

FUNDAÇÃO ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO

ERIC CERQUEIRA CAROZZI

**Avaliação de modelo para determinação do nível econômico de perdas de
água como referência para o estabelecimento de metas**

SÃO PAULO

2020

Eric Cerqueira Carozzi

Avaliação de modelo para determinação do nível econômico de perdas de água como referência para o estabelecimento de metas

Artigo apresentado à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de *Master in Business Administration* em Saneamento Ambiental, sob a orientação do professor Dr. Francisco de Assis Souza Dantas.

SÃO PAULO

2020

Biblioteca FESPSP – Catalogação-na-Publicação (CIP)

363.6

C293a Carozzi, Eric Cerqueira.

Avaliação de modelo para determinação do nível econômico de perdas de água como referência para o estabelecimento de metas / Eric Cerqueira Carozzi. – 2020.

33 p. : il. ; 30 cm.

Orientador: Professor Dr. Francisco de Assis Souza Dantas.

Trabalho de Conclusão de Curso (*Master in Business Administration em Saneamento Ambiental*) – Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo.

Bibliografia: p. 31-33.

1. Nível econômico de perdas de água. 2. Gerenciamento de perdas de água. 3. Metas de perdas I. Dantas, Francisco de Assis Souza. II. Título.

CDD 23. : Água – Problemas sociais e serviços 363.6

Elaborada por Éderson Ferreira Crispim CRB-8/9724

Eric Cerqueira Carozzi

Avaliação de modelo para determinação do nível econômico de perdas de água como referência para o estabelecimento de metas

Artigo apresentado à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de *Master in Business Administration* em Saneamento Ambiental, sob a orientação do professor Dr. Francisco de Assis Souza Dantas.

Data da aprovação:

___/___/_____

Banca Examinadora:

Nome do (a) professor (a), titulação,
Instituição e assinatura.

Nome do (a) professor (a), titulação,
Instituição e assinatura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Francisco de Assis Dantas, e à tutora, professora Tathiana Chicarino, pelos comentários, correções e recomendações, que propiciaram o aprimoramento deste trabalho.

Agradeço à Cecília M. Hassegawa, pelo seu suporte na identificação de fontes de inúmeros dados requeridos para a aplicação do modelo estudado.

Agradeço ao Jairo Tardelli Filho, pelo compartilhamento de conhecimentos e de documentos para a pesquisa bibliográfica.

Agradeço ao Antônio Rodrigues da Grela, pelo compartilhamento de experiências operacionais no combate a perdas e apoio na obtenção dos dados de campo necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao especialista Allan Lambert que, há vários anos, com todo seu domínio e lucidez sobre o tema, por duas semanas integrais compartilhou conhecimentos essenciais que possibilitaram o meu desenvolvimento na área de controle de perdas.

Agradeço à minha esposa, Regina Corrêa, pela paciência, compreensão e apoio, durante o período de árduo desenvolvimento deste trabalho, principalmente nesses difíceis tempos de pandemia e quarentena.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação e desenvolvimento.

E agradeço a Deus, pela minha vida, saúde e forças para superar esse e todos os demais desafios.

RESUMO

O nível de perdas de água num sistema de abastecimento é uma das principais referências da eficiência dos seus operadores. O controle das perdas de água é um grande desafio e, no Brasil, ainda não há uma metodologia para o estabelecimento criterioso de metas de redução de perdas. O nível econômico de perdas, aquele em que o custo do esforço adicional de combate a perdas é igual ao custo de produção da água que seria economizada ou da receita que seria recuperada por esse esforço, é uma importante referência para a definição dessas metas, tanto para as concessionárias quanto para as agências reguladoras. O objetivo deste trabalho é avaliar a aplicabilidade e a consistência de um modelo de determinação dos níveis econômicos de perdas reais (físicas) e aparentes (comerciais), a partir de sua aplicação em quatro sistemas de abastecimento com elevado nível de eficiência em controle de perdas, e verificar o quão próximos esses sistemas estão dos seus níveis econômicos. Para tanto, os dados requeridos para a utilização do modelo são levantados, a partir de consulta a relatórios e sistemas de informação, e são aplicados ao seu equacionamento. O modelo não contempla todas as ações de combate a perdas, mas os resultados obtidos mostram que ele é aplicável aos sistemas estudados e confirmam sua elevada eficiência, estando próximos a seus níveis econômicos. Também revelam que o modelo tem baixa sensibilidade às variações dos valores dos principais dados de entrada. E evidenciam a importância do controle, em separado, de cada uma das parcelas de perdas reais e aparentes.

Palavras-chave: Nível econômico de perdas de água. Gerenciamento de perdas de água. Metas de perdas.

ABSTRACT

The level of water losses in a supply system is one of the main references for the efficiency of its operators. The control of water losses is a major challenge and, in Brazil, there is still no methodology for the careful establishment of loss reduction goals. The economic level of losses, at which the cost of the additional effort to combat losses is equal to the cost of producing the water that would be saved or the revenue that would be recovered by that effort, is an important reference for defining these goals, both for the utilities and for the regulatory agencies. The objective of this paper is to evaluate the applicability and consistency of a model for determining the economic levels of real (physical) and apparent (commercial) losses, from its application in four supply systems with a high level of efficiency in loss control, and check how close these systems are to their economic levels. For that, the data required for the use of the model are collected, from consultation with reports and information systems, and are applied to its equation. The model does not include all actions to combat losses, but the results obtained show that it is applicable to the systems studied and confirm their high efficiency, being close to their economic levels. They also reveal that the model has low sensitivity to variations in the values of the main input data. And they highlight the importance of separately controlling each of the real and apparent losses.

Keywords: Economic level of water loss. Water loss management. Water Loss targets.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	CONCEITOS SOBRE PERDAS DE ÁGUA, METAS E NÍVEL ECONÔMICO .	11
2.1	Perdas de água em sistemas de abastecimento e ações de controle	11
2.2	Indicadores de perdas	15
2.3	A complexidade da definição de metas de redução de perdas	17
2.4	Referências para a avaliação do nível econômico de perdas.....	18
3	APLICAÇÃO DO MODELO DE (WYATT, 2010)	20
3.1	O equacionamento proposto.....	20
3.2	A seleção dos municípios e o levantamento dos dados requeridos	21
3.3	Determinação dos níveis econômicos e análise dos resultados.....	22
3.4	Discussão da aplicação do modelo e do estabelecimento de metas	28
4	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

O uso dos recursos hídricos tem se tornado, cada vez mais, um tema prioritário na sociedade moderna. A baixa disponibilidade de água doce acessível ao homem é agravada pelos impactos das mudanças climáticas nos padrões de precipitação e na sua distribuição territorial, o que afeta o perfil temporal das vazões dos rios (ANA, 2016, p. 15). Isso tem levado ao aumento dos conflitos pelos seus usos múltiplos, até mesmo no Brasil (ESTADÃO, 2020, p. 3), onde a demanda por água teve um crescimento de cerca de 80% nas duas últimas décadas, com previsão de aumento de 24% até 2030 (ANA, 2018, p. 29).

Esse cenário torna urgente a adequada conservação e o uso eficiente dos recursos hídricos, com a redução de desperdícios como, por exemplo, as perdas de água nos sistemas de abastecimento. No Brasil, em média, os sistemas de abastecimento perderam 38,5% do volume de água produzida em 2018 (SNS, 2019, p. 82). Assim, torna-se fundamental a definição de **metas de redução de perdas de água** e a realização das ações necessárias para o seu alcance.

No entanto, a definição dessas metas é uma tarefa bastante complexa, em função: da abrangência do tema e a variedade de partes interessadas (*stakeholders*); dos vários tipos e causas das perdas, que dependem tanto da condição da infraestrutura, como da eficiência operacional e comercial das concessionárias; da variedade de ações para seu controle; e da dificuldade de quantificação dos volumes de perdas que podem ser recuperados por essas ações.

Portanto, é importante utilizar uma metodologia para o estabelecimento de metas ao mesmo tempo desafiadoras e que tenham viabilidade técnica e econômica. Essa metodologia pode ser muito útil não apenas para as concessionárias, mas também para as agências reguladoras e para os poderes concedentes, na elaboração de seus Planos Municipais de Saneamento Básico.

Conforme (AWWA, 2009, p. 83), as ações de controle de perdas seguem a **lei dos retornos decrescentes**. As perdas de água não podem ser completamente eliminadas e, quanto menor o nível das perdas, mais recursos são necessários para reduzi-las, até um ponto denominado **nível econômico de perdas**, em que o custo do esforço adicional de combate às perdas é igual ao custo de produção da água que seria economizada por esse esforço (PEARSON, 2019, p. 46).

Por esse motivo, é essencial determinar o nível econômico como referência para a definição das metas. Em países desenvolvidos, como a Inglaterra, com a regulação mais avançada, a agência reguladora já considera o nível econômico na definição dessas metas (EUROPEAN UNION, 2015, p. 40). Porém, no Brasil ainda não há uma metodologia estabelecida para este fim.¹

¹ Um exemplo dessa lacuna foi a forma de definição do Nível Eficiente de Perdas ou Perdas Regulatórias (o nível de perdas considerado aceitável e cujos custos são remunerados na tarifa) pela Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo - ARSESP, na 2ª Revisão Tarifária Ordinária - RTO da SABESP, ciclo 2017/20 (ARSESP, 2018). Pela falta de uma metodologia mais adequada, a agência definiu a meta regulatória com base em *benchmarking* de prestadores de serviços de água com abrangência regional, mesmo tendo concluído que, na sua metodologia de *clusterização* das empresas, “a SABESP forma um *cluster* exclusivo”. A meta não foi estabelecida em função de características específicas da SABESP, como condição da infraestrutura, custos das ações necessárias para alcançar tal meta, valores das tarifas e dos custos de produção da água etc. Além disso, o indicador em litros/ligação/dia utilizado nesse *benchmarking* só é recomendado para acompanhar a evolução das perdas num mesmo sistema, e não para comparar diferentes sistemas (EUROPEAN UNION, 2015, p. 35). Para a 3ª RTO, a ARSESP estuda adotar o nível econômico como referência de meta regulatória, a partir de um modelo adaptado de (WYATT, 2010), cujo original é avaliado neste trabalho.

O objetivo deste trabalho é analisar um modelo² de determinação do nível econômico de perdas que seja aplicável a sistemas de abastecimento nacionais, de modo a fornecer referências para o estabelecimento de metas de redução de perdas de água.

Neste caso, o modelo deve atender a requisitos que podem diferir dos de países desenvolvidos, tais como: permitir avaliar, não apenas o nível econômico de perdas reais por vazamentos, mais usual nos modelos aplicados em países desenvolvidos, mas também o nível econômico de perdas aparentes ou comerciais, como a submedição dos hidrômetros e os furtos de água, mais expressivos em países em desenvolvimento; requerer dados que tenham viabilidade de obtenção, com confiabilidade aceitável; e abranger as diversas ações de combate às perdas.

Para tanto, neste estudo, inicialmente é feito um levantamento da fundamentação conceitual relacionada às perdas de água em sistemas de abastecimento, abrangendo: suas definições e causas; as principais ações para seu controle; indicadores; e os principais aspectos relacionados ao estabelecimento de metas. Também são abordados os conceitos e metodologias para determinação do nível econômico de perdas, com a escolha de um modelo para avaliação.

Neste trabalho, é selecionado, para avaliação, o modelo desenvolvido por (WYATT, 2010), em função de suas características apresentadas mais adiante na seção 3. O equacionamento proposto nesse modelo é, então, elaborado em uma planilha eletrônica e são identificados os dados requeridos para sua utilização.

Para essa aplicação, são escolhidos quatro municípios de pequeno porte. Essa escolha é motivada pela maior viabilidade de obtenção dos dados requeridos: em função do bom nível de controle e da qualidade do registro de informações feito pelos responsáveis por esses sistemas; e devido ao fato da concessionária que os opera ser a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, que é uma empresa estatal, sendo esses dados acessíveis por não serem classificados como informações sigilosas. Outro critério para a seleção desses municípios é a sua elevada eficiência operacional, com baixos níveis de perdas. Isso permite verificar a aderência dos resultados gerados pelo modelo à realidade desses sistemas e confirmar o quão próximos eles estão de seus níveis econômicos.

A partir da escolha desses municípios, os dados requeridos para a aplicação do modelo selecionado são levantados a partir de consulta a relatórios gerenciais e a sistemas de informação da concessionária. Nessa etapa é avaliada a viabilidade de obtenção desses dados.

Os dados obtidos são lançados na planilha eletrônica previamente elaborada, que fornece os níveis econômicos de perdas reais e aparentes dos quatro municípios. Os resultados são comparados aos seus atuais níveis de perdas. Isso permite avaliar a consistência dos resultados, além da proximidade dos níveis de perdas desses municípios aos respectivos níveis econômicos.

Adicionalmente, é realizada uma análise de sensibilidade dos resultados gerados pelo modelo às variações dos valores dos dados de entrada que apresentam maiores incertezas.

Finalmente, é feita uma avaliação da aplicabilidade do modelo como referência para a definição de metas de redução de perdas.

² Representação simplificada e abstrata de fenômeno ou situação concreta e que serve de referência para a observação, estudo ou análise (FERREIRA, 2014).

2 CONCEITOS SOBRE PERDAS DE ÁGUA, METAS E NÍVEL ECONÔMICO

2.1 Perdas de água em sistemas de abastecimento e ações de controle

As perdas de água podem ocorrer nas várias etapas dos sistemas de abastecimento, desde a captação até o ponto de entrega aos clientes. A fim de padronizar os conceitos e terminologias a elas relacionados, a Associação Internacional da Água – IWA (*International Water Association*) definiu o **Balanco Hídrico** e seus componentes apresentados na *Figura 1*. Ele mostra que as perdas totais de água correspondem à diferença entre o volume fornecido ao sistema e o volume dos consumos autorizados³. Essas perdas são divididas em duas parcelas: reais e aparentes, e para cada uma delas existem ações de controle específicas.

Assim, é importante o entendimento sobre essas parcelas de perdas, suas causas e relações com as diferentes ações de controle, seus custos e impactos econômicos, a fim de se avaliar a metodologia de determinação do nível econômicos de perdas.

Figura 1 - Balanço hídrico padrão IWA

Volume fornecido ao sistema	Consumos autorizados	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido	Água faturada	
			Consumo faturado não medido		
		Consumo autorizado não-faturado	Consumo não faturado medido	Água não faturada	
			Consumo não faturado não medido		
	Perdas Totais de água	Perdas Aparentes (comerciais)			Consumo não autorizado
					Erros de manipulação de dados e de cobrança
					Subestimação do consumo não medido
			Imprecisões de medição do cliente		
		Perdas Reais (físicas)			Vazamentos em redes e adutoras
					Vazamentos e extravasamentos em reservatórios
	Vazamento nos ramais a montante do ponto de medição do cliente				

Fonte: (PEARSON, 2019, p. 18)

2.1.1. Perdas reais e principais ações de controle

As perdas reais ou físicas correspondem aos recursos hídricos desperdiçados, principalmente, por vazamentos nas redes e ramais (tubulações que ligam a rede de distribuição ao ponto de entrega na entrada do imóvel do cliente). Do ponto de vista econômico, essas perdas implicam, essencialmente, em custos variáveis de produção de água.

Conforme (LAMBERT; MYERS; TROW, 1998, p. 19 a 21), os **tipos de vazamentos** podem ser classificados em três, em função da sua vazão e tempo de duração:

- a) **vazamentos visíveis** que, por apresentarem vazões elevadas, geralmente afloram na superfície do terreno. Por isso, logo que surgem são comunicados por terceiros à

³ No Brasil, conforme definição do Índice de Perdas na Distribuição - IN049 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (SNS, 2019) os consumos autorizados correspondem ao Volume de Água Consumido pelos Usuários, além do Volume de Serviço. Esse abrange os volumes de usos operacionais (desinfecção de adutoras e redes, testes hidráulicos de estanqueidade e para limpeza de reservatórios) e os de usos especiais (consumidos pelos prédios próprios da concessionária, os volumes transportados por caminhões-pipa, os consumidos pelo corpo de bombeiros e os abastecimentos realizados a título de suprimentos sociais, como para favelas e chafarizes).

- concessionária, sendo rapidamente reparados. Assim, apesar das suas vazões serem maiores, têm curta duração e, por isso, representam apenas uma pequena fração das perdas reais;
- b) **vazamentos não visíveis detectáveis**, que apresentam vazões moderadas, mas que, por condições desfavoráveis, como características do solo, não afloram na superfície do terreno, demorando mais para serem localizados. Eles geram ruído suficiente para serem detectados pelos tradicionais métodos acústicos⁴, que permitem sua localização. Esses vazamentos podem representar a maior parcela das perdas reais, dependendo da sua duração, que é diretamente influenciada pela periodicidade do controle ativo, explicado mais adiante; e
- c) **vazamentos não visíveis inerentes**, que ocorrem em juntas e conexões das redes e ramais, apresentando, individualmente, baixas vazões. Consequentemente, não geram ruído suficiente para serem detectáveis pelos métodos acústicos. Por isso, vazam continuamente e podem representar um volume considerável das perdas reais no longo prazo.

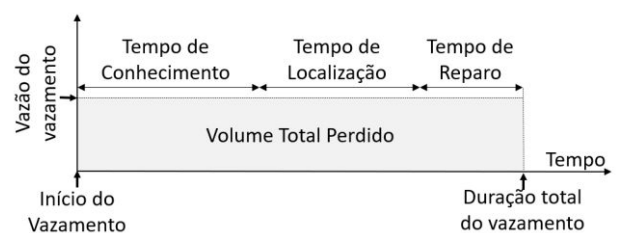
O volume total de água perdido nos vazamentos é proporcional à sua vazão e ao seu tempo de duração. Assim, para conter as perdas reais é necessário atuar na redução desses dois fatores.

O **nível das pressões** nos sistemas de distribuição tem forte impacto sobre o volume de perdas reais. Quanto maior a pressão, maior a vazão dos vazamentos. E a redução da pressão, além de reduzir a vazão dos vazamentos existentes, diminui a quantidade de novos vazamentos (THORNTON; LAMBERT, 2007, p. 511). Assim, o gerenciamento de pressões é fundamental para reduzir tanto a vazão como a quantidade dos vazamentos.

A **duração** dos vazamentos, que também influencia o volume de perdas reais, ocorre desde o rompimento do vazamento até o seu reparo e, conforme indicado na *Figura 2* consiste em três componentes de tempo separados (PEARSON, 2019, p. 31, 32):

- a) **tempo de conhecimento**, para a concessionária saber de sua existência, que pode ocorrer por informação de terceiros, no caso dos vazamentos visíveis, ou pelo controle ativo de vazamentos, no caso dos vazamentos não visíveis detectáveis;
- b) **tempo de localização** do ponto da rede que está vazando; e
- c) **tempo de reparo** para eliminar o vazamento.

Figura 2- Relação entre o volume total perdido e os componentes de tempo do vazamento



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (PEARSON, 2019, p. 31)

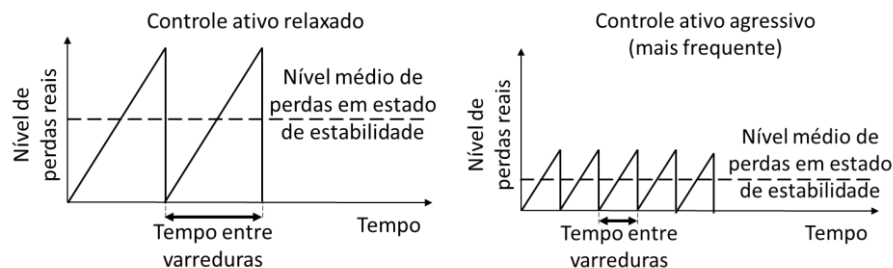
Um controle passivo de vazamentos é aquele em que a concessionária só atua para localizar e eliminar vazamentos pontuais de forma reativa, nos casos de informação da sua existência por terceiros ou de eventual falha no abastecimento causada pela baixa pressão decorrente desses vazamentos. Já o **controle ativo de vazamentos** envolve equipes de detecção que varrem uma determinada área para encontrar vazamentos não visíveis detectáveis, geralmente usando

⁴ Existem várias tecnologias para detecção de vazamentos não visíveis, em geral, por varreduras na superfície do terreno ao longo das tubulações ou por contato direto com a tubulação, por meio de equipamentos de detecção acústicos que permitem localizar o ponto mais próximo do vazamento, onde o ruído é mais intenso. Os principais equipamentos são: geofone, haste de escuta, correlacionador de ruídos, e *loggers* (registradores) de ruído, entre outros (HAMILTON; CHARALAMBOUS, 2020).

métodos acústicos ou similares. É a procura proativa e sistemática dos vazamentos, de forma planejada para identificar a posição na rede das suspeitas de vazamentos. Se a varredura for realizada em intervalos menores, as perdas reais serão mantidas em um nível mais baixo. Portanto, existe uma relação entre o nível médio de perdas e o tempo entre as varreduras.

Conforme relação indicada na *Figura 3*, o nível de perdas reais tende a aumentar com o tempo, pela ocorrência de novos vazamentos. Ao se realizar o controle ativo e eliminar os vazamentos localizados, o nível de perdas retorna a um patamar baixo. E, então, começa a subir novamente. Num controle ativo mais relaxado, para um determinado intervalo de tempo constante entre as varreduras, o nível de perdas se mantém num nível médio de estabilidade. Ao tornar esse controle ativo mais agressivo, reduzindo-se o tempo entre as varreduras a outro intervalo constante e menor, o novo nível médio de perdas se mantém num nível de estabilidade menor.

Figura 3 - Impacto de diferentes intensidades de controle ativo sobre o nível de perdas em estado de estabilidade



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (WYATT, 2010, p. 5)

Portanto, apesar de apresentarem menores vazões que os vazamentos visíveis, os não visíveis tendem a ter maior duração, a qual depende do intervalo entre varreduras. Consequentemente, os vazamentos não visíveis podem representar os maiores volumes perdidos. Assim, é fundamental a atuação ativa para reduzir sua duração e as consequentes perdas reais.

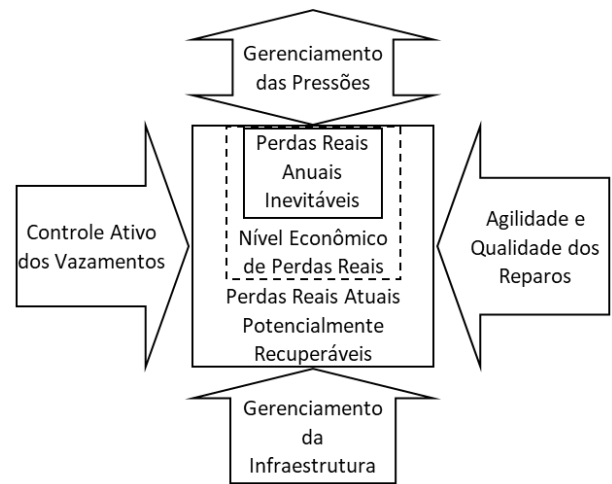
Uma forma de se otimizar essas varreduras é fazer o direcionamento desses serviços para os setores com maiores quantidades de vazamentos. Isso pode ser feito por meio do monitoramento das vazões de água fornecidas a subsetores estanques, denominados **distritos de medição e controle - DMC**⁵. O aumento da vazão noturna no DMC indica aumento dos vazamentos nesse subsetor, o que permite direcionar e agilizar as varreduras, ao invés de se ter que aguardar o tempo necessário para fazê-las em todo o setor. Com isso reduz-se a duração dos vazamentos.

A *Figura 4* apresenta as **ações básicas de gerenciamento das perdas reais**. Conforme (LAMBERT; FANTOZZI, 2005, p. 264), se não houver uma atuação ativa, o volume das Perdas Reais Atuais, que é representado pela caixa externa, tem uma tendência contínua de aumentar à medida que surgem novos vazamentos. Isso ocorre devido à deterioração do sistema de distribuição com o passar do tempo. Por outro lado, essa tendência pode ser restringida e esse volume pode ser reduzido, como indicam as setas, pela combinação de quatro ações básicas de gerenciamento das perdas reais.

⁵ O distrito de medição e controle - DMC é um subsetor de distribuição, com dimensão recomendada de até 2.500 ligações, em que as válvulas dos seus limites são fechadas, geralmente de forma permanente, para que a vazão de água fornecida a esse subsetor possa ser monitorada por meio de medidores, para fins de gerenciamento de vazamentos (PEARSON, 2019, p. 23). Em geral, esse controle é feito pela vazão mínima noturna fornecida ao subsetor, que ocorre de madrugada, quando praticamente não há consumo e a vazão corresponde aos vazamentos.

(LAMBERT, 2002) aborda essas quatro ações: **gerenciamento das pressões**, com o objetivo de manter as pressões estáveis e em níveis mínimos, sendo esse um fator de forte influência na vazão de todos tipos de vazamentos e na frequência de ocorrência de novos vazamentos; **gerenciamento da infraestrutura**, que abrange a seleção dos materiais aplicados, sua instalação, manutenção e renovação, tendo forte influência no número de novos vazamentos; e **controle ativo dos vazamentos** e a **agilidade e qualidade dos reparos**, ações essas fundamentais para limitar a duração dos vazamentos não visíveis detectáveis.

Figura 4 - As quatro ações básicas de gerenciamento das perdas reais



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (LAMBERT; FANTOZZI, 2005, p. 264)

Assim, a intensidade da realização de cada uma dessas quatro ações determina se as perdas reais aumentam, diminuem ou ficam constantes. Elas permitem reduzir o nível de perdas até um limite mínimo, denominado Perdas Reais Anuais Inevitáveis, representado na figura 4 pela menor caixa interna. Ela corresponde ao nível mínimo tecnicamente atingível se o sistema for muito bem construído, mantido e operado, e se não houver limitação de recursos para atingi-lo. Entretanto, geralmente não é econômico alcançar esse nível mínimo, a menos que a água seja muito escassa. Existe um ponto além do qual o esforço para reduzir as perdas custa mais do que o valor da recuperação. E recuperações adicionais não são economicamente viáveis. É o **nível econômico de perdas reais**, representado pela caixa intermediária (pontilhada) na *Figura 4*.

2.1.2. Perdas aparentes e principais ações de controle

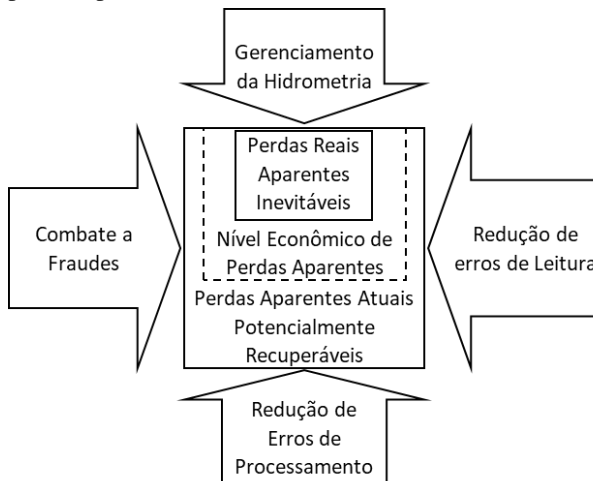
As perdas aparentes ou comerciais são os volumes de água consumidos, mas não contabilizados nem cobrados dos consumidores, sobretudo devido à submedição dos hidrômetros e às irregularidades, como fraudes e furtos (“gatos”). Assim, não correspondem a desperdício do recurso hídrico, mas, do ponto de vista econômico, reduzem o faturamento das concessionárias. Por outro lado, vale destacar que o combate às perdas aparentes também tem impacto sobre o uso eficiente dos recursos hídricos pelos consumidores, uma vez que o uso sem o devido pagamento pela água acaba desincentivando o uso racional e a economia de água.

Conforme (TARDELLI FILHO, 2006, p.480), os hidrômetros são aparelhos destinados a medir e indicar o volume de água fornecido aos imóveis. A **submedição dos hidrômetros** corresponde à diferença entre o volume de água fornecido ao imóvel e o volume efetivamente registrado. Os principais fatores que causam a submedição são: o desgaste dos mecanismos internos do hidrômetro com o uso ao longo do tempo; e as características de perfil de consumo, que corresponde às faixas de vazões que passam pelo hidrômetro e que variam ao longo do dia. Assim, o perfil de consumo tem grande impacto sobre a submedição, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, onde a grande maioria dos imóveis possui caixa d’água

domiciliar (reservatório necessário em sistemas com intermitência no abastecimento, mas que trazem o risco de degradação da qualidade da água). Esses reservatórios fazem com que as vazões de água que passam pelo hidrômetro sejam menores do que as vazões no momento do consumo, devido ao amortecimento na vazão proporcionado pelo volume da caixa d'água.

A *Figura 5* apresenta as **ações básicas de gerenciamento das perdas aparentes**. Com abordagem similar à apresentada para as perdas reais, o nível atual de perdas aparentes, representado pela caixa grande na *Figura 5*, tem uma tendência contínua de aumentar se não houver uma atuação ativa para seu combate. Isso ocorre pois os hidrômetros vão perdendo precisão com o desgaste pelo uso ao longo do tempo e as fraudes vão aumentando. Por outro lado, essa tendência pode ser restringida e esse volume pode ser reduzido, como indicam as setas, pela combinação dessas quatro ações.

Figura 5 - As ações básicas de gerenciamento das perdas aparentes



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (VERMERSCH, et al., 2016, p. 37)

Conforme (FARLEY, et al., 2008, p. 34-41), destacam-se as ações: de **combate a fraudes**, por meio do monitoramento dos consumos dos clientes e avaliação de variações anormais, seguidas de inspeções em campo dos casos suspeitos, por exemplo, as ligações sem medidores feitas sem autorização e os desvios (*bypass*), que são ligações feitas irregularmente sem passar pelo hidrômetro, permitindo o consumo de volumes sem serem registrados; e de **gerenciamento da hidrometria**, que abrange, principalmente, a substituição periódica dos hidrômetros com maior submedição, em função do desgaste com o uso ao longo do tempo.

Da mesma forma que nas perdas reais, a intensificação dessas ações permite a redução do nível atual de perdas aparentes até um nível mínimo tecnicamente atingível, representado pela caixa pequena na *Figura 5*, mas que pode não ser viável economicamente. O nível de equilíbrio, do ponto de vista econômico, é o **nível econômico de perdas aparentes**, representado na *Figura 5* pela caixa intermediária (pontilhada).

2.2 Indicadores de perdas

Para se medir os níveis de perdas em um sistema de abastecimento e definir metas de redução é fundamental a adoção de indicadores adequados.

Um dos indicadores mais comumente conhecidos é o índice de perdas percentual⁶, que corresponde ao percentual do volume de perdas em relação ao volume produzido ou fornecido ao sistema. Entretanto, conforme (LAMBERT, et al., 2014), os indicadores percentuais não são adequados para avaliar a eficiência dos sistemas ao longo do tempo e, muito menos para

⁶ Corresponde ao Índice de Perdas na Distribuição (IN049) do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (SNS, 2019, p. 80).

comparar a eficiência de diferentes sistemas, devido à influência que sofrem pelo consumo⁷. (LAMBERT, et al., 1999) apresenta um estudo com a recomendação, feita pela IWA, de um indicador adequado para a comparação do nível de perdas reais em diferentes sistemas. Esse indicador é o **índice de vazamentos da infraestrutura ILI** (*Infrastructure Leakage Index*)⁸, um adimensional que mede quantas vezes o nível atual de perdas reais de um sistema é superior ao nível mínimo tecnicamente atingível nesse mesmo sistema. Assim, um ILI igual a 1,0 significa que o sistema já está no seu nível de perdas reais mínimo tecnicamente atingível, que corresponde às perdas reais inevitáveis. E, quanto maior o seu valor, maior a necessidade de intensificação das ações de redução de perdas. Dessa forma, o ILI permite que se compare os diferentes sistemas numa mesma base de referência.

Uma limitação desse indicador é que se aplica apenas às perdas reais. Além disso, sua determinação é trabalhosa pois depende da quantificação do nível atual de perdas reais. O que não é trivial, devido à dificuldade para a obtenção dos dados requeridos com a precisão necessária (AMOATEYA; MINKEB; STEINMETZC, 2018).

(ALEGRE, et al., 2006) apresenta diversos indicadores de perdas, cada qual com aplicação para fins específicos.

Para o estabelecimento de metas, (LAMBERT, et al., 2014, p. 8) recomenda o seu cálculo em termos de volume por ano (m³/ano) e sua posterior conversão no indicador medido em litros/ramal/dia⁹, que é mais adequado para acompanhar a evolução das perdas num mesmo sistema de abastecimento ao longo do tempo (EUROPEAN UNION, 2015, p. 36).

⁷ A simulação do quadro abaixo exemplifica a fragilidade do indicador percentual de perdas. Dois sistemas de abastecimento hipotéticos, com o mesmo nível de eficiência em perdas de água, dado pelo volume de perdas de 15.000 m³/mês, atendem ao mesmo n° de 10.000 habitantes. A única diferença entre esses sistemas é o consumo *per capita* da população, que demanda consumos autorizados e, conseqüentemente, volumes fornecidos ao sistema diferentes. Como resultado, esses dois sistemas, com mesmo nível de perdas, ou seja, que têm infraestruturas com a mesma qualidade e a mesma eficiência operacional e comercial, apresentam índices de perdas muito diferentes, de 25% e 16,7%. Isso demonstra que a comparação do desempenho em perdas de diferentes sistemas pelo índice percentual é totalmente inadequada. E esse efeito pode ser observado até num mesmo sistema ao longo do tempo, caso ocorra, por exemplo, grande variação do consumo *per capita* causada por eventos como uma crise hídrica.

Quadro com a exemplificação do indicador percentual de perdas

Sistema de Abastecimento	A População (hab.)	B Consumo <i>per capita</i> (L/hab.xdia)	C=AxBx(30/1000) Consumo Autorizado (m ³ /mês)	D Volume de Perdas (m ³ /mês)	E=C+D Volume Fornecido ao sistema (m ³ /mês)	Índice Percentual de perdas
Sistema 1	10.000	150	45.000	15.000	60.000	25,0%
Sistema 2	10.000	250	75.000	15.000	90.000	16,7%

Fonte: Elaborado pelo autor

⁸ Conforme (ALEGRE, et al., 2006), o indicador de perdas reais inevitáveis (litros/ramal/dia), que é o mínimo tecnicamente atingível, é calculado pela expressão: $(18 * \text{Lrede} / \text{Nramais} + 0,8 + 0,25 * \text{Lp}) * P$, onde Lrede (Km) é a extensão da rede de distribuição; Nramais é o número de ramais; Lp (m) comprimento do ramal interno ao imóvel; e P (m.c.a.) é a pressão média do sistema de distribuição. Conforme (LAMBERT, et al., 1999), essa equação foi desenvolvida a partir da análise dos parâmetros de diversos sistemas com infraestrutura em boas condições e com uma curta duração dos vazamentos garantida pela manutenção de um intensivo controle ativo de vazamentos. O ILI é dado pela divisão do nível de perdas reais atuais e o nível de perdas reais inevitáveis.

⁹ Corresponde ao Índice de Perdas por Ligação (IN051) do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (SNS, 2019, p. 81).

2.3 A complexidade da definição de metas de redução de perdas

O nível de perdas é um dos indicadores mais representativos da eficiência das concessionárias, que acabam sofrendo diversas pressões externas, como por exemplo: dos clientes, que esperam que a concessionária tenha baixos custos para que as tarifas sejam reduzidas; dos acionistas, que esperam eficiência da concessionária, para que gere retorno sobre os investimentos; e dos grupos ambientalistas, contrários à ampliação das captações de água e de novos empreendimentos de ampliação de produção (TROW; FARLEY, 2004, p. 157). No Brasil, por exemplo, o novo marco legal do saneamento básico (BRASIL, 2020), estabelece que os contratos de prestação dos serviços públicos de saneamento básico contenham “metas [...] de redução progressiva e controle de perdas na distribuição de água”.

As boas práticas do relatório (EUROPEAN UNION, 2015, p. 62) recomendam que a meta de perdas seja: baseado em princípios econômicos para garantir operações eficientes; compatível com a topografia, que afeta a economia do gerenciamento de pressões, e com a condição de infraestrutura herdada, que afeta a economia do controle ativo vazamentos e a necessidade de investimentos em reabilitação das redes; de aplicação prática em termos de dados e análises; sustentável a longo prazo e flexível a curto prazo; consistente com a disponibilidade de recursos hídricos e com as projeções de demanda; compreensível, transparente, simples e consistente, a fim de mostrar melhorias contínuas e ser perceptível para a sociedade; sensível a considerações e influências das pessoas não técnicas da sociedade; compatível com os requisitos regulatórios; e capaz de permitir as inevitáveis comparações técnicas entre as diferentes concessionárias.

Existem iniciativas para orientar a definição de metas. Conforme (LIEMBERGER, et al., 2007, p.155), o Instituto do Banco Mundial WBI (*World Bank Institute*), adotou uma matriz com a classificação dos sistemas de abastecimento em categorias definidas em função de faixas de níveis de perdas dadas pelo indicador ILI. A cada categoria são associadas orientações de ações a serem realizadas, desde a Categoria A, com ILI menor que 4 para países em desenvolvimento, em que reduções adicionais de perdas podem não ser econômicas; até a Categoria D, com ILI maior que 16 para países em desenvolvimento, altamente ineficiente em que programas de redução de perdas são de alta prioridade. Essas referências são úteis nos níveis iniciais de gestão de perdas, mas são bastante genéricas e não abrangem as perdas aparentes.

Conforme já abordado, as perdas reais e aparentes nos sistemas de abastecimento têm a tendência natural de aumentar com o passar do tempo. Assim, o combate às perdas é um trabalho permanente, que exige um nível de esforço e aplicação de recursos mínimos em ações para não deixar o nível atual de perdas aumentar, e um esforço e recursos adicionais para reduzi-lo. Além disso, a avaliação dos impactos nos volumes recuperados pelas diversas ações combinadas de combate a perdas, tanto as reais como as aparentes, é de difícil determinação.

Portanto, definir metas de redução de perdas não é uma tarefa simples e depende de condições operacionais e comerciais, específicas de cada operador e “Economicamente, o objetivo deve ser derivado de uma análise econômica/financeira que determine o nível ideal de perdas em qualquer situação (ou seja, quando o custo marginal de economizar um metro cúbico de água for igual ao custo marginal de fornecê-lo)” (KINGDOM; LIEMBERGER; MARIN, 2006, p. 35).

2.4 Referências para a avaliação do nível econômico de perdas

O manual britânico do Conselho Nacional da Água (TECHNICAL WORKING GROUP ON WASTE OF WATER, 1980, p. 37,46) foi uma das primeiras referências a estabelecer, a partir de um programa de experimentos em campo, recomendações práticas e detalhadas para a seleção entre as diferentes ações de controle de perdas reais, considerando o equilíbrio entre os custos das perdas e das ações para seu controle e apresentando uma descrição dos cálculos econômicos envolvidos. O conceito básico apresentado é a lei dos retornos decrescentes. Assim, o manual recomenda a estratégia de estabelecer a intensidade das ações em que a soma do custo das perdas e do custo das ações de controle seja mínima.

A abordagem do manual não contempla as perdas aparentes, mas serviu como referência para diversos outros desenvolvimentos posteriores no campo do controle de perdas reais. Por exemplo, o relatório (LAMBERT; MYERS; TROW, 1998, p. 7), elaborado com base nas experiências do Reino Unido, fornece informações práticas sobre a aplicação de princípios econômicos ao gerenciamento de perdas.

Segundo (OFFICE OF WATER SERVICES, 2000, p. 2), após a privatização do setor de água na Inglaterra, em 1989, a Autoridade de Regulação de Serviços de Água da Inglaterra e País de Gales - OFWAT (*Office of Water Services*) endossou a visão de que as concessionárias de água inglesas deveriam reduzir as perdas ao nível econômico, mas não havia uma metodologia estabelecida nem acordada com as concessionárias para a determinação desse nível.

(TRIPARTITE GROUP, 2002) apresenta uma revisão de métodos e princípios a serem seguidos para a determinação do nível econômico de perdas reais, definindo critérios para avaliação dos custos e benefícios da redução de perdas. Recomenda, ainda, a avaliação dos custos externos à companhia de água, como ambientais e sociais relacionados. Mas aborda apenas as perdas reais.

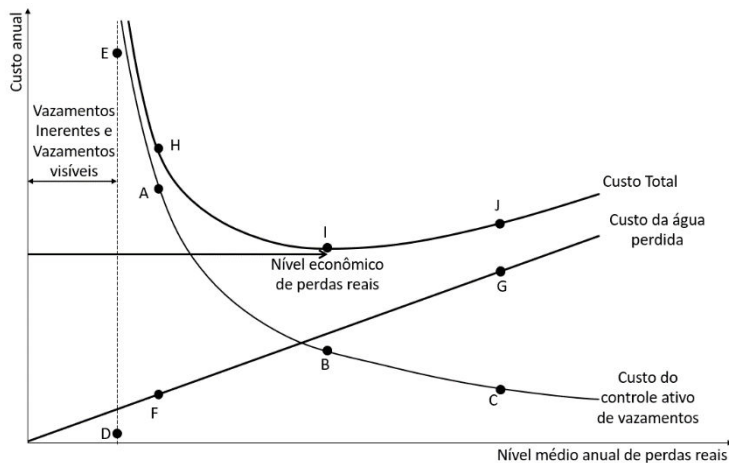
(PEARSON; TROW, 2005) propõe uma metodologia por comparação do custo marginal¹⁰ de cada atividade com o respectivo benefício marginal. Adota uma abordagem conceitual para determinar o nível econômico de perdas, diferenciada para cada uma das quatro principais ações de combate a perdas reais, em função dos seus respectivos horizontes de curto e longo prazo.

A **abordagem de curto prazo** abrange as ações de rotina de controle ativo e reparo de vazamentos. Conforme já abordado, existe uma relação entre o nível médio de perdas reais e o tempo entre as varreduras. Se elas forem realizadas em intervalos menores, terão um custo mais elevado, mas as perdas serão mantidas em um nível mais baixo. Essa relação é representada pela curva A-B-C no gráfico da *Figura 6*, que relaciona os custos anuais do controle ativo de vazamentos, no eixo vertical, aos níveis médios de perdas reais anuais, no eixo horizontal.

A linha F-G representa o custo da água perdida em função do nível de perdas. Na abordagem de curto prazo, esse é o custo variável de produção, dado pela soma dos custos de energia elétrica, dos produtos químicos e da disposição dos lodos resultantes do tratamento da água.

¹⁰ Custo marginal é o custo adicional de uma unidade adicional. Assim, o custo marginal da água é o custo adicional para se produzir (ou adquirir) um volume unitário adicional de água (PEARSON, 2019, p. 51). Já o custo marginal de uma ação de redução de perdas é o custo adicional da ação para se obter uma redução unitária adicional no nível de perdas.

Figura 6 - Nível econômico de perdas reais no curto prazo



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (GIZ AND VAG, 2011, p. 92).

A **abordagem de longo prazo**, abrange as ações de gerenciamento de pressões e de reabilitação de redes e ramais, que envolvem uma decisão de investimento, pois têm retorno num prazo maior que o do controle ativo. Para essas ações, é econômico fazer um investimento para reduzir perdas se o custo da água economizada pagar esse investimento. Devem ser estudadas todas as possíveis obras de redução de perdas e priorizadas as que oferecem o maior benefício, comparando-se o valor presente de todos os custos e benefícios. Após cada investimento, passa a existir um novo nível econômico, menor, de perdas de curto prazo, que deve ser recalculado conforme descrito anteriormente.

Apesar de ser conceitual e não tratar das perdas aparentes, a abordagem de (PEARSON; TROW, 2005) é uma boa referência para a determinação do nível econômico individual das ações redução de perdas reais, mas há a necessidade de elaboração de seu equacionamento.

De forma similar à abordagem de curto prazo de (PEARSON; TROW, 2005), o manual (AWWA, 2009, p. 83-85) aborda a análise do nível econômico de perdas aparentes para a troca de hidrômetros, que também apresenta retornos decrescentes para níveis de perdas aparentes por submedição cada vez menores. Há um nível ótimo correspondente ao ponto mínimo da curva de custos totais em função dos níveis de perdas aparentes. Esses custos totais são dados pela soma dos custos das trocas de hidrômetros e do valor dos volumes de perdas aparentes recuperáveis com essas trocas.

A maior parte da literatura sobre nível econômico de perdas é internacional e foca as perdas reais, pois foram desenvolvidas para as condições de países desenvolvidos, onde as perdas aparentes são menos expressivas, diferentemente dos países em desenvolvimento. No Brasil, o nível das perdas aparentes é mais significativo pois a parcela de submedição dos hidrômetros é amplificada pela existência das caixas d'água domiciliares e porque há maior incidência de fraudes e irregularidades. Além disso, a condição da infraestrutura e a disponibilidade de recursos para o controle de perdas é menor em países em desenvolvimento, levando à maior dificuldade para se obter os dados necessários para a aplicação dos modelos existentes de nível econômico de perdas. Assim, muitas das referências disponíveis sobre nível econômico são mais aderentes à realidade dos países desenvolvidos.

A curva H-I-J é o custo total: soma do custo do controle de ativo e do custo da água perdida. Ele é alto, inicialmente, devido ao alto custo do controle ativo necessário para atingir níveis baixos de perdas. O ponto I, onde o custo total é mínimo, corresponde ao **nível econômico de perdas no curto prazo**, em que o custo marginal do controle ativo é igual ao custo marginal da água.

3 APLICAÇÃO DO MODELO DE (WYATT, 2010)

Neste trabalho, foi selecionado para avaliação o modelo de determinação do nível econômico de perdas de (WYATT, 2010). As características desse modelo que motivaram sua escolha são: ser concebido a partir de uma base conceitual consistente, aderente à aqui abordada; ser aplicável considerando as condições específicas de cada sistema de abastecimento; ser abrangente ao contemplar não apenas as perdas reais, mas também as aparentes; apresentar o equacionamento detalhado e disponível para sua aplicação; e indicar não ser muito sensível a variações nos valores dos dados de entrada, permitindo a adoção de informações padrão, quando os dados específicos do sistema de abastecimento não são disponíveis ou confiáveis.

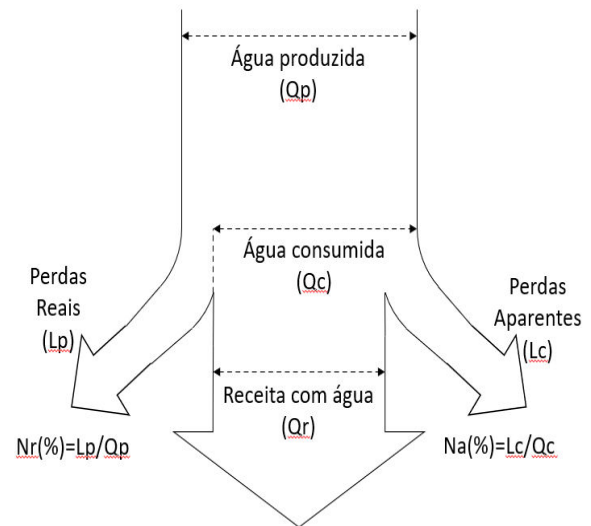
3.1 O equacionamento proposto

(WYATT, 2010) desenvolveu seu modelo com base num balanço hídrico ajustado, a partir do sugerido pela IWA, para a realidade de países em desenvolvimento. Ele considera a receita arrecadada, e não o total dos volumes faturados. Isso é relevante pois os impostos e a evasão de receitas reduzem o valor líquido efetivamente recebido pela concessionária com a recuperação das perdas aparentes, o que resulta em um nível econômico mais alto.

A *Figura 7* mostra uma representação do balanço hídrico do sistema de abastecimento considerado no modelo, onde:

- Q_p é o volume de água produzida e fornecida ao sistema de distribuição;
- Q_c é o volume de água consumida, incluindo as perdas aparentes;
- Q_r é o volume de água que gera receita;
- $L_p = Q_p - Q_c$, é o volume de perdas reais;
- $L_c = Q_c - Q_r$, é o volume de perdas aparentes;
- $N_r(\%) = L_p / Q_p$ é o nível percentual de perdas reais em relação à produção;
- $N_a(\%) = L_c / Q_c$ é o nível percentual de perdas aparentes em relação ao consumo.

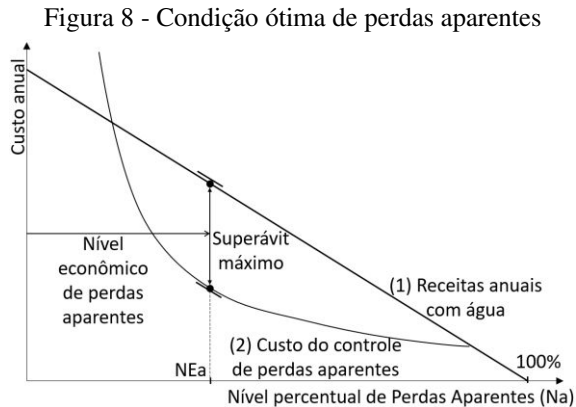
Figura 7 - Fluxo de água no sistema de abastecimento



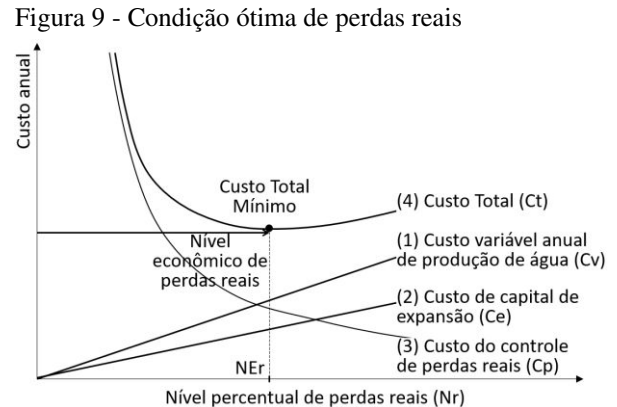
Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (WYATT, 2010, p. 11).

O modelo proposto por (WYATT, 2010) incorpora a lei dos retornos decrescentes.

Conforme apresentado na *Figura 8*, para as **perdas aparentes** o equacionamento proposto por (WYATT, 2010) permite determinar duas curvas em função do Nível Percentual de Perdas Aparentes (N_a) em relação ao consumo: (1) a curva de receitas obtidas com as trocas de hidrômetros e (2) a curva de custo do programa de trocas. A diferença entre essas curvas corresponde ao superávit financeiro. O **nível econômico de perdas aparentes** corresponde ao ponto de **máximo superávit**, determinado igualando-se a zero a derivada da função de superávit em relação ao índice de perdas aparentes (N_a). Obtém-se assim a equação (1), apresentada na *Tabela 1*, que também identifica e define todos os dados requeridos para sua aplicação.



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (WYATT, 2010, p. 20)



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (WYATT, 2010, p. 20)

E conforme apresentado na *Figura 9*, para as **perdas reais** o equacionamento proposto por (WYATT, 2010) permite determinar três curvas em função do Nível Percentual de Perdas Reais (N_r) em relação à produção de água: a curva (1) do custo variável anual de produção de água (C_v); a curva (2) de custo de capital para ampliação da capacidade do sistema de abastecimento (C_e); e a curva (3) do custo do programa de pesquisa e reparo de vazamentos (C_p). A soma dessas três parcelas corresponde à curva (4) de custo total (C_t). O **nível econômico de perdas reais** corresponde ao ponto **mínimo** dessa curva de **custo total**.

A *Tabela 3* apresenta as equações (2), (3) e (4) dessas três curvas de custos, em função do nível de perdas reais (N_r), e identifica e define todos os dados requeridos para sua aplicação.

Neste trabalho, o equacionamento proposto por (WYATT, 2010) foi elaborado em planilha eletrônica para o lançamento dos dados dos municípios selecionados e para a determinação dos seus respectivos níveis econômicos de perdas reais e aparentes.

3.2 A seleção dos municípios e o levantamento dos dados requeridos

A aplicação do modelo depende de alguns dados bastante específicos para esse tipo de estudo, sendo assim de difícil obtenção, pois nem todos são regular e sistematicamente registrados.

Para a aplicação do modelo, neste trabalho foram selecionados quatro sistemas de abastecimento de municípios operados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, com portes variando entre 10 mil a 45 mil habitantes e que apresentam baixos níveis de perdas totais¹¹.

O elevado nível de eficiência desses municípios se deve a diversas condições. São municípios de menor porte com a infraestrutura bem construída e organizado em pequenos **distritos de medição e controle - DMCs**, dotados de medição das vazões fornecidas, o que possibilita uma gestão extremamente eficiente, a partir do monitoramento de vazão mínima noturna. Além disso, possuem elevada eficiência das suas equipes de operação e manutenção, que executam os trabalhos com qualidade e rapidez, reduzindo bastante a duração dos vazamentos.

¹¹ Esses municípios têm níveis de *perdas totais* inferiores a 95 litros/ligação/dia, muito abaixo da média nacional de 339 litros/ligação/dia (SNS, 2019, p. 87) e comparáveis a empresas inglesas, com avançado gerenciamento de perdas e indicadores de *perdas reais* na faixa de 77 a 178 L/ligação/dia (DISCOVER WATER, 2018-19).

Um dos objetivos da seleção desses municípios é avaliar o quão próximos estão dos seus níveis econômicos de perdas reais e aparentes. Outro motivo é a maior viabilidade de obtenção dos dados e informações necessários para a aplicação do modelo, em função das suas dimensões reduzidas e pelo seu bom nível de controle e registro de dados operacionais.

A partir da identificação dos dados requeridos para aplicação do modelo e da seleção dos quatro municípios para avaliação, foi feito o levantamento desses dados requeridos, a partir de consulta a relatórios gerencias e sistemas de informações da SABESP.

A *Tabela 1* apresenta a identificação, a definição e a fonte de todos os dados necessários para a aplicação do equacionamento proposto para a determinação do nível econômico de perdas aparentes. Apresenta também os valores desses dados obtidos nos levantamentos realizados.

Da mesma forma, a *Tabela 3* apresenta todas essas informações para a determinação do nível econômico de perdas reais.

3.3 Determinação dos níveis econômicos e análise dos resultados

Os dados obtidos foram lançados na planilha eletrônica previamente elaborada com o equacionamento proposto, para determinação dos níveis econômicos de perdas reais e aparentes dos quatro municípios, conforme descrito a seguir.

3.3.1. O nível econômico de perdas aparentes (NEa)

A *Tabela 1* apresenta, para os quatro municípios, os dados levantados para a aplicação do modelo e as respectivas formas de obtenção e suas fontes dos informações.

Tabela 1 - Equacionamento e dados para a determinação do nível econômico de perdas aparentes (Ref.: 2019)

Nível econômico de perdas aparentes como porcentagem do volume total consumido (NEa)		$NEa = [M * s / (2 * T * c * p * 365)]^{1/2} (I)$					%
Dados		Unidade	Município				
			1	2	3	4	
<i>M</i>	Custo médio de reposição de cada hidrômetro (materiais e mão de obra)	R\$ / hidrômetro	95,34	95,34	95,34	95,34	
	Valores obtidos a partir do preço médio de aquisição dos hidrômetros (SABESP, 2020) e do custo médio dos serviços contratados de troca de hidrômetros (SABESP, 2019a)						
<i>s</i>	Taxa de crescimento anual do erro dos hidrômetros	%/ano	1%	1%	1%	1%	
	Adotado o valor de 1% ao ano, conforme (DEPEXE e GASPARINI, 2012, p. 39)						
<i>T</i>	Tarifa média de água e esgoto por m ³ de água faturada, descontados a evasão de receitas, os impostos e as taxas regulatórias	R\$ / m ³	5,09	5,67	5,63	5,40	
	Valores obtidos a partir do valor total faturado de água e esgoto do município (SABESP, 2019k), descontada a evasão média de receita do município (SABESP, 2019f), a taxa de regulação de 0,50% do faturamento (SÃO PAULO, 2007) e a alíquota média de impostos de 6,54% de COFINS/PASEP e 13,4% de IRPJ/CSLL (ARSESP, 2018, p. 43), dividido pelo volume total faturado de água do município (SABESP, 2019b);						
<i>c</i>	Consumo específico de água (incluindo submedição)	m ³ /hab./dia	0,193	0,226	0,202	0,204	
	Valores obtidos a partir do consumo total medido de água do município (SABESP, 2019b), incluindo a submedição (SABESP, 2019c), dividido pela população total (SABESP, 2019d)						
<i>p</i>	Número de pessoas por ligação	hab./ligação	2,40	2,08	2,36	2,20	
	Valores obtidos a partir da população total do município (SABESP, 2019d) dividida pelo n° de ligações ativas de água (SABESP, 2019e)						

Fonte: Elaborado pelo autor. Equacionamento adaptado a partir da equação (31) de (WYATT, 2010, p. 20). Os dados dos municípios foram obtidos conforme as respectivas referências citadas.

A determinação do nível econômico de perdas aparentes (*NEa*), como porcentagem do consumo, é feita pela resolução direta da equação (1), a partir do lançamento dos dados dos municípios na planilha eletrônica elaborada com o equacionamento proposto. A *Tabela 2* apresenta os resultados obtidos e os valores dos indicadores de perdas aparentes atuais.

Conforme abordado anteriormente, sistemas que atendem imóveis que possuem reservatórios domiciliares apresentam maior submedição, devido aos seus perfis de consumo. Conforme (CDO, 2015, p. 21), o estudo de mais de 50 mil hidrômetros com idade até 10 anos e de classe metrológica¹² B, que corresponde à maioria dos hidrômetros utilizados pelas concessionárias brasileiras, estimou um Índice de Desempenho da Medição de 95% para hidrômetros novos. Isso corresponde a uma submedição mínima de 5% para esses hidrômetros novos, que, somada aos níveis econômicos calculados pelo modelo, permite obter o nível econômico de perdas aparentes aplicável a esses municípios.

Da mesma forma, pode-se incluir o nível econômico de perdas por fraudes, que não é avaliado no modelo, pela adição da respectiva porcentagem aceitável, ao nível econômico calculado. Isso não é feito neste estudo, pois seria necessário avaliar qual é essa porcentagem aceitável.

Dividindo-se o volume de perdas aparentes, correspondente ao nível econômico, pelo número de ligações, determina-se o indicador do nível econômico em litros/ligação/dia que é o mais recomendado para acompanhar metas (LAMBERT, et al., 2014, p. 8).

Tabela 2 - Nível econômico de perdas aparentes dos quatro municípios (Ref.: 2019)

Indicador de perdas APARENTES	Unidade	Município			
		1	2	3	4
<i>NEa</i> : Nível econômico de perdas aparentes, em porcentagem do consumo, obtido com a aplicação do modelo	%	2,4%	2,2%	2,2%	2,3%
<i>NEa</i> : Nível econômico de perdas aparentes aplicável, considerando a submedição mínima de 5% para hidrômetros novos	%	7,4%	7,2%	7,2%	7,3%
Indicador do nível econômico de perdas aparentes para acompanhamento de metas	L/ligação/dia	34	34	34	33
Nível atual de perdas aparentes Valores obtidos de (SABESP, 2019c)	L/ligação/dia	26	30	33	24
Submedição média atual Valores obtidos de (SABESP, 2019c)	%	11,2%	10,1%	8,8%	11,1%
Idade média dos hidrômetros Valores obtidos de (SABESP, 2019l)	anos	5,3	4,3	4,5	4,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cabe destacar que a política de trocas de hidrômetros da concessionária leva em consideração a política tarifária em função das faixas de consumo. Assim, como o faturamento mínimo é de 10 m³/mês, a troca de hidrômetros de imóveis com consumos abaixo desse patamar não se reverte em aumento de faturamento, o que compromete a viabilidade econômica de tais trocas. Com isso, a idade média dos hidrômetros está abaixo ou em torno de 5 anos, o que corresponderia a um índice de desempenho da micromedição em torno de 86,5%, ou seja, uma submedição média esperada de 13,5% (CDO, 2015, p. 19), superior ao nível econômico obtido

¹² A classe metrológica dos hidrômetros é definida por parâmetros pré-estabelecidos para os erros máximos admissíveis para os campos inferiores e superiores de medição (TARDELLI FILHO, 2006, P. 553).

pelo modelo.

Mesmo assim, os níveis atuais de perdas aparentes dos quatro municípios já estão abaixo dos seus níveis econômicos, levando em conta apenas a submedição dos hidrômetros, sem considerar as fraudes. Isso indica que os volumes de perdas por fraudes são insignificantes.

Essa análise, eventualmente, pode estar afetada, principalmente pelas incertezas envolvidas na determinação do nível atual de perdas aparentes e da submedição.

3.3.2. O nível econômico de perdas reais (NEr)

A determinação do nível econômico de perdas reais (NEr) é mais complexa que para as perdas aparentes, não sendo obtido pela resolução direta das equações.

Neste trabalho foi utilizada a resolução numérica, com a determinação dos valores de cada uma das três parcelas de custo, dadas pelas equações (2), (3) e (4), em função de vários possíveis níveis de perdas reais (Nr), de modo a se obter as respectivas curvas de custos, representadas na *Figura 10*. O nível econômico de perdas reais é o ponto mínimo da curva de custo total, dada pela soma dessas três parcelas de custos.

A *Tabela 3* apresenta, para os quatro municípios, os dados levantados para a aplicação do modelo e as respectivas formas de obtenção e suas fontes de informação.

Com relação à obtenção desses dados, destaca-se a dificuldade na obtenção dos parâmetros α e β , que são específicos para cada sistema. Eles permitem determinar o nível de perdas reais (Nr), em m^3/dia , em função da periodicidade (Ps), em anos, de varreduras em toda a rede de distribuição. Essa função é dada pela equação 23 de (WYATT, 2010):

$$Nr = N * D * (\alpha + \beta * Ps), \text{ onde } N * D \text{ (Km) é a extensão da rede de distribuição.}$$

A determinação de α e β proposta por (WYATT, 2010, p. 17) a partir do programa Econoleak¹³, depende do levantamento de dados muitos específicos que, por isso, não são sistematicamente levantadas ou registradas, sendo assim de difícil obtenção.

Neste trabalho, esses dados foram obtidos por consulta a histórico de registros de medições feitas em campo e são apresentados na *Tabela 4*. Para os dados de vazões médias dos vazamentos visíveis, não visíveis e inerentes, que não são normalmente medidos nem registrados, e cujo levantamento demandaria o acompanhamento dos serviços de reparo com medições em campo, fora do escopo deste trabalho, foram adotados os valores padrão do previstos no programa Econoleak.

O programa Econoleak permitiu determinar a proporção entre as vazões dos vazamentos inerentes e visíveis (associados ao parâmetro α) e dos vazamentos não visíveis detectáveis (associados ao parâmetro β). A aplicação dessas proporções à vazão atual de perdas reais, obtida do relatório de balanço hídrico dos municípios (SABESP, 2019c), permitiu determinar os valores dos parâmetros α e β , respectivamente, conforme apresentado na *Tabela 4*.

¹³ O Econoleak é um programa de computador desenvolvido por Ronnie McKenzie e Allan Lambert (HAMILTON; MCKENZIE, 2014) que permite realizar a análise das componentes de vazões de perdas a partir de dados de ocorrência de vazamentos visíveis e não visíveis detectáveis e inerentes, para a determinação da frequência econômica de realização do controle ativo de vazamentos por varreduras.

Outra fonte de incertezas na determinação dos níveis econômicos de perdas reais é a quantificação das perdas reais atuais, que também depende de levantamentos em campo, por metodologias existentes a partir do balanço hídrico ou das vazões mínimas noturnas (FARLEY; LIEMBERGER, 2005) e (CROWDER; SOLARCZYK; WILLIAMS, 2013). Neste trabalho foram utilizados os dados obtidos em (SABESP, 2019c).

Tabela 3 – Equacionamento e dados para a determinação do nível econômico de perdas reais (Ref.: 2019)

Dados		Unidade	Município			
			1	2	3	4
(2) $Cv = Cw * N * c * p * 365 / (1 - Nr)$		R\$/m ³	Custo variável anual de produção de água (Cv)			
Cw	Custo médio unitário variável da produção de água (materiais de tratamento e energia)	R\$/m ³	0,60	0,66	0,94	0,96
	Valores obtidos pela divisão do custo anual de materiais de tratamento de água e de energia elétrica do processo água (SABESP, 2019k), pelo volume anual de água produzida (SABESP, 2019c)					
N	Número de ramais (ligações) de água	ligações	5.627	21.405	19.804	5.355
	Nº de ligações ativas de água (SABESP, 2019e)					
c	Consumo específico de água (incluindo submedição)	m ³ /hab./dia	0,193	0,226	0,202	0,204
	Valores obtidos a partir do consumo total medido de água do município (SABESP, 2019b), incluindo a submedição (SABESP, 2019c), dividido pela população total (SABESP, 2019d)					
p	Número de pessoas por ligação	hab./ligação	2,40	2,08	2,36	2,20
	Valores obtidos a partir da população total do município (SABESP, 2019d) dividida pelo nº de ligações ativas de água (SABESP, 2019e)					
(3) $Ce = \frac{r*(1+r)^z}{[(1+r)^z-1]} * k * (z * G * Qo)^b * (1+r)^{-[E-1/(1-Nr)]/G}$ com correção da falta do expoente ^z na original		R\$/m ³	Custo anualizado de capital para expansão do sistema (Ce)			
r	Taxa de juros	%	8,11%	8,11%	8,11%	8,11%
	Considerado o custo médio ponderado de capital da SABESP (WACC) (ARSESP, 2018, p. 38)					
z	Período de projeto para expansões (em geral, 10 anos)	anos	10	10	10	10
	Considerado o valor de referência sugerido por (WYATT, 2010)					
k	Coefficiente de custo de expansão do sistema	R\$/m ³ /dia	458	458	458	458
	Considerada a média dos custos de expansão para os sistemas da Diretoria de Sistemas Regionais da Sabesp (SABESP, 2019h)					
G	Taxa de crescimento populacional	%/ano	0,15	0,01	0,16	0,91
	Crescimento populacional anual projetado para o período de 2019 a 2029 (SABESP, 2019d)					
Qo	Consumo de água do ano base	m ³ /ano	2.603	10.053	9.440	2.400
	Valores obtidos do consumo total de água do município (SABESP, 2019b), incluindo a submedição média (SABESP, 2019c)					
b	Fator de economia de escala, tipicamente de 0,7 a 0,8	-	0,75	0,75	0,75	0,75
	Considerada a média da faixa de valores de referência de 0,7 a 0,8 sugerida por (WYATT, 2010)					
E	Razão entre capacidade de produção e consumo atual	-	1,687	1,704	1,664	2,437
	Valores obtidos pela divisão da capacidade de produção (SABESP, 2019i) pelo consumo total de água do município (SABESP, 2019b), incluindo a submedição (SABESP, 2019c)					
(4) $Cp = [Cs * D * N * \beta] / \left\{ \left(c * \frac{p}{D} \right) * \left[\frac{Nr}{1-Nr} \right] - \alpha \right\}$ com correção da exclusão do fator 365 inserido no numerador com erro na original		R\$/m ³	Custo anual do Programa de Redução de Perdas Reais (Cp)			
Cs	Custo de serviço de pesquisa e reparo de vazamentos	R\$/km	988	1.401	999	1.122
	Valores obtidos pela soma do custo médio dos serviços contratados de pesquisa de vazamentos não visíveis por quilômetro de rede (SABESP, 2019a) com o custo unitário médio dos serviços contratados de reparos de vazamentos em redes e ramais e das trocas corretivas de ramais (SABESP, 2019a) ponderados pela quantidade anual desses serviços (SABESP, 2019g) dividida pela extensão de rede (SABESP, 2019j) dos respectivos municípios					
D	Comprimento da rede por ramal (ligação)	km/ligação	0,0128	0,0124	0,0124	0,0105
	Valores obtidos pela divisão da extensão de rede (SABESP, 2019j) pelo número de ligações do município (SABESP, 2019e)					

Fonte: Elaborado pelo autor. Equacionamento adaptado a partir das equações (17), (18), (21), (22) e (25) de (WYATT, 2010, p. 20). Os dados dos municípios foram obtidos conforme as respectivas referências citadas.

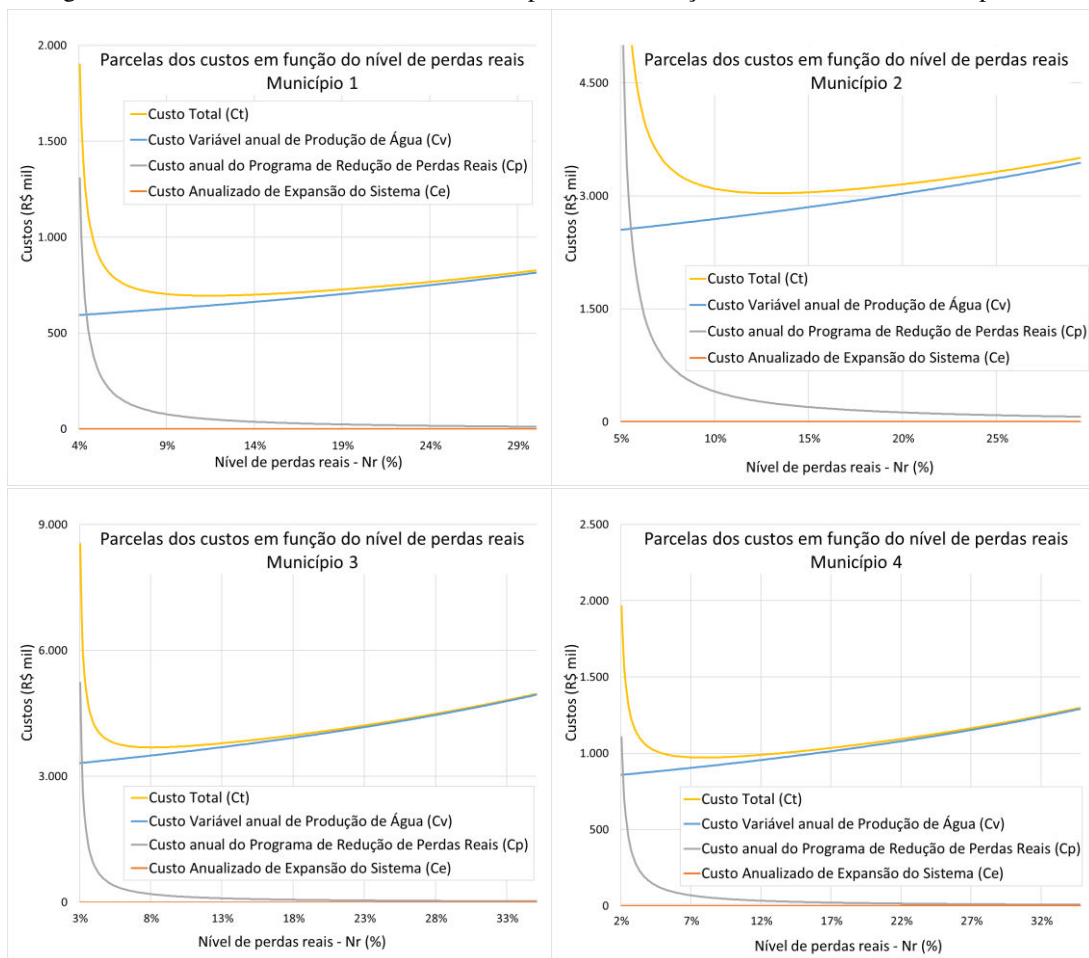
Tabela 4 - Dados para aplicação do programa Econoleak para determinação de α e β (Ref.: 2019)

Dados para aplicação do Econoleak e valores de α e β	Unidade	Município			
		1	2	3	4
Pressão média no sistema de distribuição	m.c.a.	25	28	29	34
Quantidade anual de vazamentos nas redes	vazamentos	27	188	88	32
Quantidade anual de vazamentos nos tubos dos ramais	vazamentos	34	333	97	42
Quantidade anual de vazamentos nas conexões dos ramais	vazamentos	4	80	228	14
Tempo entre a identificação do vazamento e o reparo	dias	3	3	2	2
α - Coeficiente agregado de vazão de vazamentos inerentes e vazamentos visíveis	m ³ /dia/Km	1,375	1,958	0,986	0,847
β - Coeficiente agregado de vazão de vazamento não visíveis detectáveis	m ³ /dia/Km	2,351	2,551	1,743	2,712

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados obtidos por medidas em campo. Valores de α e β determinados conforme anteriormente descrito nesta seção.

A *Figura 10* apresenta as quatro curvas de custos (C_v), (C_p), (C_e) e (C_t) obtidas a partir do lançamento dos dados dos quatro municípios na planilha eletrônica previamente elaborada.

Figura 10 - Gráficos com as curvas de custos para determinação do nível econômico de perdas reais



Fonte: Elaborado pelo autor.

O nível mínimo das curvas de custos totais (C_t) corresponde ao nível econômico de perdas reais N_{Er} , em porcentagem do volume produzido, conforme resultados apresentados na *Tabela 5*. Dividindo-se o volume de perdas reais, correspondente ao nível econômico, pelo número de ligações, determina-se o indicador do nível econômico em litros/ligação/dia, mais recomendado para acompanhamento de metas (LAMBERT, *et al.*, 2014, p. 8).

Para a análise dos resultados, também são apresentados na *Tabela 5* os indicadores de perdas reais atuais, de perdas inevitáveis e o índice de vazamentos da infraestrutura ILI.

Tabela 5 - Nível econômico de perdas reais dos quatro municípios (Ref.: 2019)

Indicador de perdas REAIS	Unidade	Município			
		1	2	3	4
<i>NEr</i> : Nível econômico de perdas reais, em porcentagem do volume produzido, obtido com a aplicação do modelo	%	11,4%	13,3%	7,8%	8,2%
Indicador do nível econômico de perdas reais para acompanhamento de metas	L/ligação/dia	60	72	40	40
Indicador atual de perdas reais Valores obtidos de (SABESP, 2019c)	L/ligação/dia	47	56	61	45
Indicador de perdas inevitáveis	L/ligação/dia	26	29	30	34
Indicador de vazamentos da infraestrutura ILI	adimensional	1,8	2,0	2,1	1,3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelos resultados obtidos, os níveis atuais de perdas reais dos municípios 1, 2 e 4 estão abaixo ou próximo de seus níveis econômicos, ou seja, a intensidade das ações de controle de perdas pode ser relaxada nesses municípios. Já o município 3, apesar de ter elevado nível de eficiência, ainda pode atuar na redução das perdas reais, na direção do seu nível econômico.

Os resultados estão conforme o esperado, uma vez que esses municípios são bastante eficientes. Inclusive pela categorização de bandas do Banco Mundial, abordada na seção 2, esses municípios apresentam o indicador ILI menor que 4, enquadrados na Categoria A, para a qual reduções adicionais de perdas podem não ser econômicas, a menos que haja escassez hídrica, sendo necessário avaliar cuidadosamente para identificar melhorias economicamente viáveis.

Essa análise, eventualmente, pode estar afetada, principalmente, pelas incertezas envolvidas na determinação do nível atual de perdas reais, além das incertezas dos níveis econômicos obtidos.

3.3.3. O nível econômico de perdas totais (*NEt*)

A partir da determinação dos níveis econômicos de perdas reais e aparentes, pode-se determinar o nível econômico de perdas totais, pela soma dos indicadores de perdas reais e aparentes em litros/ligação/dia. Entretanto, não podem ser somados os indicadores percentuais pois referem-se a volumes diferentes: o de perdas reais ao volume produzido e o de perdas aparentes ao volume consumido. Assim, o índice percentual de perdas totais é calculado pela divisão da soma dos volumes perdas reais e aparentes, nos seus níveis econômicos, pelo volume total produzido ou fornecido ao sistema. Os resultados para as perdas totais são apresentados na *Tabela 6*, onde se observa que, também com relação às perdas totais, os municípios 1, 2 e 4 estão abaixo do seus níveis econômicos, e o município 3 apresenta uma certa margem de redução para atingir seu nível econômico.

Tabela 6 - Nível econômico de perdas totais dos quatro municípios (Ref.: 2019)

Indicador de perdas TOTAIS	Unidade	Município			
		1	2	3	4
<i>NEt</i> : Nível econômico de perdas totais	%	17,9%	19,6%	14,4%	14,9%
Indicador do nível econômico de perdas totais para acompanhamento de metas	L/ligação/dia	94	106	75	73
Indicador atual de perdas totais Valores obtidos de (SABESP, 2019c)	L/ligação/dia	73	86	94	69

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Discussão da aplicação do modelo e do estabelecimento de metas

Com relação aos resultados obtidos, verifica-se a importância de se avaliar, separadamente, os níveis econômicos de perdas reais e aparentes. Ao se analisar apenas as perdas totais do Município 3, que apresenta um nível atual superior ao seu econômico, não é possível determinar se a atuação deve ser intensificada em relação às perdas reais ou aparentes. Quando se analisa as parcelas individualmente, verifica-se que as perdas aparentes já estão abaixo do seu nível econômico, sendo viável e válida apenas a atuação mais intensa para reduzir as perdas reais.

Quanto à aplicação do modelo, observa-se que, mesmo para municípios menores e bem controlados, há dificuldade na obtenção de certos dados, em especial aqueles necessários para a determinação dos parâmetros α e β , o que levou à adoção de alguns valores padrão. Isso pode comprometer a confiabilidade dos resultados. Essa dificuldade tende a ser amplificada na aplicação do modelo em sistemas de maior porte. Nesse caso, é recomendável a aplicação em subsectores com dimensões que possibilitem a obtenção dos dados com menores incertezas.

A Tabela 7 apresenta os valores dos níveis econômicos de perdas aparentes e reais para os quatro municípios, obtidos a partir da simulação de variações na faixa de $\pm 50\%$ nos valores levantados para os dados sujeitos a maior incerteza, a fim de se verificar a sensibilidade do modelo às variações desses valores.

Tabela 7 - Resultados da análise de sensibilidade do modelo aos dados de entrada (Ref.: 2019)

		Município 1		Município 2		Município 3		Município 4		Variação		
NEa - PERDAS APARENTES	Resultado base	34,0		33,9		34,4		32,8				
		NEa	variação	NEa	variação	NEa	variação	NEa	variação	Mínima	Média	Máxima
	+ 50% M	36,5	7%	36,2	7%	36,7	7%	35,2	7%	7%	7%	7%
	- 50% M	30,8	-9%	30,8	-9%	31,3	-9%	29,8	-9%	-9%	-9%	-9%
	+ 50% s	36,5	7%	36,2	7%	36,7	7%	35,2	7%	7%	7%	7%
	- 50% s	30,8	-9%	30,8	-9%	31,3	-9%	29,8	-9%	-9%	-9%	-9%
NEr - PERDAS REAIS	Resultado base	59,5		72,0		40,3		40,0		Variação		
		NEr	variação	NEr	variação	NEr	variação	NEr	variação	Mínima	Média	Máxima
	+ 50% alfa	67,9	14%	84,8	18%	46,0	14%	44,3	11%	11%	14%	18%
	- 50% alfa	50,8	-15%	60,4	-16%	34,2	-15%	35,3	-12%	-16%	-14%	-12%
	+ 50% beta	68,5	15%	82,9	15%	46,6	16%	47,0	17%	15%	16%	17%
	- 50% beta	47,4	-20%	58,0	-19%	32,1	-20%	30,6	-24%	-24%	-21%	-19%
	+ 50% Cw	52,0	-13%	63,4	-12%	34,8	-14%	34,3	-14%	-14%	-13%	-12%
	- 50% Cw	76,6	29%	92,1	28%	51,8	28%	53,1	33%	28%	29%	33%
	+ 50% k	59,5	0%	72,0	0%	40,3	0%	40,0	0%	0%	0%	0%
	- 50% k	59,5	0%	72,0	0%	40,3	0%	40,0	0%	0%	0%	0%
	+ 50% E	59,5	0%	72,0	0%	40,3	0%	40,0	0%	0%	0%	0%
	+ 50% Cs	68,5	15%	82,9	15%	46,6	16%	47,0	17%	15%	16%	17%
	- 50% Cs	47,4	-20%	58,0	-19%	32,1	-20%	30,6	-24%	-24%	-21%	-19%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O dado de entrada com maior impacto foi o custo médio unitário variável da produção de água (Cw), para o qual uma redução de 50% resultou num nível econômico de perdas reais 29% superior, em média, para os quatro municípios. Não obstante essa análise de sensibilidade contemple apenas as variações isoladas de cada dado de entrada, e não de efeitos combinados de variações de mais de um deles, conclui-se que o modelo não é muito sensível a essas variações, permitindo a sua utilização mesmo com certas restrições na obtenção dos dados de entrada.

Uma estratégia que pode ser adotada pela concessionária, para o aprimoramento da aplicação do modelo, é a implantação de uma sistemática de gradual obtenção e registro dos dados requeridos, inclusive para sistemas com diferentes características, a fim de se amplificar a confiabilidade e consistência desses dados. Também podem ser direcionados esforços para a realização de estudos de campo, eventualmente por amostragem, para a determinação de melhores referências para alguns parâmetros específicos. Além disso, pode ser válido incorporar, na aplicação do modelo, o estabelecimento de faixas de incerteza dos dados utilizados, de modo a se obter resultados de níveis econômicos com os respectivos limites de confiança.

Com relação às perdas aparentes, seria preciso incorporar no modelo a consideração da política tarifária. Muitos sistemas brasileiros adotam uma política de faturamento mensal mínimo, como por exemplo, de 10 m³/mês para o caso da concessionária estudada, o que reduz a viabilidade da troca de hidrômetros de imóveis com consumo mensal muito inferior a este patamar. Isso leva a um nível econômico de perdas aparentes mais alto. Além disso, são adotadas tarifas escalonadas, com valores progressivos proporcionais ao consumo, o que também precisa ser incorporado na avaliação do nível econômico, sendo que o equacionamento do modelo avaliado de (WYATT, 2010) considera uma tarifa média fixa, independentemente da faixa de consumo.

O modelo indica o nível econômico de perdas reais considerando a otimização da periodicidade de varreduras para detecção dos vazamentos feita continuamente em toda a rede de distribuição. Isso é uma simplificação da realidade que pode afetar o resultado do nível econômico obtido pois, na prática, para maior eficiência, as varreduras devem ser direcionadas para os trechos mais críticos da rede, com maior potencial de incidência de vazamentos.

Também é importante considerar que os fatores que influenciam a determinação do nível econômico são dinâmicos, variando com o tempo, como os custos das ações de ampliação dos sistemas, valores das tarifas etc., sendo que os resultados gerados pelo modelo são uma referência estática que deve ser reavaliada periodicamente.

A partir da determinação do nível de perdas a ser alcançado, um outro grande desafio é determinação criteriosa do prazo para esse objetivo, que depende da avaliação das ações necessárias e seus impactos sobre os volumes recuperados, além da necessidade de viabilização dos recursos necessários. Prazos muito curtos podem demandar investimentos concentrados e elevados, comprometendo outros investimentos sob responsabilidade da concessionária, como em coleta e tratamento de esgoto. Ou ainda, podem demandar valores de tarifa elevados para viabilizar tais investimentos. E prazos muito longos podem levar as taxas de crescimento natural das perdas a superar as reduções obtidas com os baixos investimentos, inviabilizando o alcance desses níveis econômicos, além da manutenção prolongada de níveis de ineficiência.

Num estágio futuro, um aprimoramento do modelo pode ser a incorporação de externalidades dos impactos das perdas, como custos sociais (impactos no trânsito dos serviços de reparos) e ambientais (emissões de carbono). Essas externalidades aumentam o custo da água perdida resultando em níveis econômicos e metas mais rigorosos para as perdas.

4 CONCLUSÃO

O modelo avaliado mostrou-se aplicável aos sistemas de abastecimento de pequeno porte estudados, gerando valores consistentes, tanto para o nível econômico de perdas reais como o de perdas aparentes. Também apresentou baixa sensibilidade a variações dos dados de entrada. Porém, a dificuldade na obtenção de alguns dados pode ser uma barreira para a ampliação de sua adoção. É necessário um aprimoramento da obtenção e registro das informações que podem afetar os resultados, em especial, a quantificação das perdas reais e aparentes, o que é essencial, não apenas para a aplicação do modelo, mas também para um bom diagnóstico e priorização de ações de combate a perdas.

Os resultados obtidos confirmam a elevada eficiência no controle de perdas dos municípios estudados, em especial os municípios 1, 2 e 4, com os atuais níveis de perdas próximos dos seus níveis econômicos, de modo que sua meta deva ser manter os níveis atuais de perdas.

Também ficou evidenciada a importância de se estabelecer e controlar metas específicas para cada uma das parcelas de perdas, reais e aparentes, e não só das perdas totais. Isso permite a melhor priorização das ações específicas de combate a essas perdas e a avaliação dos resultados.

Apesar do modelo não levar em conta as perdas aparentes por fraudes, tal limitação pode ser superada fazendo-se um ajuste, com a adição da parcela considerada aceitável de perdas por fraudes ao nível econômico de perdas aparentes dado pelo modelo.

O modelo não é suficiente para a definição de metas de longo prazo, pois não contempla ações relevantes para o combate a perdas reais, como os investimentos em gerenciamento de pressões, renovação de redes e adequação da setorização ou implantação dos distritos de medição e controle. Para tanto, deve ser associada a esse modelo uma abordagem complementar, como a proposta de (PEARSON; TROW, 2005) para investimentos com horizonte de longo prazo.

É recomendável a ampliação da avaliação do modelo estudado por meio de sua aplicação em uma variedade maior de sistemas, incluindo outros de maior porte, para se verificar eventuais inconsistências ou dificuldades adicionais para sua aplicação, principalmente quanto à obtenção de alguns dados específicos.

Nesse caso, seria válido buscar uma adaptação do modelo, de modo a incorporar a consideração das políticas tarifárias (faturamento mínimo e preços variáveis em função das faixas de consumo) e das perdas aparentes por fraudes, além das ações de investimento de longo prazo para combate a perdas reais.

A partir dessa avaliação, mais estendida e abrangente, e dos ajustes necessários, o modelo estudado pode se tornar uma ferramenta útil para o estabelecimento de metas de perdas reais e aparentes com viabilidade econômica, não apenas para utilização pelas concessionárias, na busca da eficiência e otimização de seus resultados, mas também para as agências reguladoras, que devem incentivar o aumento, com viabilidade, da eficiência das concessionárias e beneficiar os clientes com o repasse dessas reduções de custos às tarifas. E a viabilização econômica do alcance de menores níveis de perdas também possibilita impactos ambientais positivos e maior sustentabilidade no uso dos recursos hídricos, com o ganho para toda a sociedade.

REFERÊNCIAS

- ALEGRE, Helena *et al.* **Performance Indicators for Water Supply Services**. 2. ed. London: Iwa Publishing, 2007. 289 p. (Manual of Best Practice).
- AMOATEY, P. K.; MINKEB, R.; STEINMETZC, H.. Leakage estimation in developing country water networks based on water balance, minimum night flow a. **Water Practice & Technology**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 96-105, 01 mar. 2018. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/wpt.2018.005>.
- ANA (Brasil). Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Brasília: Ana, 2018. 72 p.
- ANA (Brasil). Agência Nacional de Águas. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília: Ana, 2016. 93 p.
- ARSESP. Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo. **Nota Técnica Final: Resultado da 2ª RTO da SABESP - Etapa Final: cálculo da tarifa média máxima**. São Paulo: Arsesp, 2018.
- AWWA. American Water Works Association. **Water Audits and Loss Control Programs: manual of water supply practices m36**. Denver: American Water Works Association, 2009. 285 p.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas [...]. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 16 jul. 2020. n. 135, Seção 1.
- CDO. Câmara Técnica de Desenvolvimento Operacional. **Guia prático de procedimentos para estimativa de submedição no parque de hidrômetros**. Brasília: Aesbe Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento, 2015. (Série Bala).
- CROWDER, Sue; SOLARCZYK, Alicja; WILLIAMS, Anna.. **Alternative Methods for the quantification of leakage**. London: Uk Water Industry Research Limited, 2013. 85 p.
- DEPEXE, Marcelo D.; GASPARINI, Romulo R.. Determinação de taxas anuais de redução da eficiência da medição de hidrômetros. **Revista Saneas**, São Paulo, v. 12, n. 45, p. 33-39, jul. 2012.
- DISCOVER WATER. **Find out how water companies in England & Wales are performing**. 2019. Disponível em: <https://www.discoverwater.co.uk/loss-of-supply>. Acesso em: 01 jun. 2020.
- ESTADÃO. **A guerra das águas. O Estado de São Paulo: Notas & Informações**. São Paulo, p. 3. 09 fev. 2020.
- EUROPEAN UNION. **EU Reference document Good Practices on Leakage Management: main report**. Luxembourg: Office For Official Publications Of The European Communities, 2015. 154 p.
- FARLEY, M.; LIEMBERGER, R.. Developing a non-revenue water reduction strategy: planning and implementing the strategy. **Water Supply**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 41-50, 1 mar. 2005. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2005.0006>.
- FARLEY, Malcolm *et al.* **The Manager's Non-Revenue Water Handbook: a guide to understanding water losses**. [s.l.]: Ranhill Utilities Berhad And The United States Agency For International Development, 2008. 98 p. Disponível em: <http://www.farleywaterconsulting.co.uk/books-and-articles>. Acesso em: 25 jun. 2020.
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 5. ed. Curitiba: Positivo, 2014. CD-ROM

GIZ AND VAG. Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (giz) Gmbh And Vag Armaturen Gmbh. **Guidelines for water loss reduction: a focus on pressure management.** Eschborn: Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (giz), 2011. 232 p.

HAMILTON, S.; CHARALAMBOUS, B. **Leak Detection: technology and implementation.** 2. ed. London: IWA Publishing, 2020. 185 p.

HAMILTON, S.; MCKENZIE, R.. **Water Management and Water Loss.** London: IWA Publishing, 2014. 192 p

KINGDOM, Bill; LIEMBERGER, Roland; MARIN, Philippe.. **The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries: how the private sector can help: a look at performance-based service contracting.** Washington, Dc: The International Bank For Reconstruction And Development, 2006. 41 p.

LAMBERT, A. O. *et al.* A review of performance indicators for real losses from water supply systems. **Journal Of Water Supply: Research and Technology—AQUA**, [s.l.], v. 48, n. 6, p. 227-237, set. 1999. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/aqua.1999.0025>.

LAMBERT, A.O.. International Report: water losses management and techniques. **Water Supply**, [s.l.], v. 2, n. 4, p. 1-20, 1 set. 2002. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2002.0115>.

LAMBERT, A.O.; FANTOZZI, M.. Recent advances in calculating economic intervention frequency for active leakage control, and implications for calculation of economic leakage levels. **Water Supply**, [s.l.], v. 5, n. 6, p. 263-271, 1 dez. 2005. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2005.0072>.

LAMBERT, Allan *et al.* 14 Years' Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators. In: IWA WATER LOSS 2014, 2014., 2014, Vienna. **IWA Water Loss 2014 Proceedings.** [s.l.]: [s.n.], 2014. p. 1-33.

LAMBERT, Allan; MYERS, Stephen; TROW, Stuart. **Managing Water Leakage: economic and technical issues.** London: Financial Times Energy, 1998. 162 p.

LIEMBERGER, R. *et al.* Water Loss Performance Indicators. In: WATER LOSS 2007, 15., 2007, Bucharest. **Water Loss 2007 Conference Proceedings.** Bucharest: Vasile Ciomos, Eugenia Demetrescu, Silviu Lacatusu, Razvan Horac Bubuianu, 2007. v. 3, p. 148-160.

OFFICE OF WATER SERVICES. **Leakage and Water Efficiency.** London: The Comptroller And Auditor General. National Audit Office Press, 2000. 51 p.

PEARSON, David. **Standard Definitions for Water Losses: a compendium of terms and acronyms and their associated definition in common use in the field of water loss management.** London: Iwa Publishing, 2019. 58 p. <https://doi.org/10.2166/9781789060881>.

PEARSON, David; TROW, S. W.. Calculating Economic Levels of Leakage. In: LEAKAGE 2005, 33., 2005, Halifax. **Leakage 2005 Conference Proceedings.** Halifax: [s.n.], 2005. p. 294-309.

SABESP. **Sistema de Acompanhamento das Ações de Redução de Perdas.** São Paulo: Sabesp, 2019a.

SABESP. **Relatório Volumes Faturados e Medidos.** São Paulo: Sabesp, 2019b.

SABESP. **Sistema de Gestão de Perdas - SGP.** São Paulo: Sabesp, 2019c.

SABESP. **Relatório Projeção de População.** São Paulo: Sabesp, 2019d.

- SABESP. **Relatório Ligações e Economias Cadastradas**. São Paulo: Sabesp, 2019e.
- SABESP. **Relatório Evasão de Receitas da Diretoria de Sistemas Regionais**. São Paulo: Sabesp, 2019f.
- SABESP. **Sistema de Informações Comerciais - CSI**. São Paulo: Sabesp, 2019g.
- SABESP. **Relatório Custos Médios de Expansão dos Sistemas de Abastecimento da Diretoria de Sistemas Regionais**. São Paulo: Sabesp, 2019h.
- SABESP. **Relatório Sistema de Tratamento e Reservação de Água**. São Paulo: Sabesp, 2019i.
- SABESP. **Relatório Redes, Adutoras e Coletores por Município**. São Paulo: Sabesp, 2019j.
- SABESP. **Relatório Contabilidade por Município**. São Paulo: Sabesp, 2019k.
- SABESP. **Sistema de Gestão da Hidrometria - SGH**. São Paulo: Sabesp, 2019l.
- SABESP. **Sistema de Gerenciamento de Licitações - SGL**. São Paulo: Sabesp, 2020.
- SÃO PAULO (Estado). Lei Complementar nº 1025, de 7 de dezembro de 2007. Transforma a Comissão de Serviços Públicos de Energia - CSPE em Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo - ARSESP, dispõe sobre os serviços públicos de saneamento básico [...] **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. São Paulo, 08 dez. 2007. v. 117, n. 231.
- SNS. Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Brasília: Sns, 2018.
- TARDELLI FILHO, Jairo. Controle e Redução de Perdas. In: TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 4. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Cap. 10. p. 457-525.
- TECHNICAL WORKING GROUP ON WASTE OF WATER. Department of The Environment National Water Council. **Leakage Control Policy and Practice: final report**. London: National Water Council Technical Committee Reports, 1980. 151 p.
- THORNTON, Julian; LAMBERT, Allan. Pressure management extends infrastructure life and reduces unnecessary energy costs. In: WATER LOSS 2007, 51., 2007, Bucharest. **Water Loss 2007 Conference Proceedings**. Bucharest: Vasile Ciomos, Eugenia Demetrescu, Silviu Lacatusu, Razvan Horac Bubuianu, 2007. v. 3, p. 511-521.
- TRIPARTITE GROUP. **Best Practice Principles in the Economic Level of Leakage Calculation**. London, 2002. 154 p.
- TROW, S.; FARLEY, M.. Developing a strategy for leakage management in water distribution systems. **Water Supply**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 149-168, 1 jun. 2004. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2004.0051>.
- VERMERSCH, Michel *et al.* **Guidance Notes on Apparent Losses and Water Loss Reduction Planning**. [s.l.]: [s.n.], 2016. 77 p. Disponível em: <https://www.mcast.edu.mt/rfm/source/Research/ApparentLosses/AL-Guidance-Note-Final-15th-Sep-2016.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2020.
- WYATT, Alan S.. **Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries**. Research Triangle Park, Nc: Rti International, 2010. Disponível em: <https://www.rti.org/sites/default/files/resources/mr-0018-1006-wyatt.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2020.