destas regiões na proposição de soluções factíveis, viáveis e sustentáveis, e contribuir na resolução desta que é uma das principais problemáticas da gestão dos recursos hídricos.

## **1.3. Justificativa**

O presente estudo é caracterizado como uma pesquisa aplicada (GERHARDT; SILVEIRA, 2009), pois o conhecimento gerado permite uma aplicação prática, a fim de solucionar problemas específicos de uma determinada região. Em relação aos objetivos, caracteriza-se por ser exploratória e descritiva, por buscar maior familiaridade com o problema em questão e descrever as características de determinada população, por meio de correlações entre variáveis de cunho técnico e socioeconômico.



## **2.    *EMPRESA EM ESTUDO***

A presente análise teve como base os relatórios mensais de 2008 a 2017 do Sistema de Informações Operacionais (SIP) da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. Tais relatórios são referentes à distribuição e perdas de água por parte da companhia em todos os municípios por ela atendidos.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016) na amostra de sistemas pesquisados, perde-se cerca de 38% do volume da água distribuído em relação à água captada. As regiões responsáveis pelos maiores índices de perdas são a região Norte (52,79%) e a região Nordeste (47,32%). A Região Sudeste é a que apresenta o menor percentual (33%). Diante deste cenário, torna-se fundamental estabelecer estratégias de controle de perdas de água, sobretudo em regiões cuja escassez e os conflitos pelo uso da água é mais relevante (ANDRADE SOBRINHO; BORJA, 2016).

Para Miranda (2007), uma das principais causas destes elevados índices é a falta de planejamento integrado entre as diversas áreas da prestadora de serviços de saneamento. Além disso, o problema não é somente de engenharia, mas também de recursos humanos, de comunicação, de contabilidade, de controle financeiro, de planejamento, de mobilização social e de cultura e educação, enfim de todas as áreas e todos os agentes.

As perdas de água nas redes de distribuição do sistema de abastecimento humano torna o processo ineficiente devido a diversos fatores, como vazamentos, erros de medição e consumos não autorizados. Em suma, estas perdas estão associadas à qualidade da infraestrutura e à gestão dos sistemas (BRASIL, 2010). Além disso, trazem impactos negativos para o meio ambiente, para os custos de produção das empresas – por onerar o sistema, e, por fim, afeta a saúde pública, principalmente dos consumidores (TRATA BRASIL, 2018).

Alguns países do mundo, como a Alemanha e o Japão, conseguiram reduzir as perdas de água para aproximadamente 10%, enquanto que países como a Austrália e Nova Zelândia conseguiram romper o patamar inferior a 10%. A média do Brasil tem diminuído ao longo dos anos. Em 2014, foi de 37% (SNIS, 2014).

Os vazamentos acarretam no maior consumo de energia, provocam perdas econômicas no sistema de abastecimento (COLOMBO; KARNEY, 2005; GUPTA et al. 2016), aumentam a taxa de água cobrada pelas empresas sobre

os consumidores (BEAL; FLYNN, 2014), além de causar contaminação da água, a qual interfere na saúde humana (KOUCHI et al., 2017).

Diante deste cenário, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas tanto para diagnosticar o problema quanto para propor soluções. A Trata Brasil (2018) realizou um estudo bastante completo que levou em consideração os indicadores “índice de perdas no faturamento (IN013)”, “índice de perdas de faturamento total (IPFT)”, “índice de perdas na distribuição (IN049)” e o “índice de perdas por ligação (IN051)” para definir um limite aceitável de perdas em um sistema de abastecimento. Já Heller et al. (2012) avaliaram o índice de perdas de água de diferentes modelos institucionais de prestação dos serviços públicos de abastecimento de água, por meio de nove indicadores de desempenho. Segundo os autores, em relação ao índice de perdas, o modelo regional apresentou os maiores valores, quando comparado aos outros modelos institucionais, destacando a necessidade de um estudo mais detalhado das companhias estaduais de saneamento no que tange às perdas de água.

De acordo com Nakagawa et al. (2014), o estudo para redução de perdas de água nos sistemas de abastecimento humano é uma importante ferramenta de gestão, pois permite postergar a realização de novos investimentos na ampliação dos sistemas em operação. Além disso, colabora para a eficiência do sistema e sustentabilidade da empresa, pois ocorre aumento do faturamento por meio da medição correta de todo o consumo realizado por parte da população.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. Generalidades**

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 é advindo da análise de dados secundários, sendo os dados técnicos extraídos dos relatórios mensais da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), os socioeconômicos de censos e estimativas do IBGE e o climático foi decorrente dos boletins meteorológicos mensais da Agencia Pernambucana de Águas e Clima (Apac). 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.

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, socioeconômicos e climático (Figura 3). Os procedimentos metodológicos para cada etapa estão descritos a seguir.

Figura 3. Estrutura metodológica da pesquisa

ESTRUTURA DA PESQUISA	ETAPA 1: Série histórica da perda de água	Indicadores: IM; IPF; IPA; IPD; IVDE.
		Ano base: Série Histórica (2008 - 2017)
		Programa: Microsoft Excel 2010
	ETAPA 2: Análise da perda de água no ano de 2017	Indicadores: IM; IPF; IPA; IPD; IVDE.
		Ano base: Jan - Dez/2017
		Programa: Microsoft Excel 2010
	ETAPA 3: Correlação das perdas de água com indicadores socioeconômicos	Indicadores: POP AB; RM; PIB; DD; IDHM; IPA; IVDE; IM, IPF; IPD; CPC; PREC.
		Ferramenta analítica: Análise de Componentes Principais (ACP)
		Programa: The Unscrambler

#### 4.2. *Série histórica da perda de água*

As perdas de água representam um dos maiores desafios e dificuldades para a expansão das redes de distribuição de água no Brasil. A perda financeira com a água produzida e não faturada faz com que o setor do saneamento perca recursos financeiros fundamentais também para a expansão do esgotamento sanitário no país. Estas perdas financeiras derivam da água produzida, mas que não consegue ser cobrada do usuário por problemas técnicos, de ineficiência na gestão, entre outros.

O estudo da série histórica de perdas das mesorregiões Sertão e São Francisco foi realizado nos meses de junho e dezembro, no período de 10 anos (2008 a 2017). O estado de Pernambuco, no qual estão inseridas estas mesorregiões, apresenta apenas duas estações com características marcantes: verão e inverno. Diante disto, os meses de junho e dezembro foram selecionados no estudo por serem os mais representativos destas estações, sendo junho o mês mais chuvoso e dezembro o mês mais seco.

Os municípios de Inajá, na mesorregião do Sertão e Carnaubeira da Penha, no São Francisco, foram retirados da pesquisa, por não serem

abastecidos pela Compesa. O município de Santa Terezinha (Sertão) também foi excluído, devido a indisponibilidade de dados no período do estudo, o que traria uma inconsistência nos resultados finais.

Os indicadores técnicos (Quadro 3) 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). Os valores são resultados da média de todos os municípios da região, no intervalo de tempo citado anteriormente considerando todas as gerências responsáveis pelo abastecimento em cada município. O mês de dezembro nos anos de 2011 e 2012 não foi analisado, uma vez que os dados não foram disponibilizados nos relatórios avaliados.

Quadro 3. Indicadores técnicos 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	%	$IPA = \frac{VD - [CM + (CE \times K)]}{VD} \times 100$
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	%	$IM = \frac{CM}{CM + CE} \times 100$
Índice de volume distribuído	IVDE	Percentual do volume de água que é distribuído	%	$IVDE = \frac{VDE}{VD} \times 100$

por economia	para a população dos municípios
--------------	------------------------------------

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>).

#### **4.3. Análise de perdas de água em 2017**

Os índices técnicos utilizados nesta análise foram os mesmos já descritos no item 2.3, a saber: IM, IPF, IPA, IPD e IVDE. Estes foram obtidos nos relatórios mensais do Sistema de Informações Operacionais (SIP) da COMPESA para os meses de janeiro a dezembro de 2017. Os índices utilizados em cada mês foram resultantes dos valores médios mensais dos municípios do Sertão e do São Francisco.

#### **4.4. Correlação das perdas de água com indicadores socioeconômicos e climático**

Nesta etapa foram utilizados os dados técnicos, socioeconômicos e climático dos municípios das regiões Sertão e São Francisco. Os dados técnicos empregados foram os mesmos dos itens 2.3 e 2.4, obtidos nos relatórios mensais da Compesa. Já os dados socioeconômicos e climático (Quadro 4) foram provenientes do IBGE (2010, 2017) e dos boletins climáticos mensais da Apac (2017).

Quadro 4. Indicadores socioeconômicos e climático

<b>Indicador</b>	<b>Abreviação</b>	<b>Definição</b>	<b>Unidade</b>	<b>Fonte</b>
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 pelas mesorregiões do Sertão e do São Francisco. 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.



Assim, foram utilizadas duas matrizes de dimensão 15x11 para a mesorregião do São Francisco e 41x11 para a região do Sertão pernambucano, as quais relacionam os municípios destas mesorregiões com os indicadores descritos acima. Os dados foram previamente padronizados conforme o método do Z-Score (Kreyszig, 1979; Jang et al., 2018) (Eq. 2), para que tivessem a mesma medida de escala, favorecendo a interpretabilidade dos dados (WANG et al., 2013).

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

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

No intuito de estabelecer um padrão de correlação entre os índices de perdas de água no abastecimento humano dos municípios atendidos pela Compesa nas mesorregiões São Francisco e Sertão com variáveis socioeconômicas, 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 das regiões do São Francisco e do Sertão.

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 DISCUSSÃO**

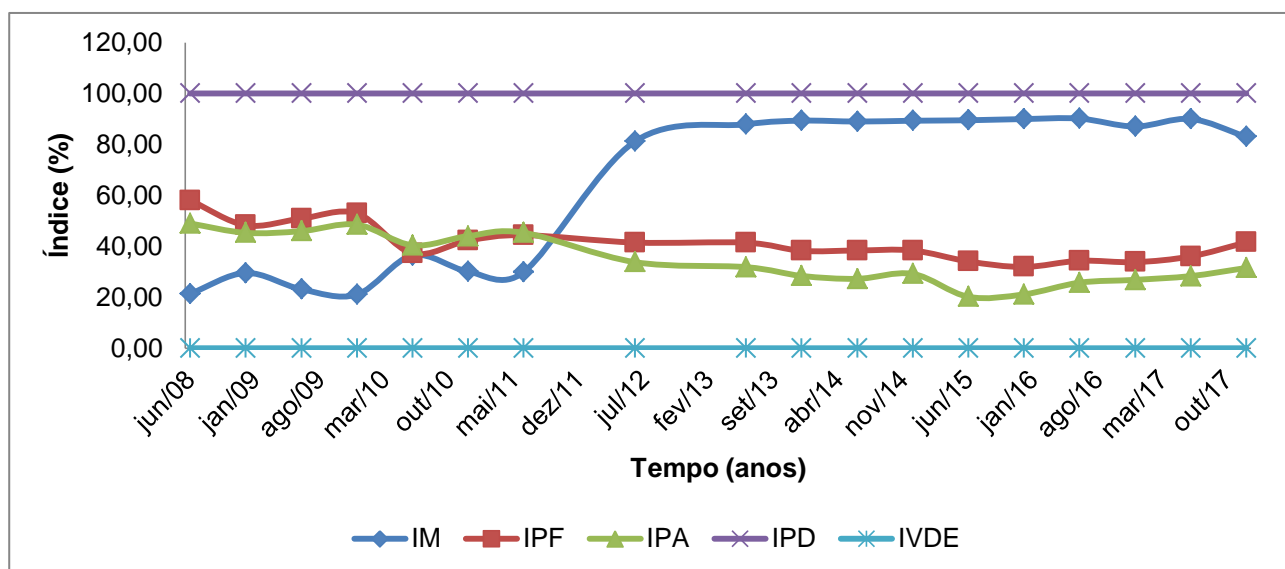
### **5.1. *Série histórica da perda de água***

#### **5.1.1. *São Francisco***

A Figura 4 apresenta a média dos indicadores analisados, sendo eles IM, IPF, IPA, IPD e IVDE, de todos os municípios do São Francisco, para os meses de Junho e Dezembro dos anos de 2008 a 2017.

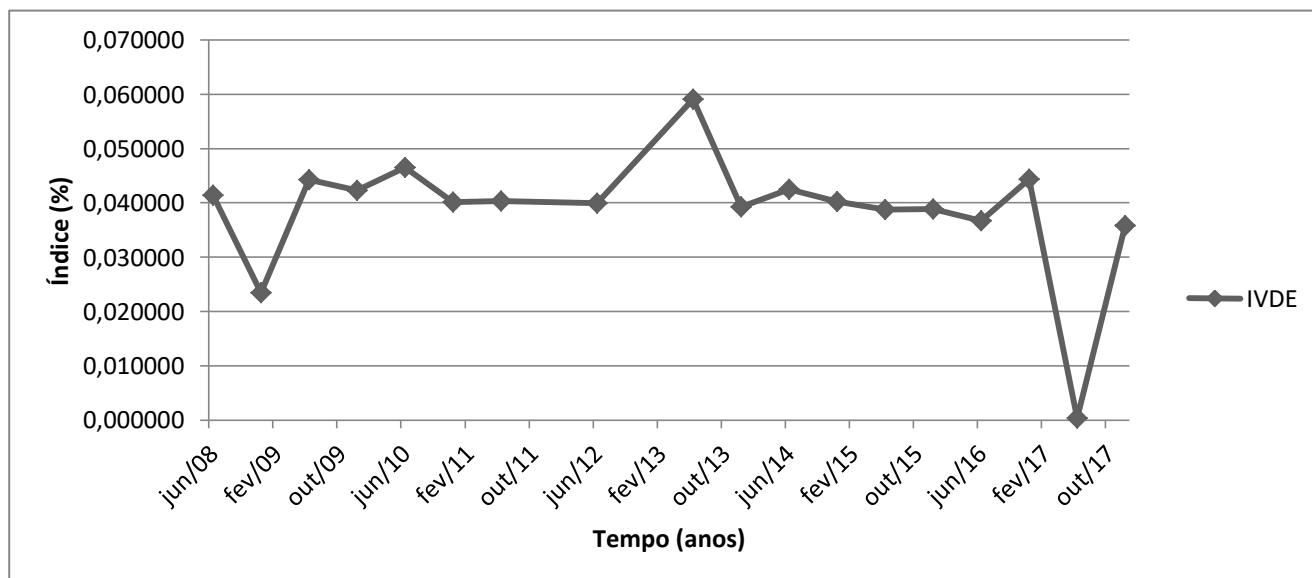
Na região estudada, os índices de micromedição apresentam uma média de 18,73% entre 2008 e 2011. A partir de 2012, estes índices se elevam apresentando uma média de aproximadamente 87%. Os índices de perda de água e perda no faturamento apresentaram valores similares. Tais índices estão relacionados aos prejuízos financeiros por parte da companhia de abastecimento e pode ser explicado principalmente pelas ligações clandestinas feitas ao longo do sistema, que desviam parte do volume de água distribuído. A partir de dezembro de 2009, ambos apresentam declínio sensível. Os índices de perda na distribuição apresentaram um comportamento quase que linear, variando aproximadamente 0,015%. Assim, nota-se que as perdas elevadas de água não foram minimizadas ao longo do período em questão. Tais índices de perda podem ser explicados pelos problemas estruturais já citados anteriormente, como vazamentos, que desperdiçam o volume de água que devia ser destinado à população.

Figura 4. Oscilação linear para os meses de junho e dezembro entre os anos de 2008 e 2017 para os municípios do São Francisco



Os índices de volume distribuído por economia apresentaram a maior variabilidade indo de 0,00035 em junho de 2017 a 0,059108 em junho de 2013. Ou seja, em junho de 2017, o volume disponível sofreu uma diminuição que foi bastante sentida pela população (Figura 5).

Figura 5. Gráfico dos índices de volume distribuído por economia da região São Francisco



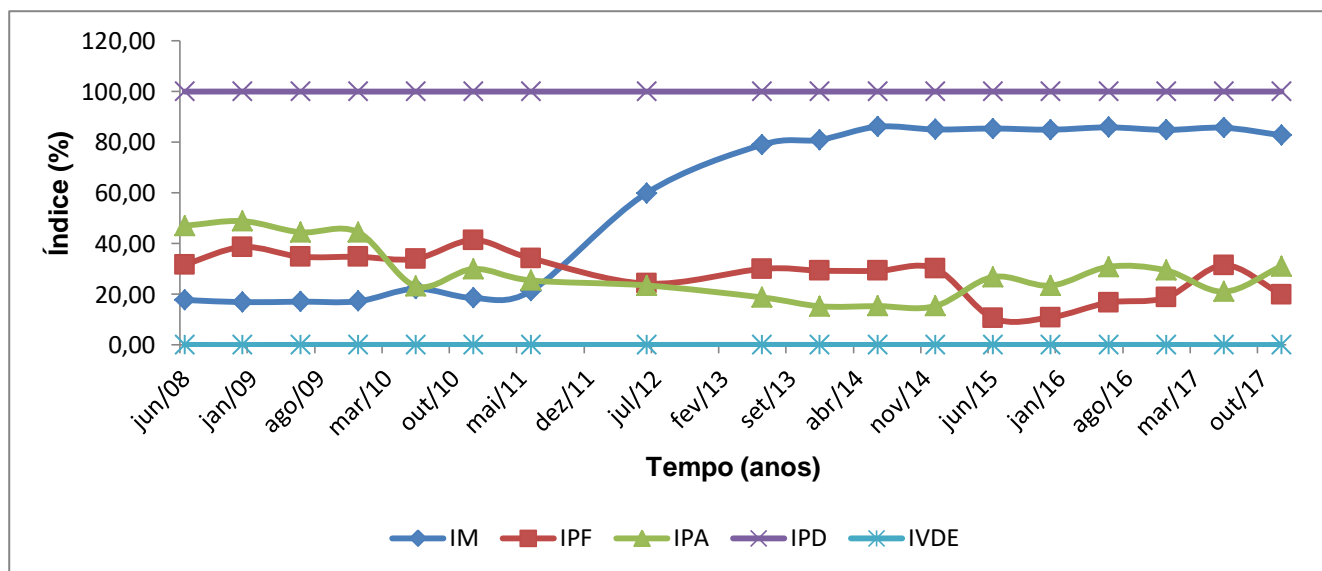
### 5.1.2. Sertão

A Figura 6 apresenta a oscilação linear dos índices de micromedição, perdas no faturamento perdas de água, perdas na distribuição e volumes distribuídos por economia, de todos os municípios do Sertão, para os meses de Junho e Dezembro dos anos de 2008 a 2017.

O índice de micromedição apresentou média de 18,73% até junho de 2011, A partir deste ano, os valores aumentaram até 81,85% em dezembro 2017. Isto indica o aumento do acesso da população ao sistema de abastecimento humano da Compesa. Tal fato está intimamente relacionado à redução sensível dos índices de perda de água. Os índices de perdas de água no faturamento também apresentaram queda a partir de dezembro de 2010.

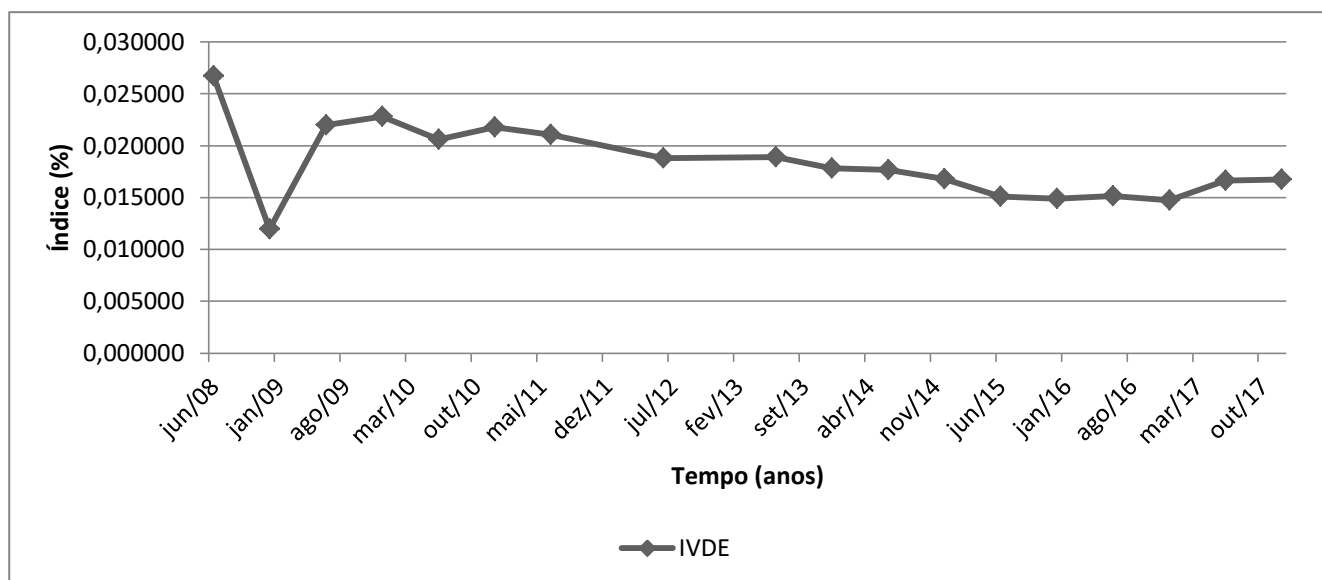
Os índices de perda de água na distribuição se mantiveram praticamente constantes ao longo do período analisado.

Figura 6. Oscilação linear para os meses de junho e dezembro entre os anos de 2008 e 2017 para os municípios do Sertão



Os índices de volume distribuído por economia ao longo do período analisado sofreu sucessivas quedas (Figura 7), o que significa uma diminuição na disponibilidade de água para a população. Tal fato está intimamente relacionado à grave seca enfrentada pela região entre 2012 e 2017, quando muitos municípios passaram a ser abastecidos quase que exclusivamente por carros-pipa.

Figura 7. Gráfico dos índices de volume distribuído por economia da região Sertão



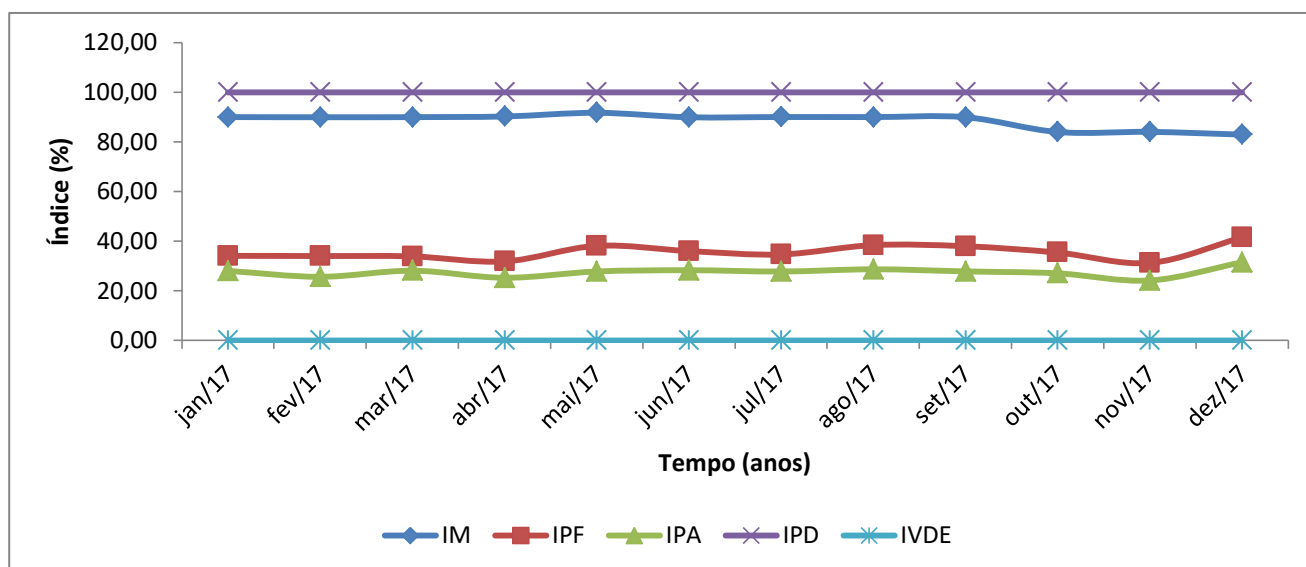
## 5.2. Análise de perdas de água em 2017

### 5.2.1. São Francisco

A Figura 8 apresenta a oscilação dos mesmos índices avaliados para todos os municípios da mesorregião do São Francisco, agora tendo como base todos os meses do ano de 2017.

As perdas de água em 2017 apresentam pouca variação ao longo dos meses. Entretanto, nota-se que houve um aumento nos índices de micromedicação. O índice máximo foi medido em maio, com 91,75% e o mínimo em dezembro, com 82,97%. Dezembro também apresentou os valores máximos de perdas de água e perdas no faturamento. Os valores de perda na distribuição apresentam variação quase nula bem como os índices de volume distribuído por economia.

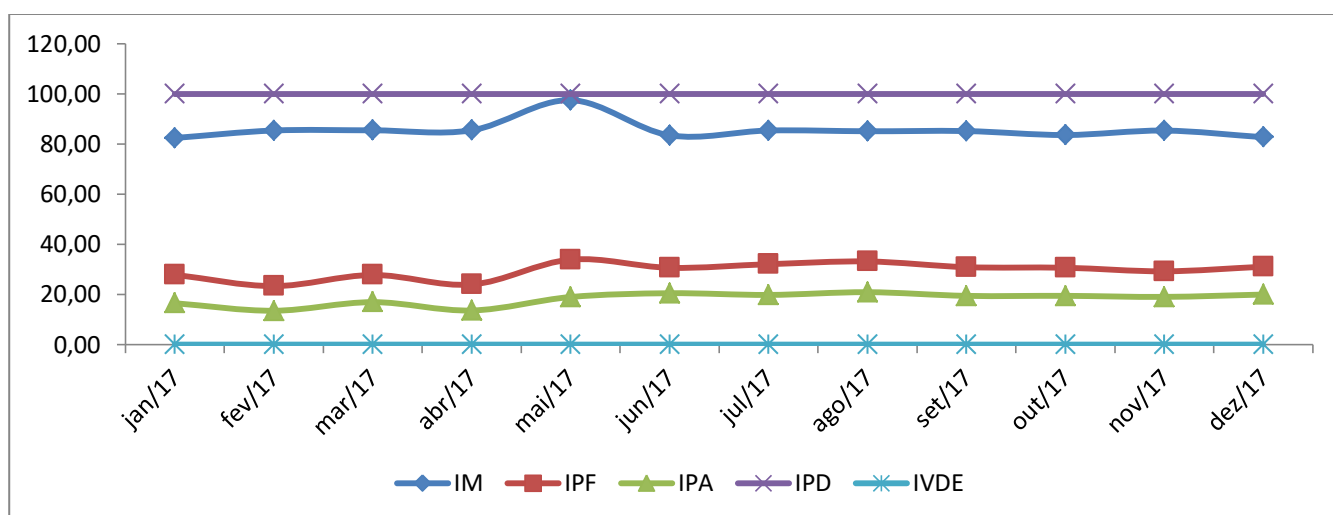
Figura 8. Oscilação linear dos meses de janeiro a dezembro de 2017 para os municípios do São Francisco



### 5.2.2. Sertão

Em relação a dezembro de 2016, os índices de micromedição de 2017 se mantiveram quase que constantes, apresentando um aumento significativo apenas em maio, no valor de 97,51% (Figura 9). Ao longo do ano, todos os outros índices apresentaram oscilações pouco relevantes.

Figura 9. Oscilação linear dos meses de janeiro a dezembro de 2017 para os municípios do Sertão



### **5.3. Correlação das perdas de água com indicadores socioeconômicos e climático**

#### **5.3.1. São Francisco**

As CP1, CP2 e CP3 explicaram aproximadamente 78,1% da variabilidade do conjunto de dados do modelo (Tabela 1). Como este percentual foi superior aos 70% da variância explicada acumulada (JOLLIFFE, 1986), foram utilizadas as três primeiras componentes principais para estabelecer os padrões de correlação e identificar os indicadores mais representativos no estudo.

Tabela 1. Variância explicada e total de cada componente principal do São Francisco

<b>Componentes principais (CP)</b>	<b>Variância explicada (%)</b>	<b>Variância acumulada (%)</b>
1	41,084	41,084
2	26,583	67,667
3	10,458	78,125
4	9,226	87,351
5	4,965	92,316
6	4,061	96,377
7	2,089	98,466
8	0,848	99,314
9	0,537	99,851
10	0,147	99,998
11	0,002	100

Notou-se que POP AB, RM, DD, IDHM, IPA, IVDE, IPF, IPD e CPC foram bem explicada pela PC 1. Já a PC 2 explicou bem os dados de IM e PREC. Por sua vez, a CP3 explicou os dados do PIB (Tabela 2).

Tabela 2. Autovetores das CPS 1, 2 e 3 da região do São Francisco

<b>Variáveis</b>	<b>Componentes Principais</b>
------------------	-------------------------------

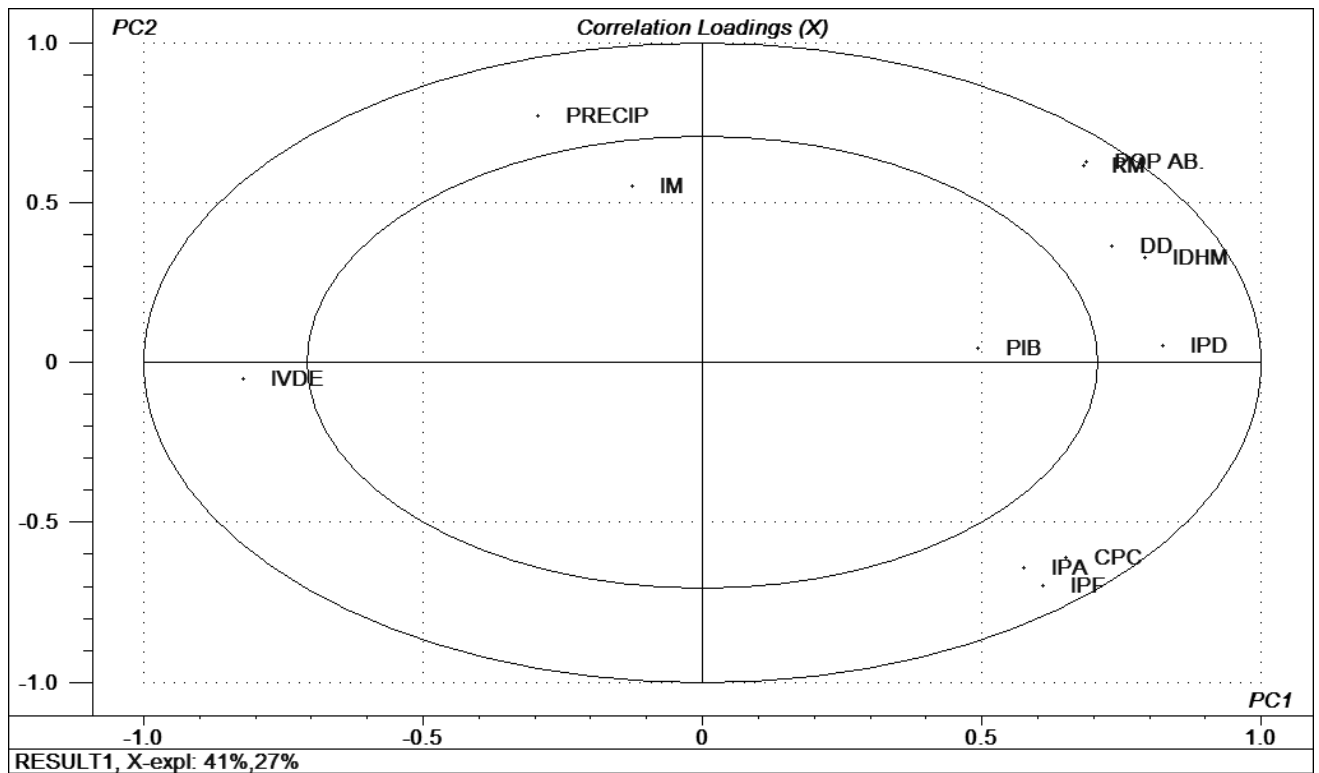


	1	2	3
POP AB	0,688	0,628	-0,190
RM	0,683	0,615	-0,192
PIB	0,494	0,046	-0,616
DD	0,733	0,364	0,0296
IDHM	0,792	0,328	-0,023
IPA	0,575	-0,64	-0,258
IVDE	-0,823	0,053	0,114
IM	-0,126	0,552	0,741
IPF	0,609	-0,698	-0,0199
IPD	0,823	-0,052	-0,114
CPC	0,65	-0,611	0,055
PREC	-0,296	0,771	0,041

Verificou-se na PC 1 e 2 que a precipitação e o índice de micromedicação apresentaram correlação negativa com o índice de volume distribuído por economia (Figura 10). Deste modo, nos municípios onde a precipitação e o índice de micromedicação foram maiores, o IVDE foi menor.

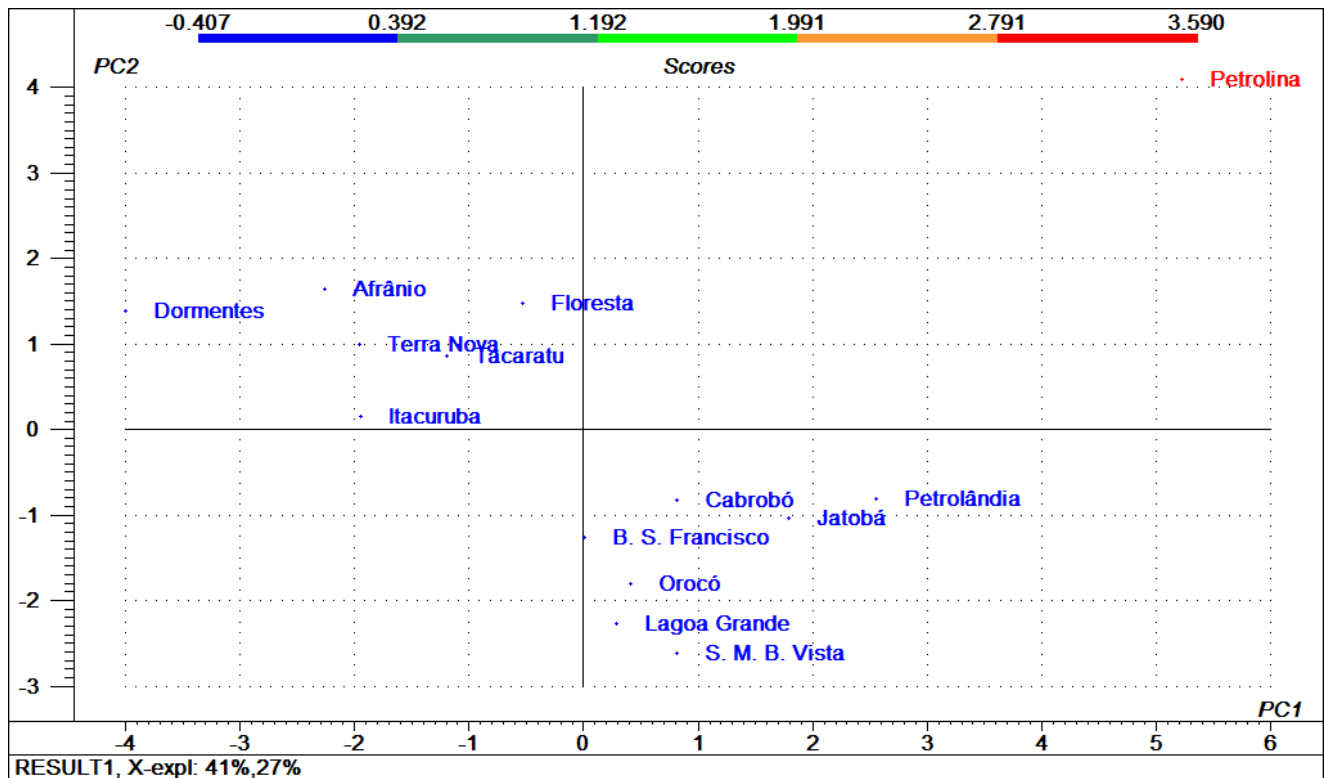
Notou-se na CP1 que RM, POP AB, DD, IDHM, PIB e IPD apresentam correlação positiva com CPC, IPA e IPF. Ou seja, nos municípios mais populosos e mais desenvolvidos, o consumo *per capita* e os índices de perda de água e perda no faturamento são maiores.

Figura 10. Círculo unitário das CP 1 e 2 para a região do São Francisco.



Os 14 municípios analisados no estudo foram bem representados graficamente no modelo matemático. Isto foi observado no Gráfico dos Score (Figura 11), cujos municípios apresentaram-se em arranjos bem delimitados e organizados conforme suas características econômicas. Petrolina se destacou na região, devido ao desenvolvimento econômico, populacional e estrutural da cidade que destoa das demais.

Figura 11. Representação gráfica dos scores dos municípios da mesorregião do São Francisco



### 5.3.2. Sertão

As CPs 1, 2, 3 e 4 explicaram aproximadamente 76,6% da variabilidade do conjunto de dados do modelo (Tabela 3). Como este percentual foi superior aos 70% da variância explicada acumulada, as quatro primeiras componentes principais foram selecionadas para estabelecer os padrões de correlação e identificar os indicadores mais representativos no estudo.

Tabela 3. Variância explicada e total de cada componente principal do Sertão

Componentes principais (CP)	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	30,993	30,993
2	22,533	53,526
3	14,050	67,576
4	8,994	76,57
5	7,846	84,039

6	4.483	89,949
7	3,733	93,682
8	3,555	97,237
9	1,822	99.059
10	0,816	99,875
11	0,025	100

Observando a Tabela 4 notou-se que os dados POP AB, RM, IPA, IVDE, IPD e CPC foram bem explicados na CP1. A CP2 explicou bem os dados de DD, IDHM e IPF. A CP3 não explicou nenhum dado que já não tivesse sido explicado pelas duas primeiras CPs. Entretanto, a CP4 explicou os dados de PREC. PIB e IM não foram bem explicados em nenhuma das CPs, uma vez que apresentam valores absolutos menores que 0,5.

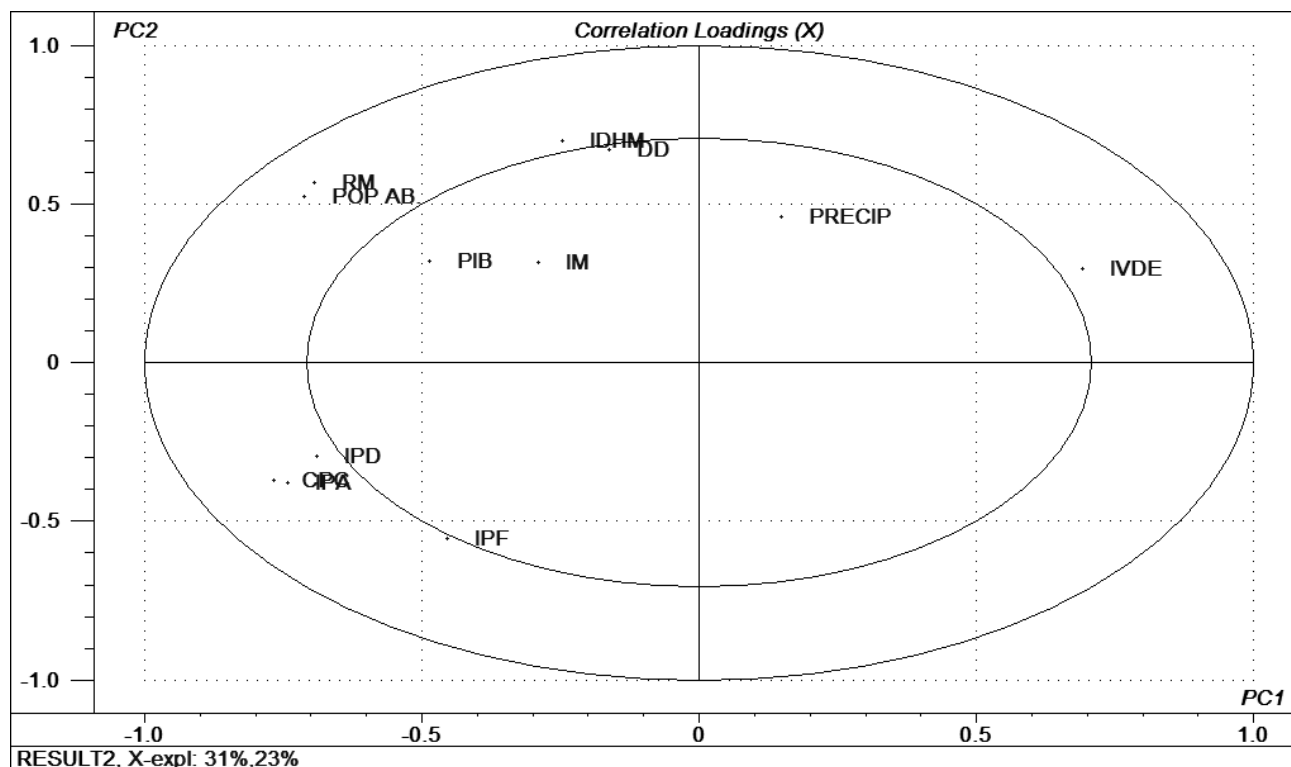
Tabela 4. Autovetores das componentes principais do Sertão

Variáveis	Componentes Principais			
	1	2	3	4
POP AB	-0,713	0,522	-0,166	-0,336
RM	-0,694	0,567	-0,173	-0,314
PIB	-0,487	0,32	-0,0288	0,352
DD	-0,162	0,669	-0,296	0,38
IDHM	-0,247	0,697	0,123	-0,26
IPA	-0,743	-0,397	-0,295	0,316
IVDE	0,691	0,296	-0,59	0,048
IM	-0,289	0,317	0,352	0,375
IPF	-0,455	-0,555	-0,561	0,159
IPD	-0,69	-0,295	0,591	0,0463
CPC	-0,767	-0,369	0,0291	0,0153
PREC	0,149	0,459	0,469	0,511

A partir do círculo unitário (Figura 12) apresentado a seguir, é possível observar que no Sertão acontece praticamente o inverso do que foi percebido no São Francisco. As variáveis IDHM, DD, RM, POP AB, PIB, IM apresentam

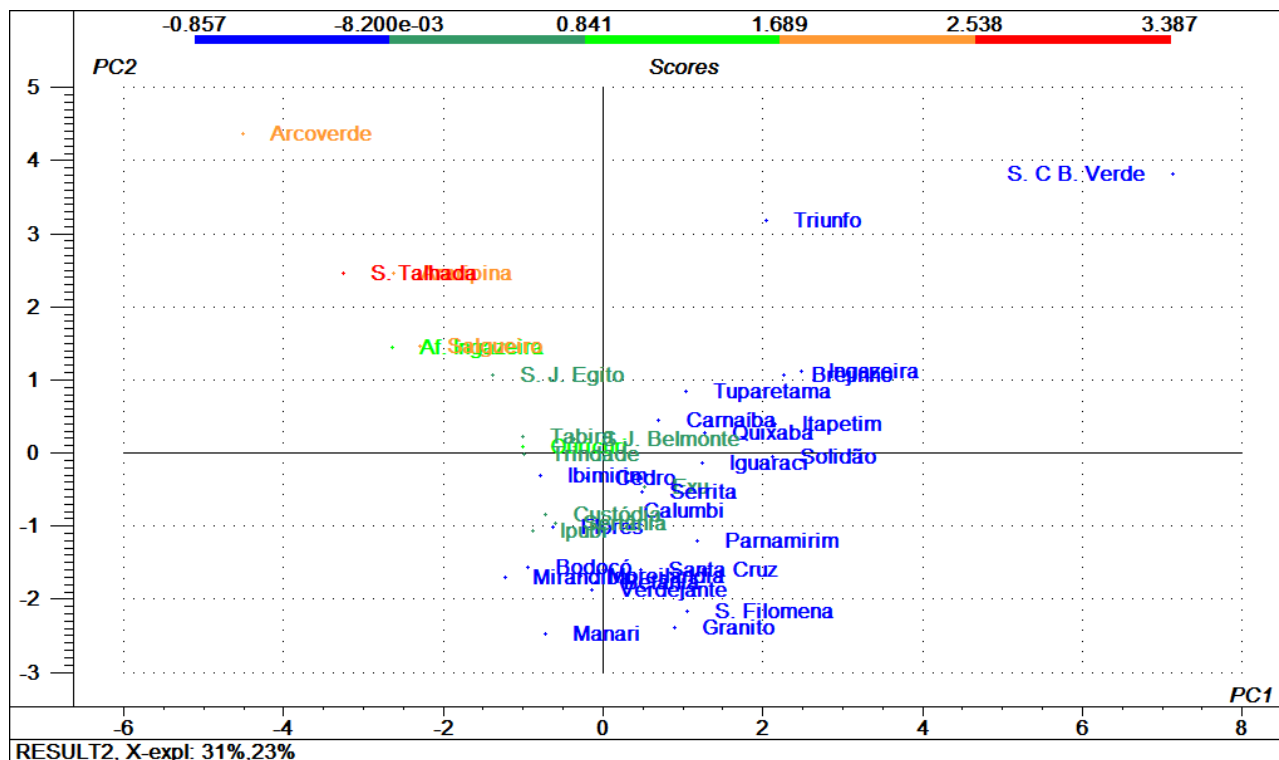
correlação negativa com IPD, CPC, IPA e IPE. Ou seja, quão maior o desenvolvimento do município, menor o consumo e as perdas de água.

Figura 12. Círculo unitário entre as CPs 1 e 2 para a região Sertão



Os 39 municípios levados em consideração na região do Sertão pernambucano foram bem representados graficamente no modelo matemático. Isto fica claro no Gráfico dos Score (Figura 13), cujos apresentaram-se em arranjos bem delimitados e organizados conforme suas características econômicas. Serra Talhada, seguido por Arcoverde, Salgueiro e Araripina apresentam os melhores índices gerais dentre todos os municípios da região. O que se relaciona com a condição econômica destes municípios.

Figura 13. Representação gráfica dos scores dos municípios do Sertão



Guimarães et. al. (2007) relacionou o crescimento da população, a natureza da cidade, o clima e os hábitos e nível da população com os índices de consumo e desperdício de água. Segundo os autores, em cidades mais populosas, industrializadas e quentes como é o caso de Petrolina e Serra Talhada, o consumo de água tende a ser maior. Uma vez que o consumo é maior, a distribuição é feita em maior escala, o que ocasiona em perdas e desvios na rede de distribuição. Os hábitos da população e os níveis de escolaridade estão relacionados, ainda segundo os autores, com as utilizações da água. Uma pessoa menos esclarecida tende a usar mais água que uma pessoa consciente da situação atual do planeta em relação à disponibilidade hídrica.

A Trata Brasil (2017) também afirma que uma das principais causas de perda de água são os vazamentos existentes nas redes de distribuição, associados a roubos e ligações clandestinas, o que se relaciona com o nível social do município e aquisitivo do município.

## **6. CONCLUSÕES**

A partir das análises dos dados, é possível observar que uma das principais causas da perda de água está na estrutura e na falta de manutenção e fiscalização da mesma. Associado à isso, as condições sociais da população são um ponto a observar. Nota-se que em cada região discutida, os maiores índices de consumo e perda são das cidades mais desenvolvidas, seja populacionalmente ou economicamente.

Boa parte do estudo ocorreu na época de uma das maiores secas já enfrentadas pelas regiões abordadas. Tal fato teve influência direta nos índices estudados, uma vez que o consumo de água ficou comprometido devido à falta da disponibilidade de água no país.

Ainda é importante salientar a importância da criação de um plano de gestão eficiente, que permita ações eficazes contra as perdas. A fiscalização de perdas nos sistemas também é um ponto importante a ser estudado, a fim de reduzir os desvios e as ligações clandestinas que, além de comprometer a distribuição, prejudicam financeiramente as contas da Companhia.

## **REFERÊNCIAS**

Abastecimento de água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). – Salvador: ReCESA, 2008. 139p.

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

ANDRADE SOBRINHO, R. e 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. Ambient.* [online]. 2016, vol.21, n.4, pp.783-795.

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 31 de julho de 2018.

BEAL C., FLYNN J. The 2014 review of smart metering and intelligent water networks in Australia and New Zealand. Report prepared for WSAA by the Smart Water Research Centre, Griffith University. 2014.

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

BDE. Produto Interno Bruto - PIB per capita. Disponível em <[http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao\\_formato2.aspx?CodigoInformacao=1294&Cod=3](http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodigoInformacao=1294&Cod=3)>. Acesso em 31 jul. 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 31 de julho de 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgoto. Brasília, DF, 2010. 448 p.

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

COLOMBRO, A. F., KARNEY, B. W. Impacts of leaks on energy consumption in pumped systems with storage. *Water Resour Plan Manag.* 2005.

FARLEY M.; TROW S. Losses in water distribution networks; a practitioner's guide to assessment, monitoring, and control, 2nd edn. International Water Association Publishing, UK. 2007.

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.

G1. Rio São Francisco é essencial para a vida na região. Disponível em <  
<https://g1.globo.com/pe/educacao/noticia/rio-sao-francisco-e-essencial-para-a-economia-e-para-a-vida-na-regiao.ghtml>>. Acesso em 10 jul. de 2018

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Saneamento básico. 2007. Disponível em: <  
<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>>. Acesso em 24 de agosto de 2018.

GUPTA A.; BOKDE N.; MARATHE D.; KULAT K. Leakage Reduction in Water Distribution Systems with Efficient Placement and Control of Pressure Reducing Valves Using Soft Computing Techniques. Eng Technol Appl Sci Res. 2016.

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.

HELLER, P. G. B.; NASCIMENTO, N. de O.; HELLER, L. MINGOTI, S. A. Desempenho dos diferentes modelos institucionais de prestação dos serviços públicos de abastecimento de água: uma avaliação comparativa no conjunto dos municípios brasileiros. Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2012, vol.17, n.3, pp.333-342.

HONGYU, K., SANDANIELO, V. L. M., JUNIOR, G. J. O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. E&S - Engineering and Science, (2016), 5:1.

HONGYU, K. Comparação do GGEbiplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo  $\times$  ambiente. 2015. 155p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

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 Cidades – Panorama Pernambuco. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>>. Acesso em 10 jul. de 2018.

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 12 jul. 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.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. Applied multivariate statistical analysis. Madison: Prentice Hall International, 1998. 816p

JOLLIFFE, I.T. "Principal Component Analysis", Springer-Verlag, 1986.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, v. 23, n. 03, p. 187-200, 1958.

KOUCHI D. H.; ESMAILI K.; FARIDHOSSEINI A.; SANAEINEJAD S. H.; KHALILI D.;

ABBASPOUR K. C. Sensitivity of calibrated parameters and water resource estimates on different objective functions and optimization algorithms. 2017.

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

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

MIRANDA, E.C. Os níveis de perdas no Brasil ainda são elevados. *Entrevista a Revista Saneas*, São Paulo, nº 27, Setembro/Outubro, 2007.

NAKAGAWA, L. Y., PIRES, E. E., ALVARES, J. F. V. T. Quantificação Das Parcelas De Perdas Real E Aparente Em Um Sistema De Abastecimento De Água. Revista Unifacear. Volume 3. 2014.

PERTEL, M.; DE AZEVEDO, J. P. S. e VOLSCHAN JUNIOR, 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. Ambient. [online]. 2016, vol.21, n.1, pp.159-168.

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

SANTOS, D. D.; MONTENEGRO, S. M G L. Avaliação da metodologia para controle de perdas de água em rede de distribuição no Recife-PE. Revista DAE, Recife, nº 197, Setembro/Dezembro, 2014.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p.

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

TODO ESTUDO. Rio São Francisco. Disponível em <<https://www.todoestudo.com.br/geografia/rio-sao-francisco>>. Acesso em 10 jul. de 2018.

TRATA BRASIL. Perdas de água na distribuição: causas e consequências. Saiba mais!. Novembro de 2017. Disponível em <<http://www.tratabrasil.org.br/blog/2017/11/16/perdas-de-agua-causa-e-consequencias/>>. Acesso em 24 de agosto de 2018.

TRATA BRASIL. Perdas De Água 2018 (Snis 2016): Desafios Para Disponibilidade Hídrica E Avanço Da Eficiência Do Saneamento Básico. 2018.

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