

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA

DANIEL AUGUSTO ALEGRE DOS SANTOS

INDICADORES DE PERDAS FÍSICAS DE ÁGUA NOS
SISTEMAS URBANOS DE DISTRIBUIÇÃO

CAMPINAS

2018

DANIEL AUGUSTO ALEGRE DOS SANTOS

**INDICADORES DE PERDAS FÍSICAS DE ÁGUA NOS
SISTEMAS URBANOS DE DISTRIBUIÇÃO**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana – CEATEC – Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientadora: Prof. Dra. Sueli do Carmo Bettine.

PUC-CAMPINAS

2018

Ficha catalográfica elaborada por Marluce Barbosa – CRB 8/7313
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

t333.7 Santos, Daniel Augusto Alegre dos.
S237i Indicadores de perdas físicas de água nos sistemas urbanos de distribuição / Daniel Augusto Alegre dos Santos. - Campinas: PUC-Campinas, 2018. 75 f.

Orientadora: Sueli do Carmo Bettine.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Inclui anexo e bibliografia.

1. Recursos naturais. 2. Abastecimento de água. 3. Água - Desperdício. 4. Água - Distribuição. 5. Indicadores ambientais. 6. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Brasil). I. Bettine, Sueli do Carmo. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. III. Título.

CDD – 22. ed. t333.7

DANIEL AUGUSTO ALEGRE DOS SANTOS

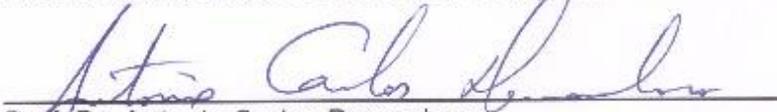
**INDICADORES DE PERDAS FÍSICAS DE ÁGUA NOS
SISTEMAS URBANOS DE DISTRIBUIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Sueli do Carmo Bettine.

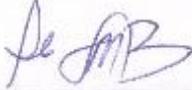
Dissertação defendida e aprovada em 06 de junho de 2018 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Sueli do Carmo Bettine
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Antonio Carlos Demanboro
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Paulo Sergio Franco Barbosa
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Ao Senhor que é justo em todos os seus caminhos e bondoso em tudo que faz, por mais esta benção. A minha mãe exemplo de vida e profissão, que esteve em meu lado em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Prof.^a Dra. Sueli do Carmo Bettine, orientadora, guia, mestre e incentivadora dos meus trabalhos acadêmicos desde a graduação até o presente, pela paciência, prontidão e profissionalismo.

Ao Prof. Dr. Paulo Sergio Franco Barbosa, pelas valiosas contribuições.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Demanboro, pelas valiosas contribuições.

Ao Sr. Kaine, pelo profissionalismo e prontidão a frente da Secretaria do Programa.

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas, pela infraestrutura fornecida e excelência que rege sua instituição.

RESUMO

(SANTOS, Daniel Augusto Alegre. *Indicadores de perdas físicas de água nos sistemas urbanos de distribuição*. 78p, 2018. Dissertação de mestrado (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Programa Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de campinas, Campinas, 2018.)

Como recurso natural intimamente ligado ao bem-estar, conforto e necessidade primacial a vida, a questão da distribuição urbana de água vem sendo tratada com negligência pelos setores gerenciais, isso se comprova ano a ano resultando nos indicadores fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), órgão ligado ao Ministério das Cidades, que efetua a coleta de dados dos diversos prestadores de serviço de gerenciamentos de distribuição de água, coleta e transporte de esgoto sanitário e recentemente incluso o manejo de águas pluviais.

Com base nesse banco de dados, e dentro da ótica de classificação de perdas físicas de água da *International Water Association* (IWA), examinou-se neste trabalho a evolução histórica de perdas de água, o crescimento das redes e correlacionou-se com o índice de desenvolvimento municipal (FIRJAN) para os municípios das regiões metropolitanas de Campinas, Curitiba e Fortaleza.

Os resultados obtidos indicam que o crescimento das cidades e das regiões não se relaciona proporcionalmente com o decréscimo de perdas de água. De acordo com análise realizada observou-se similaridades entre as regiões analisadas no que tange ao gerenciamento do controle de perdas; mesmo não havendo expressivo declínio nos índices de perdas físicas de água, houve o combate ao crescimento. Outrossim, explorou-se o desenvolvimento municipal para essas regiões, com base no índice FIRJAN a fim de se verificar a relação entre o desempenho no combate a perdas físicas e o desenvolvimento socioeconômico das regiões.

Palavras chaves: perdas físicas de água, indicadores de perdas de água, regiões metropolitanas.

ABSTRACT

(SANTOS, Daniel Augusto Alegre) *Real losses Indicators of Water in Urban Distribution Systems* 79p, 2018. Dissertação de mestrado (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Programa Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de campinas, Campinas, 2018.)

As a natural resource closely linked to the well-being, comfort and primary need for life, the issue of urban water distribution has been treated with neglect by the appropriate managerial sectors, this proves year by year resulting in the indicators provided by the National Information System on Sanitation (SNIS), an agency linked to the Cities Ministry, which collects data from the various service providers of water distribution management, sanitary sewage collection and transportation, and recently including rainwater management.

Based on this database, and within the International Water Association (IWA) classification of physical losses, the historical evolution of water losses, the growth of the networks, and correlated with the municipal development index (FIRJAN) for the municipalities of the metropolitan regions of Campinas, Curitiba and Fortaleza.

The results indicate that the growth of cities and regions is not proportionally related to the decrease of water losses. According to the graphical analysis, there is a common sense among the analyzed regions regarding the management of loss control, even though there was no significant decline in the indexes of physical losses of water, there was a fight against growth. In addition, the municipal development for these regions was explored, based on the FIRJAN index in order to verify the relationship between the performance in the fight against physical losses and the socioeconomic development of the regions.

Key-Words: Water Losses, Real Losses Index, Metropolitan Area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metas do PLANSAB	16
Figura 2 - Panorama internacional de perdas de água em sistemas de distribuição.	20
Figura 3 - Evolução do rendimento da rede entre os anos de 1995 e 2003	24
Figura 4 – Visor de controle do sistema	29
Figura 5 – Detecção de vazamentos via Geofone	31
Figura 6 - Correlacionador de ruído – correlux p250	32
Figura 7 – Modelo Leak Sensor – Itron	33
Figura 8 – Haste de escuta mecânica	34
Figura 9 – Locador de massa metálica.....	35
Figura 10 – Locador de tubulação metálica série radiodetection® rd7000+ e rd8000.....	36
Figura 11 – Componentes de válvulas	37
Figura 12 - Ilustração das irregularidades encontradas na região metropolitana de São Paulo.	40
Figura 13 - Ilustração de irregularidades nas ligações em favelas e áreas invadidas	40
Figura 14: Região Metropolitana de Campinas	43
Figura 15 – Região Metropolitana de Curitiba	45
Figura 16 – Região Metropolitana de Fortaleza	48
Figura 17 – Série Histórica FIRJAN.....	50
Figura 18 – Extensão da rede de água	53
Figura 19 – Ligações ativas de água	54
Figura 20 – Quantidade de economias ativas de água	55
Figura 21 – Índice de perdas na distribuição (%)	56
Figura 22 – Índice bruto de perdas lineares (m ³ /dia/Km).....	58
Figura 23 – Correlação FIRJAN x IN049 – Perdas Físicas RM Curitiba.....	59
Figura 24 - Correlação FIRJAN x IN049 – Perdas Físicas RM Fortaleza.....	60
Figura 25 - Correlação FIRJAN x IN049 – Perdas Físicas RM Campinas	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metas do PLANSAB.....	15
Tabela 2 - Análise econômica do controle das perdas.....	23
Tabela 3 - Descritivo dos dados obtidos entre 2001 e 2003 com o programa de perdas físicas de águas.....	25
Tabela 4 - Comportamento metrológico dos contadores domésticos após campanha de substituição	26
Tabela 5: Índices IPF das capitais nordestinas	38
Tabela 6 - Região Metropolitana de Campinas / SP.....	44
Tabela 7 - Região Metropolitana de Curitiba / PR	46
Tabela 8 - Região Metropolitana de Fortaleza / CE	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	American National Standards Institute
AWWA	American Water Works Association
CLP	Controlador Lógico Programável
DEFOFO	Diâmetro Equivalente ao Ferro Fundido
DMA	District Metered Area
DMC	Distrito de Medição e Controle
ETA	Estação de Tratamento de Água
FoFo	Ferro Fundido
GIS	Geographic Information System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	International Organization for Standardization
IWA	International Water Association
NBR	Norma Brasileira
NTS	Norma Técnica Sabesp
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PVC	Policloreto de Vinil
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
USAID	United States Agency for International Development
VRP	Válvula Redutora de Pressão
WDN	Water Distribution Network
WRC	Water Research Centre

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1.	Escassez hídrica	11
2.2.	Metas do Plansab	15
2.3.	Perdas físicas de água e Experiências Internacionais	16
2.4.	Técnicas e Tecnologias de detecção de vazamentos	27
2.4.1.	Correlacionador de sinais	27
2.4.2.	Sistemas de Vídeo-Inspeção robotizado	28
2.4.3.	Geofones	30
2.4.4.	Correlacionador de ruído	31
2.4.5.	Leak Sensor	33
2.4.6.	Haste de escuta mecânica	34
2.4.7.	Locador de massa metálica	34
2.4.8.	Locador de tubulação metálica	35
2.4.9.	Locador de tubulação não metálica	36
2.4.10.	Medidores de pressão	37
2.5.	Experiências de Concessionárias brasileiras	37
3.	MATERIAIS E MÉTODO	42
3.1.	Definição de Bases de Dados	42
3.2.	Áreas estudadas	42
4.	CARACTERIZAÇÃO DAS REGIÕES METROPOLITANAS AVALIADAS	43
4.1.	Região Metropolitana de Campinas	43
4.2.	Região Metropolitana de Curitiba	45
4.3.	Região Metropolitana de Fortaleza	47
4.4.	Avaliação do desenvolvimento municipal das regiões	49

4.5. Indicadores avaliados	50
4.6. Informações analisadas	52
4.6.1. Evolução da extensão das redes de água	53
4.6.2. Evolução quanto ao número de ligações ativas	54
4.6.3 Evolução quanto ao número de economias ativas	55
5. DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DOS INDICADORES	56
5.1. Índice de Perdas na Distribuição (%)	56
5.2. Índice de bruto de perdas lineares (m ³ /dia/Km)	58
5.3. Correlação de Perdas Físicas e Desenvolvimento Municipal	59
6. CONCLUSÕES	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
8. APENDICE	66
APENDICE A – INDICADORES POR REGIÃO METROPOLITANA	66
APENDICE B – INDICE FIRJAN	69

1. INTRODUÇÃO

Em várias regiões do Brasil convive-se com problemas de escassez hídrica, seja decorrente da baixa pluviosidade em algumas regiões, da evolução no consumo per capita ou do aumento no número de habitantes dos centros urbanos ou, ainda, do aumento decorrente no setor agrícola e/ou industrial instalados em determinadas áreas.

Assim, para atender as necessidades dessas áreas urbanas, frente à limitação da disponibilidade de água dos mananciais de abastecedores, uma das ações necessárias refere-se à redução das perdas físicas de água nos sistemas distribuidores urbanos, uma vez que o banco de dados do Sistema Nacional sobre Saneamento (SNIS) indica que, em média, as perdas nos sistemas de distribuição de água estão em 37%.

A caracterização de perdas de água vai muito além do senso comum, onde se supõe a água escorrendo pelas vias públicas. O controle das perdas nesse caso seria relativamente simples, pois, bastaria o combate imediato da origem do vazamento; tais perdas são denominadas aparentes. Ocorre que existem perdas de água que não são aparentes, pois são aquelas decorrentes de fissuras nas redes de distribuições e, também nos reservatórios enterrados, cuja visualização não é possível a “olho nu” e a identificação das mesmas se dá pela diferença de medições do que se disponibilizou de água tratada para distribuição, com o que se mediu de consumo nos clientes finais, por via dos hidrômetros (TARDELLI, 2016).

Segundo análise de Toneto (2013), em um cenário de redução de 10% nas perdas de água no Brasil, seriam acrescentados R\$1,3 bilhões à receita operacional com a água, equivalente a 42% do investimento realizado em abastecimento de água em 2010 para todo país, neste cenário de redução, ainda não se chega próximo ao de países desenvolvidos. A análise de perdas de água neste país não segue um padrão, havendo estados aonde às perdas chegam a 74,16% como no Amapá, e estados na ordem de 21% como Paraná. Portanto, há que se observar a diferença de qualidade na infraestrutura, fatores históricos de investimentos e administrativos, no combate às perdas de água.

Este trabalho teve por objetivo, caracterizar perdas de água e estruturar um recorte de perdas físicas de água, com enfoque em três regiões metropolitanas de distintos estados brasileiros; e, nesta perspectiva, relacionar dados presentes no Sistema Nacional de Informações Sanitárias (SNIS) o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Índice de desenvolvimento Municipal (FIRJAN) para entender o comportamento das perdas físicas nessas regiões, a fim de explorar a diferença entre padrões de controle de perdas em determinadas regiões metropolitanas, analisar se o crescimento das cidades e das regiões se

relaciona proporcionalmente com o aumento das perdas de água e, ainda, a possível existência de algum padrão de perdas relacionado ao desenvolvimento das cidades.

Assim, apresenta-se no capítulo 2 a Revisão de literatura explorando, portanto, itens como a escassez hídrica, metas do plano nacional de saneamento básico (PLANSAB), perdas físicas de água e experiências internacionais, técnicas e tecnologias de detecção de vazamentos, bem como experiências de concessionárias brasileiras.

No capítulo 3, apresenta-se no âmbito de Materiais e Método, a definição das bases de dados e as áreas estudadas.

No capítulo 4, explorou-se a Evolução dos Sistemas de Distribuição, para as regiões estudadas.

No capítulo 5, o Desenvolvimento e Análise dos Indicadores, o Índice de perdas na distribuição, o Índice bruto de perdas lineares e a correlação de perdas físicas e desenvolvimento municipal.

Por fim conclui-se o trabalho no capítulo 6.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Escassez hídrica

A escassez hídrica pode ser definida como o agravamento de períodos de déficit hídrico, sendo esse caracterizado como uma situação momentânea de baixa disponibilidade de água, sem gerar interrupção de serviços essenciais ou desabastecimento, ou permaneça deficitária por um período de tempo prolongado. Já que a escassez hídrica é definida como a situação de baixa disponibilidade de água, cuja diferenciação do termo seca fica limitada pela abrangência espacial: enquanto este deve ser usado preferencialmente quando se trata de grandes áreas ou mesmo uma bacia hidrográfica em sua totalidade, o termo escassez permite uma abordagem local do problema, mais adequada, portanto, à análise de trechos de rios e reservatórios (SAITO, 2001).

A variabilidade climática provoca em algumas regiões um aumento na intensidade de episódios de precipitação, que resulta em um aumento da sedimentação e da lixiviação de resíduos sólidos da mineração, entre outros contaminantes. Contudo, em áreas onde as projeções mostram tendência de clima mais seco, este aumento da intensidade será compensado por uma redução na frequência de episódios de precipitação e provavelmente um aumento das condições de seca nessas regiões provocando a concentração de poluente e crescente escassez de água (ANA, 2012).

No cenário internacional, temos que o Brasil está enquadrado entre os países mais ricos em água doce do planeta, onde os recursos hídricos superficiais gerados representam 50% do total dos recursos da América do Sul e 11% dos recursos mundiais. No entanto, a distribuição desses recursos no País e durante o ano não é uniforme, destacando-se os extremos do excesso de água na Amazônia e as limitações de disponibilidade no Nordeste, apresentando dessa maneira, cidades que enfrentam crises de abastecimento, das quais não escapam nem mesmo as localizadas na Região Norte, onde estão perto de 80% das descargas de água dos rios do Brasil (ANA, 2007).

O Brasil é dotado, também, de uma vasta e densa rede de drenagem sobre grande parte do território nacional, engendrando, certamente, a ideia de abundância de água no Brasil. A Amazônia brasileira representa 71,1% do total gerado da vazão no Brasil e, portanto 36,6 % do total gerado na América do Sul e 8% em nível mundial. Considerando a vazão total da Amazônia que escoar pelo território brasileiro, a proporção é de 81,1% do total nacional. Considerando esse volume, o total que escoar a partir do Brasil representa 77% total da América do Sul e 17% em nível mundial (TUCCI, 2001).

Em contrapartida, no semiárido brasileiro, a maior parte dos rios é intermitente, fato que dificulta a implantação de empreendimentos que exijam uma maior garantia de água e, conseqüentemente, o desenvolvimento econômico regional. Nesse sentido, desde o final do século XIX a solução dominante para o problema da escassez hídrica tem sido a construção de açudes para reservação de água (ANA, 2012).

Numericamente, cerca de 7.000 reservatórios artificiais com espelhos d'água acima de 19 hectares existentes no Brasil até 2013, aproximadamente 2.800 estão localizados na região Nordeste, ou seja, 40% do total. A existência de grandes açudes possibilitou a perenização de alguns rios nordestinos, fundamentais para a economia regional, tais como o rio Piranhas-Açu (PB/RN) e o rio Jaguaribe (CE) (MMA, 2005).

Outra interferência para a escassez hídrica na região nordeste é a baixa capacidade de produção de água subterrânea, principalmente no Semiárido, em decorrência da reduzida precipitação, alta evapotranspiração potencial e baixa capacidade de armazenamento, associada à presença em grande parte da região de substrato cristalino, com reduzida capacidade de armazenamento. A produção dos poços tem valores inferiores a 3 m³/h, inclusive em áreas com capacidade de armazenamento, ainda se observam condições salobras da água subterrânea, com valores de salinidade acima de 2.500 mg/l (ANA, 2012).

Cabe destacar que o Código das Águas (Decreto nº 24.643, de 1934), apesar do caráter inovador e moderno, que é atual até os dias de hoje, não contribuiu para equacionar o problema da escassez hídrica do semiárido. O foco do aproveitamento do potencial hidráulico era dominante e seus artigos necessitavam de regulamentação, o que ocorreu prioritariamente para a área de hidroeletricidade. No âmbito da propriedade das águas o Código especifica: águas públicas, águas comuns e águas particulares. As águas situadas nas zonas periodicamente assoladas pelas secas foram destacadas como públicas e de uso comum (POMPEU, 2006).

A escassez hídrica também tem impacto sobre a sustentabilidade financeira dos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos da região. A gestão de águas nas bacias nordestinas possui um ônus adicional em relação às demais bacias do país, em virtude da necessidade de construção, operação e manutenção de infraestruturas hídricas que garantam a disponibilidade de água. Para cobrir esse custo adicional e os demais custos relacionados à gestão de recursos hídricos, a maioria dos estados conta apenas com recursos orçamentários próprios, já que a implementação da cobrança ainda é incipiente (CARMO et al., 2007).

Uma das consequências da escassez hídrica para a qualidade de vida da população é a elevação no número de doenças, cujo estudo realizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) verifica que o investimento de cada dólar em saneamento básico, significa uma redução de quatro a cinco dólares nas despesas hospitalares (REBOUÇAS, 2003).

O Relatório de Desenvolvimento Humano das Nações Unidas informa que, na Índia, em situações de escassez de chuva, há maior tendência de mortalidade entre meninas que entre meninos. Assim, como em ambientes sobre influência de escassez hídrica há a concorrência pela pouca água potável disponível, e as mulheres e os homens pobres, pessoas com menor poder político/econômico, ficam sem acesso. Um terço das pessoas sem acesso a água segura vive com menos de um dólar (US\$ 1) por dia, e mais de dois terços das pessoas sem acesso a água tratada vivem com menos de dois dólares (US\$ 2) por dia (PNUD, 2007).

No aspecto legislativo nacional, temos que o terceiro fundamento da Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997 a Lei de Águas, determinando que em situações de escassez hídrica o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; Isso acontece porque o consumo humano compreende o uso para as necessidades mínimas de cada pessoa, isto é, água para beber, para comer e para a higiene. Não está incluído o uso para o lazer, como piscinas e nem para jardinagem. A preocupação maior e prioritária em caso de escassez é o ser humano. Enquanto a dessedentação de animais assegura saciar a sede dos animais. Dessa forma, coloca a vida em primeiro plano e define um compromisso social em que a vida humana e dos animais prevalece aos interesses econômicos (POMPEU, 2006).

Como corolário, temos nacionalmente a despreocupação com o tratamento de esgotos antes do lançamento em corpos d'água, agravando a escassez hídrica de água de qualidade. Dessa maneira, visando solucionar a realidade hídrica em áreas isoladas do Brasil e sob escassez de recursos hídricos, agravada pela inexistência de rede de abastecimento, as soluções individuais para o destino das excretas é uma alternativa aplicada pela população, seja por via seca ou por via hídrica com a aplicação de sistemas de tratamento, onde se destacam (ANA, 2011):

- **Privada séptica:** A privada de fossa seca compreende a casinha e a fossa seca escavada no solo, destinada a receber somente as excretas, sem a inserção de veiculação hídrica, dessa forma sua principal limitação é o impedimento do recebimento de água de descargas, de banhos, de lavagem, de enxurrada ou mesmo água do solo quando o nível da água subterrânea for muito alto. Acompanhada da

desvantagem quanto à geração de mau cheiro, poluição de subsolo, proliferação de insetos, particularmente a mosca, requerendo a aplicação de outras soluções para as águas servidas. Finalizando com o fato de ser um sistema impróprio para áreas com alta densidade populacional, locais com perfil de solo raso, ou com o lençol freático a baixa profundidade.

- **Privada química:** Sistema constituído por um tanque cilíndrico, de aço inoxidável, contendo solução de soda cáustica (NaOH), destinado a receber os dejetos procedentes de uma bacia sanitária;
- **Fossa séptica:** São câmaras fechadas com a finalidade de deter os despejos domésticos, por um período de tempo determinado, permitindo a decantação dos sólidos e retenção do material graxo contido nos esgotos transformando-os bioquimicamente, em substâncias e compostos mais simples e estáveis, recomendado para áreas onde há sistema de abastecimento implementado e as residências apresentam sistemas hidráulicos adequados;
- **Fossa séptica biodigestora:** Sistema semelhante à fossa séptica tradicional, entretanto, acompanhada do processo de biodigestão realizado através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica por bactérias que a transformam em biogás e efluente estabilizado, que podem ser utilizados em atividades agrícolas.
- **Tratamento de esgoto por evapotranspiração:** Técnica mais simples e barata que o tratamento por fossas sépticas biodigestoras e sem a geração de efluentes líquidos, pois esses são absorvidos pelas plantas cultivadas e evaporados através da transpiração das mesmas e diretamente pelo solo;
- **Drenagem pluvial:** Solução aplicada para as águas de drenagem superficial originária de precipitações pluviométricas, evitando transtornos que seriam provocados por estes escoamentos como transbordamentos dos sistemas de recebimento de águas residuais;

Outra temática relacionada à escassez hídrica é a constatação da existência do comércio de “água virtual”, assunto presente no debate sobre o papel de países no comércio internacional e sobre as consequências de um comércio orientado por abundância ou escassez de água. Nesse ramo da economia ambiental, é possível a comercialização das águas presentes direta e indiretamente em produtos em função da quantidade de água

existente no território de cada país. De forma específica, no Brasil a disponibilidade de água se concentra na Região Norte do país contrariando a concentração das regiões de produção agropecuária que está estabelecida no Sul, Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste (CARMO et al., 2007).

As vazões do Atlântico Leste, que representam parte da costa do Nordeste, apresentam pequeno valor de escoamento superficial devido à pequena precipitação e ao alto potencial de evapotranspiração. No rio São Francisco, em sua parte superior, o coeficiente de escoamento é alto e na parte inferior existe déficit de umidade, resultando, na média, em um valor acima do observado para o Atlântico Leste, que se encontra totalmente no Nordeste.

2.2 Metas do Plansab

O Plano Nacional Saneamento Básico, elaborado segundo a Lei 11.445/2007 estabelece dentre outras metas para a federação, o controle de perdas físicas de água, com os seguintes números:

Tabela 1 – Metas do PLANSAB

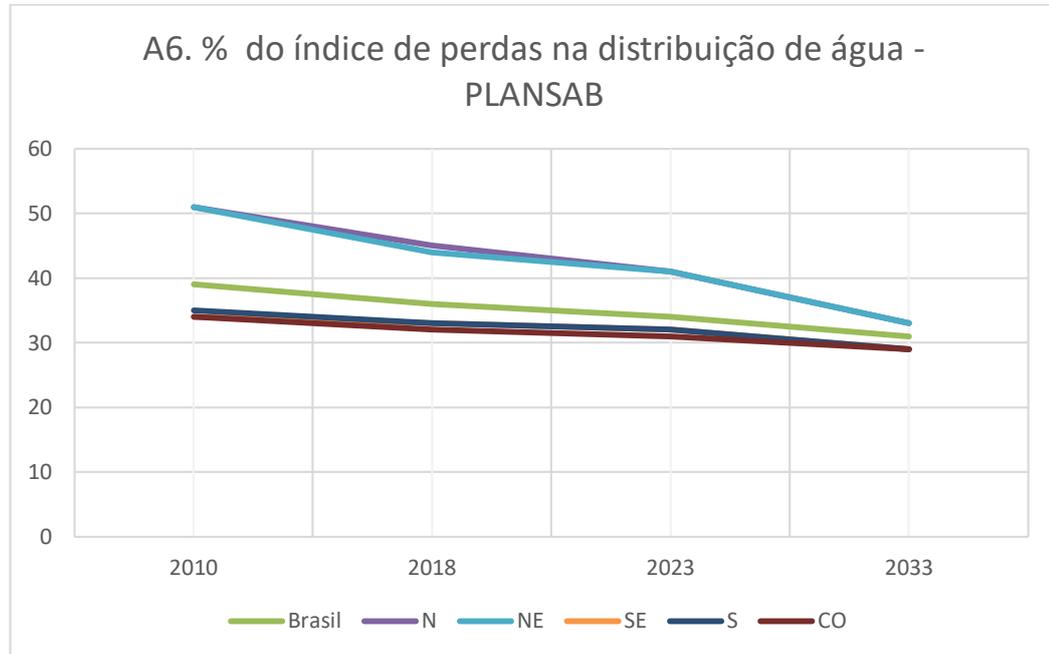
A6. % do índice de perdas na distribuição de água				
Região/Ano	2010	2018	2023	2033
Brasil	39	36	34	31
N	51	45	41	33
NE	51	44	41	33
SE	34	33	32	29
S	35	33	32	29
CO	34	32	31	29

Fonte: Lei 11.445/2007 (Adaptado pelo Autor)

Por meio dessa Lei, a federação incentiva às cidades com planos e aportes financeiros na questão do combate às perdas físicas de água. A Figura 1 ilustra a

convergência para praticamente um mesmo denominador na média de 31% para o Brasil ao final do plano previsto para 2033.

Figura 1 – Metas do PLANSAB



Fonte: Lei 11.445/2007 (Elaborado pelo autor)

2.3 Perdas físicas de água e Experiências Internacionais

Analisando o panorama internacional de estudos quanto às perdas físicas em redes de distribuição de água, observa-se intensificação nas técnicas utilizadas para seu entendimento. No entanto, essa problemática remete a estudos pioneiros como o levantamento realizado em 1994 na universidade de Valencia em Espanha onde foram analisadas as informações relacionadas à temática e a identificação de estratégias para sua mitigação, buscando assim maior eficiência no abastecimento populacional (VELA et al., 1994).

A detecção das falhas ao longo das tubulações é uma problemática potencial nos estudos de perdas de água nos sistemas de distribuição, dessa maneira o estudo desenvolvido pela Universidade Nacional Autônoma do México estrutura um método para a identificação das vazões e posição das mesmas em redes fechadas. Considerando que as redes de distribuição atuam com fluxo permanente, as medições da pressão nas uniões das tubulações, o conhecimento das características da rede (diâmetro, longitude e materiais) e a estimação das demandas da vazão (FUENTES-MARILES et. al., 2011).

O método desenvolvido por Fuentes-Mariles et. al. (2011), foi realizado através de provas experimentais hidráulicas, quanto à medição das vazões de saída da rede (vazões de demanda teórica); as medições de pressões vazamentos; a calibração da rede de tubulação experimental criada (baseada no coeficiente de atrito de Darcy) e a estimativa das demandas quando existem falhas ou rompimentos na rede.

Dentre as estratégias citadas por VELA et.al., (1994) para a mitigação das perdas físicas em sistemas de distribuição de água municipal, observa-se que as medidas preventivas são: melhoras nos desenhos dos elementos e do sistema global; melhora no controle e regulação do funcionamento do sistema; incorporação dos dispositivos de proteção; aumento na redundância (número de elementos em paralelo) nos sistemas de captação, tratamento, transporte e distribuição; melhoras no diagnóstico dos sistemas a partir de análises e simulação do comportamento dos sistemas de abastecimento, modelos matemáticos, incluindo os aspectos de fiabilidade e incorporação de válvulas automáticas de segurança ao longo da rede. Paralelamente, as medidas classificadas como preventivas corretivas são: Zonificação e setorização da rede de distribuição; Planejamento adequado dos pontos de reabilitação, reposição ou substituição de peças e tubulações da rede; Controle das pressões por válvulas de pressão ou reguladoras; Homogeneização das pressões; Redução das pressões de injeção, assim como a seleção e comprovação das medidas com modelos matemáticos.

Enquanto as medidas de caráter corretivo identificadas foram: Análise e controle periódico das perdas de água; Incorporação de válvulas de segurança contra perdas e rompimentos; Melhora nos métodos de detecção e localização de perdas (considerando tempo e precisão); Seguimento contínuo do comportamento do sistema (inspeção periódica das variáveis); Busca e controle das conexões fraudulentas; Detecção e reparação de medidores e contadores defeituosos; Elaboração de análises estatísticas das falhas; Controle noturno das vazões (horário de menor demanda); Análises químicas de amostras de água assim como uso de traçadores (Compostos de flúor) (VELA et al., 1994).

Segundo Contrera e Thornton (2006), a gestão das pressões nos sistemas de distribuição de água potável é reconhecida internacionalmente para a redução das perdas de água e diminuição da frequência de aparição de falhas nas redes e conexões domiciliares. Assim, o Grupo de Trabalho de Perdas de Água da Associação Internacional de Água colombiana estabeleceu sua proposta para a gestão de perdas de água nos sistemas de distribuição relacionando a Gestão de pressões com a busca ativa de perdas, os tempos para reparações menores e a gestão da infraestrutura, obtendo diminuição no volume atual de

perdas físicas anuais, no nível econômico de perdas e no rango mínimo das perdas do sistema.

Nesse contexto, o estudo baseado nos esforços do Comitê de Gestão de Pressões do Grupo colombiano mencionado, relacionou as perdas de água do sistema com a pressão da rede de distribuição de água, a pressão do sistema com as vazões das perdas encontradas, as pressões do sistema com a incidência de novas falhas e por fim, a relação da pressão com o consumo de água (variável da demanda dos períodos de consumo), tanto por provas em campo nos sistemas de distribuição, experimentos laboratoriais de mecânica de fluidos e materiais (físicos e numéricos) (CONTRERA & THORNTON, 2006).

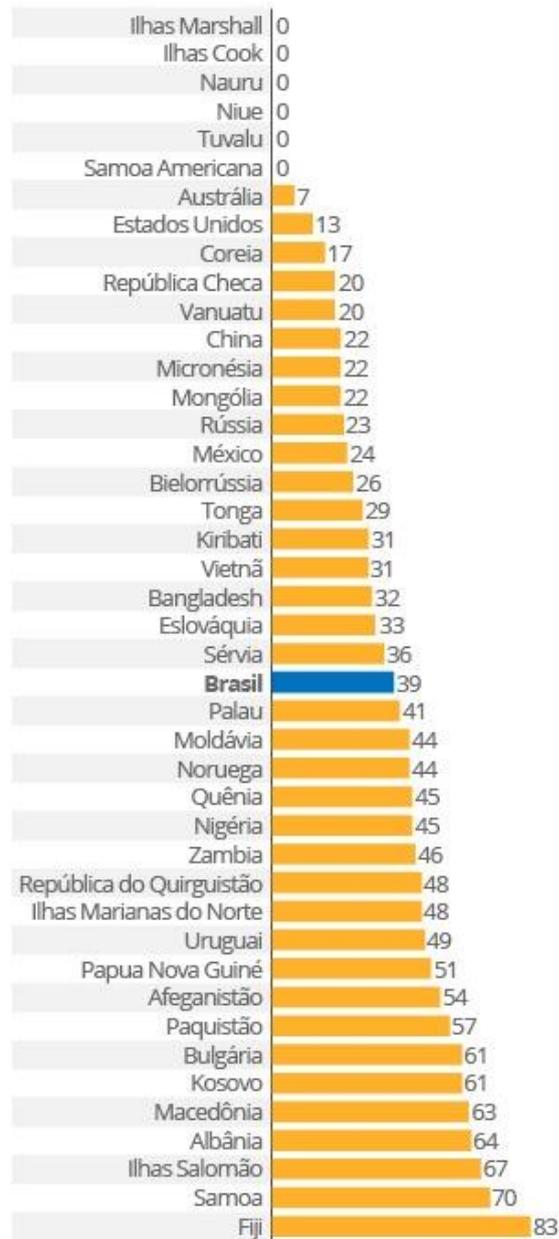
A problemática das perdas de água nos sistemas de abastecimento de água potável é uma realidade também das Ilhas Galápagos, onde o sistema de distribuição de Porto Ayora na cidade de Gálapo possui uma porcentagem estimada em 74% da produção de água do sistema. As causas das perdas foram identificadas pelas falhas nas tubulações instaladas, por consumos fraudulentos e não faturados, devido à vulnerabilidade social da população local. Esse panorama trás como consequências o deterioro da viabilidade financeira das empresas de gestão hídrica municipal, gerando déficit de qualidade da gestão técnica e das águas fornecidas devido à possibilidade de contaminação nas falhas, principalmente pela elevada presença de fossas sépticas irregulares instaladas pela ausência de rede de coleta de águas residuais locais (FRAEB, 2013).

Analisando o panorama colombiano temos o estudo desenvolvido na *Universidad del Valle/Instituto Cinara* cujo objetivo foi identificar as motivações para as perdas de água nacional que alcançam a cifra de 37,8% e representam uma perda financeira ao país de aproximadamente 70.000 milhões de pesos colombianos ao ano (24,3 milhões de dólares). O estudo concluiu que as principais motivações estavam relacionadas aos erros nas medições das vazões de água ao longo da rede de distribuição devido à imprecisão, falta de padrões de qualidade e eficiência dos equipamentos, somados ao fato da operação de equipamentos superando seus limites de funcionamento o que acarreta em perda de confiabilidade das informações coletadas (SANCHEZ et. al., 2003).

No comparativo internacional das perdas de água nos sistemas de distribuição, Figura 2, tem-se com base no levantamento realizado pelo *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET)* com dados do ano de 2011 que dos 43 países analisados o Brasil ocupa a 20ª posição com 38% de perdas entre a concessionária de fornecimento e o consumidor final, devido a vazamentos e ligações clandestinas não faturadas. Nessa lista, o país se encontra atrás do Vietnã que apresenta perdas de 31%,

México com perdas de 24%, Rússia com 23% e China que quantifica 22%. Destaca-se que o país que mais perde água tratada na lista é Fiji, um país insular da Oceania que desperdiça 83% da água que trata. Em contrapartida, os países com menor índice de perda entre os analisados estão Estados Unidos com 13% e Austrália com somente 7% (IBNET, 2011).

Figura 2 - Panorama internacional de perdas de água em sistemas de distribuição.



Fonte: Rudinei Toneto Junior, 2013.

Outra fonte internacional de dados sobre perdas ou rompimentos em tubulações em condutos principais é a estatística detalhada desenvolvida pela *American Water Works Association* (AWWA). Os dados armazenados correspondem a mais de 600 empresas desde 1998, o que permite análise histórica e avaliação de progressos nos programas de combate às falhas. A mesma plataforma indica que algumas cidades do mundo possuem uma eficiência física que oscila entre 30 e 50%, situação que com planejamento adequado pode ser mitigado para valores inferiores a 15%, como evidenciado em cidades do Japão e Alemanha pelas infraestruturas desenvolvidas no período pós-guerra (ECONSSA, 2014).

No entanto, “em conjunto a atividade de combate à falha se faz necessário estabelecer indicadores de eficiência e programas de melhora contínua para o impedimento de realidades identificadas em grandes cidades como São Paulo, Brasil ou Bogotá, Colômbia onde foram apresentadas melhoras no controle de fugas, mas posteriores ineficiências geradas por ausência de seguimento e monitoração das atividades planejadas. Assim como diferenciar as eficiências comerciais das perdas físicas encontradas” (PEREZ-VIDAL, et al., 2012).

Analisando o panorama mexicano, tem-se que os primeiros dados estatísticos datam de 1998 por um levantamento realizado pela *International Modelling and Talent Association* (IMTA) para várias localidades do país, onde foi observado que a maior incidência de fugas não estava ao longo das redes de distribuição, mas sim nas derivações domiciliares, resultando em outro fator responsável de perdas físicas, a tolerância à baixa qualidade dos materiais e a presença de mão de obra não qualificada. Visando solucionar essa situação, o governo mexicano implantou normativas direcionadas a estabelecer diretrizes de qualidade na instalação de ligações hidráulicas, tanto quanto aos materiais quanto as provas de qualidade contra falhas em tubulações (RODRIGUEZ, 2006).

A análise dos dados estatísticos, segundo Rodrigues (2006), permite estabelecer que as principais causas para a ocorrência de falhas em México são: Pressões elevadas nas tubulações; Corrosões externas e internas; Efeitos do tráfego de veículos; Má qualidade dos materiais e acessórios utilizados; Má qualidade da mão de obra nas instalações e manutenção; Idade das tubulações; assim como para algumas regiões movimentos do solo por atividades sísmicas (terremotos de distintas intensidades e magnitudes). Concluiu-se também da análise dos dados estatísticos que as falhas de pequena magnitude tendem a aumentar quando não ocorre um programa contínuo de controle de perdas de água no sistema de distribuição e o fator que mais influencia nesse sistema é a influência da pressão d'água.

Uma ferramenta adotada em inúmeras nações para a gestão de controle de perdas nas tubulações é a construção de distritos hidrométricos (DH), que são setores da rede de distribuição capazes de isolamento hidráulico com o auxílio de válvulas para casos emergências ou de manutenção, tais como, medições de volumes de água nos condutos principais e secundários, consumos unitários dos usuários, usos não autorizados (conexões clandestinas), detectar falhas (por indicadores de fluxo noturno), balanços de água, medições de vazão e pressão, investigações econômicas, entre outras. Essa ferramenta permite a melhora contínua no controle de perdas de água assim como informações mais precisas para a tomada de decisão, para alcançar e manter o nível desejado de perdas ao longo da rede (ponto de equilíbrio econômico), já que não é possível estruturalmente estabelecer o nível 0% (BÉJAR & TZATCHKOV, 2012).

Destacando novamente México, o estudo de Béjar e Tzatchov (2012), temos que o país usa os distritos hidrométricos na implantação de 3 subprojetos do programa de controle de perdas em tubulações, onde as atividades correspondentes de cada projeto são:

- **Projeto para operação do serviço de distribuição:** Cadastro da rede de distribuição; Cadastro das instalações; Hidrométrica; Macromedições; Controle das operações do sistema; Estatísticas de perdas.
- **Projeto para controle dos usuários:** Estabelecimento do padrão de usuários; micromedições e consumos.
- **Projeto para o apoio logístico:** Promovendo o desenvolvimento dos recursos humanos; Controle do fornecimento e comunicação social.

Analisando o caso português, segundo Alegre (2005), tem-se para o sistema de abastecimento de Cascais administrado pela concessionária Adc-Águas de Cascais SA um programa de redução de perdas focado na diminuição do volume de água não faturada, buscando garantir uma gestão sustentável e economicamente viável do projeto de concessão de água outorgado. Dessa maneira, foi identificado que para o ano de 2002 era necessário uma redução da ordem de 9% do total de fugas (38,9%), o que representa um valor tecnicamente elevado, isso ocorria, pois o volume da água não faturada correspondia a 400 vezes o volume de água nas condutas, a 127 vezes a capacidade de reserva do sistema, a 111 vezes o dia de maior consumo ou a 4 vezes o mês de maior consumo. Como resultado das atividades implantadas foi criada uma mentalidade de análise contínua de indicadores de gestão para a obtenção de dados e assim, um acompanhamento eficaz do processo de

distribuição de água, priorizando os trechos que necessitavam substituição (mínimo 15 km anual conforme normativa Portuguesa), acarretando no ano de 2003 com uma redução de 4,4% em relação às perdas de 2002, acarretando em uma redução de 7,4% entre 2001 e 2002 e de 4,4% entre 2002 e 2003, conforme indicado na Tabela 2:

Tabela 2 - Análise econômica do controle das perdas

	2001	2002	2003
Água aduzida ao sistema	23 197 000 m ³	22 899 000 m ³	23 256 000 m ³
Percentagem de perdas	38,9%	31,5%	27,1%
Água não facturada	9 023 460 m ³	7 213 173 m ³	6 302 376 m ³
Água perdida	7 680 m ³ / km ano	6 041 m ³ / km ano	5 252 m ³ / km ano
	21 m ³ / dia km	16 m ³ / dia km	14 m ³ / dia km
	876 litros / hora	689 litros / hora	600 litros / hora
Valor da água perdida	3 511 028 euros (≅ 700 000 contos)	2 942 974 euros (≅ 590 000 contos)	2 601 620 euros (≅ 522 000 contos)

Fonte: Alegre, 2005.

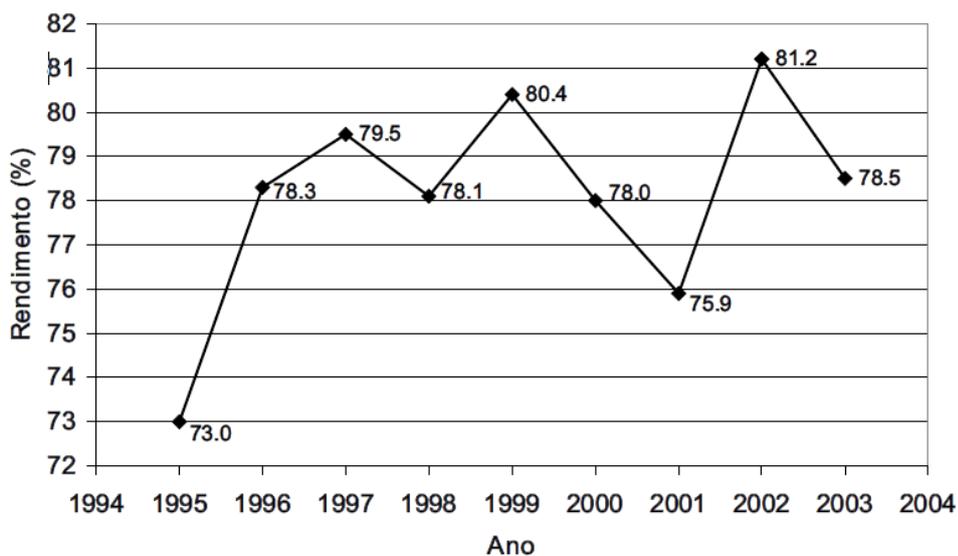
Ainda tratando do panorama português, Alegre (2005) temos que para o sistema de abastecimento de Gaia administrado pela empresa Águas de Gaia SA um programa de gestão de perdas de água em suas redes de distribuição visando diminuir o desperdício de um recurso globalmente escasso, demonstrando consciência ambiental por parte da empresa para essa problemática potencial. Nesse contexto, foram envolvidos os setores de Atendimento Permanente, Direção de Águas de Abastecimento, Equipe de Detecção de Fugas, Laboratório de contadores e Encarregados para a elaboração do balanço hídrico do sistema, quantificação de indicadores de desempenho (perdas nas tubulações e perdas por não faturamento), monitoramento dos volumes e horários da rede, assim como as vazões relacionadas. Como resultado, foi obtido maior eficiência na utilização da água importada, pela identificação das partes com pior desempenho.

Da mesma maneira, analisando o sistema de abastecimento de água de Lisboa, Portugal administrada pela Empresa Portuguesa das Águas Livres SA (EPAL), observa-se que o programa de controle de fugas se relaciona com a idade média elevada da rede de distribuição, os órgãos e ligações da rede não possuírem manutenção preventiva e a perda concreta de $39,7 \times 10^6$ m³/ano de água ao longo do ano de 2000. Para diminuição desse valor, foram englobadas as áreas de Projeto de Renovação de Rede, de Manutenção da Rede e

Detecção de fugas e a Área de Clientes Diretos na elaboração do balanço hídrico e da metodologia de avaliação de problema do manual IWA. Como resultado, foi constatada uma redução de $9,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ (23%) entre os anos de 2000 e 2003, associada a uma redução de 37% do número de roturas em condutas, redução em 9% do número de roturas em ramas. (ALEGRE, 2005).

Ainda tratando do panorama português temos para o sistema de abastecimento de Mafra operado pela *Compagnie Générale des Eaux*, um programa de redução de perdas devido à restrição das vazões disponível e pelo preço de aquisição de água à EPAL, isso ocorre porque o sistema possui 2 entradas de águas provenientes da EPAL e uma de captação direta ao recurso hídrico e o consumo diário em meses de verão superam a capacidade máxima diária de entrada do sistema. Para atingir esse objetivo foram realizadas atividades de detecção de perdas, exploração preventiva da rede, gestão dos clientes, cadastro e atualização da rede, assim como verificação dos ensaios de estanqueidade das tubulações. Como resultado, é possível observar a evolução do rendimento da rede entre os anos de 1995 a 2003, valor obtido da relação da água faturada pela água introduzida na rede, onde o melhor resultado foi encontrado no ano de 2002 no auge do programa de prevenção de perdas entre 2001 e 2003 (Figura 3) (ALEGRE, 2005).

Figura 3 - Evolução do rendimento da rede entre os anos de 1995 e 2003



Fonte: Alegre, 2005.

Caso não tivesse sido implementado os meios específicos na detecção de perdas, o rendimento referente ao ano de 2003 seria igual ao de 1995 (73%), representando um custo financeiro com perdas igual a 805.208 euros, dessa maneira o aumento do rendimento

traduziu-se num ganho de 208.947 euros. Esse avanço identificado por Alegre (2005) é evidenciado pela diminuição de 691 m³/dia entre os anos de 2001 e 2002, associados à variação na vazão de água de entrada no ano de 2002, obtendo um rendimento na rede igual a 81,3% como ilustra a Tabela 3.

Tabela 3 - Descritivo dos dados obtidos entre 2001 e 2003 com o programa de perdas físicas de águas

Dados Gerais	2001	2002	2003
Rendimento da rede (%)	75,9	81,3	78,7
Perdas (m ³ / km)	1 599	1 221	1 435
Perdas (m ³ / dia)	3 460	2 769	3 333
Perdas (Euro / dia)	1 592	1 373	1 633
Indicadores (IWA)	Unidades	-	2003
Ineficiência na utilização dos recursos hídricos	%	-	17,6
Perdas de água por ramal	m ³ /ramal/ano	-	50,0
Perdas aparentes por volume de água entrada no sistema	%	-	6
Perdas aparentes por ramal	m ³ /ramal/ano	-	16
Perdas reais por ramal	litros/ramal/dia	-	95
Índice infra-estrutural de fugas	P. Reais/PRIM	-	1,6
Água não facturada em termos de volume	%	-	21,3
Água não facturada em termos de custo	%	-	15
Água não medida	%	-	21%
Dados Gerais	2001	2002	2003
Rendimento da rede (%)	75,9	81,3	78,5
Água não facturada (%)	24,1	18,7	21,5
Perdas (m ³ / km)	1 599	1 221	1 435
Perdas (m ³ / dia)	3 460	2 769	3 333
Perdas (Euro / dia)	1 592	1 373	1 633
Indicadores (IWA)	Unidades	-	2003
Ineficiência de utilização dos recursos hídricos	%	-	17,6
Perdas de água por ramal	m ³ /ramal/ano	-	50,0
Perdas aparentes por ramal	m ³ /ramal/ano	-	6,4
Perdas reais por ramal	litros/ramal/dia	-	119,0
Índice de fugas na infra-estrutura	P. Reais/PRIM	-	1,9
Água não facturada por volume	%	-	21,5

Fonte: Alegre, 2005.

O sistema de abastecimento de Oeiras é operado pelos SMAS de Oeiras e Amadora, seu programa de redução de perdas físicas de água tem como motivação melhorar a gestão do sistema de distribuição das suas redes, atingindo como objetivo um valor máximo de perdas totais iguais a 25%. Para isso foi criado um gabinete específico que controla e articula todas as atividades relacionadas com o controlo das perdas reais (setorização da rede de distribuição, monitoração de vazões mínimas noturnas, controle ativo de perdas). Como

resultado, entretanto, não foi possível obter o desejado, devido ao insuficiente grau de setorização da rede não permite ainda uma avaliação razoável dos impactos na qualidade do serviço prestado e, muito menos, uma caracterização quantificada dos mesmos, resultando somente no desenvolvimento significativo do programa de gestão de consumidores e sistema de informação geográfica, pretendendo-se, a breve prazo, implementar iniciativas semelhantes na área das reparações de redes por forma a permitir uma correta avaliação de componentes de perdas reais (ALEGRE, 2005).

Por fim, no contexto português temos o sistema de abastecimento de Santo Tirso, que é operado pela Empresa Indaqua Santo Tirso (Gestão de Águas de Santo Tirso, S.A), que segue um programa de redução de perdas para a melhoria nos ganhos financeiros, pois são elevados os custos financeiros relacionados à concessão da água distribuída. Dentro desta esfera o enfrentamento de perdas de água caminha junto a importância desta matéria em termos ambientais, já que a escassez do recurso hídrico tende à adoção de medidas de racionamento dos usos. Para isso, com base nas informações das classes de consumo, contadores substituídos, idade média e ganho médio, conforme a Tabela 4, foram estruturados os indicadores de desempenho financeiro, consideram-se como mais significativos os seguintes: Porcentagem dos volumes faturados e não faturados, relativamente ao volume total entrado no sistema (%); Perdas comerciais totais, decompostas em consumos autorizados não faturados, perdas aparentes e perdas reais (€/m³); Porcentagem das perdas comerciais, relativamente aos custos operacionais (%) (ALEGRE, 2005).

Tabela 4 - Comportamento metrológico dos contadores domésticos após campanha de substituição

Classe de consumo (m ³ /mês)	Contadores substituídos	Idade média (anos)	Ganho médio (%)
0 a 5	105	18	44,7
0 a 10	127	18	19,3
0 a 15	49	20	17,0
0 a 25	25	16	7,6
0 a 50	2	15	10,3
0 a >50	0	-	-
Totais	308	17	19,8

Fonte: Alegre, 2005.

Como resultado, foi obtido até o momento do estudo (2005) que esse motivou a mobilização dos colaboradores da empresa, complementando as ações, que obriga a um

aliciante trabalho de grupo, e a consciência de que os resultados obtidos são benéficos para todos, garantindo um incentivo natural e um empenho contínuo.

2.4 Técnicas e Tecnologias de detecção de vazamentos

Inovação e tecnologia são bases permanentes para busca de equilíbrio entre o desenvolvimento sustentável e o crescimento das redes de distribuição urbana de água, frente a problemas na qualificação de mão de obra, custos com reparos, toda a tecnologia que visa agilidade nos reparos, precisão na detecção de vazamentos e assertividade são bem-vindas.

O fato da grande maioria das redes não serem visíveis a olho nu por estarem enterradas gera grande dificuldade em inspeções e detecções de vazamentos considerados não visíveis, ou seja, aqueles que não afloram. Destacam-se os principais métodos de detecção e reparo de vazamentos.

2.4.1 Correlacionador de sinais

A tecnologia dos correlacionadores é amplamente empregada na detecção de vazamentos, se trata de um aparelho da tipologia do geofone eletrônico, que coleta informações (ondas sonoras) em um determinado ponto de rede, e se correlaciona com um par a uma determinada distância em outro ponto de rede, e por meio de software dedicado a análise de sinais e ondas, verifica se ocorrem pontos de vazamento neste trecho analisado, oferecendo maior precisão para localizar vazamentos em tubulações enterradas. Registraram-se experiências na Inglaterra, sobre a intensificação do uso desses aparelhos a partir de 2007, motivada por um período de longa estiagem. Relatos apontam para a correta utilização do sistema em redução de perdas físicas correspondentes a até 20% (FAPESP, 2017).

Existem aparelhos e sistemas internacionais bem como nacionais, a vantagem de aparelhos nacionais é que foram concebidos a partir de conhecimento das características específicas de sinais e ondas de vibração de vazamentos das tubulações usadas aqui, com características do solo onde estão enterradas. Com isso existem softwares capazes de reduzir ruídos e interferências. O protótipo desenvolvido por um grupo de pesquisadores da UNESP de Ilha Solteira foi capaz de localizar 100% dos vazamentos nos campos de testes da Sabesp.

O processo de detecção consiste na medição das vibrações da tubulação em dois ou mais pontos em torno da área onde há suspeita de vazamento e a comparação dos resultados, isso porque o sinal da vibração se atenua conforme a distância percorrida, a

diferença entre os dois sinais permite estimar a localização do vazamento, sofrendo influência do tipo de solo em que se encontra instalado a tubulação (FAPESP, 2017).

“Embora no mundo real a eficácia deva ser menor, os resultados já indicam que o aparelho localiza os vazamentos com muito mais precisão do que os equipamentos que existem no mercado e ainda estamos aprimorando o protótipo”, explica Almeida.

2.4.2 Sistemas de Vídeo-Inspeção robotizado

Para um diagnóstico preciso e inspeção de tubulações, existem sistemas de vídeo – Inspeção, que se trata da inserção de um robô, guiado via cabos, com iluminação própria e munido de câmeras de boa resolução, para a completa filmagem desde a introdução do mesmo até o término da tubulação.

Tal tecnologia com o sistema *Rovver X*, (Figura 4) comercializado pela Sondeq, é um robô que permite a inspeção completa de tubulações dos sistemas de distribuição hídrica, composto por 12 opções de rodas, dispositivo de elevação da câmera e do trator, iluminação adicional e diversos acessórios que possibilitam sua configuração em segundos, permitindo inspecionar tubulações de 150 a 1800 mm (6 a 72 polegadas) de diâmetro. Paralelo a sua complexidade tecnológica, o sistema é estruturado sob uma plataforma expansível, na qual é permitida a adição de equipamentos, tais como: *side scan* e *laser profiler*.

Figura 4 – Visor de controle do sistema



Fonte: Sondeq, 2018 (http://sondeq.com.br/arquivos/folder_rovver_x.pdf)

O equipamento é tracionado por seis rodas com avanço proporcional, que aliadas a motores elétricos potentes, facilitam a transposição de obstáculos. O equipamento também faz gravação de vídeos, gera relatórios impressos e digitais, os quais podem ser exportados diretamente a um software de gerenciamento de integridade.

Dentre as principais vantagens que essa tecnologia apresenta para a inspeção de sistemas de distribuição de água e assim as identificações de focos de perdas físicas estão:

A Visibilidade e Iluminação que permite a captura de imagens com a melhor resolução de vídeo possível a partir de um robô de inspeção, capaz de iluminar alvos distantes com iluminação de LEDs que são 50% mais brilhante. Podendo ainda ser aumentada a iluminação com lâmpadas auxiliares para uso em tubulações de grande diâmetro á exemplo grandes adutoras por gravidade bem como o campo de visão pela elevação de câmeras traseiras ou outras no corpo dos robôs.

Como as tubulações são de diferentes realidades a capacidade de adaptação deve permitir o ajuste remotamente da altura da câmera, possibilitando assim a inspeção de tubulações de qualquer tamanho, material e condições. Além, de possibilitar a ampliação da altura e distância.

Devido ao diâmetro das tubulações há que se considerar a capacidade de manobra que viabiliza o controle de qualquer função da câmara ou do trator simultaneamente para foco em tarefas comuns da inspeção (como visualização de juntas), evitando assim o deslocamento indesejado sobre o leito da tubulação.

A autonomia de distância percorrida pelo robô geralmente não ultrapassa os 300 m devido à existência de seu cabo montado em carretel, que se por um lado permite a ultrapassagem de obstáculos difíceis com capacidade de manobra e potência também prejudica em casos como embolamento do cabo, para isto não serve qualquer pessoa para operação, mas sim um profissional devidamente treinado e capacitado.

A SABESB/SP na cidade São Paulo já utiliza esta tecnologia que pode ser transportada em furgões que além de agilizar os trabalhos de inspeção garante precisão e um menor impacto no tratamento de problemas na tubulação, porém a mesma deve ser inativada para estes trabalhos de inspeção, pois não se consegue trabalhar conjunto ao transporte de água nas tubulações. Este robô também pode inspecionar outros tipos de tubulações como Drenagem e Esgotamento Sanitário.

2.4.3 Geofones

Os geofones (Figura 5) são os aparelhos mais disseminados nas gerenciadoras municipais de saneamento pelo seu custo/benefício, facilidade e simplicidade de operação. Trata-se de uma tecnologia que utiliza o princípio da estetoscopia na detecção de vazamentos e podem ser separados em mecânico e eletrônico. No caso do mecânico a experiência do operador na auscultação e entendimento dos ruídos se faz imprescindível, o eletrônico ainda que mais custoso, existem ferramentas e softwares que filtram esses ruídos (GONÇALVES, et. al., 2007).

A empresa *GLDS* desenvolveu uma tecnologia composta por uma linha de geofones eletrônicos digitais de baixo custo para detecção de vazamentos de água não visíveis por métodos não destrutivos a 15 metros de profundidade.

Figura 5 – Detecção de vazamentos via Geofone



Fonte: SAAEC Cerquilha/SP (<http://www.saaec.com.br/pesquisa-de-vazamentos/foto-geofone/>)

Dotados de tecnologia digital, microprocessados, têm maior sensibilidade e volume, com supressor de ruído digital que consegue eliminar sons indesejáveis em qualquer situação de uso. São segundo a empresa geofones e hastes de escuta rígidos e de boa qualidade projetados para uso profissional e possuem cinco anos de garantia.

A versão comercializada mais atual da empresa é conhecida por *CPU GLDS LD-15*, tecnologia montada em placa de circuitos com tecnologia SMD imune a interferências e ruídos eletromagnéticos, janela protetora do visor LCD em plástico transparente, teclado blindado de apenas três teclas tipo membrana isolando circuitos eletrônicos de poeira e umidade, muito presentes nestes serviços, tudo acondicionado e protegido em caixa plástica resistente às quedas e impactos.

2.4.4 Correlacionador de ruído

É um sistema computadorizado para localização de vazamentos não visíveis, capaz de detectar vazamentos em sistemas pressurizados com tubulação de ferro, aço, cobre, concreto e PVC, atua em uma faixa de operação, entre 300 e 5.000 Hz (GONÇALVES, et. al., 2007).

Oriundo da tecnologia dos Geofones eletrônicos, os correlacionadores (Figura 6) são nada mais que estes aparelhos adaptados para ficarem fixos em determinado ponto, fazendo leituras e transmitindo via comunicação de telemetria, que enviam dados para uma central capaz de processar as ondas captadas e proceder à análise via estas ondas sobre a localização do vazamento, que apresenta um comportamento acústico diferente do restante da tubulação, se o conjunto estiver bem instalado em locais com poucas interferências acústicas fornecem precisões milimétricas.

Figura 6 - Correlacionador de ruído – correlux p250



Fonte: Sanesoluti (<https://sanesoluti.com.br/produto/correlacionador-de-ruído-correlux/>)

2.4.5 Leak Sensor

O Leak Sensor (Figura 7) é uma tecnologia desenvolvida pela Itron visando o sensoriamento dos vazamentos, possibilitando uma avançada detecção de vazamentos do sistema de distribuição. Sua composição resulta da fusão do módulo do medidor de água com um sensor acústico para criar uma rede de coleta de dados do medidor e monitorar os vazamentos do sistema de distribuição em tempo real.

Dessa forma, a tecnologia oferece o monitoramento diário analisando vazamentos em linhas de distribuição para detecção proativa de vazamentos e mitigação oportuna (cabe ressaltar aqui que nem todos os vazamentos são economicamente viáveis para solucionar). Isso reduz as perdas de água sem receita, custos associados a possíveis interrupções de serviço causadas por grandes eventos de vazamento.

Figura 7 – Modelo Leak Sensor – Itron



Fonte: Itron (<https://www.itron.com/na/-/media/itron/integration/specsheet/101348sp02leaksensorweb.pdf>)

Segundo a fabricante a inovação por trás do Leak Sensor é um sensor de vibração, amplificador, processador e interface de leitura de medidor automatizada de um fio bidirecional (AMR). Todos os dias, os sensores acústicos analisam padrões sonoros em seu ambiente, detectando vazamentos novos, em evolução e pré-existentes automaticamente. Os sensores conectam-se aos *endpoints* e transmitem as gravações de vibração ao longo do dia junto com outras informações de medição através da rede fixa para o utilitário

Uma interface web Itron - mlogonline Network Leak Monitoring System - trata da interpretação e análise de dados das gravações e exibe graficamente todos os locais dos

sensores usando mapas visuais e imagens de satélite, destacando o status dos locais de vazamento. Um banco de dados em expansão de informações históricas fornece uma avaliação abrangente das condições de todo o sistema de distribuição de água

2.4.6 Haste de escuta mecânica

Esse é um dos equipamentos mais básicos presentes na detecção de perdas físicas (Figura 8), ele é composto por uma haste de metal com comprimento de 1,0 e 1,5 m. Essa haste de escuta de ruído é também conhecida como “stick” (GONÇALVES, et. al., 2007).

Figura 8 – Haste de escuta mecânica



Fonte: DAE Jundiaí (<https://daejudiai.com.br/dicas/teste-de-vazamentos/>)

Sua tecnologia é menos sensível que o geofone, pois sua faixa de operação situa-se entre 200 a 1.500 Hertz e possui a capacidade de detectar ruído de vazamento com mais facilidade na faixa de 600 a 800 Hz (GONÇALVES, et. al., 2007).

2.4.7 Locador de massa metálica

Diferente das demais tecnologias, esse aparelho (Figura 9) é utilizado para localizar peças metálicas que estão cobertas pela pavimentação, como por exemplo: tampões de PV ou de caixa de registro e outros materiais metálicos (GONÇALVES, et. al., 2007).

Em geral, a faixa de profundidade de detecção situa-se em torno de 0,60 m, no entanto, na atualidade, existem modelos sendo comercializados com maior sensibilidade na profundidade de detecção, em torno de 4,0 m, dependendo do tamanho do objeto a ser localizado (GONÇALVES, et. al., 2007).

A limitação de 0,60 m pode ser um problema para a vasta utilização do equipamento haja vista que segundo normas da SABESP orienta-se a profundidade média das redes na casa de 1,20 m, ou seja, na necessidade de localização de massas, a esta profundidade não se encontra com os aparelhos modelo *standart* ou de entrada.

Figura 9 – Locador de massa metálica



Fonte: Restor (<http://www.restor.com.br/equi3.htm>)

2.4.8 Locador de tubulação metálica

Semelhante ao localizador de massa metálica, o localizador de tubulação metálica (Figura 10) é desenvolvido para identificar tubulações enterradas, através do princípio do campo magnético, nele o transmissor de sinal induz o campo diretamente, por contato, ou por indução indireta, de forma a permitir que o receptor capte o sinal induzido ao longo do tubo, indicando sua localização exata, alinhamento e profundidade até a distância em torno de 3,50 m. O método ideal para localizar uma tubulação é por contato com a peça a ser locada, entretanto quando não há ponto para contato utilizamos o método da indução (GONÇALVES, et. al., 2007).

Figura 10 – Locador de tubulação metálica série radiodetection® rd7000+ e rd8000



Fonte: Sondeq (http://www.sondeq.com.br/pt/nd_detector.php)

2.4.9 Locador de tubulação não metálica

O locador de tubulação não metálica, (Figura 11) trabalha pelo princípio mecânico de variação oscilatória de pressão, onde a válvula propagadora de ondas é acoplada ao sistema em qualquer ponto de saída (torneira, padrão, hidrantes, etc.).

A válvula é responsável por bloquear o fluxo e soltar em pequenas quantidades de água, num ritmo cadenciado, acionada pela própria pressão da rede. Desta forma, a vibração se propaga ao longo das paredes do tubo por longa distância. Outro aparelho presente é o receptor de sinal, responsável por captar estas vibrações no solo e as ilustra em um indicador de escala. Por comparação em pontos próximos, determina-se a localização do tubo com boa precisão.

A válvula propagadora de ondas pode ser instalada no local do hidrômetro ou em uma torneira no ramal de alimentação do imóvel, devido sua dimensão e peso serem pequenos e seus componentes internos simplificados (GONÇALVES, et. al., 2007).

Figura 11 – Componentes de válvulas

Fonte: Gonçalves, et. al., 2007

O receptor de sinal pode ser um geofone, entretanto o receptor tipo “bengala” é o mais indicado e mais preciso na localização de uma curva t \hat{e} , de uma ligação clandestina ou de um ramal perdido.

2.4.10 Medidores de pressão

As pressões no manômetro são medidas em kgf/cm² (quilograma força por centímetro quadrado), porém essa também pode ser obtida por mca (metro de coluna de água). Com estes aparelhos que podem ter ou não sistemas de telemetria, estabelece-se uma rotina de cálculos para aferição do volume histórico consumido x pressão histórica de rede, avaliando assim eventuais alívios de rede, que configuram entre outras possíveis ocorrências de vazamento ou perdas de água.

2.5.Experiências de Concessionárias brasileiras

Os sistemas de distribuição e abastecimento de água no Brasil operam, normalmente, com uma perda física de água elevada no panorama nacional, caracterizando uma gestão ineficiente. Como justificativa a essa problemática, estudos indicam problemas na gestão das atividades de manutenção da rede, pressão excessivas na rede, redes de abastecimentos apresentando má qualidade e inexistência de controle de vazamentos.

Porém, o desconhecimento das causas, das componentes e da quantificação das perdas tanto físicas quanto econômicas é o principal problema para o estabelecimento de programas eficientes de redução na maioria das cidades brasileiras, favorecendo o desempenho negativo das empresas de saneamento. Os números das próprias agências comprovam este fato, por exemplo, através do índice de perdas de faturamento (IPF), (Tabela 5) onde as capitais nordestinas apresentam latentes problemas de escassez (CARVALHO, 2004).

Tabela 5: Índices IPF das capitais nordestinas

Capital	IPF
Maceió/AL	57,80%
Salvador/BA	52,90%
Fortaleza/CE	35,50%
São Luis/MA	63,00%
João Pessoa/PB	46,70%
Recife/PE	53,90%
Natal/RN	46,60%

Fonte: Serviço Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2000)

O índice de perdas de água no aspecto nacional também é muito elevado. Atualmente, as concessionárias de saneamento calculam que 44,66% do volume produzido é perdido. Das 27 companhias estaduais de água e esgotamento sanitário, apenas 5 delas conseguiram diminuir suas perdas para valores inferiores a 30%, enquanto em 125 concessionárias municipais, o volume perdido de água varia entre 30% e 70% (CARMO, 2009).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS realizou um levantamento abrangendo 318 prestadores de serviços de distribuição e abastecimento de água no país, no período de nove anos de 4.193 municípios brasileiros, significando 75,4% das cidades brasileiras, ou ainda, 92,5% da população urbana nacional, constatando que as perdas de água no faturamento estão na ordem de 39,0% dados estes que ainda preocupam as companhias de saneamento no Brasil (CARMO, 2009).

Cabe destacar, entretanto, que as causas dos fatores dessas perdas econômicas e físicas variam muito dependendo do local onde está localizada a rede de distribuição. Por exemplo, os dados da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), apresentados pelo vice-presidente de distribuição na região metropolitana de São Paulo, Francisco, para campos em 2001, onde os vazamentos representavam 48%; as micromedicação 20%; a gestão comercial 12%; a macromedicação 11% e as favelas (comunidades)

representavam 9% das perdas totais. Destaca-se entre elas o consumo autorizado não faturado e não medido ocorrido em favelas (comunidades) e áreas irregularmente ocupadas, por tratar-se de um volume significativo nas metrópoles brasileiras, cuja regularização e urbanização dependem da ação do “poder concedente”, cujo custo geralmente é arcado pela companhia de saneamento e nem sempre considerado adequadamente na composição das tarifas (CARVALHO, 2004).

Nesse contexto, o estudo desenvolvido por VIEGAS (2006), consistiu na implantação de um projeto piloto de redução de perdas de água e de desperdício de energia elétrica no sistema de abastecimento de Rio Pardo, que apresentava para o ano de 2005 perdas de água na ordem de 353L/Lig/Dia sem a adoção de nenhuma ação sistemática de redução de perdas ao longo do tempo e é operado pela CORSAN, que compõe o PMG - Programa de Modernização de Gestão. Como resultado do plano de ação, foi obtida uma redução de perdas reais e aparentes simultaneamente aos projetos de redução de perdas reais (melhoria da qualidade dos reparos, controle e gerenciamento de pressão, controle de vazamentos ativos e melhoria da infraestrutura instalada) e do combate às perdas aparentes (melhoria da medição, revisão do cadastro comercial, combate às fraudes e ligações irregulares).

Um exemplo do impacto que o percentual de perdas físicas de água gera para as concessionárias de distribuição e abastecimento de água é o caso da cidade de Maceió, conhecida como o “paraíso das águas” e administrada pela empresa CASAL (Companhia de Abastecimento de Água e Saneamento de Alagoas), pois essa junto ao fato de estar localizado na região nordeste do país sofre grandes perdas físicas e econômicas entre a captação de água e os hidrômetros dos logradouros, superando em alguns pontos 54% da renda (CARVALHO, 2004).

O controle de perdas físicas de águas no sistema de distribuição na região Metropolitana de São Paulo está baseado nas seguintes atividades: Controle da pressão na rede de distribuição com VRPs; Pesquisa de vazamentos não visíveis em áreas críticas; Agilidade e qualidade no reparo de vazamentos; Troca seletiva de redes e ramais; Melhoria da qualidade dos materiais, Melhoria do sistema de macromedição; Troca otimizada de hidrômetros; Combate a fraudes em ligações ativas e inativas; Regularização de ligações em favelas e áreas invadidas, entre outras. Resultando na assinatura de um Convênio Sabesp e Secretaria Municipal da Habitação da Prefeitura de São Paulo, onde o índice de perdas na distribuição (IPD) apresentou quedas significativas, com estabilidade nas perdas tanto aparentes como reais. (YOSHIMOTO, 2006)

Ainda de acordo com Yoshimoto, grande parte das leituras errôneas se da devido a fraudes nos hidrômetros que fazem a leitura das micromedições, ou seja, caracterizando crime, no caso dos hidrômetros, figura 12, e situação irregular, porém sob respaldo legal de direito ao acesso a água, como bem maior a vida, figura 13.

Figura 12 - Ilustração das irregularidades encontradas na região metropolitana de São Paulo.



Fonte: YOSHIMOTO, 2006

Figura 13 - Ilustração de irregularidades nas ligações em favelas e áreas invadidas



Fonte: YOSHIMOTO, 2006

Paralelamente, o estudo desenvolvido por Santos (2007), cujo objetivo principal foi investigar os níveis de perdas físicas de água do sistema de abastecimento de Rondonópolis, que é operado pela concessionária municipal “Serviço de Saneamento Ambiental de Rondonópolis – SANEAR”, usando para tantos dados de produção e consumo de água em Rondonópolis, referentes ao período de 1998 a 2003, fornecidos pelo SANEAR em nível das zonas de produção de água da cidade. Com o auxílio desses dados foram realizadas análises estatísticas e aplicação dos recursos de geoprocessamento, avaliando e

espacializando os índices de perdas físicas de água desse sistema, e a ocorrência de variações sazonais nos níveis de consumo de água. Como principais resultados, foram obtidos a estacionalidade nos níveis de consumo de água da cidade, (entre os meses de janeiro a abril valores inferiores a 5% da média anual e no período de agosto a dezembro, 5% superior à média); ocorrência de índices elevados de perdas físicas de água no sistema de abastecimento de Rondonópolis os quais superaram a 50% na maioria das 16 zonas de produção de água da cidade, e em duas delas chegaram a cerca de 90%. Na média as perdas de água foram de 55% para os dois anos analisados, ou seja, superando os índices de perdas verificados em nível Nacional (40%) e da Região Centro-Oeste (44%).

Analisando o desempenho da Companhia de Saneamento Básico de Minas Gerais (COPASA) entre os anos de 1983 a 1994, dentro de 11 projetos, observa-se a adoção de inúmeras estratégias visando à fomentação de um programa de controle de perdas em seus sistemas, tais como: a Micromedição; Macromedição; Pitometria; Cadastro Técnico; Cadastro de Consumidores; Redução e Controle de Vazamentos e Sistema de Atendimento Integrado; Desenvolvimento da Manutenção e Reabilitação de Unidades Operacionais; Melhoria de Ramais Prediais; Desenvolvimento do Controle Operacional; Desenvolvimento da Qualidade de Materiais e Equipamentos; Desenvolvimento de Critérios de Projetos e Obras. Como resultado, é possível observar o comparativo realizado entre os índices de perdas medidas obtidos na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e de todo o estado de Minas Gerais, onde a COPASA/RMBH, tem-se uma melhor evolução do controle de perdas (índice de perda medida) com relação ao restante do estado mineiro, onde a aplicação das ações de controle ainda não é tão sistêmica.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Definição de Bases de Dados

Para a proposta de correlação de dados focados em perdas físicas de água nos sistemas de distribuição, os mesmos foram extraídos dos bancos de dados dos seguintes órgãos:

- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Ministério das Cidades – relatórios de divulgação periódicos, denominados Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (Última publicação ano de 2015);
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), vinculado ao Ministério do Planejamento;
- Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (IFDM)

Os dados extraídos dessas bases foram analisados e, no que coube, receberam tratamento estatístico de acordo com as projeções e correlações definidas no desenvolvimento do trabalho.

3.2 Áreas estudadas

Para que fosse possível uma análise representativa de dados sobre perdas físicas de água, houve a necessidade de se examinar regiões ou unidades da federação que contribuíssem com o SNIS em um período significativo de tempo.

Discutiu-se, também, a importância de que diferentes realidades nacionais pudessem ser retratadas na presente análise, realidades climáticas, populacionais e socioeconômicas.

Para tanto, a escolha de regiões metropolitanas em diferentes estados foi decisiva para que escolhesse as regiões de Campinas, Curitiba e Fortaleza.

4. CARACTERIZAÇÃO DAS REGIÕES METROPOLITANAS AVALIADAS

4.1 Região Metropolitana de Campinas

Situada no estado de São Paulo, com uma população de 1,08 milhões (IBGE, 2017) a cidade de Campinas, instaurada na segunda metade do século XIX, viu com a integração das ferrovias e o crescimento da economia cafeeira, o crescimento conjunto da maior parte dos municípios que viriam a integrar a RMC (NASCIMENTO, 2016).

A lei complementar estadual nº 870 de 19 de junho do ano 2000, efetiva a instauração da região metropolitana, administrada pela Agência Metropolitana de Campinas, uma autarquia estadual segundo a Lei nº 946/2003, vinculada à Secretaria de Desenvolvimento Metropolitano. (CAMPINAS, 2018). A definição das cidades segue a relacionada no SNIS, segundo o campo série histórica.

A região metropolitana de Campinas - RMC abrange a seguinte área representada geograficamente na figura 14, cujos municípios estão listados na tabela 6

Figura 14: Região Metropolitana de Campinas



Fonte: IBGE, 2013.

Quando a sua avaliação no FIRJAN (Edição 2015 – Ano Base 2013) se consolida em 0,8418.

Tabela 6 - Região Metropolitana de Campinas / SP

Municípios	População 2016	Área 2014(em km²)	Densidade Demográfica 2015 (hab/km²)
Americana	231.621	133,91	1.729,65
Artur Nogueira	51.126	178,02	287,18
Campinas	1.173.370	794,57	1.476,73
Cosmópolis	67.960	154,66	439,40
Engenheiro Coelho	19.059	109,94	173,36
Holambra	13.698	65,57	208,88
Hortolândia	219.039	62,41	3.509,34
Indaiatuba	235.367	311,54	755,48
Itatiba	114.912	322,27	356,56
Jaguariúna	53.069	141,39	375,34
Monte Mor	56.335	240,56	234,18
Nova Odessa	57.504	73,78	779,31
Paulínia	100.128	138,77	721,50
Pedreira	46.094	108,81	423,59
Santa Bárbara D'Oeste	191.024	271,03	704,81
Santo Antônio de Posse	22.597	154,13	146,61
Sumaré	269.522	153,46	1.756,24
Valinhos	122.163	148,53	822,44
Vinhedo	73.855	81,60	905,04
Total	3.118.443	3.645	

Fonte: EMPLASA, 2017 (Adaptado pelo Autor)

O menor município em área territorial da região é o de Hortolândia, com seus 62,41 km², já o município de Campinas tem tanto a maior área territorial com 794,57 km² como a maior população que ultrapassa 1 milhão de pessoas. O menor município em população da região é o de Holambra com 13,698 pessoas.

4.2 Região Metropolitana de Curitiba

Situada no estado do Paraná, a RM (Região metropolitana) de Curitiba, foi criada através da Lei Complementar Federal nº 14/73, e abrangia 14 municípios. Em 1974 através da lei estadual nº 6.517, fora determinado como gestora a COMEC (Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba), que é vinculada à secretaria de estado e do Desenvolvimento Urbano do Paraná (SEDU) e tal configuração foi mantida até a década de 1990, quando ocorreram desmembramentos e emancipações, porém só foram efetivamente alterados os limites no ano de 1994. Após este ano ocorreram mais 4 alterações de limites até a atual configuração que se mantém a luz da lei estadual nº 139 de 2011. A definição das cidades segue como a relacionada no SNIS, no campo série histórica. A RM de Curitiba hoje se configura de acordo com a figura 15.

Figura 15 – Região Metropolitana de Curitiba



Fonte: IBGE, 2013.

A região metropolitana de Curitiba segundo dados do IBGE para o ano de 2017 contemplava 3.174.201 habitantes e em relação ao desenvolvimento a região figura um ótimo local em torno da cidade Curitiba pontuada em 0,8618 segundo o índice FIRJAN de desenvolvimento. E tem como distribuída sua população conforme a tabela 7. Sendo a cidade mais populosa a capital do estado, porém a maior cidade em área territorial o município de Lapa com mais de 2 mil km².

Tabela 7 - Região Metropolitana de Curitiba / PR

Municípios	População 2010	Área 2015 (km²)	Densidade demográfica 2010 (hab/km²)
Adrianópolis	6.376	1.349,33	4,7
Agudos do Sul	8.270	192,26	43
Almirante Tamandaré	103.204	194,74	530
Araucária	119.123	469,24	253,9
Balsa Nova	11.300	348,93	32,4
Bocaiúva do Sul	10.987	826,34	13,3
Campina Grande do Sul	38.769	539,25	71,9
Campo Largo	112.377	1.243,55	89,9
Campo Magro	24.843	275,35	90,2
Cerro Azul	16.938	1.341,19	12,6
Colombo	212.967	197,79	1.076,70
Contenda	15.891	299,04	53,1
Curitiba	1.751.907	435,04	4.027,00
Doutor Ulysses	5.727	781,45	7,3
Fazenda Rio Grande	81.675	116,68	700
Itaperuçu	23.887	320,58	76
Lapa	44.932	2.093,86	21,5
Mandirituba	22.220	379,18	58,6
Pinhais	117.008	60,87	1.922,40
Piraquara	93.207	227,04	410,5

Fonte: IBGE, 2017 (Adaptado pelo Autor)

Cont. Tabela 7 - Região Metropolitana de Curitiba / PR

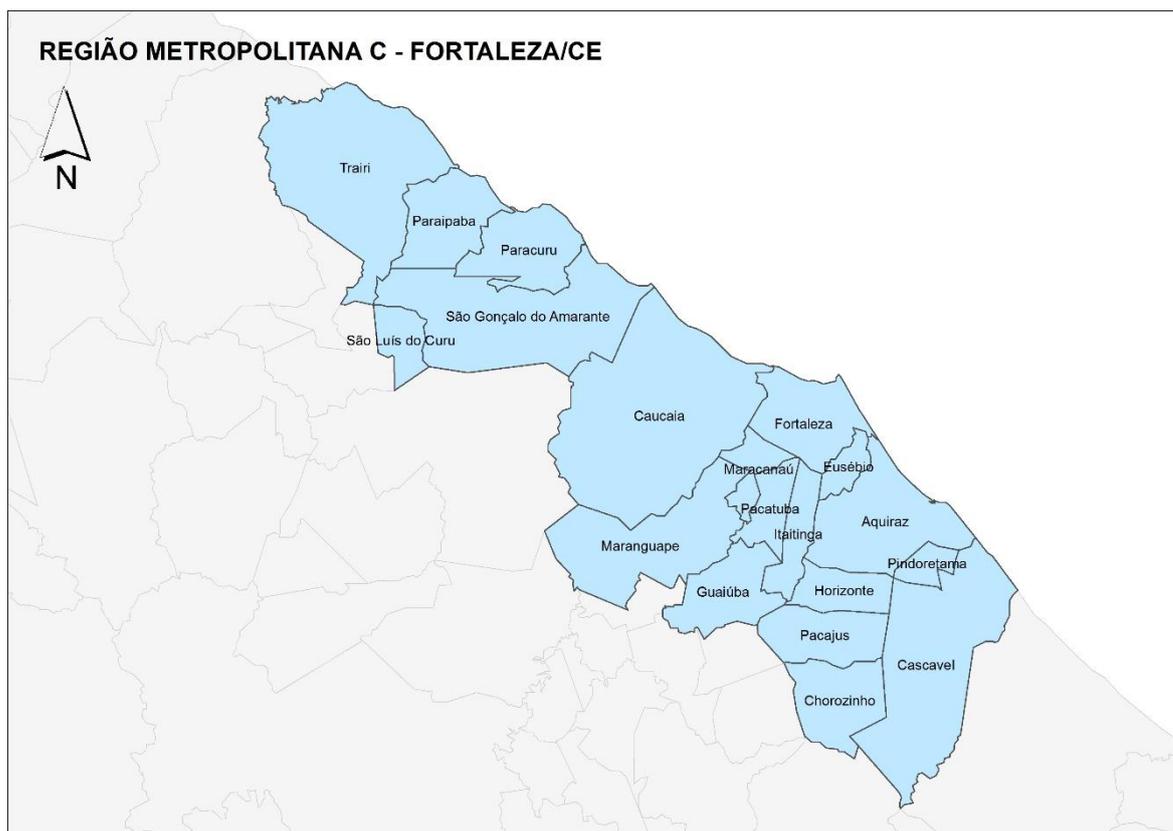
Municípios	População 2010	Área 2015 (km ²)	Densidade demográfica 2010 (hab/km ²)
Quatro Barras	19.851	180,47	110
Quitandinha	17.089	447,02	38,2
Rio Branco do Sul	30.650	812,29	37,7
São José dos Pinhais	264.210	946,44	279,2
Tijucas do Sul	14.537	671,89	21,6
Tunas do Paraná	6.256	668,48	9,4
Total	3.174.201	15.419	

Fonte: IBGE, 2017 (Adaptado pelo Autor)

4.3 Região Metropolitana de Fortaleza

Sancionada em 1973 a Lei Complementar Federal nº 14, fora estabelecido a primeira limítrofe da região metropolitana de fortaleza, composta então por 15 municípios e área de 5.795 km². A região metropolitana de Fortaleza se localiza na região Nordeste do Brasil, caracterizada por altas temperaturas, devido à proximidade com a linha do equador, desta forma, se enquadra na região de maior temperatura média anual dentre as três analisadas. (IPEA). A definição das cidades segue a relacionada no SNIS, no campo série histórica.

A região também conta com o menor índice Firjan de desenvolvimento das três, consolidado em 0,7410 (Edição 2015 – Ano-base 2013). As cidades e limites estão ilustrados na figura 16 e a população existente é distribuída conforme a tabela 8.

Figura 16 – Região Metropolitana de Fortaleza

Fonte: IBGE, 2013.

A Capital do Estado, Fortaleza, apresenta a maior densidade populacional, representando o pivo central de desenvolvimento e economia no estado do Ceará, porém a cidade com maior área territorial é sua vizinha Caucaia. A região metropolitana de Fortaleza representa a maior população dentre as três regiões analisadas.

Tabela 8 - Região Metropolitana de Fortaleza / CE

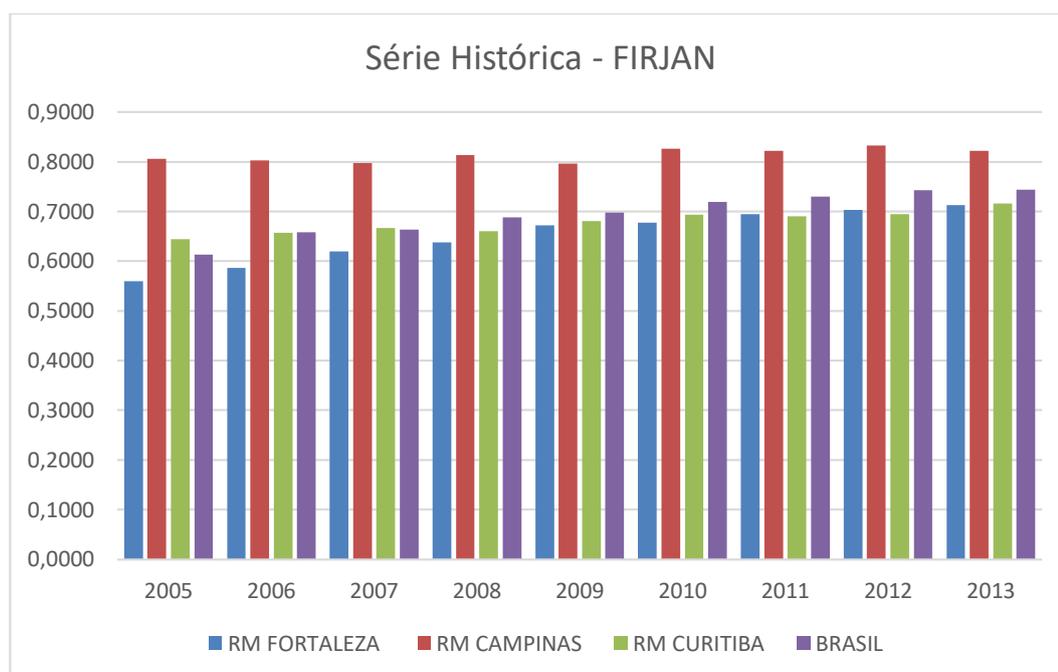
Municípios	População 2010	Área da unidade territorial 2015 (km²)	Densidade demográfica 2010 (hab/km²)
Aquiraz	72.628	482,38	150,5
Cascavel	66.142	835	79
Caucaia	325.441	1.228,51	264,9
Chorozinho	18.915	278,41	67,9
Eusébio	46.033	79,01	582,7
Fortaleza	2.452.185	314,93	7.786,40
Guaiúba	24.091	267,13	90,2
Horizonte	55.187	159,98	345
Itaitinga	35.817	151,63	236,5
Maracanaú	209.057	106,65	1.960,30
Maranguape	113.561	590,87	192,2
Pacajus	61.838	254,64	243
Pacatuba	72.299	131,99	547,7
Pindoretama	18.683	75,14	256,1
São Gonçalo do Amarante	43.890	834,45	52,6
Total	3.615.767	5.791	

Fonte: IBGE, 2017 (Adaptado pelo Autor)

4.4 Avaliação do desenvolvimento municipal das regiões

No presente estudo tomou-se como indicador para avaliação de desenvolvimento o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal, IFDM, calculado pelo sistema FIRJAN, com base exclusivamente em dados estatísticos públicos oficiais, disponibilizados pelos ministérios do Trabalho, Educação e Saúde.

A figura 17 foi elaborada com base na série histórica existente desde a implantação do IFDM.

Figura 17 – Série Histórica FIRJAN

Fonte: Autor, 2018.

Verificou-se, portanto, que a RM de Campinas claramente se apresenta, desde o início da série histórica, com melhor desenvolvimento municipal das regiões analisadas e, inclusive, da média da Federação, a região de Curitiba vem na sequência com melhor desenvolvimento nos anos de 2005 a 2010 e 2013, e pôr fim a região de Fortaleza. Ficando então em ranking histórico, Campinas, Curitiba e Fortaleza.

4.5 Indicadores avaliados

A etapa de seleção dos indicadores de perdas de água teve como finalidade principal eliminar aqueles considerados irrelevantes para a pesquisa. A seleção foi realizada com base na existência dos mesmos nos bancos de dados anteriormente descritos, reconhecidos e aceitos mundialmente com base na *International Water Association*, IWA assim apresentados:

A) Índice de Perdas na Distribuição (%)

$$\frac{AG006+AG018-AG010-AG024}{AG006+AG018-AG024} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

AG006: Volume de água produzido

AG010: Volume de água consumido

AG018: Volume de água tratada importado

AG024: Volume de serviço

Fonte: SNIS – 2015

A ser obtido para cada cidade analisada e ao fim compilada média proporcional para cada região metropolitana.

B) Índice de Perdas por Ligação (l/dia/lig.)

$$\frac{AG006+AG018-AG010-AG024}{AG002*} \times \frac{1.000.000}{365} \quad (2)$$

Onde:

AG002: Quantidade de ligações ativas de água

AG006: Volume de água produzido

AG010: Volume de água consumido

AG018: Volume de água tratada importado

AG024: Volume de serviço

Fonte: SNIS - 2015

O índice deve ser obtido, para cada cidade analisada, e ao fim compilada a média ponderada com relação ao número de ligações para cada cidade dentro da respectiva região metropolitana, para que a resultante seja o indicador referente a cada RM.

C) Índice Bruto de Perdas Lineares (m³/dia/km.)

$$\frac{AG006+AG018-AG010-AG024}{AG005*} \times \frac{1.000}{365} \quad (3)$$

Onde:

AG005: Extensão da rede de água

AG006: Volume de água produzido

AG010: Volume de água consumido

AG018: Volume de água tratada importado

AG024: Volume de serviço

Fonte: SNIS – 2015

O índice deve ser obtido, para cada cidade analisada, e ao fim compilada a média ponderada com relação ao tamanho da respectiva rede de cada cidade analisada, para que a resultante seja o indicador referente a cada RM.

4.6 Informações analisadas

A) Extensão da rede de água - Expressa em Km (Referência SNIS - AG005)

Refere-se ao comprimento total da malha de distribuição, incluso caminhamentos de abastecimento, sub adutoras e redes distribuidoras, excluído ramais prediais, no último dia do ano de referência. Com este dado visamos analisar o crescimento das regiões metropolitanas e respectivamente das cidades nelas circunscritas, para análise da RM será somado os comprimentos das redes das cidades ano a ano.

B) Quantidade de ligações ativas de água – Expressa em Ligações (Referencia SNIS - AG003)

Refere-se ao número de ligações ativas de água conectadas à rede pública, providas ou não de hidrômetro, que estivessem em pleno funcionamento no último dia do ano de referência. Com este dado visamos ponderar o indicador de Perdas por ligação – IN051 na geração da resultante de cada RM.

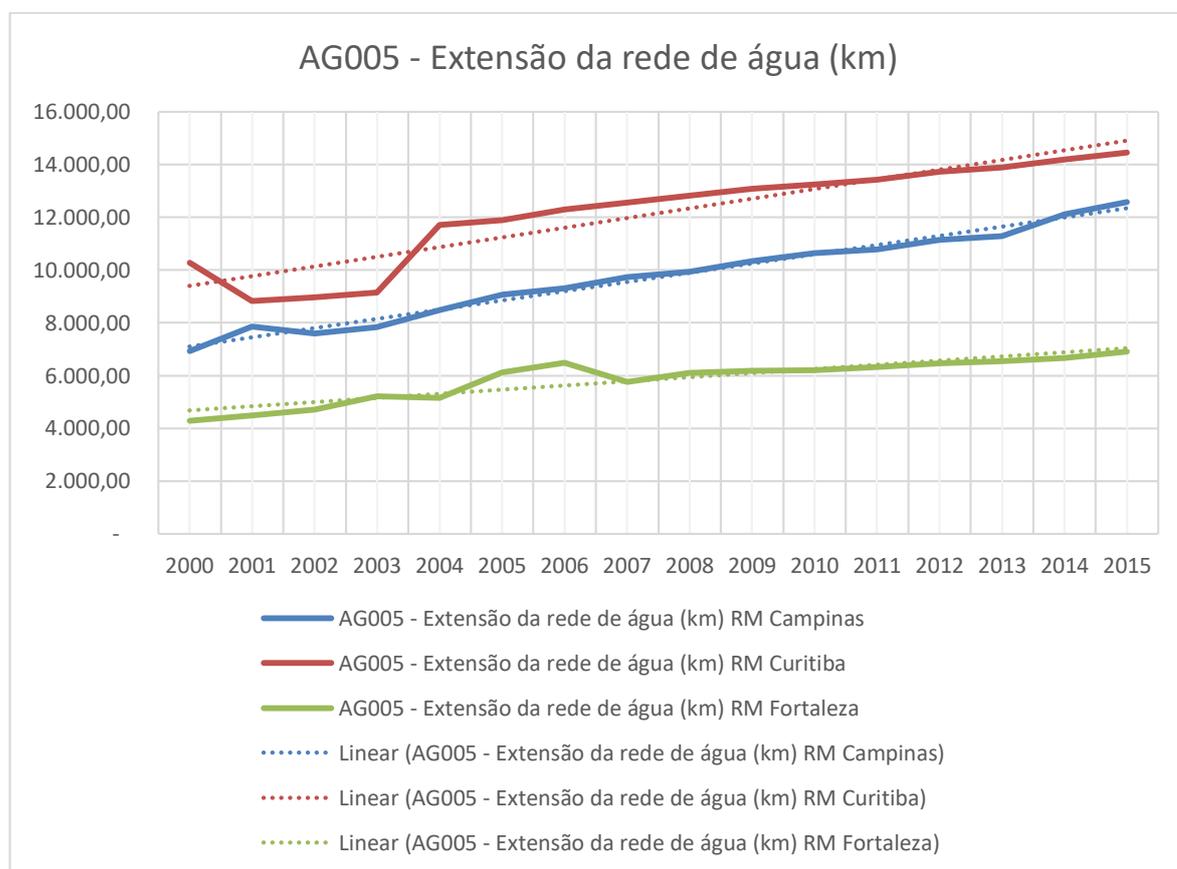
C) Quantidade de economias ativas de água – Expressa em Ligações (Referencia SNIS – AG002)

Refere-se ao número de economias ativas de água, sendo uma economia referente a uma conta de água, ou seja, praticamente uma por residência, que estivessem em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.

4.6.1 Evolução da extensão das redes de água

A figura 18 representa a evolução da extensão da rede de água para as RM's analisadas.

Figura 18 – Extensão da rede de água



Fonte: Autor, 2018.

Por meio deste comportamento gráfico, asseverou-se o crescimento das redes nas regiões analisadas, para a região de Curitiba que figura em primeira posição no gráfico que é análoga também à primeira posição em área territorial. Que em sua totalidade é cinco vezes maior que o de Fortaleza, que está em segundo lugar, o que comprova a necessidade

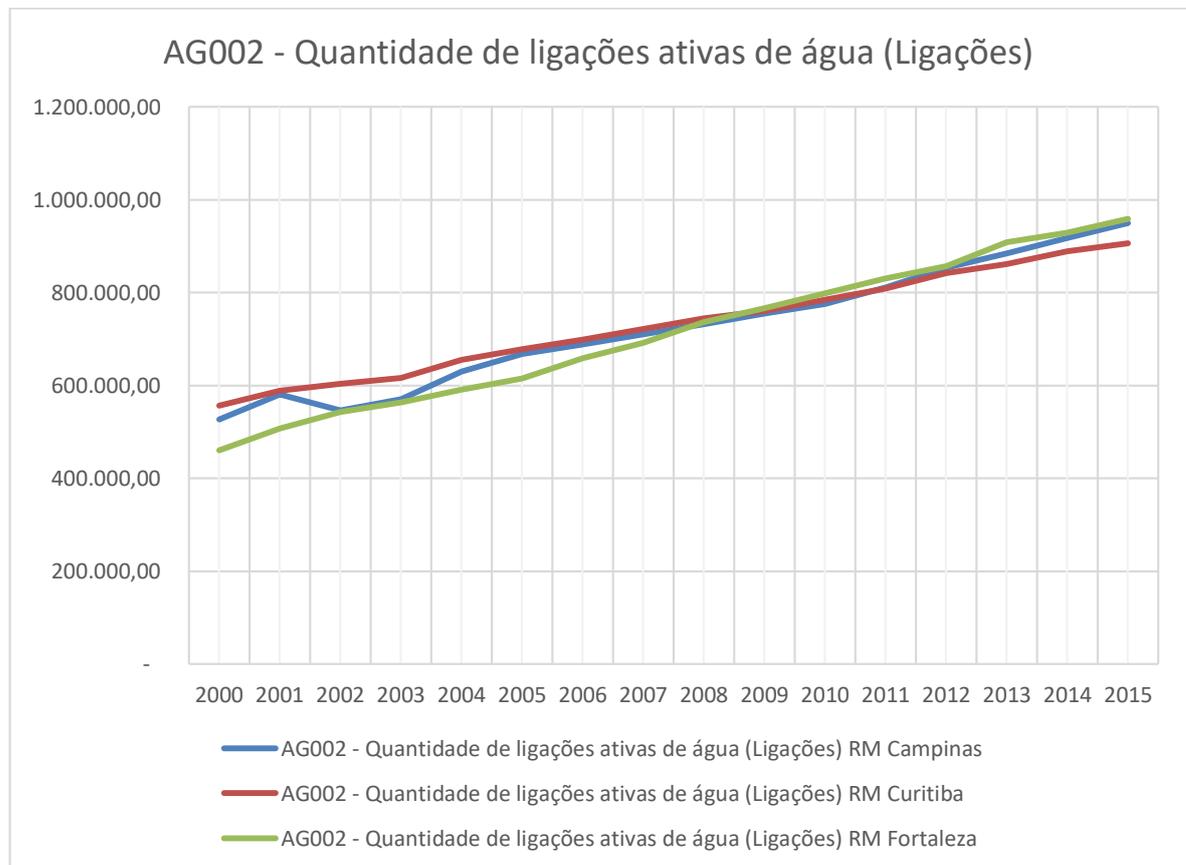
de uma maior extensão rede de abastecimento urbano, pois com maior área, mais longo o transporte. Porém inverso a tal lógica observa-se para região metropolitana de Fortaleza, que em área territorial é maior que a região de Campinas, porém apresenta menor extensão de redes de abastecimento.

Entretanto todas as RM's analisadas seguem em tendência de crescimento, e praticamente dobraram a extensão de suas redes de distribuição do ano 2000 para o ano de 2015.

4.6.2 Evolução quanto ao número de ligações ativas

A figura 19 representa a evolução do número de ligações ativas para as RM's analisadas.

Figura 19 – Ligações ativas de água

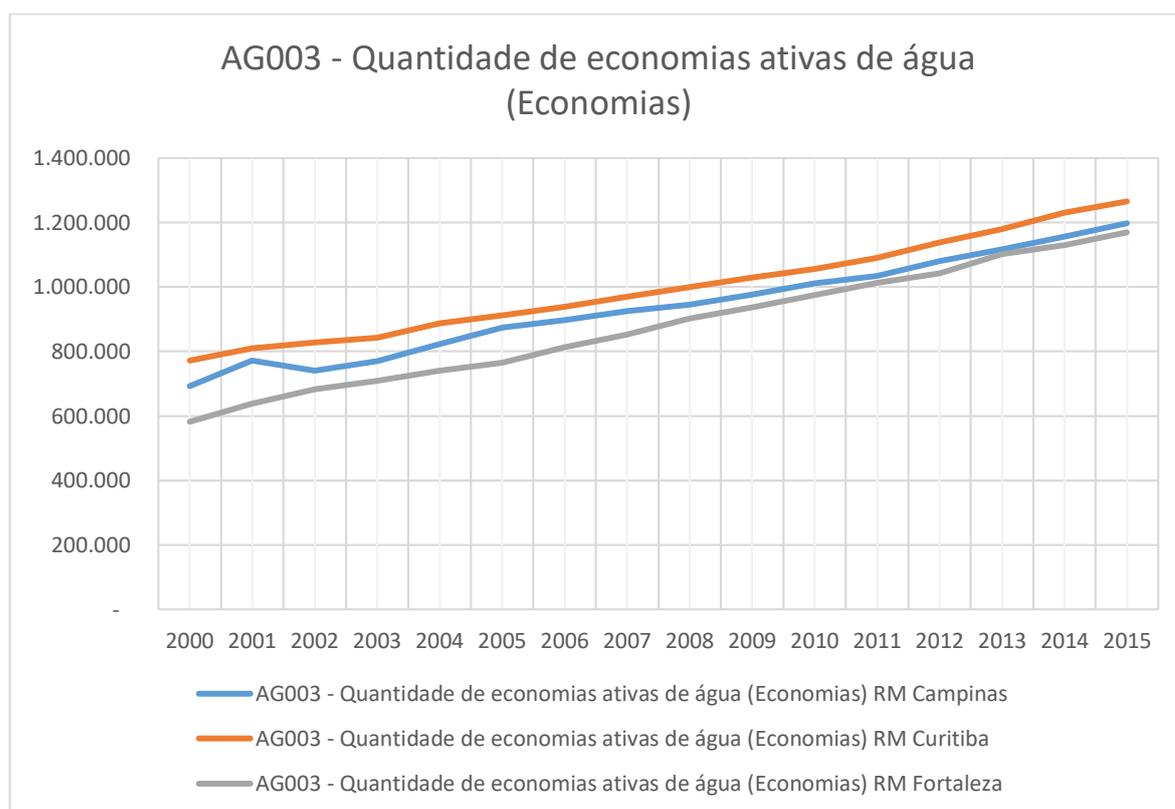


Em relação ao número de ligações ativas, todas as regiões se posicionam de forma quase que igualitária, não diferindo portanto, expressivamente, área territorial, densidade ou quantidade de população. Constatase uma equivalência para as mesmas.

4.6.3 Evolução quanto ao número de economias ativas

A figura 20 representa a evolução do número de economias ativas para as RM's analisadas.

Figura 20 – Quantidade de economias ativas de água



Fonte: Autor, 2018.

No caso de economias ativas de água, o crescimento segue similar ao número de ligações ativas, de forma equivalente para todas as regiões.

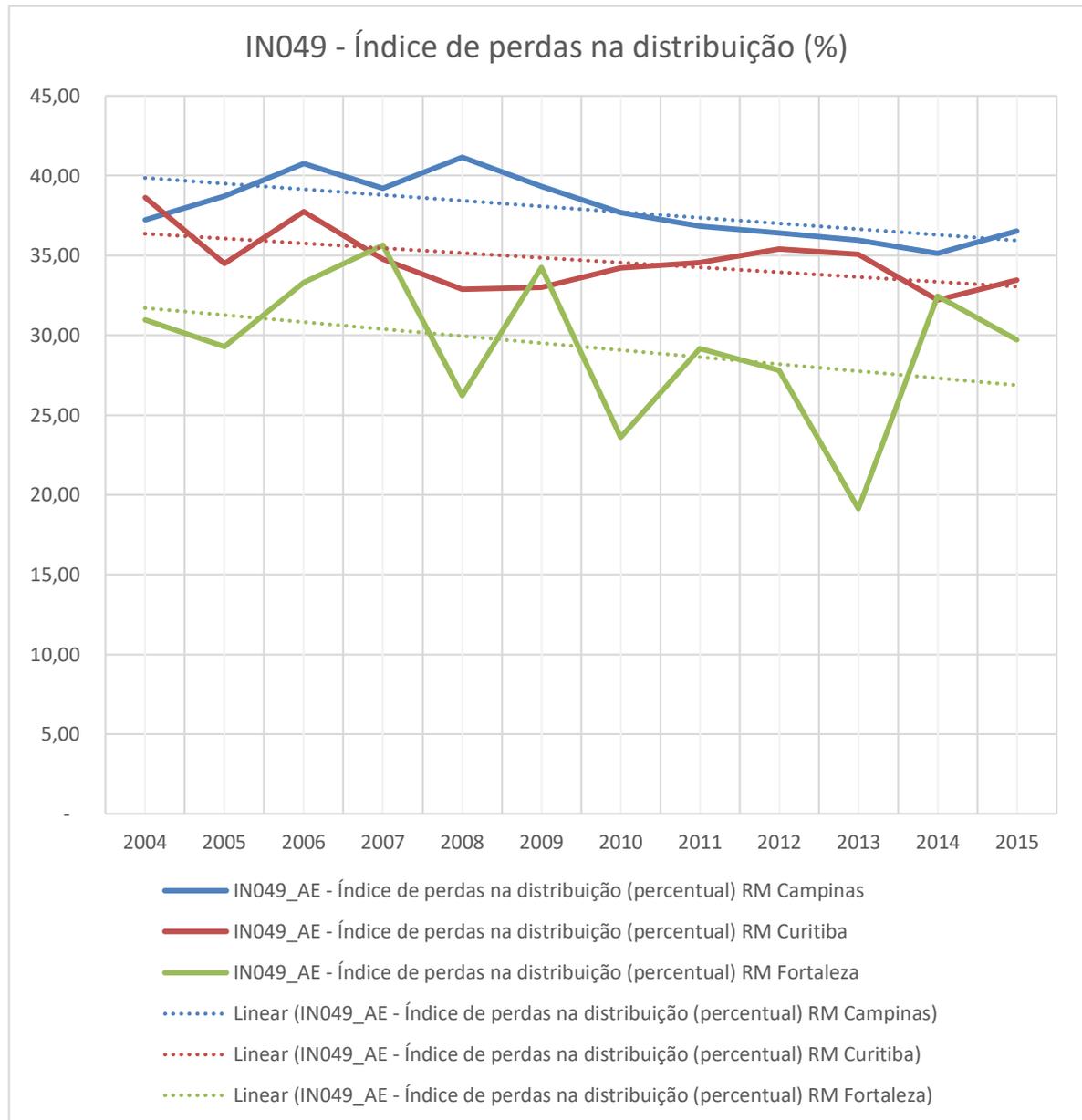
Verifica-se, de forma geral, o notório crescimento dos sistemas analisados, com destaque para o primeiro gráfico, mesmo havendo um sistema de distribuição significativo maior para a RM de Curitiba, segundo a literatura, os maiores índices de perdas de água são nas ligações, índice em que pelo número de ligações ativas de água, verifica-se que segue com certa equivalência.

5. DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DOS INDICADORES

5.1 Índice de Perdas na Distribuição (%)

A figura 21 representa a evolução do índice das perdas na distribuição para as RM's analisadas.

Figura 21 – Índice de perdas na distribuição (%)



Fonte: Autor, 2018.

Observa-se para o indicador representado na figura 21, a similaridade das RM's Campinas e Curitiba, e uma grande oscilação para RM de Fortaleza, porém a plotagem de

uma linear de tendência para cada região dá-se que todas as RM's se comportam na mesma angulação de queda.

Vê-se claramente que os comportamentos das RM's seguem também em tendência de queda, em relação ao Índice de perdas na distribuição, ainda que de forma suave e não atingindo a relação de crescimento de economias ativas e de redes, ou seja, o crescimento da rede.

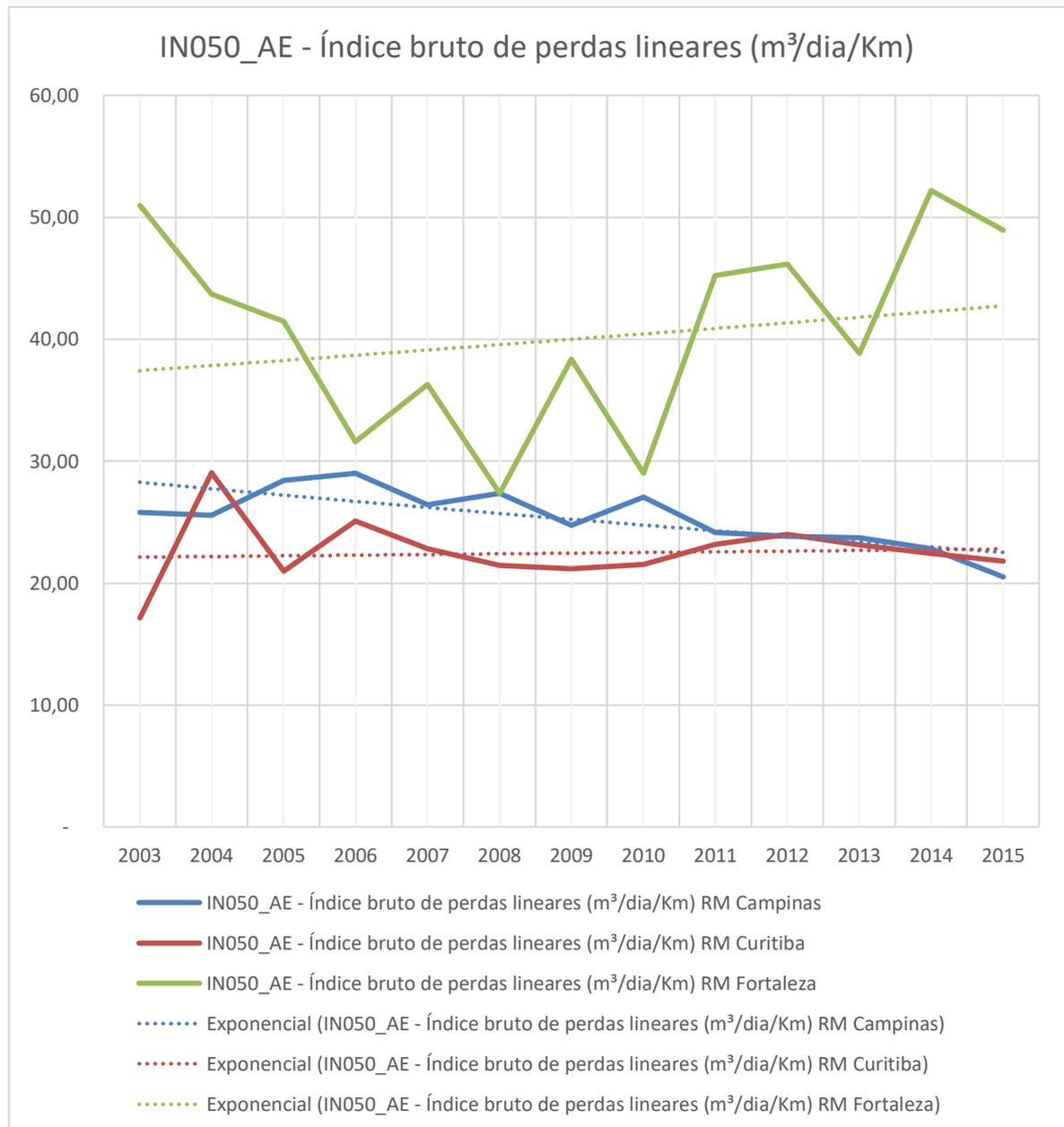
Haja vista que a RM de Fortaleza, no caso a de menor expressividade em termos de crescimento tanto de economias ativas da ordem de 34,46% como de extensão de rede de água da ordem de 11,52%, houve no período de 2005 a 2015 uma diminuição no indicador de perdas de água em cerca de 5%, o que representa menos da metade do aumento na extensão de redes de água.

Se comparado o caso da RM de Campinas no mesmo período houve um salto de 26,91% em economias ativas de água e de 28,02% em extensão de redes de água, mas não chega a 4% a diminuição das perdas de água.

5.2 Índice de bruto de perdas lineares (m³/dia/Km)

A figura 22 representa a evolução do índice das perdas na distribuição para as RM's analisadas.

Figura 22 – Índice bruto de perdas lineares (m³/dia/Km)



Fonte: Autor, 2018.

Observamos para o indicador da figura 22 a clara oscilação para RM de Fortaleza que mesmo vindo em tendência de diminuição, após o ano de 2010 converteu em

crescimento superando o ano de 2003; para as outras regiões de Curitiba e Fortaleza observamos uma pequena diminuição, não superando $20\text{m}^3/\text{dia}/\text{Km}$.

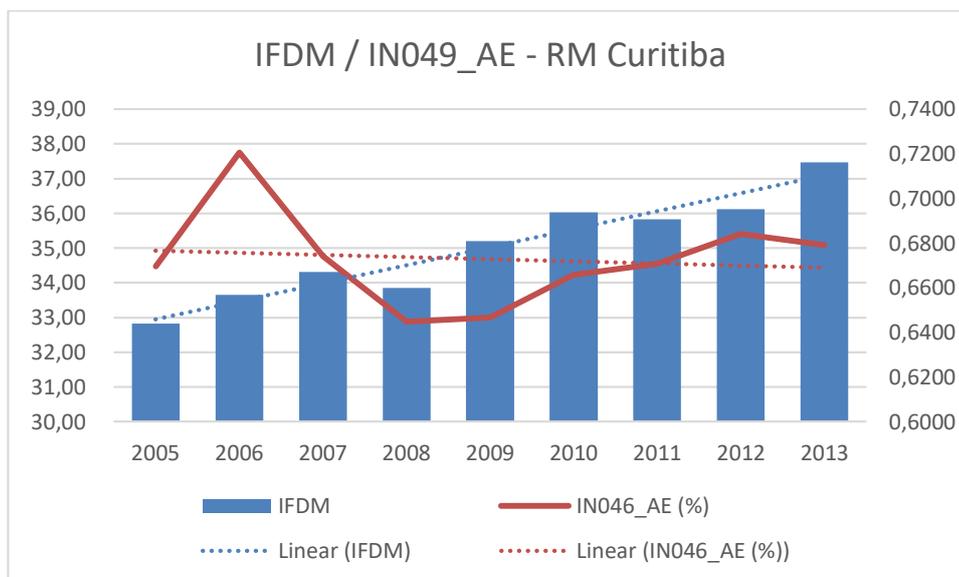
Pela análise de tendência verifica-se que a região de Fortaleza se mostra em crescimento para este indicador alertando, portanto, clara necessidade de ações para combate às perdas, ao passo que a região de Curitiba mesmo com maior extensão de rede, que, invariavelmente, significa maior dificuldade para o controle de perdas, apresenta diminuição desse indicador.

Para a região de Campinas observa-se que a linha de tendência é mais acentuada em angulação de queda no indicador, do que se pode inferir quanto a realizações de ações constantes ao longo do período analisado.

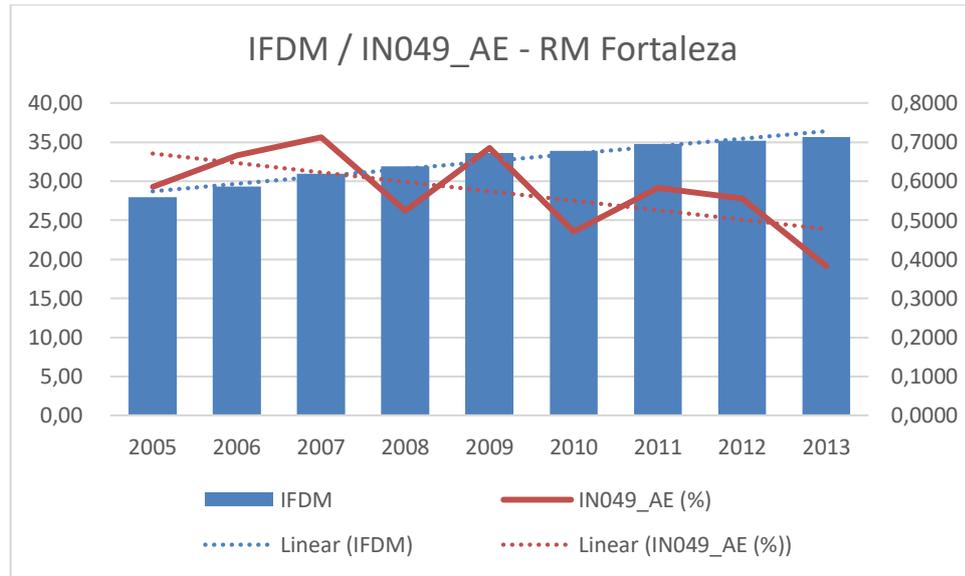
5.3. Correlação de Perdas Físicas e Desenvolvimento Municipal

Correlacionando o índice percentual de perdas físicas de água com índice FIRJAN de desenvolvimento municipal, observou-se que o crescimento do índice de desenvolvimento das regiões vai de encontro com a diminuição do índice de perdas físicas conforme as Figuras 23, 24 e 25.

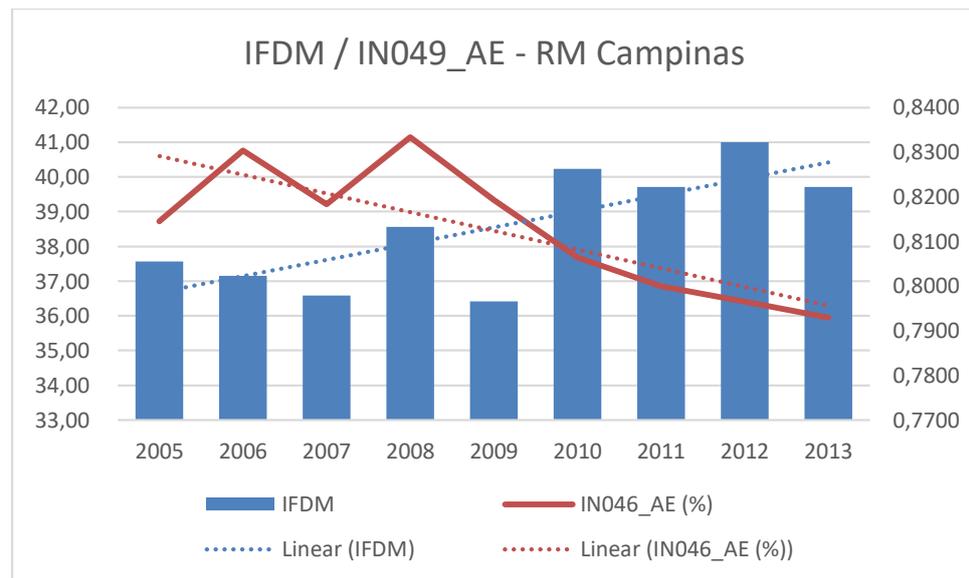
Figura 23 – Correlação FIRJAN x IN049 – Perdas Físicas RM Curitiba



Fonte: Autor, 2018.

Figura 24 - Correlação FIRJAN x IN049 – Perdas Físicas RM Fortaleza

Fonte: Autor, 2018.

Figura 25 - Correlação FIRJAN x IN049 – Perdas Físicas RM Campinas

Fonte: Autor, 2018.

Constata-se, assim, que o desenvolvimento municipal levou à diminuição das perdas físicas de água, mas nessa diminuição há que se considerar que ocorreu a construção de novas redes em função do crescimento e maior adensamento das cidades e que redes novas apresentam menos potencial de vazamentos.

6. CONCLUSÕES

A partir do desenvolvimento deste trabalho e dos resultados obtidos, pode-se concluir que em se tratando de área metropolitana, no caso das aqui analisadas, aplicou-se pelas concessionárias o efetivo combate ao crescimento das perdas físicas de água, uma vez que a tendência natural dos sistemas de distribuição de água é o crescimento das perdas em função do envelhecimento do sistema.

Mas, verificou-se que apesar de ter havido diminuição das perdas ao longo do período analisado, o percentual encontra-se acima dos 30%. Ainda que a região de Fortaleza tenha apresentado um valor menor para o ano de 2015, a análise estatística aponta grande flutuação nos valores de perdas para a região e a linha de tendência, neste caso, se comporta diferente das de Curitiba e Campinas, que juntas trabalham na mesma angulação, demonstrando efetividade no combate às perdas.

Observou-se, ainda, que o crescimento das regiões se deu de forma mais acentuada que a o percentual de diminuição das perdas. As novas redes agora implantadas, por serem novas, apresentam menor índice de perdas, o que contribui para redução das perdas, ou seja, o crescimento das cidades leva ao crescimento de redes que dilui a potencial perda das redes antigas da cidade. Isto se comprova ainda com o indicador IN50 - índice bruto de perdas lineares, onde, as linhas de tendência sofrem pequena diminuição para as regiões de Campinas e Curitiba e sofre com um pequeno crescimento para a região de Fortaleza, o que confirma a proposta acima descrita. O crescimento deste indicador junto com o crescimento das redes demonstra que a diminuição do indicador percentual de perdas se dá devido ao crescimento da cidade. Mesmo assim, confirmou-se a existência de ações no combate às perdas ao observar-se todos os índices IN49 em tendência de queda.

E, por fim, com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que o desenvolvimento socioeconômico das regiões estudadas é proporcional às melhorias nos índices das perdas de água, ou seja, quanto maior o desenvolvimento das cidades menor o percentual de perdas de água.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABASTECIMIENTO. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente - Universidad Politécnica de Valencia Vol. I Num. 1 (1994)

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil -Caderno de Recursos Hídricos 2, Brasília, ANA, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. 2011 (Brasil). Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. -- Brasília: ANA,2011. 154 p

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. A questão da Água no Nordeste. Brasília, 2012.

ALEGRE, H.; COELHO, S. T.; ALMEIDA, M. DO C. E VIEIRA, P. Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Instituto da Água, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2005.

BÉJAR; J.A. C. & TZATCHKOV, V. G. Modelación de redes de distribución de agua con suministro intermitente. Revista Tecnologia y Ciencias del Agua, vol III, num 2, pp 5-25, abril-junio de 2012.

CAMPINAS. AGEMCAMP - AGÊNCIA METROPOLITANA DE CAMPINAS. O que é a RMC. Disponível em: <<http://www.agemcamp.sp.gov.br/rmc/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

CARMO, F. J. J. do Vazamentos na rede de distribuição de água: impactos no faturamento e no consumo de energia elétrica do 3º setor de abastecimento de água da região metropolitana de Belém. Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2009.

CARVALHO, F. S. DE; PEPLAU; G. R.; CARVALHO, G. S. DE & PEDROSA, V. DE A.. Estudos sobre perdas no sistema de abastecimento de água da cidade de Maceió, VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004.

CONTRERAS, F.G. e Thornton, J. INFLUENCIA DE LA PRESIÓN EN LAS PÉRDIDAS DE AGUA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. XXX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Punta del este – Uruguay, 2006.

EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S/A. (Org.). Região Metropolitana de Campinas. 2017. Disponível em: <<https://www.emplasa.sp.gov.br/RMC>>. Acesso em: 11 abr. 2017

FAPESP. Unesp desenvolve detector de vazamentos de água para a Sabesp, 2017. Disponível em: http://pesquisaparinovacao.fapesp.br/unesp_desenvolve_detector_de_vazamentos_de_agua_para_a_sabesp/267. Acesso em: 03/04/2018

FRAEB, J. Reducción de pérdidas de agua en las Islas Galápagos, Desarrollo de capacidades para el ahorro sostenible de agua. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Domicilios de la Sociedad: Eschborn, Bonn y Berlin, Alemania Unidad organizativa “Cooperaciones de desarrollo con el sector privado (develoPPP.de)”, 2013.

FGS BRASIL, 2018. Disponível em: www.fgsbrasil.com.br. Acesso em: 03/04/2018.

FUENTES – MARILES, O.A.; PALMA NAVA, A. e RODRIGUEZ-VÁSQUEZ, K. Estimación y localización de fugas en una red de tuberías de agua potable usando algoritmos genéticos. Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol. XII, Núm. 2, 2011, 235-242

GLDS, 2018. Disponível em: www.glds.com.br_Acesso em: 01/04/2018.

JUNTOS PELA ÁGUA. BOAS PRÁTICAS REDUZEM PERDAS DE ÁGUA TRATADA EM ATÉ TRÊS VEZES, 2016. Disponível em: <https://www.juntospelaagua.com.br/2016/07/14/desperdicio-de-agua-boas-praticas-reduzem-perdas/>. Acesso em: 29/03/2018

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/Secretaria de Recursos Hídricos. Plano Nacional de Recursos Hídricos: histórico do CEEIB e dos Comitês de Estudos das Bacias Hidrográficas. Brasília/DF, 2005.

NASCIMENTO, Ederson. (2016). Região Metropolitana de Campinas (SP): cinco décadas de expansão urbana. Boletim Campineiro de Geografia. 6. 67-91.

PÉREZ-VIDAL, A.; AMÉZQUITA-MARROQUÍN, C. P.; TORRES-LOZADA, P. Identificación y priorización de peligros como herramientas de la gestión del riesgo en sistemas de distribución de agua potable, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia Ingeniería y Universidad, vol. 16, núm. 2, pp. 449-469, julio-diciembre, 2012.

PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). (2007). Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008 – Combater as alterações climáticas: Solidariedade humana num mundo dividido. Nova York: PNUD.

POMPEU, Cid Tomanik. Direito de Águas no Brasil. Editora Revista dos Tribunais — São Paulo— SP – Brasil, 2006.

RODRIGUEZ, A. H. Cálculo del porcentaje de perdidas por fugas en la red de agua potable en Celaya, GTO. Universidad Popular Autonoma del Estado de Puebla, 2006.

SAITO, C.H. A política nacional de recursos hídricos e o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. Educação Ambiental – curso básico à distância: Gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas sob a ótica da educação ambiental. MMA, 2001, v. 5, 2ª edição ampliada.

SANCHEZ, L.D.; FLOREZ, M.E.; MEJIA, P.A. Caracterización de pérdidas de agua en el sistema de distribución del acueduto “El Retiro”. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la vida y el Desarrollo Sostenible, 2003.

SANTOS, J. W. M. C. Aplicação do geoprocessamento na avaliação e espacialização das perdas físicas de água do sistema de abastecimento público de Rondonópolis – MT. Sociedade & Natureza, Uberlândia, 19 (2): 51-67, dez. 2007.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: out, 2017.

SONDEQ, 2018. Disponível em: www.sondeq.com.br. Acesso em: 29/03/2018.

TARDELLI FILHO, Jairo. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. Revista DAE, São Paulo, p.06-20, abr. 2016. Quadrimestral.

TONETO JUNIOR, RUDINEI. Estudo Fundace. Perdas de água: entraves ao avanço do saneamento básico e riscos de agravamento à escassez hídrica no Brasil. Fundace, Ribeirão Preto, v. 1, n. 1, p.1-52, fev. 2013.

TUCCI, Carlos E. M. Gestão da água no Brasil– Brasília: UNESCO, 2001.156p.

VAZAMENTOS NÃO VISÍVEIS, VOL. 3 IN: Guias práticos – Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, 2007.

VIEGAS; J. V.; STUCK; J.;ALMEIDA, J. F. Projeto piloto de redução de perdas de água e de energia elétrica no sistema de Rio Pardo. VI SEREA - Seminário Ibero americano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil), 2006.

YOSHIMOTO, P. M. Programa de Redução de Perdas na Região Metropolitana de São Paulo, SABESP, 2006.

8. APENDICES

APENDICE A – INDICADORES POR REGIÃO METROPOLITANA

Ano de Referência	AG003 - Quantidade de economias ativas de água (Economias)		
	RM Campinas	RM Curitiba	RM Fortaleza
2000	692.883	771.966,00	582.176,00
2001	771.496	809.509,00	638.358,00
2002	740.392	827.367,00	683.285,00
2003	769.280	842.297,00	709.080,00
2004	823.055	886.347,00	739.515,00
2005	874.557	911.683,00	765.897,00
2006	897.639	938.525,00	813.695,00
2007	925.665	969.885,00	851.773,00
2008	944.619	998.849,00	901.781,00
2009	975.782	1.029.736,00	936.658,00
2010	1.010.619	1.055.790,00	974.659,00
2011	1.034.511	1.090.677,00	1.012.873,00
2012	1.079.514	1.137.998,00	1.042.301,00
2013	1.117.101	1.179.685,00	1.102.080,00
2014	1.155.347	1.230.417,00	1.129.594,00
2015	1.196.551	1.264.554,00	1.168.535,00

Ano de Referência	IN051_AE - Índice de perdas por ligação (l/dia/lig.)		
	RM Campinas	RM Curitiba	RM Fortaleza
2000	398,97		
2001	519,54	272,93	158,83
2002	398,11	695,12	
2003	326,74	211,42	118,59
2004	382,80	301,65	234,01
2005	403,87	241,88	219,27
2006	428,24	285,82	239,35
2007	418,30	236,58	244,09
2008	414,87	223,47	150,69
2009	384,12	213,69	504,80
2010	372,73	226,88	207,87
2011	367,39	236,78	192,93
2012	356,48	265,46	183,68
2013	347,64	227,98	115,51
2014	324,70	217,18	201,78
2015	299,80	216,70	182,54

Ano de Referência	IN050_AE - Índice bruto de perdas lineares (m ³ /dia/Km)		
	RM Campinas	RM Curitiba	RM Fortaleza
2000	28,78		
2001	33,37	27,65	47,13
2002	27,69		
2003	25,79	17,14	50,99
2004	25,57	29,07	43,71
2005	28,42	20,99	41,48
2006	29,01	25,09	31,60
2007	26,42	22,84	36,31
2008	27,38	21,46	27,39
2009	24,74	21,18	38,38
2010	27,06	21,54	29,02
2011	24,14	23,18	45,22
2012	23,85	24,02	46,15
2013	23,72	23,16	38,85
2014	22,82	22,45	52,18
2015	20,52	21,81	48,95

Ano de Referência	IN049_AE - Índice de perdas na distribuição (percentual)		
	RM Campinas	RM Curitiba	RM Fortaleza
2000	35,92		
2001	42,70	38,62	15,78
2002	37,19	41,43	
2003	30,45	33,09	-14,33
2004	37,22	38,63	30,97
2005	38,72	34,48	29,30
2006	40,77	37,75	33,31
2007	39,21	34,77	35,64
2008	41,15	32,88	26,22
2009	39,33	33,01	34,26
2010	37,68	34,23	23,60
2011	36,85	34,56	29,17
2012	36,41	35,40	27,81
2013	35,94	35,08	19,14
2014	35,13	32,20	32,44
2015	36,52	33,46	29,71

Ano de Referência	IN022_AE - Consumo médio percapita de água (l/hab./dia)		
	RM Campinas	RM Curitiba	RM Fortaleza
2000	196,14		
2001	182,51		
2002	187,16	208,00	
2003	191,20	98,19	103,88
2004	184,18	111,46	88,59
2005	183,19	105,28	94,73
2006	192,39	109,84	81,13
2007	200,72	119,57	107,71
2008	186,15	119,98	110,70
2009	175,07	107,86	98,83
2010	189,31	111,36	111,61
2011	193,32	119,64	103,76
2012	198,39	128,01	102,94
2013	195,86	116,90	114,50
2014	190,51	118,92	121,05
2015	171,48	113,87	121,39

Ano de Referência	AG005 - Extensão da rede de água (km)		
	RM Campinas	RM Curitiba	RM Fortaleza
2000	6.919,17	10.278,19	4.296,00
2001	7.863,69	8.821,19	4.490,00
2002	7.587,00	8.974,00	4.711,00
2003	7.846,34	9.138,20	5.222,00
2004	8.480,95	11.705,50	5.146,00
2005	9.057,71	11.880,50	6.118,00
2006	9.300,55	12.301,50	6.495,00
2007	9.727,73	12.546,70	5.763,00
2008	9.938,58	12.816,03	6.102,00
2009	10.339,87	13.070,00	6.180,00
2010	10.647,35	13.249,15	6.212,00
2011	10.777,88	13.417,07	6.318,50
2012	11.133,30	13.720,82	6.473,02
2013	11.289,49	13.876,90	6.549,00
2014	12.105,23	14.188,92	6.660,54
2015	12.583,87	14.458,43	6.914,89

APENDICE B – INDICE FIRJAN

Informações do Município				Evolução do IFDM Geral		
				2005	2006	2007
Código	Região	UF	Município	Nota	Nota	Nota
230100	Nordeste	CE	Aquiraz	0,5483	0,5607	0,6220
230350	Nordeste	CE	Cascavel	0,5061	0,5623	0,5805
230370	Nordeste	CE	Caucaia	0,6123	0,6253	0,5830
230395	Nordeste	CE	Chorozinho	0,4360	0,4528	0,4829
230428	Nordeste	CE	Eusébio	0,6843	0,7221	0,7510
230440	Nordeste	CE	Fortaleza	0,6191	0,6448	0,6557
230495	Nordeste	CE	Guaiúba	0,5142	0,5395	0,5697
230523	Nordeste	CE	Horizonte	0,5999	0,6025	0,6438
230625	Nordeste	CE	Itaitinga	0,5060	0,5264	0,5355
230765	Nordeste	CE	Maracanaú	0,6283	0,6826	0,7115
230770	Nordeste	CE	Maranguape	0,5401	0,5540	0,6336
230960	Nordeste	CE	Pacajus	0,4958	0,5185	0,5651
230970	Nordeste	CE	Pacatuba	0,5447	0,5976	0,6572
231085	Nordeste	CE	Pindoretama	0,5291	0,5511	0,5884
231240	Nordeste	CE	São Gonçalo do Amarante	0,6273	0,6589	0,7076

Informações do Município				Evolução do IFDM Geral		
				2005	2006	2007
350160	Sudeste	SP	Americana	0,8135	0,8135	0,8186
350380	Sudeste	SP	Artur Nogueira	0,8054	0,7489	0,7284
350950	Sudeste	SP	Campinas	0,8153	0,8257	0,8160
351280	Sudeste	SP	Cosmópolis	0,7348	0,7791	0,6945
351515	Sudeste	SP	Engenheiro Coelho	ND	0,6729	0,7660
351905	Sudeste	SP	Holambra	0,7416	0,7733	0,7897
351907	Sudeste	SP	Hortolândia	0,7628	0,7833	0,7799
352050	Sudeste	SP	Indaiatuba	0,8821	0,8738	0,8786
352340	Sudeste	SP	Itatiba	0,8462	0,8709	0,8591
352470	Sudeste	SP	Jaguariúna	0,8603	0,8463	0,8437
353180	Sudeste	SP	Monte Mor	0,7323	0,7051	0,7270
353340	Sudeste	SP	Nova Odessa	0,8484	0,8227	0,8324
353650	Sudeste	SP	Paulínia	0,8672	0,8643	0,8479
353710	Sudeste	SP	Pedreira	0,8376	0,8536	0,8155
354580	Sudeste	SP	Santa Bárbara d'Oeste	0,7447	0,7690	0,7432
354800	Sudeste	SP	Santo Antônio de Posse	0,7723	0,7865	0,7668
355240	Sudeste	SP	Sumaré	0,7488	0,7549	0,7755
355620	Sudeste	SP	Valinhos	0,8598	0,8504	0,8169
355670	Sudeste	SP	Vinhedo	0,8261	0,8495	0,8593

Informações do Município				Evolução do IFDM Geral		
				2005	2006	2007
410020	Sul	PR	Adrianópolis	0,4361	0,5017	0,5932
410030	Sul	PR	Agudos do Sul	0,5887	0,5334	0,5588
410040	Sul	PR	Almirante Tamandaré	0,6230	0,6609	0,6614
410180	Sul	PR	Araucária	0,7689	0,7897	0,7668
410230	Sul	PR	Balsa Nova	0,6012	0,6319	0,6263
410310	Sul	PR	Bocaiúva do Sul	0,6141	0,6190	0,6132
410400	Sul	PR	Campina Grande do Sul	0,6791	0,6844	0,7148
410420	Sul	PR	Campo Largo	0,7629	0,7644	0,7256
410425	Sul	PR	Campo Magro	0,6636	0,6490	0,6621
410580	Sul	PR	Colombo	0,7034	0,7228	0,7301
410620	Sul	PR	Contenda	0,6558	0,6211	0,6582
410690	Sul	PR	Curitiba	0,8035	0,8067	0,8273
410765	Sul	PR	Fazenda Rio Grande	0,6573	0,6835	0,6528
411125	Sul	PR	Itaperuçu	0,5007	0,5617	0,6076
411320	Sul	PR	Lapa	0,6808	0,6891	0,6916
411430	Sul	PR	Mandirituba	0,6538	0,7160	0,7295
411915	Sul	PR	Pinhais	0,7873	0,8161	0,7830
411950	Sul	PR	Piraquara	0,5829	0,5480	0,5996
412080	Sul	PR	Quatro Barras	0,7094	0,7714	0,7581
412120	Sul	PR	Quitandinha	0,5560	0,5985	0,6127
412220	Sul	PR	Rio Branco do Sul	0,5577	0,5637	0,5632
412550	Sul	PR	São José dos Pinhais	0,7506	0,7488	0,7973
412760	Sul	PR	Tijucas do Sul	0,5809	0,6280	0,6005
412788	Sul	PR	Tunas do Paraná	0,7146	0,6459	0,6557
412863	Sul	PR	Doutor Ulysses	0,4692	0,4632	0,4854
BRASIL	BRASIL	BR	BRASIL	0,6136	0,6581	0,6637

Informações do Município				Evolução do IFDM Geral		
				2008	2009	2010
Código	Região	UF	Município	Nota	Nota	Nota
230100	Nordeste	CE	Aquiraz	0,6347	0,6720	0,6709
230350	Nordeste	CE	Cascavel	0,5934	0,6362	0,6133
230370	Nordeste	CE	Caucaia	0,6524	0,6620	0,6841
230395	Nordeste	CE	Chorozinho	0,5469	0,5460	0,5729
230428	Nordeste	CE	Eusébio	0,7694	0,8307	0,8395
230440	Nordeste	CE	Fortaleza	0,6869	0,7304	0,7355
230495	Nordeste	CE	Guaiúba	0,6171	0,6434	0,6590
230523	Nordeste	CE	Horizonte	0,6576	0,6625	0,6940
230625	Nordeste	CE	Itaitinga	0,5129	0,6129	0,6123
230765	Nordeste	CE	Maracanaú	0,7112	0,7762	0,7871
230770	Nordeste	CE	Maranguape	0,6299	0,6452	0,6676
230960	Nordeste	CE	Pacajus	0,6343	0,6970	0,6327
230970	Nordeste	CE	Pacatuba	0,6366	0,6290	0,5992
231085	Nordeste	CE	Pindoretama	0,5961	0,6292	0,6133
231240	Nordeste	CE	São Gonçalo do Amarante	0,6891	0,7014	0,7761

Informações do Município				Evolução do IFDM Geral		
				2008	2009	2010
350160	Sudeste	SP	Americana	0,8480	0,8351	0,8616
350380	Sudeste	SP	Artur Nogueira	0,7369	0,7537	0,7629
350950	Sudeste	SP	Campinas	0,8362	0,8426	0,8704
351280	Sudeste	SP	Cosmópolis	0,7612	0,7200	0,7216
351515	Sudeste	SP	Engenheiro Coelho	0,7340	0,7006	0,7224
351905	Sudeste	SP	Holambra	0,8146	0,8279	0,8299
351907	Sudeste	SP	Hortolândia	0,7788	0,8062	0,8176
352050	Sudeste	SP	Indaiatuba	0,8781	0,8683	0,9083
352340	Sudeste	SP	Itatiba	0,8663	0,8450	0,8935
352470	Sudeste	SP	Jaguariúna	0,8567	0,8084	0,8374
353180	Sudeste	SP	Monte Mor	0,7527	0,7500	0,8098
353340	Sudeste	SP	Nova Odessa	0,8604	0,8213	0,8774
353650	Sudeste	SP	Paulínia	0,8850	0,8676	0,8605
353710	Sudeste	SP	Pedreira	0,8431	0,8481	0,8443
354580	Sudeste	SP	Santa Bárbara d'Oeste	0,7832	0,7757	0,8438
354800	Sudeste	SP	Santo Antônio de Posse	0,7625	0,7479	0,7930
355240	Sudeste	SP	Sumaré	0,7813	0,7058	0,7511
355620	Sudeste	SP	Valinhos	0,8179	0,7918	0,8595
355670	Sudeste	SP	Vinhedo	0,8544	0,8195	0,8333

Informações do Município				Evolução do IFDM Geral		
				2008	2009	2010
410020	Sul	PR	Adrianópolis	0,5724	0,5718	0,6419
410030	Sul	PR	Agudos do Sul	0,5362	0,5632	0,5984
410040	Sul	PR	Almirante Tamandaré	0,6452	0,6699	0,6586
410180	Sul	PR	Araucária	0,8013	0,8139	0,8187
410230	Sul	PR	Balsa Nova	0,6752	0,7000	0,7491
410310	Sul	PR	Bocaiúva do Sul	0,6118	0,6337	0,6429
410400	Sul	PR	Campina Grande do Sul	0,6877	0,7344	0,7338
410420	Sul	PR	Campo Largo	0,7341	0,7747	0,8115
410425	Sul	PR	Campo Magro	0,7019	0,6836	0,7273
410580	Sul	PR	Colombo	0,7364	0,7362	0,7573
410620	Sul	PR	Contenda	0,5912	0,6327	0,6507
410690	Sul	PR	Curitiba	0,8328	0,8288	0,8637
410765	Sul	PR	Fazenda Rio Grande	0,6444	0,7042	0,6478
411125	Sul	PR	Itaperuçu	0,5205	0,6208	0,6229
411320	Sul	PR	Lapa	0,6850	0,7191	0,7083
411430	Sul	PR	Mandirituba	0,7127	0,6943	0,7012
411915	Sul	PR	Pinhais	0,7861	0,7720	0,7978
411950	Sul	PR	Piraquara	0,5713	0,6284	0,5448
412080	Sul	PR	Quatro Barras	0,7548	0,7381	0,7844
412120	Sul	PR	Quitandinha	0,6001	0,6080	0,6229
412220	Sul	PR	Rio Branco do Sul	0,6258	0,6005	0,6561
412550	Sul	PR	São José dos Pinhais	0,7846	0,7888	0,7659
412760	Sul	PR	Tijucas do Sul	0,6909	0,6953	0,7121
412788	Sul	PR	Tunas do Paraná	0,5526	0,6131	0,6074
412863	Sul	PR	Doutor Ulysses	0,4413	0,4939	0,5205
BRASIL	BRASIL	BR	BRASIL	0,6885	0,6982	0,7192

Informações do Município				Evolução do IFDM Geral		
				2011	2012	2013
Código	Região	UF	Município	Nota	Nota	Nota
230100	Nordeste	CE	Aquiraz	0,7109	0,7531	0,7833
230350	Nordeste	CE	Cascavel	0,7180	0,6940	0,7098
230370	Nordeste	CE	Caucaia	0,6949	0,6996	0,7154
230395	Nordeste	CE	Chorozinho	0,5852	0,5862	0,5672
230428	Nordeste	CE	Eusébio	0,8516	0,8588	0,8782
230440	Nordeste	CE	Fortaleza	0,7376	0,7488	0,7410
230495	Nordeste	CE	Guaiúba	0,6259	0,6411	0,6475
230523	Nordeste	CE	Horizonte	0,7125	0,7147	0,7246
230625	Nordeste	CE	Itaitinga	0,6231	0,6423	0,6692
230765	Nordeste	CE	Maracanaú	0,7793	0,7965	0,7946
230770	Nordeste	CE	Maranguape	0,6607	0,6957	0,6814
230960	Nordeste	CE	Pacajus	0,6758	0,6745	0,6769
230970	Nordeste	CE	Pacatuba	0,6036	0,6424	0,6640
231085	Nordeste	CE	Pindoretama	0,6650	0,6598	0,6917
231240	Nordeste	CE	São Gonçalo do Amarante	0,7767	0,7401	0,7416

Informações do Município				Evolução do IFDM Geral		
				2011	2012	2013
350160	Sudeste	SP	Americana	0,8552	0,8668	0,8614
350380	Sudeste	SP	Artur Nogueira	0,7393	0,7655	0,7795
350950	Sudeste	SP	Campinas	0,8702	0,8622	0,8418
351280	Sudeste	SP	Cosmópolis	0,7165	0,7628	0,7512
351515	Sudeste	SP	Engenheiro Coelho	0,7578	0,7498	0,7356
351905	Sudeste	SP	Holambra	0,8316	0,8277	0,8019
351907	Sudeste	SP	Hortolândia	0,8404	0,8358	0,8179
352050	Sudeste	SP	Indaiatuba	0,8969	0,8885	0,9009
352340	Sudeste	SP	Itatiba	0,8851	0,8757	0,8630
352470	Sudeste	SP	Jaguariúna	0,8561	0,8809	0,8622
353180	Sudeste	SP	Monte Mor	0,8132	0,7972	0,7470
353340	Sudeste	SP	Nova Odessa	0,8361	0,8603	0,8417
353650	Sudeste	SP	Paulínia	0,8297	0,8520	0,8005
353710	Sudeste	SP	Pedreira	0,8322	0,8194	0,8478
354580	Sudeste	SP	Santa Bárbara d'Oeste	0,8106	0,8219	0,8212
354800	Sudeste	SP	Santo Antônio de Posse	0,7588	0,7929	0,8077
355240	Sudeste	SP	Sumaré	0,7533	0,8053	0,7869
355620	Sudeste	SP	Valinhos	0,8399	0,8455	0,8535
355670	Sudeste	SP	Vinhedo	0,8985	0,9023	0,8994

Informações do Município				Evolução do IFDM Geral		
				2011	2012	2013
410020	Sul	PR	Adrianópolis	0,6187	0,6873	0,7114
410030	Sul	PR	Agudos do Sul	0,5498	0,5986	0,6428
410040	Sul	PR	Almirante Tamandaré	0,6872	0,6918	0,6934
410180	Sul	PR	Araucária	0,8076	0,7425	0,7487
410230	Sul	PR	Balsa Nova	0,7414	0,7275	0,7649
410310	Sul	PR	Bocaiúva do Sul	0,6003	0,6439	0,6543
410400	Sul	PR	Campina Grande do Sul	0,7380	0,7239	0,7370
410420	Sul	PR	Campo Largo	0,8174	0,7854	0,8259
410425	Sul	PR	Campo Magro	0,6669	0,7300	0,7427
410580	Sul	PR	Colombo	0,7688	0,7659	0,7636
410620	Sul	PR	Contenda	0,6256	0,6479	0,6936
410690	Sul	PR	Curitiba	0,8678	0,8496	0,8618
410765	Sul	PR	Fazenda Rio Grande	0,7061	0,7426	0,7578
411125	Sul	PR	Itaperuçu	0,6080	0,5739	0,5837
411320	Sul	PR	Lapa	0,7052	0,7070	0,7284
411430	Sul	PR	Mandirituba	0,7163	0,6882	0,7046
411915	Sul	PR	Pinhais	0,7801	0,8166	0,8228
411950	Sul	PR	Piraquara	0,6022	0,5562	0,5738
412080	Sul	PR	Quatro Barras	0,7816	0,7791	0,7556
412120	Sul	PR	Quitandinha	0,6450	0,6618	0,6958
412220	Sul	PR	Rio Branco do Sul	0,6368	0,6381	0,6633
412550	Sul	PR	São José dos Pinhais	0,7720	0,7818	0,7865
412760	Sul	PR	Tijucas do Sul	0,7202	0,7461	0,7650
412788	Sul	PR	Tunas do Paraná	0,6230	0,6339	0,6891
412863	Sul	PR	Doutor Ulysses	0,4806	0,4583	0,5366
BRASIL	BRASIL	BR	BRASIL	0,7303	0,7427	0,7441

Evolução do IFDM Geral				
Local	RM - FOR.	RM - CAMP.	RM - CUR.	BR
2005	0,5594	0,8055	0,6441	0,6136
2006	0,5866	0,8023	0,6568	0,6581
2007	0,6192	0,7978	0,6670	0,6637
2008	0,6379	0,8132	0,6599	0,6885
2009	0,6716	0,7966	0,6808	0,6982
2010	0,6772	0,8262	0,6938	0,7192
2011	0,6947	0,8222	0,6907	0,7303
2012	0,7032	0,8322	0,6951	0,7427
2013	0,7124	0,8222	0,7161	0,7441