



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais



Jonathan Lyncoln Alves Barbosa

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS

Campo Grande, MS
Setembro de 2021

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais

Jonathan Lyncoln Alves Barbosa

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, área
de concentração:
Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves.

Aprovada em: 22 de setembro de 2021

Banca Examinadora

Fábio Veríssimo Gonçalves
Presidente

Peter Batista Cheung
Prof. Dr – FAENG/UFMS

Paulo José Alves de Oliveira
Eng. Civil, PhD - Cincinnati

Campo Grande, MS
Setembro de 2021

RESUMO

Com o crescente nível de perdas de água identificado nos sistemas de distribuição no Brasil, é importante definir metas e estratégias de redução de perdas, a fim de evitar elevados custos com produção de água, como também aumentar as receitas das prestadoras. Mas antes de definir metas de maneira arbitrária e estabelecer ações de redução de perdas, é necessário avaliar até que nível é viável reduzir essas perdas. Esse nível é chamado na literatura de Nível Econômico de Perdas, e define o ponto ótimo onde o sistema terá maiores receitas e menores custos. Há diferentes metodologias que podem ser aplicadas, sendo algumas práticas e outras complexas. Esta dissertação apresenta um estudo sobre o conceito de nível econômico, e uma avaliação de metodologias juntamente com a aplicação delas, com a proposta de determinar a viabilidade do uso dessas metodologias. Foram coletados resultados das aplicações realizadas e foi concluído que as operações podem tirar proveito dessas análises pois elas colaboram na definição de metas de redução de perdas. Em testes realizados foi possível observar que se um sistema reduz sua perda até o nível calculado, ele terá sua receita e seu custo operacional otimizado, apesar dos incrementos nas ações de controle de perdas. Como estudos futuros, foi proposto que sejam aprimoradas as áreas de coletas de dados, com o intuito de impulsionar sua qualidade para que análises como essas tenham resultados de maior confiabilidade.

ABSTRACT

With the increasing level of water losses identified in distribution systems in Brazil, it is important to define goals and strategies to reduce losses to avoid high costs with water production, and to increase the revenues of water industry. But before arbitrarily defining targets and establishing loss reduction plans, it is necessary to evaluate to what level it is feasible to reduce these losses. This level is called the Economic Level of Losses, and it defines the optimal level where the system will have higher revenues and lower costs. There are different methodologies that can be applied, some are practical, and others are complex. This work presents a study about the concept of economic level, and an evaluation of methodologies along with their application, with the proposal of determining if it is viable to use them. Results were collected from the calculations performed and it was concluded that operations can take advantage of these analyses because they collaborate with the definition of loss reduction objectives. In tests carried out, it was possible to observe that if a system reduces its losses up to the calculated level, it will have its revenue and operational cost optimized, despite the increments in losses control actions. As future studies, it was proposed that data collection fields should be improved, to boost their quality so that analyses such as these can have more reliable results.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeção de consumo (UNESCO, 2019).....	2
Figura 2 - Evolução de perdas na distribuição (%) no Brasil (OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2020).	3
Figura 3 - Retornos decrescentes de ações de controle de perdas reais, adaptado de Farley e Trow (2015).....	5
Figura 4 - Quadro de níveis de perda de água em um sistema, adaptado de Pearson (2019).....	6
Figura 5 - Nível Econômico de Perdas Reais, adaptado de Pearson e Trow (2005).....	7
Figura 6 - Quatro métodos básicos de gestão de perdas reais (LAMBERT, A.; MCKENZIE, 2002).....	10
Figura 7 - Nível Econômico de Perdas Reais, adaptado de Pearson e Trow (2005).....	11
Figura 8 - Gráfico do Nível Econômico de Perdas Aparentes (WYATT, A. S., 2010)	13
Figura 9 – Gráfico do Nível Econômico de Perdas Reais (WYATT, A. S., 2010).....	14
Figura 10 - Nível otimizado de dados (VERMERSCH <i>et al.</i> , 2016 apud JOHNSON E.H., 2009)	16
Figura 11 - Período otimizado de troca de hidrômetro (VERMERSCH <i>et al.</i> , 2016 apud VERMERSCH; CARTEADO, 2008)	17
Figura 12 - Gráfico ELAL de Arregui <i>et al.</i> (2018)	21
Figura 13 - Custo de produção - Perdas Reais	22
Figura 14 - Custo futuro de expansão - Perdas Reais (WYATT <i>et al.</i> , 2021).....	24
Figura 15 - Curva de controle de perdas - Perdas Reais (WYATT <i>et al.</i> , 2021).....	26
Figura 16 - Gráfico NEP - Perdas Reais (WYATT <i>et al.</i> , 2021).....	28
Figura 17 - Reta de receita - Perdas Aparentes (WYATT <i>et al.</i> , 2021)	29
Figura 18 - Curva de controle de perdas aparentes (WYATT <i>et al.</i> , 2021)	31
Figura 19 - Gráfico NEP - Perdas Aparentes (WYATT <i>et al.</i> , 2021)	33
Figura 20 - Gráfico de dispersão comparativo dos resultados das duas metodologias	44
Figura 21 - Relação entre tarifa média de água e nível econômico de perdas aparentes, resultado da aplicação da metodologia de Arregui <i>et al.</i> (2018).....	45
Figura 22 - Relação entre tarifa média de água e nível econômico de perdas aparentes, resultado da aplicação da metodologia de Wyatt <i>et al.</i> (2021)	45
Figura 23 - Relação entre consumo e nível econômico, resultado da aplicação da metodologia de Arregui <i>et al.</i> (2018)	46
Figura 24 - Relação entre consumo e nível econômico, resultado da aplicação da metodologia de Wyatt <i>et al.</i> (2021).....	46

Figura 25 - Exemplo gráfico de Nível Econômico de Perdas Aparentes, resultado da aplicação da metodologia de Wyatt <i>et al.</i> (2021)	47
Figura 26 - Exemplo gráfico de Nível Econômico de Perdas Reais, resultado da aplicação da metodologia de Wyatt <i>et al.</i> (2021)	50
Figura 27 - Gráfico de perdas reais com demonstração da banda econômica.....	54
Figura 28 – Gráfico do cálculo de ELAL para o município de Águas de São Pedro – SP	55
Figura 29 – Processo para definição de metas de perdas	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de informações necessárias para a aplicação das metodologias	39
Tabela 2 - Relação de variáveis fixas entre sistemas.....	40
Tabela 3 - Resumo quantitativo de resultados de perdas aparentes	43
Tabela 4 - Análise estatística dos resultados das metodologias de perdas aparentes	43
Tabela 7 - Resumo para perdas aparentes	49
Tabela 8 - Resumo quantitativo de resultados de perdas aparentes da metodologia de Arregui <i>et al.</i> (2018) com alteração proposta	50
Tabela 9 - Análise estatística dos resultados de nível econômico de perdas reais de Wyatt <i>et al.</i> (2021)	50
Tabela 10 - Resumo para perdas reais	53
Tabela 11 - Resultados do cálculo ELAL.....	55
Tabela 12 – Indicadores de performance de perdas aparentes para Águas de São Pedro - SP	56

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	ARCABOUÇO TEÓRICO	9
2.1.	METODOLOGIA DE PERDAS REAIS DE PEARSON E TROW (2005)	9
2.2.	METODOLOGIA DE PERDAS APARENTES E REAIS DE WYATT (2010)	12
2.3.	METODOLOGIA DE PERDAS APARENTES DE VERMERSCH <i>ET AL.</i> (2016) ..	15
2.4.	METODOLOGIA DE PERDAS APARENTES DE ARREGUI <i>ET AL.</i> (2018).....	17
2.5.	METODOLOGIA DE PERDAS APARENTES E REAIS DE WYATT <i>ET AL.</i> (2021)	21
2.5.1.	Nível Econômico de Perdas Reais	22
2.5.2.	Nível Econômico de Perdas Aparentes	28
2.5.3.	Patamar Econômico	35
3.	METODOLOGIA.....	37
3.1.	COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS	37
3.2.	DADOS DE ENTRADA	38
4.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
4.1.	PERDAS APARENTES.....	43
4.2.	PERDAS REAIS	49
4.2.1.	Analisando o Patamar Econômico.....	53
4.3.	OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS	54
4.4.	DISCUSSÕES GERAIS.....	56
5.	CONCLUSÕES.....	63
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

O saneamento básico é o conjunto de estruturas e serviços que cobrem algumas das necessidades básicas da população mundial. Inclui o uso da água potável, a coleta e o tratamento do esgoto gerado, a drenagem urbana das águas pluviais e a coleta de resíduos sólidos.

Quando falamos de esgoto, o ideal é que exista uma estrutura de coleta e tratamento que atenda toda uma região, mas em locais de baixa densidade populacional como áreas rurais, é aceitável que métodos como fossas sépticas sejam utilizados. A drenagem urbana pode ser um grande problema em cidades que possuem maiores densidades populacionais com uma infraestrutura mal planejada, que não é capaz de comportar chuvas de maiores intensidades. Essa problemática é, no entanto, sazonal, e não é um problema predominante no dia a dia. O manejo de resíduos sólidos assim como o esgoto também possui alternativas relativamente baratas e aplicáveis em diferentes locais, como o uso de aterros sanitários para a destinação final dos resíduos.

Porém, o acesso à água potável é o caso que pode apresentar maiores dificuldades vista sua necessidade. Para começar, pode ser citado que há comunidades que não dispõem de água encanada, e para ter acesso à água, as pessoas devem se deslocar para longe de suas casas para ter acesso a um corpo hídrico. Em algumas regiões, as pessoas devem caminhar por horas para chegar ao local de acesso. Há também casos em que a distância é curta, mas a disponibilidade hídrica é temporária, o que significa que pode faltar água por extensos períodos. A qualidade da água também é importante de ser mencionada, pois mesmo com acesso rápido a um corpo hídrico, há casos em que a qualidade é muito baixa, o que pode tornar a água imprópria para uso.

Um relatório da UNESCO (2019) traz algumas informações sobre o panorama mundial em relação a disponibilidade de água. Em 2015, cerca de 2,1 bilhões de pessoas possuíam acesso à água para beber, mas não considerada segura. Destes, 844 milhões não tinham sequer acesso a um serviço básico de água potável.

Muito trabalho ainda deve ser realizado para atingir toda a população mundial com água encanada e de qualidade. É um processo constante, visto que o consumo de água possuirá por muito tempo, uma tendência de aumento. A Figura 1 da UNESCO (2019), mostra uma projeção do consumo de água no mundo para 2025 e 2040 em comparação ao ano de 2014.

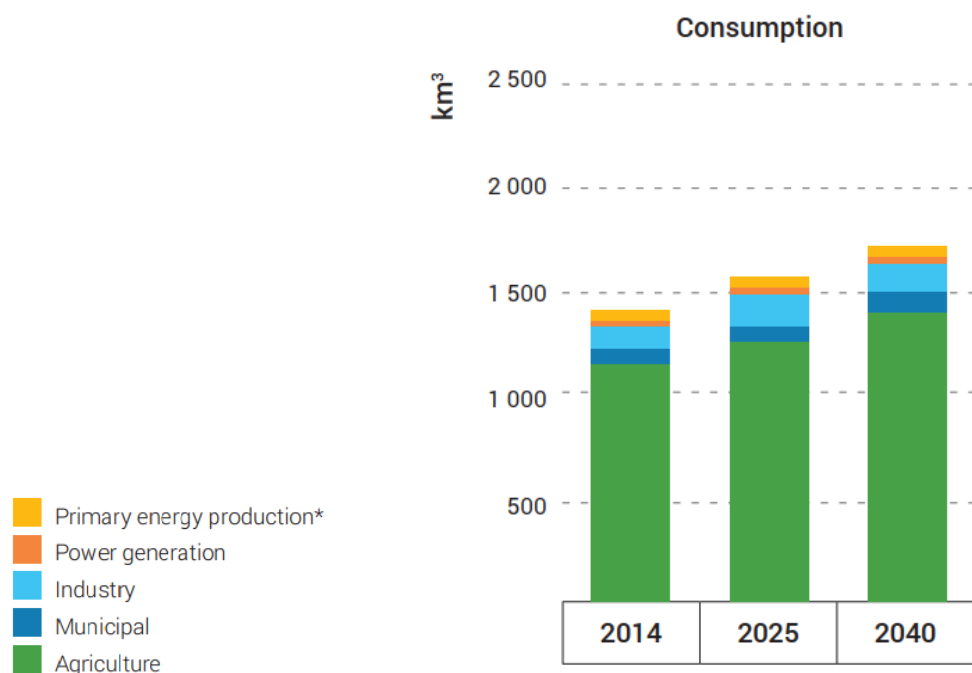


Figura 1 - Projeção de consumo (UNESCO, 2019)

Pode ser observado um crescimento constante, em parte motivado pelo aumento da população nas cidades, mas também pelo aumento do consumo na agricultura e na indústria, que acompanha a expansão da população.

A situação no Brasil em relação à água é muitas vezes superestimada, pois o país é visto como um local onde há água em abundância. Um relatório do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), apontou uma estimativa em 2019 onde de 72,4 milhões de domicílios no Brasil, 70,7 milhões contavam com água canalizada.

Se for analisada apenas a porcentagem, teremos que 97,6% dos domicílios do país contam com água encanada. Mas os números mostram que o percentual restante equivale a aproximadamente 1,7 milhões de domicílios sem acesso à água, o que é uma quantidade expressiva.

Essas informações, no entanto, ainda não mostram as dificuldades que podem ser encontradas pelos domicílios que possuem acesso. Um dos problemas é a disponibilidade hídrica já citada. Há diversas regiões que sofrem com a falta de água regularmente, e há períodos em que a situação pode se agravar de acordo com o clima.

Grandes investimentos ainda são necessários para atender 100% da população com água encanada. Até lá, o trabalho de manter o abastecimento já disponível com qualidade é constante e requer muita atenção. Um dos maiores problemas encontrados em sistemas de abastecimento já operantes, são as perdas na distribuição.

Essas perdas ocorrem através de vazamentos por rompimentos em tubulações, extravasamentos de reservatórios, limpeza, erros de medição e outras situações que implicam em uma perda física de água ou financeira para a operação. Elas não são negligenciáveis. Dependendo da dimensão do sistema e do nível de gestão de perdas, elas podem ser tão elevadas a ponto de que metade da água produzida (água tratada que ingressa a rede de distribuição), seja totalmente perdida antes de poder ser consumida.

Relatório realizado por Oliveira *et al.* (2020) a partir de dados públicos da plataforma SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) de 2018, demonstra que o Brasil está numa situação precária de combate à perdas de água, de maneira que elas têm sido crescentes nos últimos anos. Esse crescimento é apresentado na Figura 2.

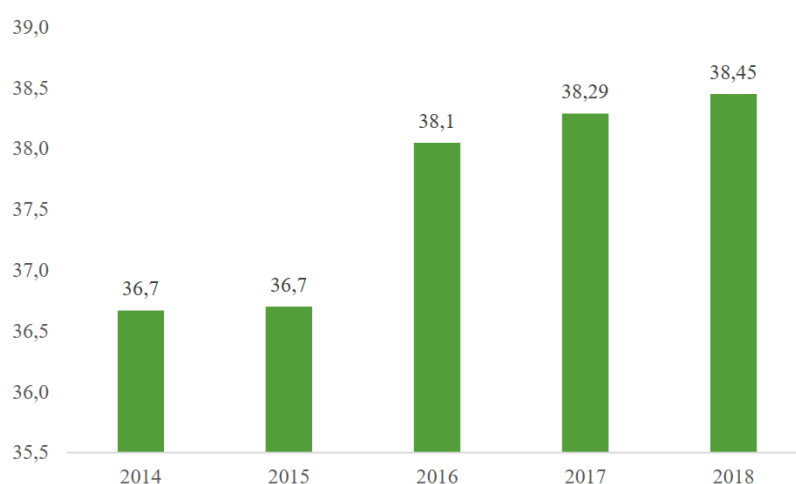


Figura 2 - Evolução de perdas na distribuição (%) no Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Pode ser observado que houve pequeno aumento nos últimos anos, sendo que o total é de 1,75% o que mostra que as ações de combate a perdas não estão sendo suficientes. O valor em porcentagem pode parecer pequeno, mas em um país com um elevado consumo de água como o Brasil, um aumento deste grau no nível de perdas é expressivo. O gráfico também mostra que em 2018, de cada 100 litros produzidos para distribuição, pelo menos 38 litros foram perdidos, seja perda real, onde não há consumidor final, seja perda aparente, onde há consumidor, mas não há cobrança pela prestadora de serviços.

O relatório de Oliveira *et al.* (2020) também faz uma quantificação estimada do balanço hídrico¹ no Brasil. Concluem que em 2018, o Brasil deixou de faturar 6,5 bilhões de m³ de água, volume equivalente a 7.144 piscinas olímpicas perdidas ao dia. Se fosse possível

¹ O balanço hídrico é uma forma de avaliar como toda água que é produzida, isto é, captada, tratada e distribuída no sistema de abastecimento, é utilizada.

reduzir esse volume de perdas para 20%, seria economizado 1,8 bilhões de m³, que seriam suficientes para abastecer 32,6 milhões de pessoas por um ano. Em comparação com um cenário internacional, há estudos que estimam que o nível de perdas de água de países desenvolvidos é de aproximadamente 15% (KINGDOM; LIEMBERGER; MARIN, 2006).

As perdas de água são divididas em reais e aparentes. As reais ocorrem quando há perdas por vazamentos nas tubulações e extravasamentos de reservatórios, e o que é perdido não é utilizado. As aparentes podem ocorrer de diferentes formas, como erro de medição dos hidrômetros, seja por limitações físicas ou pela idade, fraudes, ligações clandestinas e falhas de cadastro. Basicamente, perda aparente é a água que foi utilizada, mas não faturada (TSUTIYA, 2006).

Pode haver um grande impacto econômico nas operações de abastecimento de água, dependendo do nível de perdas. Um alto nível de perdas reais implica que um alto custo de produção está sendo perdido. No caso da perda aparente, grandes perdas significam que grandes volumes de água não estão sendo faturados.

Reduzir as perdas também pode trazer melhorias significativas para a operação como um todo, de maneira direta ou indireta. Perdas menores reduzem custos energéticos e operacionais, o que elevam a qualidade dos serviços, e por consequência melhoram a imagem da companhia perante o cliente. Também aumenta as receitas recebidas, que pode contribuir para melhorar os resultados financeiros da empresa, trazendo mais credibilidade e atraindo mais investimentos (WYATT, A. S.; RICHKUS; SKY, 2016).

Com vista a esse cenário, é importante discutir maneiras eficazes de reduzir as perdas, mas também é relevante responder à pergunta: até onde devemos reduzir os níveis de perdas de água?

Existem limitações técnicas que não permitem que as perdas sejam reduzidas a zero. Além disso, os investimentos necessários para a redução e controle em um nível baixo podem ser bastante elevados, de maneira que podem ser necessários elevados investimentos para reduzir e manter as perdas em um nível baixo.

Farley e Trow (2015) demonstram que há um nível mínimo de perdas de água que pode ser atingido, e que ações de redução tem um custo que se eleva de forma quase exponencial, conforme são reduzidas as perdas, que pode ser observado na Figura 3. O gráfico apresentado mostra de maneira aproximada o retorno que pode ser obtido, em um custo unitário por Ml/d (megalitros por dia), de atividades que visam reduzir as perdas reais, como reabilitação de rede, manejo de pressão, aumento de velocidade de reparo de vazamentos e redução de

perdas inerentes². Em cada medida de redução de perdas, há um aumento expressivo de custo ao passo que maiores declínios nas perdas são alcançados. O nível mínimo de perdas, pode ser chamado de perdas inevitáveis, e indica que as reduções de perdas são limitadas. Como demonstrado na Figura 3, há um aumento não linear nos custos das ações de redução de perdas. Portanto, existe um nível, em que reduzir as perdas além dele, se torna uma atividade mais custosa que as permitir.

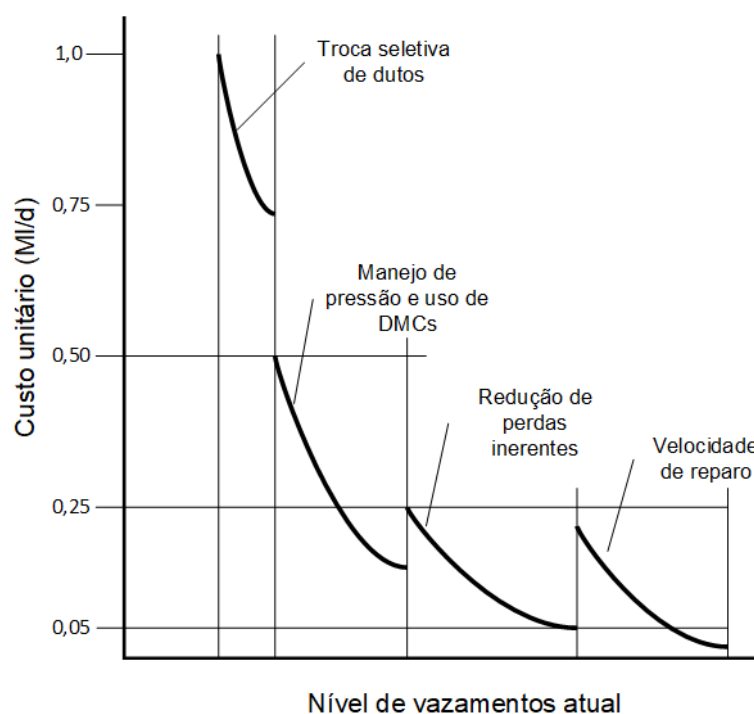


Figura 3 - Retornos decrescentes de ações de controle de perdas reais, adaptado de Farley e Trow (2015)

Esse é um grande problema para as prestadoras de serviço, pois é sabido que não se pode reduzir demasiadamente as perdas, porém geralmente não é conhecido até que ponto pode ser interessante realizar essas reduções. Por falta de avaliações mais técnicas, algumas operações podem optar por deixar níveis de vazamentos mais elevados, acreditando que investimentos na redução dessas perdas não trarão retorno financeiro que valha o incremento de custos de controle.

Se prestadoras de serviço soubessem o nível de perdas que deveriam manter seus sistemas, de modo que operassem em um nível ótimo financeiro em relação aos custos de operação, essas prestadoras poderiam definir melhor uma meta a se atingir em relação às perdas,

² Perdas inerentes são pequenos vazamentos na rede de distribuição de água, que não podem ser encontrados por técnicas de detecção de ruído, atividade comum em operações de caça a vazamentos.

para que depois fosse possível definir como atingi-la, de maneira que as operações pudessem incrementar suas receitas e diminuir seus custos operacionais.

A análise técnica que permite encontrar este nível ótimo de perdas, é chamada na literatura de **Nível Econômico de Perdas (NEP)**. O nível econômico de perdas é o ponto acima das perdas inevitáveis, em que o sistema estaria operando com o menor custo operacional possível, e é apresentado na Figura 4 que mostra de maneira simplificada os níveis de perdas de um sistema.

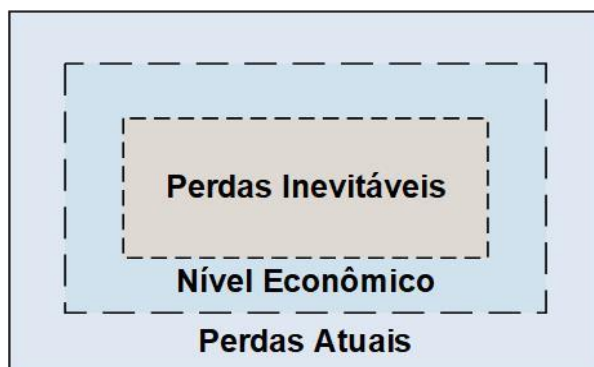


Figura 4 - Quadro de níveis de perda de água em um sistema, adaptado de Pearson (2019)

O nível econômico de perdas é um parâmetro, resultado de metodologias que permitem conciliar dados físicos e financeiros do sistema. É um resultado em volume, em que o sistema estaria perdendo água, mas tendo o menor custo operacional, e a maior receita.

De acordo com Pearson e Trow (2005), esse conceito tem longa data, mas tem se tornado mais compreendido com o avanço de pesquisas no setor do saneamento, devido a maiores investimentos e preocupações com o cenário de perdas de água em sistemas de distribuição. Na Figura 5, Pearson e Trow (2005) demonstram o NEP para perdas reais, onde é realizada uma combinação entre custo de produção de água, representado pela curva linear crescente, e uma curva de custo de controle de perdas. A soma dessas curvas resulta em um custo total de operação do sistema, onde seu ponto mínimo, ou seja, o menor custo de operação, representa o NEP. De maneira similar o NEP de perdas aparentes também pode ser determinado, onde a reta de custo de produção seria substituída por uma reta de custo de tarifa que é perdida proporcionalmente ao nível de perdas.

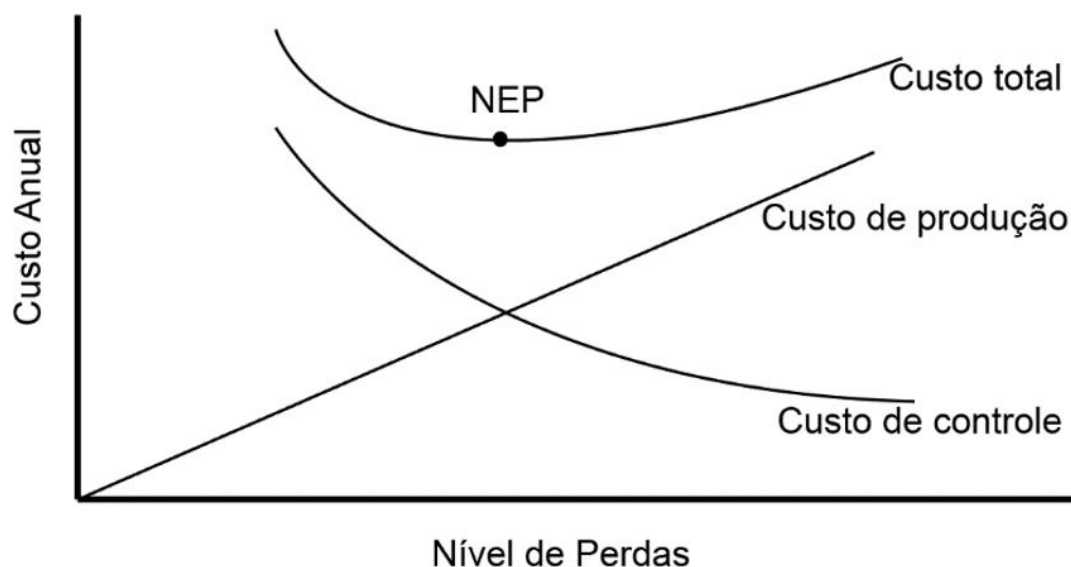


Figura 5 - Nível Econômico de Perdas Reais, adaptado de Pearson e Trow (2005)

Apesar de não ser um conceito novo, no Brasil essa aplicação ainda não é bem difundida. Um problema comum em operações de distribuição de água no país, é a maneira arbitrária em que muitas vezes são realizadas as definições de metas de redução de perdas. Objetivos são muitas vezes definidos sem análise técnica, sendo baseados em informações de perdas de países desenvolvidos. Esse tipo de definição de meta pode ser bastante incoerente, considerando que temos uma série de variáveis diferentes entre cada sistema, o que significa que o bom para um local não será necessariamente bom para outro. Portanto, o uso de uma análise técnica como o NEP pode ser interessante tanto para agências reguladoras quanto para concessionárias, pois com isso seria possível definir metas de perdas em níveis que sejam coerentes com a realidade de cada local.

Na literatura, Wyatt (2010) apresentou uma metodologia de cálculo para as duas perdas, com foco em países em desenvolvimento. Seu método busca trazer resultados a partir de poucos dados, os quais também sejam relativamente fáceis de serem levantados. Em perdas aparentes, é tratada apenas a submedição do hidrômetro, não sendo considerada perdas por fraudes, ligações clandestinas e submedição inicial. Nas perdas reais são calculadas curvas para reparo de rede e pesquisa, custo de produção de água, e uma curva para expansão do sistema. Já Pearson e Trow (2005) apresentam cálculo de NEP de perdas reais, onde são consideradas duas situações temporais, de curto e longo prazo. Porém perdas aparentes não são abordadas no estudo. Arregui *et al.* (2018) apresentam metodologia NEP para perdas aparentes, dividida em categorias, onde consideram submedição inicial, fraudes e ligações clandestinas. Além disso há

possibilidade de se trabalhar com uma quantidade menor ou maior de dados, podendo variar a precisão do resultado de acordo com a disponibilidade dos dados. Também há na literatura diversas aplicações em casos reais, que mostram resultados promissores (MUÑOZ-TROCHEZ; SMOUT; KAYAGA, 2011).

Portanto, como são diversas as apresentações sobre o assunto na literatura, a proposta desta dissertação foi de estudar algumas metodologias sobre nível econômico de perdas. Os objetivos foram definir se as metodologias são aplicáveis ao Brasil, e se elas precisam ser adaptadas. Isso é importante pois como dito anteriormente, essas aplicações poderão fornecer às empresas prestadoras de serviços de abastecimento de água, um parâmetro de perdas em que poderão manter seus sistemas operando no ponto ótimo econômico. Isso ajudaria a responder pergunta: “até onde devemos reduzir os níveis de perdas de água?”.

Foi visto a partir dos estudos realizados, que o uso de metodologias de nível econômico de perdas pode sim ser benéfico para operações de abastecimento de água, promovendo uma melhor otimização de custo operacionais. Porém, os dados necessários para realizar os cálculos podem não estar disponíveis com facilidade, fazendo com que seja necessário recorrer a estimativas ou valores de referência, e isso pode impactar nos resultados.

2. ARCABOUÇO TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentadas as avaliações de cada metodologia, sendo divididas por subcapítulos.

2.1.METODOLOGIA DE PERDAS REAIS DE PEARSON E TROW (2005)

Pearson e Trow (2005) desenvolveram uma metodologia para calcular o nível econômico, o qual chamam nesse estudo de *Economic Level of Leakage* (Nível Econômico de Vazamentos) visto que se trata apenas de perdas reais.

Nesta metodologia são levadas em conta duas considerações econômicas em relação a custos de produção em diferentes horizontes de tempo, podendo ser de curto prazo (*short run*) ou longo prazo (*long run*). De acordo com Parkin, Powell, Matthews, (2005 apud PEARSON, TROW, 2005, p.2), “o *short run* é o período de tempo em que a quantidade de pelo menos um dado de entrada é fixado e a quantidade dos outros dados podem ser variadas. O *long run* é o período de tempo em que as quantidades de todos os dados de entrada podem variar, e outros novos dados podem ser introduzidos.”

Esses conceitos são aplicados para as quatro principais atividades de controle de perdas reais, que são controle de pressão, controle de vazamento ativo, qualidade e velocidade de reparos e melhoras na infraestrutura. Essas atividades também são descritas por Lambert e McKenzie (2002), que apresentam o quadro na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, onde referenciam que essas 4 ações devem ser realizadas para que se possa reduzir as perdas reais, de forma a atingir o UARL (*Unavoidable Annual Real Losses*), que são as perdas reais anuais inevitáveis. O UARL é resultado de uma fórmula teórica, e define o mínimo de perda real que seria possível de atingir, se a operação de distribuição de água não tivesse restrições de recursos e empregasse as melhores tecnologias no controle de perdas (HAMILTON; MCKENZIE; SEAGO, 2006; LAMBERT, A. O. *et al.*, 1999).

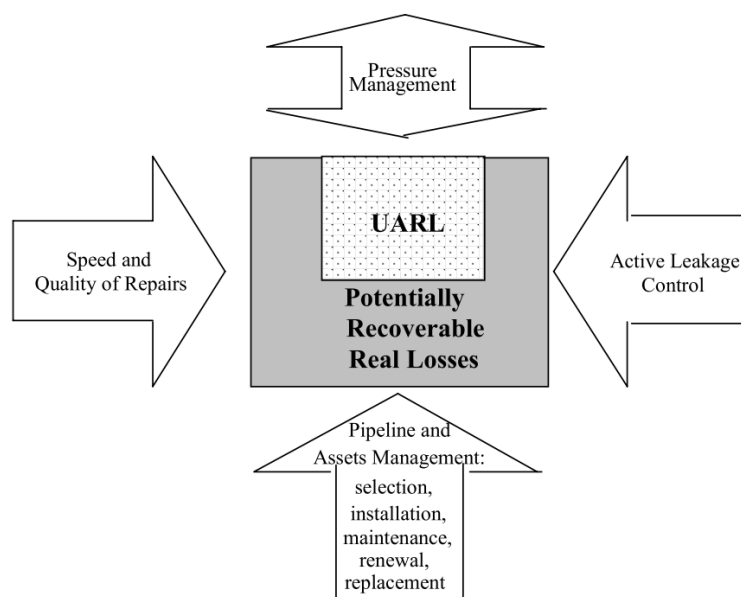


Figura 6 - Quatro métodos básicos de gestão de perdas reais (LAMBERT, A.; MCKENZIE, 2002)

Controle de vazamentos e reparos são considerados atividades de curto prazo, pois podem sofrer com qualquer mudança relacionada à mão de obra. Já a reabilitação da infraestrutura e o controle de pressão necessitam investimentos maiores, o que traria impactos no longo prazo, sendo portanto considerados atividades deste último caso (PEARSON; TROW, 2005).

- Aplicação em curto prazo

A metodologia de Pearson e Trow (2005) trabalha definindo que, para o cálculo de curto prazo, seja utilizado uma curva de custo de controle ativo de perdas, definida na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** como Custo de Controle. Esse custo irá representar o controle de vazamentos não reportados, que são aqueles que são encontrados através de pesquisa de vazamentos, que pode ser realizada utilizando técnica de geofonamento³ por exemplo. Essa curva pode ser traçada de maneira empírica ou teórica. O modelo empírico poderia ser realizado através de pontos de resultados reais de uma operação. O problema aqui seria a necessidade de ter um histórico de dados amplo para que haja informação suficiente capaz de definir uma curva. A maneira teórica de traçar essa curva seria pelo uso de outras

³ Geofonamento é uma técnica de detecção de ruídos através de uso de aparelhos geofones. Um operador busca encontrar um vazamento ao ouvir ruídos provenientes do solo, que podem indicar que há um fluxo de água correndo naquela área em decorrência de algum rompimento na tubulação de água.

metodologias, sendo que a metodologia de Lambert e Lalonde (2005) citada por Pearson e Trow (2005) será tratada em subcapítulo na sequência.

É necessário também para o método descrito por Pearson e Trow (2005) , que seja utilizado uma reta de custo de produção de água, também definida na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Aqui estão contabilizados custos de curto prazo em termos de energia, produtos químicos e mão de obra. Quanto maior o nível de perdas, maior o custo de produção perdido.

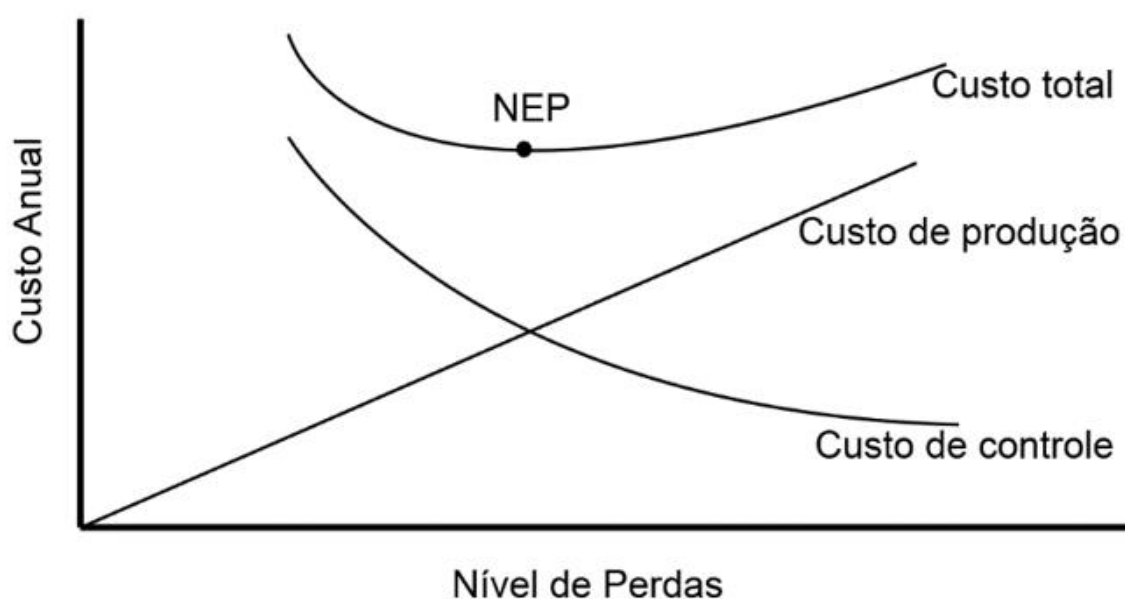


Figura 7 - Nível Econômico de Perdas Reais, adaptado de Pearson e Trow (2005)

Somando a reta e a curva, é obtida a curva de custo total apresentada no gráfico. O ponto de menor custo, definido como NEP, é onde o sistema de distribuição de água estaria trabalhando com os menores custos operacionais.

- Aplicação em longo prazo

Para uma avaliação de nível econômico em longo prazo, deve ser considerado que atividades com investimentos maiores como controle de pressão e reabilitação de redes de distribuição devem ser pagas com as economias que essas atividades irão gerar (PEARSON; TROW, 2005).

Essas avaliações, no entanto, requerem um grau maior de informações referentes aos sistemas de abastecimento de água. De maneira sumarizada para o longo prazo, Pearson e Trow (2005) fazem as seguintes recomendações: que o manejo de pressão inclua projetos em que pressões excessivas sejam reduzidas, que surtos de pressão tenham seus efeitos adversos minimizados e que projetos futuros sejam implementados por ordem de custo x benefício.

É importante destacar que o controle de pressão pode interferir indiretamente nas perdas aparentes, pois o manejo de pressão adequado tem um impacto positivo no chamado efeito caixa d'água, onde grandes quantidades de volume de água geralmente deixam de ser medidas nos hidrômetros por limitações técnicas, que não são detectadas em baixas vazões. Esse impacto ocorre pois o manejo pode reduzir a duração de vazões muito baixas (THORNTON; LAMBERT, A., 2005).

Essa metodologia foi aplicada em outros estudos onde os autores foram capazes de definir quais deveriam ser as prioridades de redução de perdas reais (ALKASSEH *et al.*, 2015; KANAKOUDIS; GONELAS, 2016).

2.2.METODOLOGIA DE PERDAS APARENTES E REAIS DE WYATT (2010)

A metodologia apresentada por Wyatt (2010) apresenta um modelo financeiro para determinação de um nível otimizado de perdas reais e aparentes, que é essencialmente equivalente ao nível econômico de perdas. O autor parte da premissa de que países em desenvolvimento, muitas vezes, as organizações reguladoras de água determinam metas de redução de perdas para as concessionárias de maneira arbitrária, sem estudo ou qualquer tipo de consideração da realidade do local.

O resultado disso é que atingir essas metas seria, em vários casos, impraticável de um ponto de vista econômico, pois é necessário levar em conta as variáveis da região que podem divergir grandemente entre locais.

Assim, foi desenvolvido a metodologia por Wyatt (2010) que buscava obter o nível econômico de perdas de um sistema, para que este pudesse ser utilizado como a meta de redução de perdas para países em desenvolvimento. Como fora pensado para eles, nesta metodologia não é necessária uma ampla quantidade de dados, e caso alguma das informações não esteja disponível, é possível utilizar uma estimativa com facilidade.

O modelo realiza os cálculos para perdas aparentes e reais de maneira separada, em que cada caso possui suas próprias fórmulas e considerações. Para perdas aparentes, o cálculo é realizado a partir de duas considerações: receitas e custo de controle da submedição. Não é incluso neste modelo o cálculo de nível econômico de fraudes e ligações clandestinas.

O gráfico para perdas aparentes é apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** A curva e a reta apresentadas se referem a um valor por ano em função das perdas aparentes adimensionais, que varia de 0 a 1, onde 1 representa 100% de perdas por submedição. Para receitas, é feita uma consideração em que quanto maior for o nível de perdas aparentes, menor é a receita total. Este caso é demonstrado por uma reta decrescente que termina em 1 de perda aparente adimensional, significando que a receita neste caso teórico seria zero.

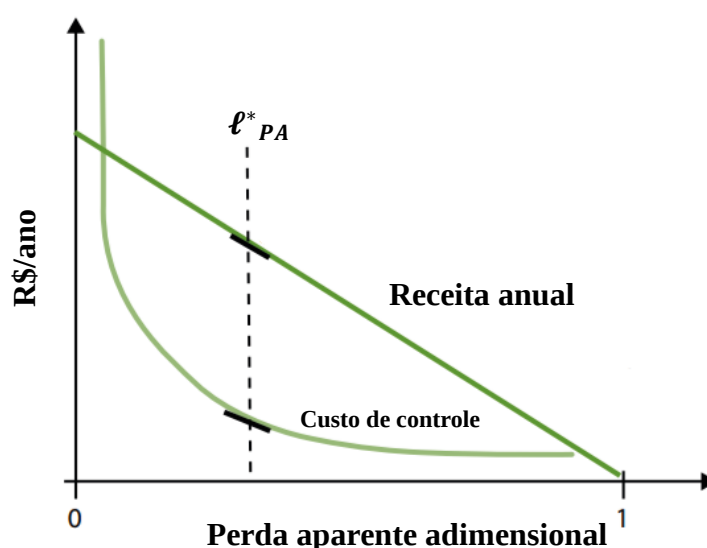


Figura 8 - Gráfico do Nível Econômico de Perdas Aparentes (WYATT, A. S., 2010)

A curva apresentada no gráfico demonstra o custo de controle para perdas aparentes por submedição, que é em outros termos, o custo do programa de troca de hidrômetros. Neste caso, os parâmetros mais importantes envolvidos na fórmula que gera a curva, são o custo do hidrômetro com mão de obra, o decaimento de precisão do hidrômetro por ano e a tarifa média da água.

Para encontrar o nível econômico de perdas aparentes (representado por l^*_{PA}), há uma fórmula reduzida que apresenta como resultado, um valor em perdas aparentes adimensionais. Este valor pode ser convertido em porcentagem, que na sequência, tomando o consumo total do sistema em estudo, pode ser convertido para a unidade de medida mais recomendada para perdas, L/lig/dia.

Para perdas reais são consideradas três curvas para encontrar o NEP: curva de custo variável de produção, curva de custo futuro da expansão e curva de controle de perdas. Com a soma das três curvas temos uma resultante que representa o custo total anual de uma operação em relação às perdas reais. O gráfico é apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

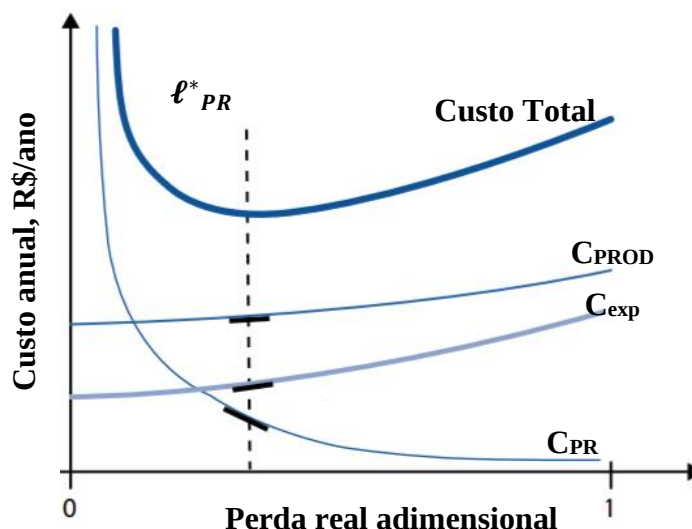


Figura 9 – Gráfico do Nível Econômico de Perdas Reais (WYATT, A. S., 2010)

A curva de custo variável de produção (C_{PROD}), considera diretamente o custo de produção da água em função das perdas reais. Em um caso hipotético de perda igual a zero, o custo seria referente ao volume consumido no sistema. A partir disso, quanto maiores as perdas, maior é o custo de produção.

A curva de custo de controle (C_{PR}) trabalha com os custos de mitigação às perdas reais. Envolve a pesquisa de vazamentos nas redes e o custo de reparo das tubulações. Se a prestadora de serviços não está empregando recursos suficientes para o combate às perdas, elas serão maiores. Porém, na medida que o controle de perdas vai sendo mais robusto, seu custo passa a ser extremamente elevado, a ponto de que a curva admite um custo infinito. Isso ocorre pois é considerado que não se pode ultrapassar o nível de perdas inevitáveis (UARL).

A última curva de cálculo é a de custo futuro de expansão (C_{exp}). Ela leva em consideração o custo futuro da próxima expansão do sistema de captação de água, e quanto tempo levaria para que essa expansão fosse necessária, considerando o nível de perdas reais e o crescimento populacional. Dessa forma, é calculado um custo anualizado a partir do custo total da expansão futura. Um nível de perdas baixo, implicaria um custo anualizado baixo nessa curva pois com um nível menor de perdas, a expansão futura não precisaria ocorrer tão

brevemente. Do contrário, perdas reais elevadas implicam que levará menos tempo até que seja necessário realizar uma expansão da capacidade de produção do sistema, e assim, o custo anualizado passa a ser maior.

Com as três curvas calculadas, é realizado a soma delas para que seja obtida a curva de custo total. Com essa curva, o ponto de menor custo, representado pelo ponto de inflexão da curva, é o resultado NEP (representado por ℓ_{PR}^*).

Este modelo foi aplicado em mais de 100 sistemas em mais de 35 países, e em alguns casos específicos, foram aplicadas abordagens mais detalhadas. O modelo possui uma sensibilidade das variáveis de entrada de baixa à média, o que faz com que o resultado não varie muito quando esses dados são estimados (WYATT, A. S.; ALSHAFFEY, 2012).

O modelo foi atualizado por Wyatt *et al.* (2021) e será descrito com mais detalhes no subcapítulo específico para essa reformulação.

2.3.METODOLOGIA DE PERDAS APARENTES DE VERMERSCH *ET AL.* (2016)

O estudo publicado por Vermersch *et al.* (2016) não apresenta de maneira direta, cálculo para se obter o nível econômico de perdas aparentes, como é apresentado em outras metodologias já descritas (LAMBERT, A.; LALONDE, 2005; WYATT, A. S., 2010). Porém, é feita uma avaliação do conceito de nível econômico de perdas aparentes.

Algumas avaliações levantadas por Vermersch *et al.* (2016) são que o nível econômico de perdas aparentes é diferente para cada tipo de perda aparente, e precisa ser avaliado de maneira separada. O NEP poderá mudar de acordo com os avanços das tecnologias relacionadas ao controle de perdas. Não é possível utilizar um valor de referência. Os custos de combate às fraudes e ligações clandestinas pode ser muito mais elevado em países em desenvolvimento que países desenvolvidos.

Além disso, os autores também discorrem sobre a importância de se ter dados de qualidade para a operação de água. A quantidade e qualidade de dados sobre a operação, disponíveis para consulta pelos operadores, vai depender dos investimentos realizados em atividades de captura, coleta, transmissão, processamento, manipulação, representação e aplicação dos dados (VERMERSCH *et al.*, 2016)

A eficiência da operação de distribuição de água será menor em casos que possuem uma deficiência de dados, enquanto lugares com base de dados mais ampla, é esperado uma eficiência maior. Isso ocorreria pois com dados de maior qualidade, as decisões a serem

tomadas com base neles seriam otimizadas. Em casos de dados com baixa qualidade, decisões poderiam ser tomadas erroneamente baseadas em informações estimadas que não representariam a realidade (VERMERSCH *et al.*, 2016).

É apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, gráfico que demonstra q ue deve existir uma região otimizada de nível de informações, pois a falta de dados incorreria em custos de ineficiência, e a abundância de dados incorreria nos custos elevados para se manter esse padrão.

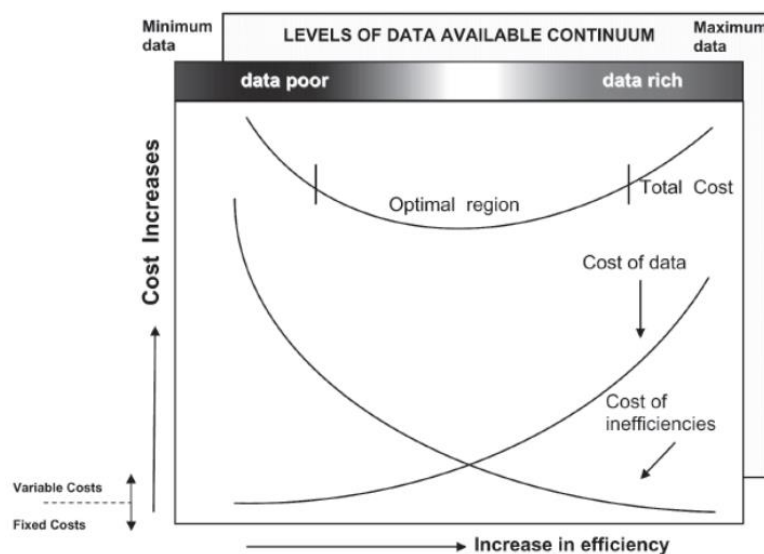


Figura 10 - Nível otimizado de dados (VERMERSCH *et al.*, 2016 apud JOHNSON E.H., 2009)

Esse conceito influencia no saneamento da seguinte forma: existe um relacionamento inversamente proporcional entre NRW (*Non-Revenue Water*), que é o volume de água não faturada em uma operação, e o nível de dados disponível na operação. Quanto maior é a NRW, menor é o nível de dados, e quanto menor a NRW, maior a quantidade de informações de qualidade (VERMERSCH *et al.*, 2016).

Apesar de não apresentarem fórmulas de cálculo, é descrito pelos autores uma relação de custo x benefício que pode ser executada para uma troca otimizada de hidrômetros. Para isso seria necessário avaliar os custos de troca de hidrômetro e mão de obra, subtraídos do acréscimo de receita devido a redução da submedição. Com isso seria obtido um gráfico, apresentado na, em que poderia ser extraído o tempo ótimo de troca de hidrômetro de maneira a obter um nível econômico de perdas aparentes por submedição.

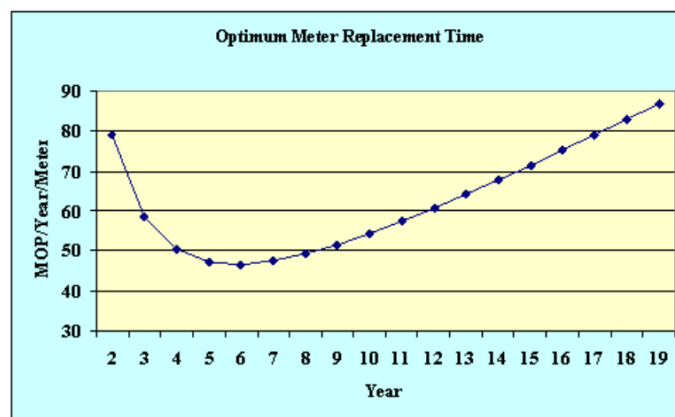


Figura 11 - Período otimizado de troca de hidrômetro (VERMERSCH *et al.*, 2016 apud VERMERSCH; CARTEADO, 2008)

O período ótimo de troca de hidrômetros depende de fatores como, a curva de perda de precisão dos hidrômetros, tarifa, custo dos hidrômetros e custo de mão de obra (VERMERSCH *et al.*, 2016).

2.4.METODOLOGIA DE PERDAS APARENTES DE ARREGUI *ET AL.* (2018)

A metodologia de Arregui *et al.* (2018), chama o nível econômico de perdas aparentes de ELAL (Economic Level of Apparent Losses). A metodologia divide as perdas aparentes em componentes, apresentadas no Quadro 1, que são calculadas da maneira individual.

Perdas Aparentes Independentes de Intervenção	Erros de Micromedição
	Conexões Ilegais
	Gerenciamento de dados
Perdas Aparentes Dependentes de Intervenção	Erros de Micromedição
	Conexões Ilegais

Quadro 1 - Componentes de Perdas Aparentes (ARREGUI, F. J. *et al.*, 2018)

- Perdas aparentes independentes de intervenção

Trata o mínimo de perdas que poderia ser alcançado e que não depende da frequência de intervenções. Nela temos a parcela de erros mínimos de micromedição toleráveis que variam de acordo com o tipo do hidrômetro. A outra parcela é de conexões ilegais, onde sempre haverá um mínimo passível de ocorrer, visto que não é possível manter pesquisa constante em toda

rede de abastecimento. Por fim está o gerenciamento de dados, onde é levado em conta, erros de leitura ou estimativas equivocadas quando há falta delas, que resultam em perdas no faturamento.

Para perdas aparentes independentes de intervenção devido a erros inevitáveis de micromedição ($IIALL_{MES}$ - *Intervention Independent Annual Apparent Losses Due to Unavoidable Measuring Errors*) é considerado a Equação (1):

$$IIAAL_{MES} = ICF \times UAUV + ADMFAL \quad (1)$$

Onde o ICF (*Infrastructure Condition Factor*) é o índice de condição de infraestrutura voltado para perdas aparentes, que tem conceito semelhante ao ICF de perdas reais, que serve como parâmetro que avalia a condição de perdas reais de um sistema (FANNER; THORNTON, 2005; PEARSON, 2019). A variável UAUV (*Unavoidable Annual Unmeasured Volume*) representa o volume anual não medido inevitável, que advém da limitação técnica de precisão dos medidores. Já ADMFAL (*Annual Detected Meter Failures Apparent Losses*) representa as perdas ocasionadas por falhas de hidrômetros em volume por ano.

Para perdas por conexões ilegais, o cálculo é realizado pela Equação (2):

$$IIAAL_{ILL} = \sum_j \left(\frac{AIF_j}{100} \times ACV_j \right) \quad (2)$$

Em que AIF (*Average Illegal use Frequency*) é a frequência média de uso ilegal de água em porcentagem por ano, e j representa cada tipo de consumidor (residencial, comercial, industrial e outras classificações). ACV (*Annual Consumption Volume*) é o volume anual consumido por cada tipo de cliente, dado em volume por ano.

No caso de perdas ocasionadas por erros em gerenciamento de dados, o cálculo a ser realizado ocorre pela Equação (3):

$$IIAAL_{DH} = DHE \times \sum_i NM_i \quad (3)$$

Em que DHE (*Data Handling Errors*) representa as perdas ($m^3/\text{medidor.ano}$) relativas a questões de leitura dos medidores e algoritmos utilizados para correção de erros encontrados. É um parâmetro complexo de ser levantado, de forma que apenas através de uma auditoria no

sistema comercial seria possível obter um bom resultado. O número total de medidores é representado por NM.

- Perdas aparentes dependentes de intervenção

Aqui são tratadas perdas que dependem de intervenção, e que aumentam quando essas intervenções deixam de ser realizadas ou diminuem sua frequência. Os erros de micromedição envolvem erros relacionados a idade do hidrômetro, que tendem a ter uma submedição maior com o passar do tempo. A outra parte é de consumo ilegal, em que considera as perdas por fraudes e conexões ilegais.

Para calcular a primeira componente, Perdas Aparentes Anuais Dependentes de Intervenção Associadas a Erros de Medição ($IDALL_{MES}$ - *Intervention Dependent Annual Apparent Losses Associated with Measuring Errors*), deve ser utilizada a Equação (4):

$$IDALL_{MES} = NRRAL_{MES} \times t \quad (4)$$

Onde $IDALL_{MES}$ é o resultado em (m³/ano) e a variável t é o tempo em anos que representa a idade média dos hidrômetros. $NRRAL_{MES}$ é o crescimento natural de perdas aparentes devido à imprecisão de medidores, e é calculado pela Equação (5):

$$NRRAL_{MES_i} = \frac{ADR_i}{100} \times ACV_i \quad (5)$$

Aqui, ADR (*Annual Degradation Rate*) é dado em %/ano e representa a perda de precisão anual dos medidores, e i é o tipo de medidor. Pode ser usado uma simplificação e considerar que todo o sistema é atendido por um único tipo de medidor.

A segunda componente, Perdas Aparentes Anuais Independentes de Intervenção Associadas a Conexões Ilegais ($IDAAL_{ILL}$ —*Intervention Dependent Annual Apparent Losses Associated with Illegal Connections*) é calculada pela Equação (6).

$$IDALL_{ILL} = NRRAL_{ILL} \times t \quad (6)$$

Em que $NRRAL_{ILL}$ é o crescimento natural de perdas aparentes devido a consumos ilegais, e é calculado pela Equação (7):

$$NRRAL_{ILLj} = \frac{AICR_j}{100} \times ACV_j \quad (7)$$

Onde AICR (*Annual Illegal Consumption Increasing Rate*) em %/ano representa quantos clientes poderiam se tornar ilegal por ano, de acordo com as políticas adotadas.

O cálculo então necessário para obter o nível econômico das perdas devido a erros de medição, é dado pela Equação (8):

$$IDALL_{MES_i}^{OPT} = \sqrt{\frac{TIC_{MES_i} \times NRRAL_{MES_i}}{2 \times PW}} \quad (8)$$

Em que PW é a tarifa média praticada, e TIC_{MES} (*Total Intervention Costs*) é o custo total de intervenção, que neste caso se refere à troca de hidrômetros e i é o tipo de ligação dos clientes.

O cálculo para a componente de conexões ilegais é dado pela Equação (9):

$$IDALL_{ILLj}^{OPT} = \sqrt{\frac{TIC_{ILLj} \times NRRAL_{ILLj}}{2 \times PW}} \quad (9)$$

Em que TIC_{MES} é o custo total de intervenção para conexões ilegais, e j é o tipo de ligação dos clientes.

O gráfico na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é apresentado na metodologia de Arregui *et al.* (2018), e demonstra o ELAL pela reta vertical tracejada, que é o ponto de menor custo na curva TAC (*Total Annual Costs*), que é o custo anual total, resultado da soma da curva AIB (*Annual Intervention Budgets*) que representa os custos de intervenção anuais, com a reta ACW (*Annual Cost of Water*), que é o custo anual de perda de água não faturada. Quanto maiores as perdas, maior é esse custo.

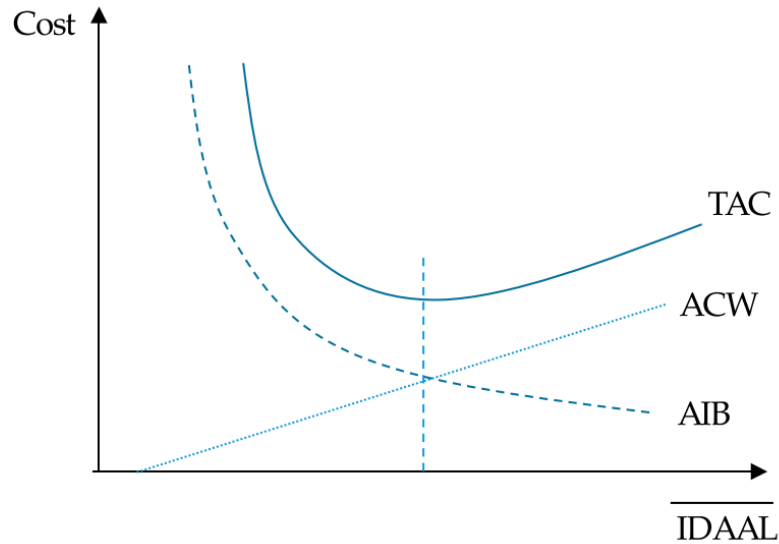


Figura 12 - Gráfico ELAL de Arregui *et al.* (2018)

O nível econômico de perdas aparentes de Arregui *et al.* (2018) é então definido pela Equação (10):

$$ELAL = IIAAL_{MES} + IIAAL_{ILL} + IIAAL_{DH} + \sum_j IDALL_{ILL_j}^{OPT} + \sum_i IDALL_{MES_i}^{OPT} \quad (10)$$

2.5.METODOLOGIA DE PERDAS APARENTES E REAIS DE WYATT ET AL. (2021)

A metodologia desenvolvida por Wyatt (2010) foi revisada e aprimorada no estudo desenvolvido por Wyatt *et al.* (2021) para o Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água (ProEESA) em cooperação com o Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento da Alemanha (BMZ).

As fórmulas foram reavaliadas e algumas foram modificadas para que os resultados fossem mais confiáveis. O estudo também apresenta como algumas variáveis podem ser levantadas ou estimadas. Adicionalmente foi proposto um método de cálculo de nível econômico de fraudes, que não existia na versão de 2010.

Será apresentado na sequência a metodologia do cálculo apresentado.

2.5.1. Nível Econômico de Perdas Reais

Para o cálculo de perdas reais, são mantidas as três curvas de custos definidas no estudo inicial de Wyatt (2010), sendo elas as curvas de custo variável de produção, custo futuro da expansão e custo de controle de perdas.

- Custo variável de produção

A curva de custo variável de produção remete ao valor gasto com a produção de água. Quanto maior a produção, maior é o valor. Seu valor mínimo seria hipoteticamente onde as perdas reais seriam zero. Aqui, o custo de produção da água seria equivalente a somente o volume consumido. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a curva e na sequência é apresentada a Equação (11) do custo de produção anual.

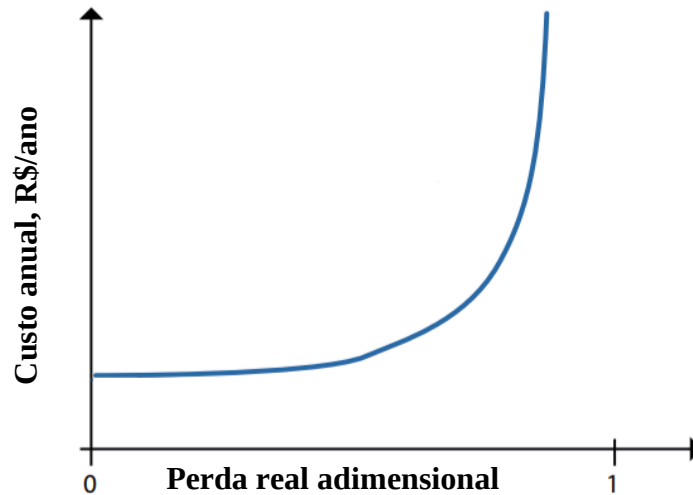


Figura 13 - Custo de produção - Perdas Reais

$$C_{PROD} = \frac{C_{prod} Q_c}{(1 - \ell_{PR})} \quad (11)$$

Onde:

C_{PROD} : Custo de produção anual de água (R\$/ano)

C_{prod} : Custo unitário de produção de água em (R\$/m³)

Q_c : Volume de água consumido (m³)

ℓ_{PR} : Perdas reais adimensionais (-)

Os custos unitários de produção abrangem produtos químicos, energia e outros custos de curto prazo. O volume de água consumido deve ser considerado o efetivo, incluindo a água consumida por fraudes e ligações clandestinas.

Se o consumo for derivado de valor medido de hidrômetros, nele deve ser somado o volume submedido, que pode ser feito pela Equação (12):

$$c = \frac{c_{medido}}{(1 - \ell_{sub_atual})} \quad (12)$$

Onde:

c : Consumo médio (m^3 /pessoa/dia)

c_{medido} : Consumo médio a partir do volume micromedido (m^3 /pessoa/dia)

ℓ_{sub_atual} : Submedição nos hidrômetros no ano de início do cálculo (% de consumo)

Essa expressão de adequação do consumo busca corrigi-lo para um valor que se aproxime mais do que é realmente consumido considerando apenas a submedição. As estimativas de fraudes e ligações clandestinas devem ser realizadas por outros meios.

- Custo anualizado de expansão do sistema

A curva na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa os custos anualizados de expansão da captação de água do sistema. Essa curva anualiza o custo da próxima expansão do sistema em função do nível de perdas. Maiores perdas sinalizam que uma expansão deverá ocorrer mais cedo, pois a captação de água deverá suprir o consumo crescente de água devido ao aumento populacional ao longo dos anos, e deverá atender também, o volume de água que está sendo perdido. Assim, o custo anualizado aumenta. Por outro lado, perdas menores indicam que a expansão do sistema poderá ser postergada ou até mesmo ter sua dimensão reduzida, o que apresenta um custo anualizado menor.

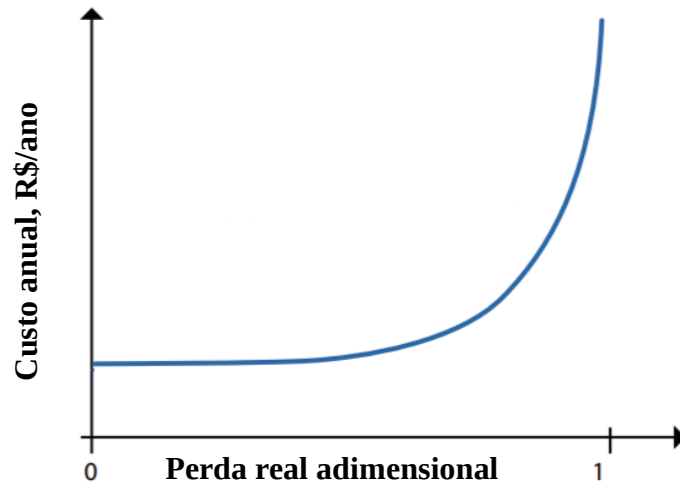


Figura 14 - Custo futuro de expansão - Perdas Reais (WYATT *et al.*, 2021)

A curva representada é dada pela Equação (13):

$$C_{exp} = FRC_{exp} F_{exp} (1 + r)^{-\frac{\frac{E}{k1} - \frac{1}{1 - \ell_{PR}}}{G}} \quad (13)$$

Onde:

FRC_{exp} : Fator de recuperação do capital (-)

F_{exp} : Custo futuro de expansão sistema de produção de água (produção e ampliação de rede / aumento de diâmetro) (R\$)

E : Razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

r : Taxa de retorno (%)

G : Taxa de crescimento populacional (%)

ℓ_{PR} : Perdas reais adimensionais (-)

$k1$: Coeficiente do dia de maior consumo (-)

O fator de recuperação do capital (FRC_{exp}), anualiza o custo equivalente de expansão a valor presente, e pode ser calculado pela Equação (14):

$$FRC = \frac{r(1 + r)^z}{[(1 + r)^z - 1]} \quad (14)$$

Onde:

FRC : Fator de recuperação do capital (%)

r : taxa de retorno (%)

z : período relativo à expansão futura (anos) tipicamente de 5 a 30 anos

Caso não exista uma definição de custo de capital para a expansão, pode ser utilizado como alternativa a Equação (15) para calcular o F_{exp} :

$$F_{exp} = k(Q_{exp})^b \quad (15)$$

Onde:

F_{exp} : custo futuro de expansão do sistema de produção de água em (R\$)

k : coeficiente de custo em (R\$/m³/dia)

b : fator de economia de escala (-) tipicamente entre 0,4 e 0,8

Q_{exp} : expansão necessária da capacidade do sistema (m³/dia)

O coeficiente de custo representa o valor de investimento necessário para aumentar a capacidade de produção em 1 metro cúbico por dia. Fator de economia de escala está relacionado à diminuição de custos de produção em função do aumento da capacidade de produção.

Wyatt *et al.* (2021) apresentam equação para estimar a capacidade de produção da expansão necessária futura. Pode ser estimada pela Equação (16):

$$Q_{exp} = z_{exp} \frac{Q_c}{1 - \ell_{PR}} (1 + G) f_r f_p \quad (16)$$

Onde:

Q_{exp} : expansão necessária da capacidade do sistema (m³/dia)

z_{exp} : período relativo à expansão futura (anos) tipicamente de 5 a 30 anos

Q_c : volume consumido no ano base 0 (m³/dia)

ℓ_{PR} : perdas reais em relação à água produzida (%)

f_p : fator de ponta (tipicamente 1,2)

f_r : fator de resiliência

É interessante notar que as perdas reais (ℓ_{PR}) irão variar para obter o resultado NEP, e isto irá influenciar na estimativa de capacidade futura necessária, que aumentará quanto maior forem as perdas reais, em contraste com a versão de Wyatt (2010), que considerava uma estimativa fixa.

O fator de ponta auxilia para contabilizar dias de maior demanda em relação à média de consumo anual. O fator de resiliência pode ser utilizado para levar em consideração a necessidade de excedente de produção, para evitar escassez hídrica. São fatores que dependem da sensibilidade do operador em relação à região de aplicação do cálculo.

- Custo anual de controle de perdas reais de água

A curva representada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, mostra a relação entre os custos de controle de perdas reais e o nível de perdas.

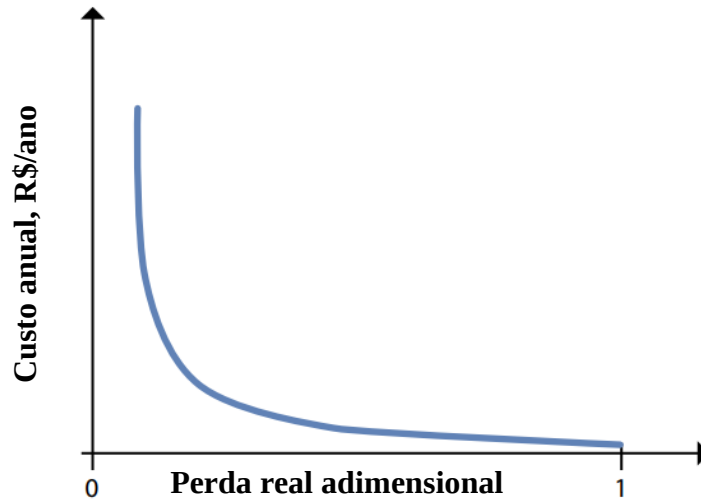


Figura 15 - Curva de controle de perdas - Perdas Reais (WYATT *et al.*, 2021)

É calculada pela Equação (17):

$$C_{PR} = \frac{[C_{pr} D N \beta]}{\left\{ \left(\frac{c}{D} \right) \left[\frac{\ell_{PR}}{(1 - \ell_{PR})} \right] \right\} - \alpha} \quad (17)$$

Onde:

C_{pr} : custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (R\$/km)

D : Comprimento da rede de distribuição por ligação (km/lig)

N : Número total de ligações

α : Coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados (m³/km.dia)

β : Coeficiente de perdas de vazamentos não reportados (m³/km.dia)

c : Consumo médio (m³/pessoa/dia)

p : Número médio de pessoas por ligação (pessoas/ligação)

ℓ_{PR} : Perdas reais adimensionais (-)

O custo das atividades e investimentos para controle de perdas pode ser estimado pela Equação (18):

$$C_{prrr} = C_p + C_r + C_g + C_{cra} \quad (18)$$

Onde:

C_{prrr} : custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (R\$/km)

C_p : custo de pesquisa de vazamentos (R\$/km)

C_r : custo de reparação de vazamentos (R\$/km)

C_g : custo associados à gestão de perdas (R\$/km)

C_{cra} : custo de conservação e reposição da rede anualizado (R\$/km)

Os coeficientes α e β , deveriam ser estudados para cada sistema, sendo α (Equação (19)) o coeficiente de perdas inerentes (base) e vazamentos reportados, e o coeficiente β (Equação (20)) para vazamentos não reportados, ambos em m³/km/dia. No entanto, sabendo da dificuldade em se ter disponível estes dados, eles podem ser obtidos por equações empíricas, disponibilizadas no estudo de Wyatt *et al.* (2021):

$$\alpha = 0,1654 P_{rl} + 1,4253 \quad (19)$$

$$\beta = 0,5137 P_{rl} - 2,3828 \quad (20)$$

Onde:

P_{rl} : Perdas reais lineares (m³/km.dia)

- Condição otimizada de perdas reais

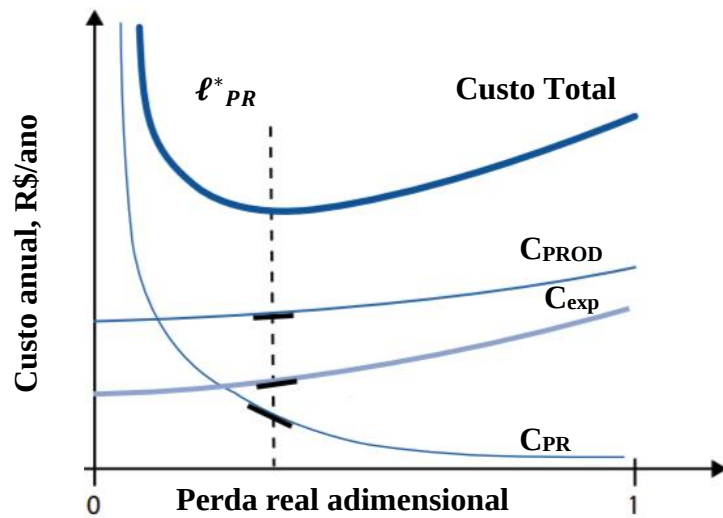


Figura 16 - Gráfico NEP - Perdas Reais (WYATT *et al.*, 2021)

A condição otimizada (ℓ^*_{PR}) para perdas reais, que pode ser vista na linha tracejada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, é alcançada quando a soma do custo de controle de perdas, do custo capital e o custo variável de produção estão no seu mínimo. Este ponto mínimo pode ser encontrado avaliando a soma das três curvas. O volume de perdas reais otimizado é finalizado com a Equação (22):

$$L^*_{PR} = \ell^*_{PR} \frac{Q_c}{(1 - \ell^*_{PR})} \quad (21)$$

Onde:

L^*_{PR} : Volume de perdas reais otimizado (m³/ano)

ℓ^*_{PR} : Perda real adimensional ótima (-)

Q_c : Água consumida (m³/ano)

2.5.2. Nível Econômico de Perdas Aparentes

O cálculo de perdas aparentes de Wyatt *et al.* (2021) faz uma relação entre o decréscimo da receita em função do nível de perdas, e o custo do controle de perdas por submedição. O cálculo de nível econômico de fraudes é feito separadamente. Será apresentado primeiramente o método para o nível econômico de perdas por submedição.

É importante salientar que Wyatt *et al.* (2021) apresentam equações para o cálculo do nível econômico de perdas para o sistema de forma generalizada. Assim, não é feita distinção entre pequenos ou grandes consumidores, faixas de consumo ou categorias de clientes. A tarifa utilizada para os cálculos é uma média ponderada do sistema total.

No entanto, visando incrementar a precisão e usabilidade dos cálculos, Wyatt *et al.* (2021) também apresentam que é possível separar o sistema de abastecimento por faixas de consumo, e realizando o cálculo de NEP para cada grupo, obtendo assim vários resultados NEP que poderiam ser aplicados para cada faixa. Com isso poderiam ser definidas metas adimensionais para cada faixa de consumo, o que ajudaria na definição de estratégias para se atingir os objetivos de redução de perdas.

- Receita da operação em função da perda aparente

A reta na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa a receita anual em função da perda. Quanto menores forem as perdas aparentes, maior será a receita total.

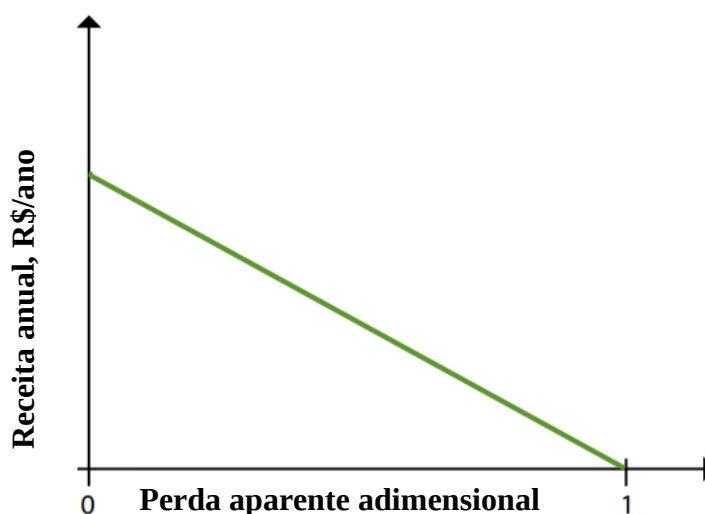


Figura 17 - Reta de receita - Perdas Aparentes (WYATT *et al.*, 2021)

A Equação (23), que gera a reta, é demonstrada a seguir:

$$R = T N c H p 365 (1 - \ell_{PA}) \quad (22)$$

Onde:

R : Receita anual (R\$/m³)

T : Tarifa unitária (média ponderada considerando tarifas para conexões com esgoto) (R\$/m³)

N : Número de ligações ativas

cH : Consumo médio efetivo(m³/pessoa/dia)

p : Número médio de pessoas por ligação

ℓ_{PA} : Perda aparente adimensional (-)

A perda aparente adimensional (Equação (24)) representa a relação entre a perda e o consumo:

$$\ell_{PA} = \frac{L_{PA}}{Q_{CH}} \quad (23)$$

ℓ_{PA} : Perda aparente adimensional (-)

L_{PA} : Perda aparente (m³/ano)

Q_{CH} : Água efetivamente consumida em hidrômetros(m³/ano)

Esta perda aparente adimensional (ℓ_{pa}), leva em consideração duas perdas: evitáveis (ℓ_{evit}) e inevitáveis (ℓ_{inevit}). Perdas aparentes evitáveis são as que reduzem quando há, por exemplo, troca de hidrômetros. As inevitáveis ocorrem por limitações técnicas de alguns medidores, que mesmo quando novos, podem apresentar precisão reduzida nas medições. Assim, as perdas evitáveis são controláveis enquanto as inevitáveis não. O mesmo conceito é apresentado na metodologia de Arregui *et al.* (2018).

- Custo de controle de perdas aparentes por submedição

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é representada a curva de custo de controle de perdas aparentes. Da mesma forma que nas perdas reais, aqui o custo de controle é baixo quando as perdas são baixas, demonstrando que não há atividades de mitigação às perdas recorrentes. Conforme o controle e as atividades de redução de perdas aumentam, juntamente com os custos relativos à essas atividades, as perdas passam a diminuir até atingir níveis técnicos onde não é possível reduzir além deles. Assim, perdas aparentes baixas apresentam um custo muito elevado.

No caso de perdas por submedição, um exemplo seria uma frequente troca de hidrômetros. As perdas seriam baixas pois a idade média do parque de hidrômetros seria baixa,

ou seja, a precisão de medição seria maior. No entanto o custo para se manter esse estado seria muito elevado.

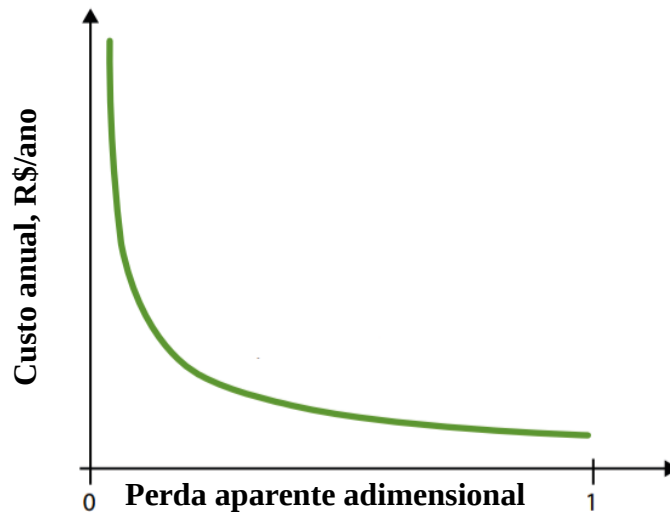


Figura 18 - Curva de controle de perdas aparentes (WYATT *et al.*, 2021)

Para que possa ser calculada a curva de controle de perdas, é necessária a Equação (25):

$$C_h = \frac{H N s}{2\ell_{evit}} \quad (24)$$

C_h : Custo anual de substituição de hidrômetros (R\$/ano)

H : Custo médio de troca de hidrômetro, com mão de obra e materiais (R\$/hidrômetro)

N : Número de ligações ativas

s : Inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)

ℓ_{evit} : Perda aparente adimensional evitável (-)

O eixo x da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa as perdas evitáveis e inevitáveis. Para cálculo da curva é considerado apenas perda evitável, porém para a plotagem do gráfico, é necessário que seja adicionado o valor de perda inevitável.

Importante notar que para esta metodologia de Wyatt *et al.* (2021), a curva de custo de controle tende a zero quando se aproxima de perda aparente igual a 100%, porém não apresentará custo zero. Também é notável que esses custos são representativos. É possível que o sistema não esteja empregando qualquer ação de controle e esteja com perdas aparentes relativamente baixas, as quais irão naturalmente aumentar se nenhum investimento for realizado.

- Condição otimizada de perdas aparentes por submedição

A condição otimizada para perdas aparentes, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, ocorre quando o custo marginal de substituição de hidrômetros é igual a receita média coletada, fazendo com que a receita seja maximizada.

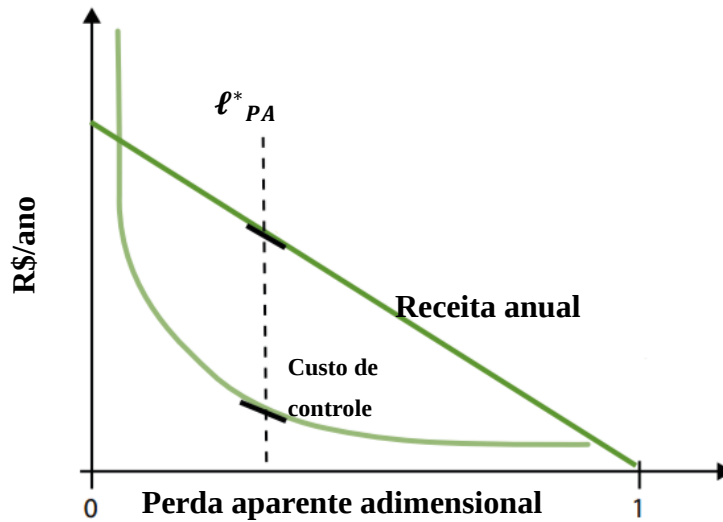


Figura 19 - Gráfico NEP - Perdas Aparentes (WYATT *et al.*, 2021)

O cálculo do nível evitável ótimo pode ser simplificado pela Equação (26):

$$\ell^*_{evit_ótimo} = \left[\frac{H s}{2 T c p 365} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

Onde:

H : Custo médio de troca de hidrômetro, com mão de obra e materiais (R\$/hidrômetro)

s : Inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)

T : Tarifa unitária (média ponderada incluindo parcela de água e esgoto) (R\$/m³)

c : Consumo médio (m³/pessoa/dia)

p : Número médio de pessoas por ligação

$\ell^*_{evit_ótimo}$: Perdas aparentes evitáveis ótimas adimensionais (-)

Para que seja considerado a perda inevitável (perda inicial) dos hidrômetros, é necessário utilizar a consideração apresentada na Equação (27), para que se tenha a condição otimizada final.

$$L^*_{PA} = (\ell^*_{evit_ótimo} + \ell_{inevit}) * Q_{cH} \quad (26)$$

Onde:

L^*_{PA} : Volume de água relativa a perdas aparentes ótimo (m³/ano)

$\ell^*_{evit_ótimo}$: Perdas aparentes evitáveis ótimas (%)

ℓ_{inevit} : Submedição inevitável (%)

Q_{cH} : Água efetivamente consumida em hidrômetros(m³/ano)

A variável ℓ_{inevit} pode ser considerada como a submedição inicial de hidrômetros novos. A variável Q_{cH} é derivada do volume micromedido, e é calculada pela Equação (28):

$$Q_{cH} = \frac{Q_m}{(1 - \ell_{sub_atual})} \quad (27)$$

Onde:

Q_{cH} : água efetivamente consumida (m³/ano)

Q_m : água consumida micromedida (m³/ano)

ℓ_{sub_atual} : Submedição nos hidrômetros no ano de início do cálculo (% de consumo)

Importante notar que para a estimativa de água efetivamente consumida, a melhor prática seria realizar os levantamentos de dados a partir de balanços hídricos. Esses estarão com um grau de erro atrelado a eles, e esse erro irá por consequência, refletir no resultado NEP. Logo, se certificar de possuir dados de entrada de maior confiabilidade, proporcionará melhores resultados.

- Nível econômico de fraudes

Um diferencial da metodologia de Wyatt *et al.* (2021) para Wyatt (2010) é o cálculo do nível econômico de fraudes, dado pela Equação (29):

$$f_{ne} = \frac{c_{pl}}{r_f} \times 1000 \quad (28)$$

Onde f_{ne} é dado em fraudes por mil ligações, c_{pl} é o custo de pesquisar fraudes (R\$/lig) e r_f é a receita unitária de fraude detectada (R\$/lig/ano).

- Perda relativa a falhas de cadastro e ligações clandestinas

Apesar de não ser um cálculo de nível econômico, a metodologia de apresenta o que seria um valor de referência a se manter as perdas por falhas de cadastro e ligações clandestinas, definida pela Equação (30):

$$L_{cc} = 0,0025 \times (AG010 - AG019) \quad (29)$$

Onde L_{cc} é o valor de referência, AG010 é o volume de água consumido (na nomenclatura de dados disponibilizada pelo SNIS) e AG019 é o volume de água tratada exportado.

As falhas de cadastros são relativas a falhas do processo de gestão comercial, o que atrapalha os registros de volumes consumidos. Um exemplo são ligações com hidrômetros novos que não foram cadastrados nas rotas de leitura (AESBE, 2015). Essas ligações seriam faturadas pelo consumo mínimo, categorizando uma perda por falha de cadastro

2.5.3. Patamar Econômico

A metodologia de Wyatt *et al.* (2021) apresenta um conceito de patamar econômico de perdas. Se trata de uma variação de 5% do custo ou receita, a partir do nível ótimo encontrado, a fim de determinar uma região mais ampla em que seja vantajoso manter o sistema, e não apenas um ponto exato (nível ótimo).

São 5% a menos da receita máxima (para perdas aparentes) e 5% a mais do custo total (para perdas reais). Com isso, serão obtidos dois novos valores: um nível inferior, que será menor que o nível ótimo, e um nível superior, maior que o nível ótimo.

O valor de 5% é uma recomendação, mas podem ser utilizados outros valores que sejam julgados adequados. Este valor não irá alterar o valor e cálculo do NEP, apenas a amplitude do patamar.

O patamar pode servir como um “faixa” de meta para que o sistema opere com otimização econômica. Operar com níveis de perdas dentro do patamar é mais provável de acontecer, do que operar exatamente sobre um valor fixo NEP. Além disso, o patamar implica que dentro dele, a operação estaria se mantendo com o máximo de receitas, ou até 5% a menos deste máximo, e com os mínimos custos, ou até 5% a mais deste mínimo.

Além disso o patamar permite compensar por uma possível baixa confiabilidade nos dados de entrada, assim como as simplificações existentes no modelo.

Wyatt *et al.* (2021) também explicam que sistemas que apresentam patamares estreitos, necessitam uma atenção mais elevada no controle de perdas, enquanto aqueles com patamares mais largos podem manter seus custos baixos com diferentes opções, como expandir o sistema, produzir mais água ou reduzir as perdas.

3. METODOLOGIA

Para realizar as análises necessárias a fim de propor melhorias às metodologias, o estudo foi dividido em etapas. Inicialmente foram avaliadas as metodologias apresentadas em sua forma teórica. Com isso, foi possível determinar quais metodologias poderiam ser aplicadas considerando que era necessário que fosse possível realizar cálculos com dados de sistemas de abastecimento de água disponíveis na base pública do SNIS.

A partir desta determinação, foi realizado um levantamento de dados necessários para os cálculos. Além da base do SNIS, foram levantados dados disponíveis na literatura e nas metodologias estudadas.

Com os dados levantados, foram aplicadas as metodologias e com os resultados, foram realizadas análises estatísticas e de dispersão para o caso de perdas aparentes onde foi possível aplicar duas metodologias.

A partir dessas análises e comparações, foram propostas melhorias e recomendações para o uso de metodologias de nível econômico de perdas.

3.1.COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS

As metodologias analisadas são aplicáveis às perdas de acordo com o **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

	(PEARSON; TROW, 2005)	(WYATT, A. S., 2010)	(VERMERSCH <i>et al.</i> , 2016)	(ARREGUI, F. J. <i>et al.</i> , 2018)	(WYATT, A. <i>et al.</i> , 2021)
Perdas Aparentes		X	X	X	X
Perdas Reais	X	X			X

Quadro 2 - Aplicações das metodologias

A metodologia de Pearson e Trow (2005) não apresenta de forma direta uma formulação que possa ser utilizada para que sejam realizados cálculos de nível econômico de

perdas. O que é apresentado por eles são diretrizes para se obter os níveis econômicos, em curto e longo prazo.

Wyatt (2010) apresenta cálculos que podem ser realizados para perdas aparentes ou reais de forma separada. Para perdas aparentes são cobertas apenas perdas por submedição. Essa metodologia é revisada, atualizada e apresentada por Wyatt *et al.* (2021). Aqui a metodologia inicial tem fórmulas corrigidas e um estudo mais abrangente é fornecido, incluindo cálculo de nível econômico para fraudes e um valor de referência para ligações clandestinas.

O trabalho desenvolvido por Vermersch *et al.* (2016) apresenta uma avaliação das disponibilidades de cálculo de nível econômico de perdas aparentes para diversos segmentos dessas perdas. Também mostra formulação para determinar o nível ótimo de dados, visto que os autores discorrem que a falta de dados também tem um impacto na gestão de perdas, pois sem informações suficientes, decisões relacionadas a gestão de perdas podem ser tomadas erroneamente, influenciando no resultado das ações.

Arregui *et al.* (2018) apresentam metodologia que permite realizar cálculos diretos do nível econômico de perdas aparentes. Fornece a possibilidade de dois tipos de entrada de dados. Uma mais simples, em que generaliza o sistema, e outra mais complexa, que trata o sistema de maneira mais segmentada em cada variável de entrada (a exemplo, tipo de hidrômetro). O segundo caso, no entanto, necessita uma disponibilidade de dados maior.

Considerando o que foi levantado, serão aplicadas neste estudo as metodologias de Arregui *et al.* (2018) e Wyatt *et al.* (2021), pois são as metodologias em que os dados necessários para os cálculos podem ser obtidos de bases públicas como o SNIS, e dados que não estão disponíveis podem ser estimados com certa facilidade. Isso é um ponto de vantagem para serem utilizadas em sistemas de distribuição brasileiros, visto que a falta de dados é um problema recorrente.

3.2.DADOS DE ENTRADA

Os dados que serão utilizados como entrada nos cálculos disponibilizados por cada metodologia são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, de forma que fique clarificado a metodologia em que cada informação é utilizada.

O estudo será aplicado em 627 sistemas selecionados do estado de São Paulo, disponíveis na base de dados do SNIS (2019). Outras informações necessárias serão retiradas da literatura ou de outras bases de dados públicas.

Tabela 1 - Relação de informações necessárias para a aplicação das metodologias

Dados do sistema	Unidade	Arregui (2018)	Wyatt (2021)
Água consumida	m ³ /ano	X	X
Comprimento da rede de distribuição	km		X
Número total de ligações	-	X	X
População	-		X
Taxa de crescimento populacional	-		X
Capacidade de produção de água para o consumo atual	-		X
Decaimento de precisão do hidrômetro	%/ano	X	X
Submedição atual	%		X
Submedição inicial	%	X	X
Coeficiente de vazamentos de perdas inerentes e reportadas	-		X
Coeficiente de vazamentos de perdas não reportadas	-		X
Comprimento da rede de distribuição por conexão	km/lig		X
Consumo médio per capita	m ³ /pessoa/dia		X
Número médio de pessoas por conexão	hab/lig		X
Tarifa média	R\$/m ³	X	X
Custo de produção de água	R\$/m ³		X
Taxa de retorno	%		X
Custo de pesquisa de vazamentos e reparação (mão-de-obra e materiais)	R\$/km		X
Custo de reposição média de hidrômetro (mão-de-obra e materiais)	R\$/hidrômetro	X	X
Coeficiente de Custo	R\$/m ³ /dia		X
Fator de escala de economia	-		X
Período de projeto para expansão	-		X
Perdas reais lineares	m ³ /km.dia		X
Fator de ponta	-		X
Fator de resiliência	-		X
Frequência de falha de hidrômetro	%/ano	X	
Tempo de reparo médio	anos	X	
Frequência de fraudes média	%/ano	X	
Taxa de crescimento de fraudes	%/ano	X	
Tempo para trocar todos os hidrômetros	anos	X	
Tempo para inspecionar as conexões	anos	X	
Custo inspeção por hidrômetro	R\$/hidrômetro	X	
Fator de condição de infraestrutura	-	X	
Falha de cadastro	m ³ /hidrômetro/ano	X	

Alguns dados são específicos de cada sistema de distribuição de água, porém outros podem ser considerados os mesmos entre diferentes sistemas de um mesmo estado. Assim a relação abaixo na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta os dados que serão considerados fixos para o estudo.

Tabela 2 - Relação de variáveis fixas entre sistemas

Dados do sistema	Unidade	Valor	Referência
Água consumida	m ³ /ano	-	SNIS (2019)
Comprimento da rede de distribuição	km	-	SNIS (2019)
Número total de ligações	-	-	SNIS (2019)
População	-	-	SNIS (2019)
Taxa de crescimento populacional	%	0,7%	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Capacidade de produção de água para o consumo atual	-	-	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Decaimento de precisão do hidrômetro	%/ano	1%	Depexe e Gasparini (2012)
Submedição atual	%	-	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Submedição inicial	%	4%	NBR 15.538 (ABNT, 2014); Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Coeficiente de vazamentos de perdas inerentes e reportadas	-	-	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Coeficiente de vazamentos de perdas não reportadas	-	-	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Tarifa média	R\$/m ³	-	SNIS (2019); Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Custo de produção de água	R\$/m ³	-	SNIS (2019); Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Taxa de retorno	%	7%	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Custo de pesquisa de vazamentos e reparação (mão-de-obra e materiais)	R\$/km	2361,28	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Custo de reposição média de hidrômetro (mão-de-obra e materiais)	R\$/hidrômetro	105,04	SINAPI (2020)
Coeficiente de Custo	R\$/m ³ /dia	16232	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Fator de escala de economia	-	0,7808	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Período de projeto para expansão	-	15	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Perdas reais lineares	m ³ /km.dia	-	SNIS (2019)
Fator de ponta	-	1,2	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Fator de resiliência	-	1,4	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Frequência de falha de hidrômetro	%/ano	0,5%	Arregui <i>et al.</i> (2018)
Tempo de reparo médio	anos	0,7	Arregui <i>et al.</i> (2018)
Frequência de fraudes média	%/ano	0,3%	Arregui <i>et al.</i> (2018)
Taxa de crescimento de fraudes	%/ano	0,15%	Arregui <i>et al.</i> (2018)
Tempo para trocar todos os hidrômetros	anos	5	Arregui <i>et al.</i> (2018)
Tempo para inspecionar as conexões	anos	2	Arregui <i>et al.</i> (2018)
Custo inspeção por hidrômetro	R\$/hidrômetro	32,5	Arregui <i>et al.</i> (2018)
Fator de condição de infraestrutura	(-)	-	-
Falha de cadastro	m ³ /hidrômetro/ano	0,18	Arregui <i>et al.</i> (2018)

O número de ligações, consumo anual, população atendida e tarifa de água são dados disponíveis no SNIS, e os dados de todos os 627 sistemas serão extraídos desta base pública. Comprimento de rede por ligação, consumo médio per capita e número médio de pessoas por ligação, são valores que podem ser gerados por fórmulas simples a partir de dados coletados também no SNIS.

A capacidade de produção de água é resultado de formulações descritas na metodologia de Wyatt *et al.* (2021).

O valor de degradação anual do hidrômetro não é um dado disponível na base de dados SNIS, e, portanto, será utilizada uma média de degradação de 1% ao ano, baseado em estudo realizado por Depexe e Gasparini (2012). No artigo os autores discutem as diferenças existentes

entre os hidrômetros classe A, B e C, mas focam no estudo de perda de eficiência dos hidrômetros classe B, que são comuns no Brasil, e como não é possível determinar a predominância da classe de hidrômetro em cada sistema a partir do SNIS, este valor será usado como padrão para todos os sistemas.

Submedição atual é um valor que pode variar de sistema para sistema de acordo com o nível da gestão de perdas aparentes de cada local. Em gestões mais ativas é esperado que esse valor de submedição seja baixo, enquanto em locais com controle de perdas menos ativo ele seria maior. Como não é um dado que se pode extrair a partir de informações públicas, foi adotado o valor disponibilizado por Wyatt *et al.* (2021).

Para submedição inicial de hidrômetro, será admitido neste artigo o valor de 4%, que é um valor próximo da especificação mínima determinada pela NBR 15.538 (ABNT, 2014) e é o valor utilizado pela metodologia de Wyatt *et al.* (2021). Esse valor é referente ao desempenho mínimo que um hidrômetro novo pode oferecer, considerando questões que atrapalham a medição efetiva, como as baixas vazões em função do efeito caixa d'água, fenômeno comum no Brasil. Esse valor também pode variar para cada classe⁴ e tipo de medidor.

Os coeficientes de vazamento de perdas inerentes e reportadas, e de perdas não reportadas, são calculados através de uma fórmula disponibilizada por Wyatt *et al.* (2021). Ela se baseia em uma variável de perdas lineares ($\text{m}^3/\text{km}/\text{dia}$), que é um dado que é possível estimar a partir das informações de perdas do SNIS e de comprimento de rede.

As variáveis coeficiente de custo, fator de economia de escala, fator de ponta, fator de resiliência e período de projeto de expansão são dados utilizados para calcular o custo futuro da expansão, componente de perdas reais, na metodologia de Wyatt *et al.* (2021). Para tanto, foram adotados os valores disponíveis nesta metodologia.

A frequência de falha de hidrômetro é um parâmetro complexo, que depende de um estudo profundo entre os modelos e marcas utilizadas em um parque de hidrômetro. Ele contabiliza quantos hidrômetros poderiam parar de medir corretamente o consumo por algum problema mecânico do medidor. Juntamente com este dado existe o tempo de reparo médio entre a ocorrência do problema e a resolução. Devido à dificuldade de encontrar esse tipo de dado na literatura, neste estudo são utilizados os valores disponibilizados pela metodologia de Arregui *et al.* (2018). Para falha de hidrômetros, é considerado que 0,5 % do parque de hidrômetros pode falhar, por ano. Já para o tempo de reparo médio, será considerado o valor de 0,7 anos.

⁴ Os hidrômetros são classificados em classes metrológicas, que definem o grau de sensibilidade de medição dos volumes de água. Podem ser classe A, B ou C, sendo que os classe A são menos precisos e classes C os mais precisos.

Frequência de fraudes média e taxa de crescimento de fraudes, são fatores que podem variar bastante dependendo das características sociais dos consumidores de cada sistema, e das políticas utilizadas pela empresa para lidar com a questão. São dados que podem ser levantados através de estudos amostrais. Neste estudo será utilizado valor de referência a metodologia de Arregui *et al.* (2018).

Para o fator adimensional de condição de infraestrutura (ICF – *Infrastructure Condition Factor*), Arregui *et al.* (2018) afirmam que pode ser levantando de maneira similar a perdas reais. No entanto, Arregui *et al.* (2018) não apresentam maneira de obter esse valor, que apesar de ser comparado com ICF, não significa que deve ser atribuído valores semelhantes ao ICF para perdas reais. Como explicado pelos autores, este parâmetro deve contabilizar a presença de caixas de água, qualidade da água, interrupções de serviço, pressão média e características técnicas da tubulação da rede. Visto que esse fator necessitar uma metodologia adicional para seu cálculo, e não seria possível realizar com os dados utilizados neste estudo, foi adotado um valor de 1,2 para este ICF, que é semelhante ao utilizado por Arregui *et al.* (2018).

O custo estimado para troca de hidrômetro foi retirado do SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil), que conta com valores e composições de diversos serviços de engenharia para cada estado brasileiro. Foi considerado para este estudo uma composição de instalação de hidrômetro unijato, no valor de R\$ 105,04, do documento referente ao estado de São Paulo (SINAPI, 2020).

Para o custo de inspeção do hidrômetro, foi admitido uma conversão direta do valor disponível na metodologia de Arregui *et al.* (2018) em euros para reais, tendo como custo utilizado o valor de R\$32,50 por hidrômetro. A metodologia de Wyatt *et al.* (2021) apresenta uma fórmula para estimar esse custo, no entanto necessita outros dados que também não estão disponíveis em base pública. Assim foi optado em utilizar o valor de Arregui *et al.* (2018).

O erro no registro de dados, ou falha de cadastro, é um fator que necessita ser levantado internamente, e pode variar bastante entre operações. Assim foi adotado o valor referenciado na metodologia de Arregui *et al.* (2018), de 0,18 m³/hidrômetro.ano.

O SNIS não fornece o valor de perdas reais e aparentes separadamente, então para obter a estimativa de perdas aparentes atuais, a fim de realizar comparações com os resultados de nível econômico, será considerado que 60% das perdas serão reais, tendo como base estudo de Kingdom; Liemberger; Marin (2006) que apresentam esse valor para países em desenvolvimento. Por consequência, as perdas aparentes atuais são consideradas como 40%. A partir dessas informações, foram aplicadas as fórmulas de cada metodologia de forma que os resultados pudessem ser coletados e analisados.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. PERDAS APARENTES

Com os resultados gerados, foi realizado um resumo para cada metodologia apresentada na Tabela 3, que contabiliza os resultados de nível econômico que foram maiores ou menores que as perdas aparentes atuais.

Tabela 3 - Resumo quantitativo de resultados de perdas aparentes

Metodologia	Total de sistemas calculados	NEP maior que perda atual	NEP menor que perda atual
Arregui <i>et al.</i> (2018)	627	209	418
Wyatt <i>et al.</i> (2021)	627	190	437

Para complementar, foi feito uma análise estatística dos resultados, apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise estatística dos resultados das metodologias de perdas aparentes

Metodologia	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Mínimo	Máximo	Amplitude
Arregui <i>et al.</i> (2018)	43,72	36,46	440,25	20,98	0,48	7,65	188,44	180,79
Wyatt <i>et al.</i> (2021)	41,15	33,95	421,25	20,52	0,50	11,12	177,60	166,48

Pode ser observado através das estatísticas que os resultados calculados pelas duas metodologias são próximos. Para facilitar a visualização é apresentado na Figura 20 - Gráfico de dispersão comparativo dos resultados das duas metodologias, gráfico de dispersão com os resultados coletados.

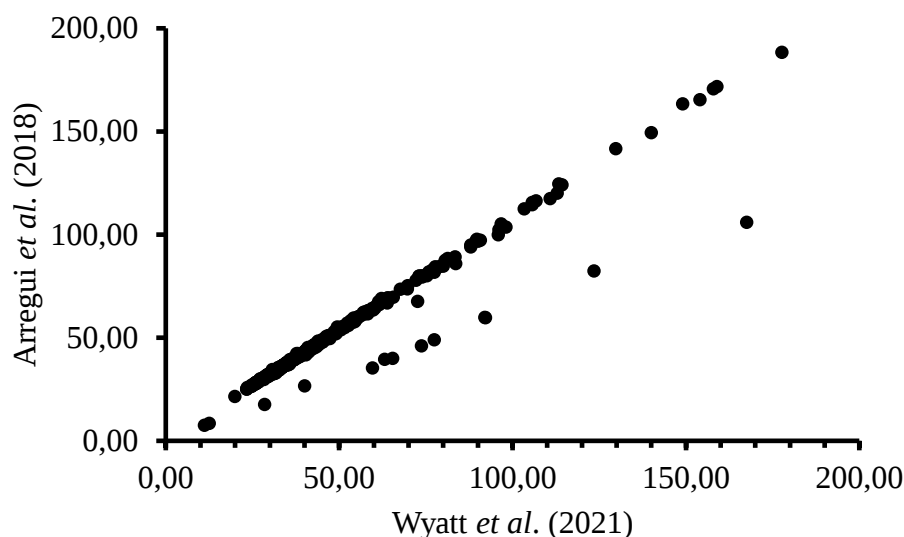


Figura 20 - Gráfico de dispersão comparativo dos resultados das duas metodologias

Fonte: Autor

Pelo gráfico é visto que a maior parte dos sistemas calculados possuem resultados com baixa variação entre as metodologias. No entanto, existe uma parcela de sistemas que apresentam resultados mais elevados quando calculados pela metodologia de Wyatt *et al.* (2021).

Fazendo uma média entre a diferença dos resultados de todos os 627 sistemas calculados para as duas metodologias, foi obtido um valor de 8%, ou seja, temos resultados semelhantes para as duas formas de cálculo.

Os sistemas que possuíram uma discrepância de resultados maior que 10% representam 29 do total de 627 sistemas, e a média dessas variações foi de 21%. Outros estudos são necessários para identificar o motivo dessas variações mais elevadas.

Foram avaliadas algumas relações entre os resultados e algumas variáveis de entrada. Uma dessas relações é a entre a tarifa média unitária (R\$/m³) e o nível de perdas econômico (L/lig/dia). Como um dos conceitos de metodologias de nível econômico é a análise de custo x benefício de ações de combate às perdas, era esperado que sistemas que possuíssem uma tarifa de água mais elevada, iriam ter como resultado, um nível econômico mais baixo. Isso ocorreria pois se um prestador de serviço possui altas tarifas, cada metro cúbico de água recuperado aumenta o faturamento da operação. Assim, seria viável manter perdas mais baixas.

Avaliando a relação exposta, foram plotados gráficos com essa representação para a metodologia de Arregui *et al.* (2018) na Figura 21 e para a metodologia de Wyatt *et al.* (2021) na Figura 22.

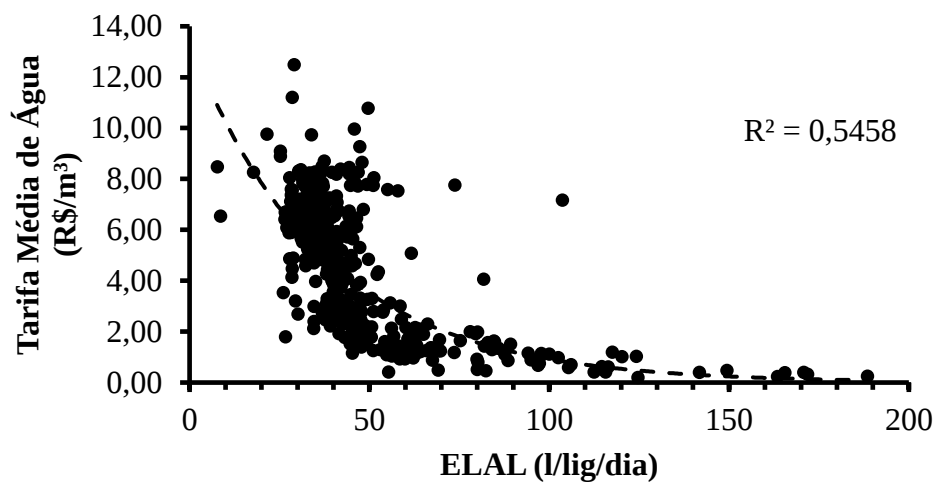


Figura 21 - Relação entre tarifa média de água e nível econômico de perdas aparentes, resultado da aplicação da metodologia de Arregui *et al.* (2018)

Fonte: Autor

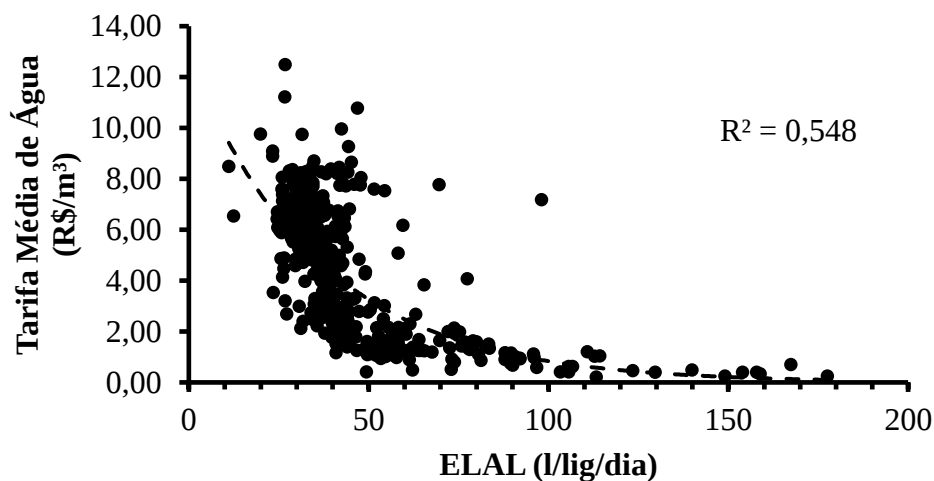


Figura 22 - Relação entre tarifa média de água e nível econômico de perdas aparentes, resultado da aplicação da metodologia de Wyatt *et al.* (2021)

Fonte: Autor

Foi observado para as duas aplicações que existe uma concentração menor de municípios com resultados de nível econômico entre 100 e 200 L/lig/dia, e estes são casos que possuem tarifas muito baixas. Fica mais claro através destes gráficos, que quanto maior a tarifa, menor é o resultado do nível econômico.

Dentre outras relações entre variáveis analisadas, chama atenção a relação entre o resultado de nível econômico e de consumo por ligação, apresentada na Figura 23 e Figura 24.

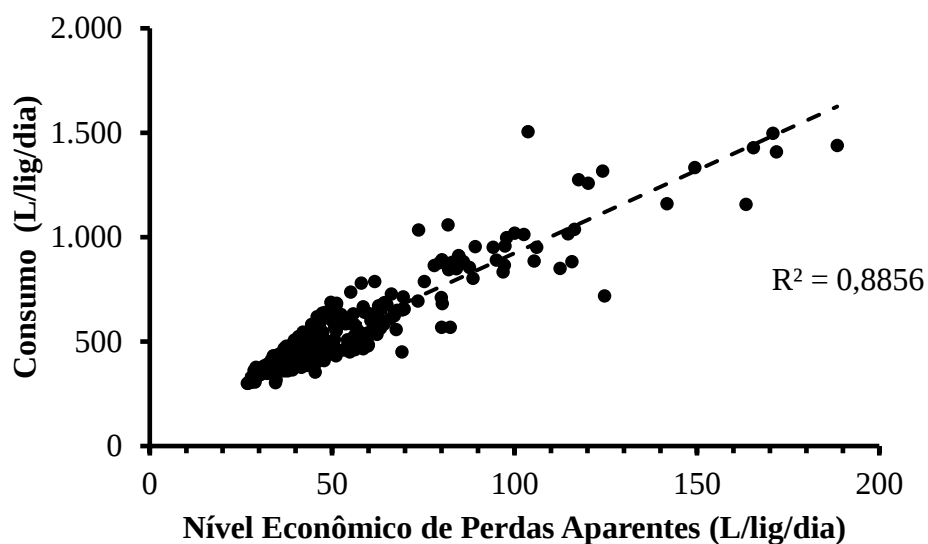


Figura 23 - Relação entre consumo e nível econômico, resultado da aplicação da metodologia de Arregui *et al.* (2018)

Fonte: Autor

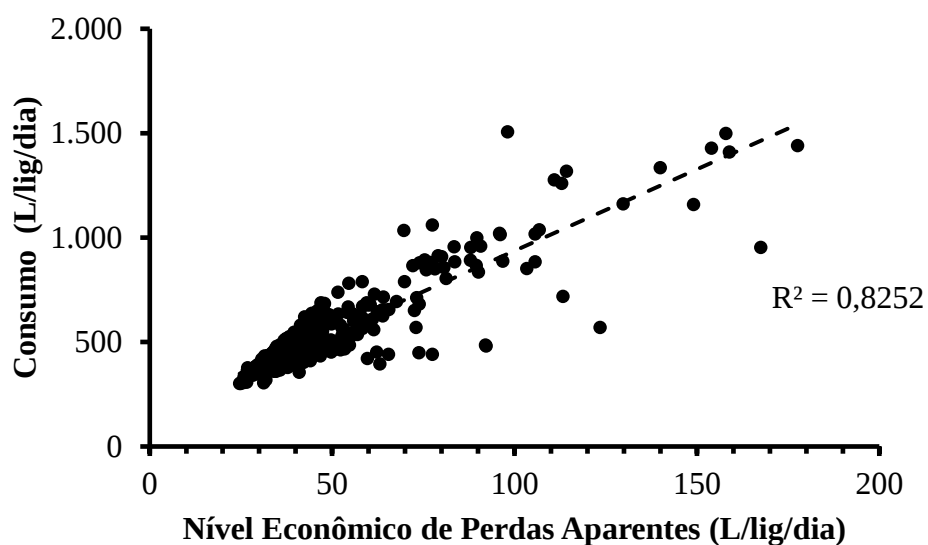


Figura 24 - Relação entre consumo e nível econômico, resultado da aplicação da metodologia de Wyatt *et al.* (2021)

Fonte: Autor

Existe uma relação forte entre nível econômico e consumo por ligação por dia, que pode ser observada no gráfico. O possível motivo para estes resultados, é que com um consumo elevado o faturamento é maior, e isso cobre perdas aparentes maiores, e assim o nível econômico também se eleva.

Como essa análise possui uma correlação alta (coeficiente R^2 de 0,8856 para os resultados da aplicação de Arregui *et al.* (2018) e R^2 de 0,8252 com a aplicação de Wyatt *et al.* (2021)), pode ser proposto o uso da equação da reta para estimar de maneira rápida o nível econômico de um local apenas com o consumo por ligação. Porém, estudos mais detalhados seriam necessários para que fosse certificado a utilização deste método.

Com os resultados avaliados, as operações de distribuição de água poderiam então fazer a sua análise para que a meta da operação de redução de perdas pudesse ser definida. Os resultados de nível econômico de perdas reais e aparentes podem ser expressos em porcentagem ou em L/lig/dia, sendo este último mais recomendado pela IWA (*International Water Association*). A análise gráfica pode trazer algumas interpretações.

O gráfico na Figura 25 é resultado de uma aplicação genérica da metodologia de Wyatt *et al.* (2021), expresso em um valor por ano, pois os componentes do gráfico são em custos e receitas em função do nível de perdas aparentes.

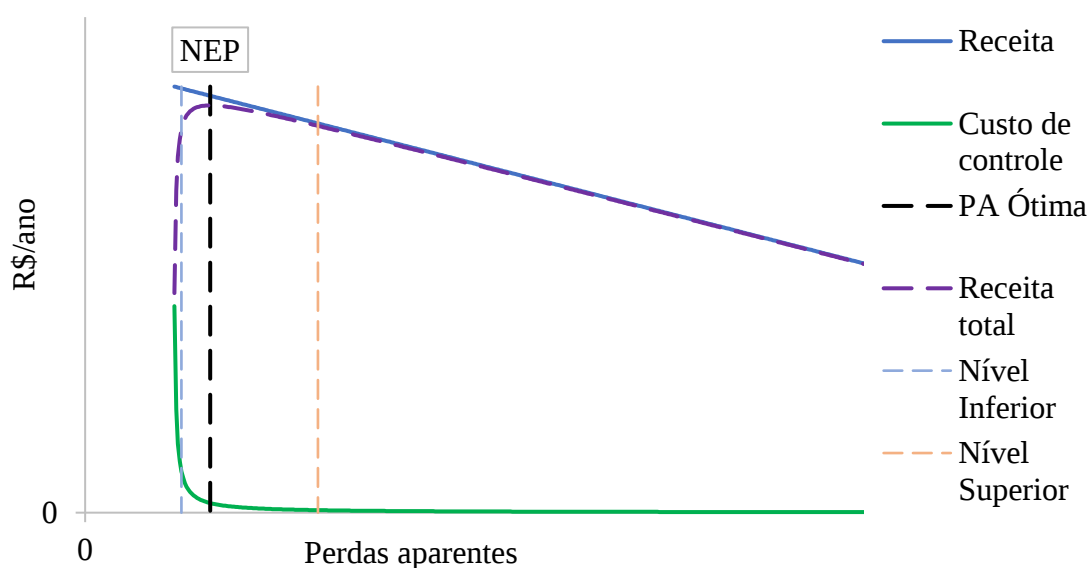


Figura 25 - Exemplo gráfico de Nível Econômico de Perdas Aparentes, resultado da aplicação da metodologia de Wyatt *et al.* (2021)

Fonte: Autor

A componente de receitas é demonstrada pela reta azul. Essa reta mostra que, conforme o sistema tem perdas aparentes maiores, menor é a receita obtida, e por isso podemos observar um comportamento decrescente.

A curva em verde está representando a componente de custos de controle de perdas aparentes, que neste caso trata do custo de troca de hidrômetros. Podemos observar que esta curva nos fornece um custo elevado em perdas baixas, e um custo mais baixo em perdas menores. Isso reflete o que esperamos na realidade, de que uma troca constante e excessiva de medidores trará para a operação um maior índice de precisão de micromedição e perdas aparentes menores, porém em contrapartida, um alto custo de controle.

Com essas duas curvas é possível então obter a curva resultante tracejada em roxo, que é o resultado da receita subtraída dos custos de controle. Nesta curva, teremos um ponto de inflexão, que é o ponto mais alto da curva, e abriga a posição do nível econômico de perdas aparentes. Operando neste nível de perdas aparentes, a operação em estudo estaria maximizando suas receitas. Também pode ser visto no gráfico um nível inferior e superior, que delimitam o patamar econômico (WYATT, A. *et al.*, 2021).

As conclusões que podem ser retiradas das análises do resultado de nível econômico de perdas serão tratadas a seguir.

- Nível econômico com valor baixo

Um NEP de baixo valor, pode ser consequência principalmente de uma tarifa elevada. Com uma alta tarifa, cada metro cúbico recuperado passa a ser bastante vantajoso, e, portanto, o modelo reflete isso com uma inclinação maior da reta de receitas (azul), e assim o NEP se desloca para a esquerda (diminui o nível).

Outra possibilidade para um NEP baixo, pode ser um custo baixo de troca de hidrômetros. Se é barato trocar, então convém trocar com maior frequência e assim diminuir as perdas aparentes e aumentar a receita da operação.

Por fim, o outro fator para um NEP baixo é a consideração de submedição inicial baixa. Isso vai depender dos hidrômetros utilizados no parque, e a empresa deve buscar definir este fator da maneira que for mais conveniente. Como base, pode ser considerado um valor de 4% ou 5%, mas caso o parque possua hidrômetros mais modernos e de maior qualidade de precisão, esse valor pode ser menor. O levantamento dessa informação vai melhorar o resultado, pois assim como discorrem Vermersch *et al.* (2016), dados com maior nível de qualidade ajudam na tomada de decisões e contribuem para a redução do nível de perdas de água, e neste caso, iriam trazer mais confiabilidade ao resultado.

- Nível econômico de perdas aparentes com valor baixo

As avaliações para um nível econômico de valor alto são praticamente as mesmas para um nível econômico baixo, mas de maneira inversa. Uma tarifa baixa pode fornecer um resultado maior, pois como o metro cúbico a ser recuperado não é tão valioso, pode não compensar buscar essa redução, portanto o modelo permite uma perda mais elevada.

Alto custo para troca de hidrômetros pode fornecer um nível econômico alto, pois se é muito custoso manter um parque de medidores renovado com um alto nível de precisão de medição, o modelo irá permitir ter uma perda mais alta, visando a maximização da receita.

E por último, uma submedição inicial maior que 5%, apesar de incomum, vai fornecer um nível econômico mais elevado, pois está sendo considerado que não se pode reduzir a perda além daquele valor.

- Resumo para perdas aparentes

De maneira resumida, as variações do NEP em perdas aparentes podem ser avaliadas de acordo com a Tabela 5:

Tabela 5 - Resumo para perdas aparentes

NEP Elevado	NEP Baixo
Tarifa baixa	Tarifa alta
Custo de troca de hidrômetro alto	Custo de troca de hidrômetro baixo
Submedição inicial alta	Submedição inicial baixa

Importante notar que o mostrado na Tabela 5 é um efeito esperado (exemplo, para uma tarifa baixa pode ser esperado um NEP alto), mas a tabela não implica como regra, pois afinal o NEP é determinado pelo conjunto dos fatores. Assim, é possível que, se comparado dois sistemas diferentes, um sistema A tenha um NEP mais elevado que um sistema B, porém A tenha uma tarifa mais alta que B.

4.2.PERDAS REAIS

Para a análise de nível econômico de perda real, foram utilizadas as formulações de Wyatt *et al.* (2021). Devido à falta de alguns dados na base pública, o total de sistemas avaliados foi de 548 e não de 627 como em perdas aparentes. O resumo dos resultados de perdas reais é apresentado na Tabela 6, e a análise estatística é apresentada na Tabela 7.

Tabela 6 - Resumo quantitativo de resultados de perdas aparentes da metodologia de Arregui *et al.* (2018) com alteração proposta

Metodologia	Total de sistemas calculados	NEP maior que perda atual	NEP menor que perda atual
Wyatt <i>et al.</i> (2021)	548	123	425

Tabela 7 - Análise estatística dos resultados de nível econômico de perdas reais de Wyatt *et al.* (2021)

Metodologia	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Mínimo	Máximo	Amplitude
Wyatt <i>et al.</i> (2021)	86,99	65,02	5.528,51	74,35	0,85	13,46	753,60	740,14

O gráfico de perdas reais na Figura 26, é constituído de três curvas de cálculo, e uma curva resultante. A curva em verde representa os custos de controle de perdas reais, e em azul está a curva de custo variável de produção. Esta curva representa os gastos com produção de água. Ela não inicia em zero, pois o que está sendo considerado é o custo mínimo de produção, referente ao volume consumido. A curva laranja representa o custo futuro de expansão do sistema. Ela traz para o gráfico o custo anualizado da próxima expansão.

A soma das três curvas tem como resultado a curva tracejada em roxo, representando os custos totais. Diferente das perdas aparentes, aqui o que é buscado é uma operação com o menor custo. Portanto, o NEP de perdas reais se encontra no ponto de inflexão da curva de custo total, que é o seu ponto mínimo. Também são apresentados os níveis inferior e superior referentes ao patamar econômico (WYATT, A. *et al.*, 2021).

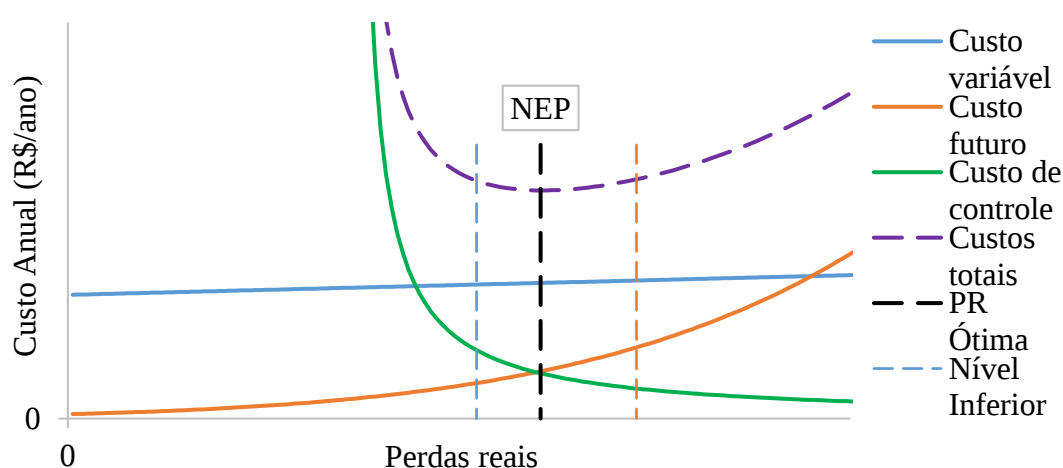


Figura 26 - Exemplo gráfico de Nível Econômico de Perdas Reais, resultado da aplicação da metodologia de Wyatt *et al.* (2021)

Fonte: Autor

Para o cálculo de nível econômico de perdas reais, não há comparação com outra metodologia em relação aos resultados para ser feita. No entanto, uma análise da metodologia de Wyatt (2010) e Wyatt *et al.* (2021) levantou um possível ponto de melhoria. Em ambas, o conceito por trás da curva de custo futuro de expansão é o mesmo. Ela deve representar o custo anualizado que a próxima expansão da capacidade de produção do sistema terá, levando em consideração o tempo até que seja necessária essa expansão.

Levando em consideração o que é exposto por Pearson e Trow (2005), existem dois períodos de tempo que devem ser estudados quando são tratadas ações de combate à perdas reais, o de curto e de longo prazo. Em curto prazo são ações com menor valor de investimento, como aumento de velocidade de reparo e controle ativo de vazamentos. No longo prazo temos maiores investimentos com manejo de pressão e reabilitação de redes.

A expansão da capacidade de rede não se enquadra nessas quatro atividades, pois não é uma medida de combate à perda. No entanto, é um investimento de longo prazo, que pode impactar em como as perdas reais devem ser tratadas no curto prazo, pois, se a capacidade de produção do sistema está próxima de ser atingida, pode ser mais viável reduzir as perdas que aumentar a capacidade de produção.

É justamente essa ideia que a curva de custo futuro da expansão tenta proporcionar. Porém, isso pode trazer alguns problemas. A formulação desenvolvida por Wyatt *et al.* (2021) difere da de Wyatt (2010) onde na mais atual o custo de capital futuro para a expansão varia de acordo com o nível de perdas reais que está sendo calculado para o nível econômico. A razão é que assim estaria sendo calculado o custo da expansão futura considerando o acréscimo de população e o nível de perdas reais, visto que a produção deve suprir o consumo e as perdas.

Essa consideração pode superestimar o custo da expansão futura necessária. Isso influenciaria o resultado, o que poderia proporcionar uma análise equivocada para o analista que irá trabalhar com as definições de nível econômico.

Adicionalmente, também deve ser levado em conta que em alguns municípios, planos de expansão da capacidade podem já estar definidos e com prazos de execução delimitados, o que inviabilizaria o uso da curva de custo futuro.

Para contornar esse problema, uma recomendação é traçada. Deve ser feita uma análise da condição do sistema de produção, e um levantamento mais criterioso do crescimento de demanda futuro do local que recebe água do sistema em estudo, e por fim, duas perguntas devem ser respondidas:

1. No nível de perdas atual, quanto tempo levará até ser necessário realizar um aumento na capacidade de produção?
2. Em quanto tempo é possível atingir a meta definida pelo nível econômico de perdas?

Se não é possível atingir a meta antes ser necessária uma expansão, então deve ser feito um cálculo simulado para a expansão já pronta, visto que ela não poderá ser evitada.

Assim, com os cálculos então definidos, pode ser realizada a avaliação dos resultados da mesma forma que é feita para perdas aparentes.

- Nível econômico de perdas reais com valor baixo

Para um valor baixo de nível econômico de perdas reais, há alguns parâmetros que podem ser considerados. Uma das variáveis que pode influenciar este resultado é o custo de reparo de rede. Se este custo é pequeno, é mais fácil chegar a níveis de perdas mais baixos, pois será possível realizar mais reparos, e assim o NEP tende a ser menor.

A segunda variável de importância é o custo de produção. Um custo de produção alto quer dizer que cada metro cúbico perdido de água tem um valor considerável, e por isso pode valer a pena manter as perdas mais baixas para compensar esse custo.

Outra influência que pode ser expressiva, é a relação entre a capacidade de produção e o consumo do sistema. Se esta relação é baixa, isso indica que há menos tempo até que seja necessário realizar uma expansão (se considerarmos crescimento constante e nenhuma ação mais forte em controle de perdas).

As outras variáveis também têm influência, mas estas tendem a ser os mais expressivos na maioria dos casos.

- Nível econômico de perdas reais com valor alto

Um custo de reparo e pesquisa de vazamentos em redes alto torna menos benéfico manter perdas muito baixas, o que eleva o NEP. Com um custo de produção de água baixo, cada metro cúbico perdido não tem um impacto muito forte, portanto passa a ser válido, de um ponto de vista econômico, permitir perdas maiores que buscar reduzi-las.

Por fim, uma relação alta entre capacidade e consumo indica que há uma folga grande na produção do sistema, o que pode levar bastante tempo até que aquele sistema necessite uma expansão. Com isso o NEP pode ser maior, pois a expansão está longe e o custo anualizado é pequeno.

- Resumo para perdas reais

Na Tabela 8 foi elaborado um resumo das informações discutidas anteriormente, sobre quais fatores tendem a impactar o resultado para um nível econômico maior ou menor. Vale destacar que é o conjunto de todas as variáveis que define o resultado, e não apenas uma delas. Porém esse resumo ajuda a entender o movimento que ocorreria se o nível econômico fosse calculado, e apenas uma variável mudasse em outro cálculo subsequente.

Tabela 8 - Resumo para perdas reais

NEP Elevado	NEP Baixo
Custo de reparo em rede alto	Custo de reparo em rede baixo
Custo de produção de água baixo	Custo de produção de água alto
Relação entre capacidade de produção e consumo alta	Relação entre capacidade de produção e consumo baixa

4.2.1. Analisando o Patamar Econômico

A banda econômica mostrada na Figura 27, foi introduzida no estudo de Wyatt *al.* (2021), e é um espaço que abriga todos os níveis de perda entre o nível inferior e superior. Necessariamente por conceito, o NEP sempre estará dentro do patamar, mas pode estar mais próximo do superior ou do inferior, dependendo do caso, e não é uma regra que ele se encontre exatamente no meio das bandas, pois a definição dos níveis é feita a partir do custo mínimo total (para o caso de perdas reais), e da receita máxima (para o caso de perdas aparentes).

A amplitude do patamar pode variar bastante dependendo dos sistemas, e as curvas são responsáveis por fornecer amplitudes maiores ou menores. Patamares mais estreitos podem ter uma variação bem pequena de perdas, por exemplo, uma variação entre o nível superior e inferior de 30 L/lig/dia. Já patamares largos podem ter uma variação por exemplo de 100 L/lig/dia.

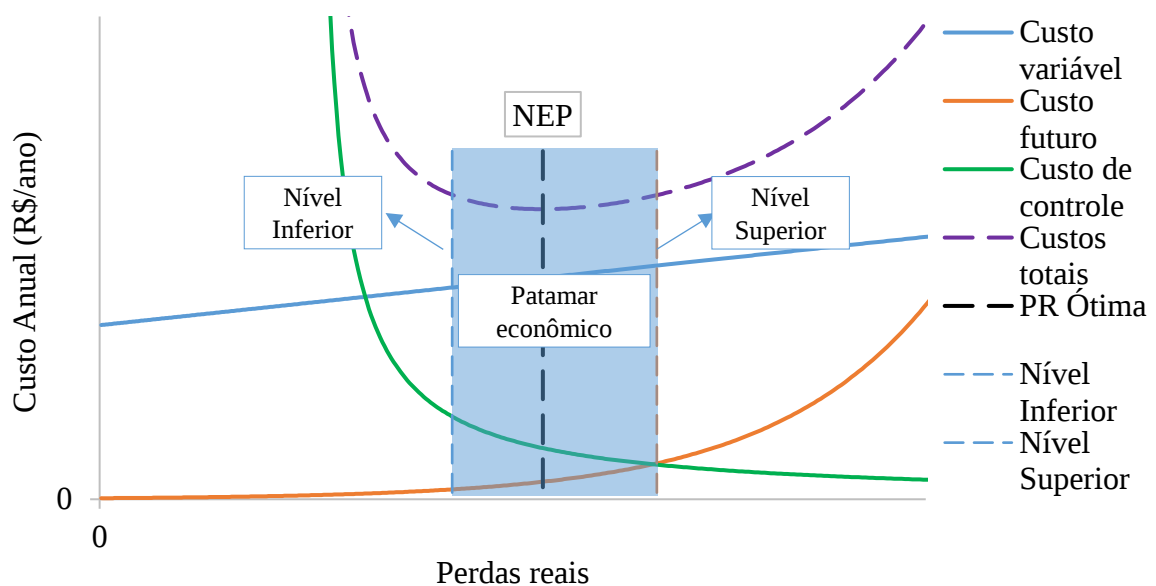


Figura 27 - Gráfico de perdas reais com demonstração da banda econômica

Fonte: Autor

O principal fator que influencia na amplitude do patamar em perdas aparentes é a inclinação da reta das receitas. Tarifas mais altas dão uma inclinação maior para a reta, e diminuem a amplitude, enquanto tarifas mais baixas aumentam.

Para perdas reais, o comportamento das três curvas vai ditar a largura do patamar econômico. Como a curva de custo de produção e curva de custo de expansão futuro possuem suas inclinações contrárias à curva de custo de controle, as variáveis de maior impacto delimitadas na Tabela 8.

Apesar de que a discussão foi realizada através da metodologia de Wyatt *et al.* (2021), esse conceito também pode ser aplicado à metodologia de Arregui *et al.* (2018). Essa ideia de região otimizada também é vista na literatura e não é exclusiva para nível de perdas, podendo ser aplicada para nível de dados e tempo ótimo de período de reparos (PEARSON; TROW, 2005; VERMERSCH *et al.*, 2016).

4.3. OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS

Para visualizar qual seria o ganho com a definição de meta de perdas por uma metodologia de nível econômico, é apresentado na Figura 28 o gráfico resultado da aplicação

da metodologia de perdas aparentes de Arregui *et al.* (2018) para o município de Águas de São Pedro – SP.

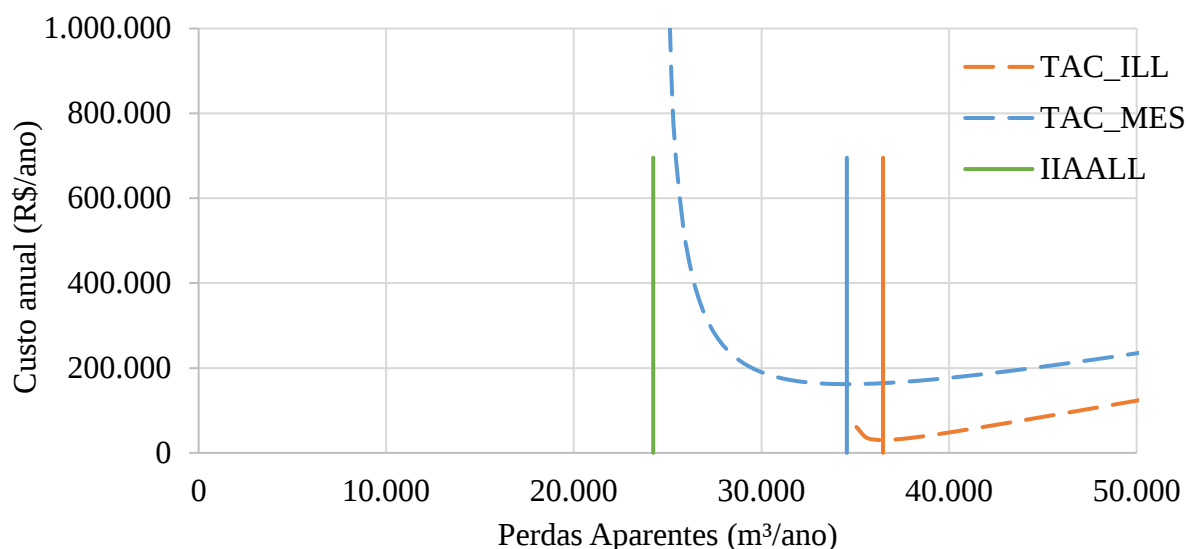


Figura 28 – Gráfico do cálculo de ELAL para o município de Águas de São Pedro – SP

Fonte: Autor

A curva azul TAC_MES (*Total Annual Cost of the Policy Associated with Meter Replacements*), representa os custos anuais relacionados a troca de hidrômetros, e a curva laranja TAC_ILL (*Total Annual Cost of the policy associated with the inspection of customers' connections*) representa os custos anuais que dizem respeito à inspeção de hidrômetros em busca de fraudes (ARREGUI, F. J. *et al.*, 2018). As delimitações em verde, IIAALL (*Intervention Independent Annual Apparent Losses*) são as perdas independentes de intervenção, que não podem ser reduzidas. As retas verticais azul e laranja representam os níveis econômicos de TAC_MES e TAC_ILL respectivamente.

O resultado para este sistema é apresentado na Tabela 9. Como demonstrado Figura 28, o resultado ELAL para este sistema é 36.480,21 m³/ano, ou 43 L/lig/dia.

Tabela 9 - Resultados do cálculo ELAL

IDAAL_OPT_ILL (m³/ano)	IDAAL_OPT_MES (m³/ano)	IIAALL (m³/ano)
1.928,55	10.319,39	24.232,28

Indicadores de performance podem ser utilizados para melhor visualizar os resultados encontrados, e são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Indicadores de performance de perdas aparentes para Águas de São Pedro - SP

ALI	ALEI	ALEPI
4,66	3,10	1,51

O que pode ser inferido dessas informações, é que as perdas aparentes atuais estão 4 vezes mais elevadas que o mínimo possível de se atingir, de acordo com o ALI (*Apparent Losses Index*), que é a razão entre as perdas atuais com o nível mínimo. O indicador ALEI (*Apparent Losses Economic Index*) mostra que as perdas aparentes atuais são ainda 3 vezes maiores que as perdas econômicas, e o indicador ALEPI (*Apparent Losses Economic Potential Index*) mostra que se o sistema atingisse o ELAL, esse nível de perdas estaria 51% maior que as perdas mínimas.

Por fim, o cálculo mostra que se as perdas aparentes atuais estimadas para o sistema, de 103 L/lig/dia, fossem reduzidas para o valor ELAL calculado de 42,7 L/lig/dia, a operação teria uma redução de custos de cerca de R\$ 417.000,00 ao ano. Isso já considera que houve um aumento de custos devido ao incremento de ações de combate às perdas, e a redução do custo de perdas de água.

4.4.DISSCUSSÕES GERAIS

As aplicações dos cálculos das metodologias selecionadas foram realizadas em 627 sistemas, para o caso de perdas aparentes e em 548 sistema para o cálculo de perdas reais. Para perdas aparentes foram aplicadas as equações das metodologias de Arregui *et al.* (2018) e Wyatt *et al.* (2021). Para perdas reais foram aplicados os cálculos apenas de Wyatt *et al.* (2021).

A metodologia de Pearson e Trow (2005) não foi aplicada pois necessita de dados mais específicos, que não são encontrados em bases públicas e são difíceis de serem estimados. Como exemplo, uma das avaliações propostas pela metodologia é o cálculo do retorno financeiro de atividades de manejo de pressão. Para tanto seria necessário realizar uma modelagem hidráulica do sistema em estudo para que pudesse ser avaliado a melhor forma de regular a pressão da rede no local, e assim fosse possível calcular o retorno sobre os investimentos. Apesar de não terem sido aplicados cálculos com essa metodologia, observações relevantes são apresentadas no estudo. Em resumo, o nível econômico de perdas reais de um

sistema seria atingido quando este operasse com ações otimizadas nas quatro principais atividades de controle de perdas reais, sendo elas: controle de pressão, tempo de reparo, política de intervenção e reabilitação de redes.

Vermersch *et al.* (2016) definem diretrizes para cálculo de nível econômico de perdas aparentes, porém também não apresentam formulações simples e práticas que poderiam ser aplicáveis em dados públicos. Os autores observam que o período ótimo de troca de hidrômetros, o qual está diretamente ligado com o nível econômico pois é mantendo uma regularidade de troca de hidrômetros que se pode manter um nível de perdas controlado, depende de quatro fatores: curva de perda de precisão do hidrômetro, tarifa de água, custo do hidrômetro e custo de mão de obra. Esses mesmos fatores são também utilizados nas metodologias de Arregui *et al.* (2018) e Wyatt *et al.* (2021).

Para perdas aparentes foi possível aplicar o cálculo apresentado por Arregui *et al.* (2018). A metodologia apresenta o cálculo para perdas aparentes por submedição, uso ilegal de água e falhas de cadastro. É possível obter resultados de uma forma simplificada, onde são feitas generalizações para todo o sistema em estudo, considerando por exemplo que apenas um tipo de medidor é utilizado e apenas um tipo de cliente é encontrado. Há também a possibilidade de trabalhar com mais dados para esses exemplos, e não considerando apenas uma entrada de dado que represente todo o sistema. Dessa forma serão obtidos resultados melhores. A maioria dos dados de entrada podem ser levantados sem grandes dificuldades, porém é possível que alguns outros como as perdas de água por falha de cadastro necessitem de um estudo interno na operação para terem informações mais concretas. Enquanto isso, é possível que sejam utilizadas as estimativas disponíveis na metodologia. O ponto negativo desta metodologia é que não há cálculo para perdas reais e valores de referência voltados para o Brasil.

Durante o estudo, foi observado que a metodologia Arregui *et al.* (2018) utiliza um parâmetro chamado ICF, onde os autores o comparam com o ICF de perdas reais. No entanto, este parâmetro não é o mesmo, e sim um dado que leva em consideração fatores físicos que podem impactar as perdas aparentes, como presença de caixas d'água no sistema. Para este estudo foi utilizado um valor de 1,2 próximo ao apresentado na metodologia. Porém, este é um parâmetro que deveria ser estudado a fim de que seja obtido valores que se adequem à realidade de cada sistema.

O estudo de Wyatt (2010) é substituído por Wyatt *et al.* (2021), onde neste último temos o cálculo para perdas reais com novas considerações visando principalmente a aplicação no Brasil, e também perdas aparentes, com a apresentação de cálculo para nível econômico de fraudes e um cálculo de referência para ligações clandestinas. Neste estudo ainda são fornecidos valores de referências para todas as regiões brasileiras, o que facilita o uso de estimativas no

caso de falta de dados. Para que seja obtido o resultado de perdas reais, é necessário criar uma planilha em software como Microsoft Excel, para que possa ser traçado as curvas e assim poder coletar o resultado NEP. Em perdas aparentes o resultado pode ser obtido diretamente apenas através do uso de fórmulas. No entanto para calcular os níveis inferior e superior do patamar econômico, é necessário traçar um gráfico para ambos os casos.

Os pontos que foram vistos que necessitam atenção na metodologia de Wyatt *et al.* (2021) são em relação aos custos futuros da expansão para perdas reais. Em perdas reais, é considerado uma curva de custo futuro da expansão, onde é analisado o tempo necessário até que uma expansão da capacidade de produção do sistema seja realizada. Se há muitos anos até que ela seja necessária, o custo anualizado em relação a esse investimento é menor, o que pode permitir perdas reais maiores. Do contrário, se há pouco tempo até que uma expansão se faça necessária, o custo anualizado será maior e, portanto, o nível econômico de perdas será menor. O problema é que isso pode influenciar nas estratégias que serão traçadas para o controle de perdas após o cálculo do NEP. A recomendação proposta nesta dissertação, é que seja avaliado de maneira externa se será possível atingir o NEP calculado antes de ser feita a expansão. Se não for possível, o cálculo deve ser feito com uma simulação pós expansão, para evitar que recursos sejam destinados erroneamente a estratégias que não trarão o resultado esperado, que é o de otimizar os custos de operação.

Em perdas aparentes, o cálculo de Wyatt *et al.* (2021) para submedição é prático necessitando poucos dados, porém para o cálculo de fraudes são necessárias mais informações. O impacto da componente de fraudes no nível econômico total é reduzido, pois ela atinge valores menores. Para ligações clandestinas, o cálculo apresentado é definido como um valor de referência, e não é realizado uma análise financeira seguindo a mesma linha de metodologias de nível econômico.

No Quadro 3 é apresentado resumo dessas discussões, em vantagens e desvantagens de cada metodologia.

Metodologia	Vantagens	Desvantagens
(PEARSON; TROW, 2005)	Apresenta diretrizes para determinar o nível econômico para as quatro principais atividades de controle de perdas reais: controle de pressão, controle de vazamentos, velocidade e qualidade de reparos e melhora na infraestrutura.	Não apresenta cálculo para perdas aparentes. Necessita dados mais específicos do sistema, onde é preciso realizar modelagem hidráulica.
(WYATT, A. S., 2010)	Aplicação com poucos dados de cálculo para perdas reais e aparentes.	O cálculo de perdas aparentes considerava apenas submedição. A metodologia foi atualizada, tendo modificações nas formulações.
(VERMERSCH <i>et al.</i> , 2016)	Discorre sobre recomendações para cálculo de nível econômico de perdas aparentes, e define o nível de qualidade dos dados de entrada que devem ser considerados para serem obtidos resultados de maior confiabilidade.	Não apresenta informações para controle de perdas reais. Não apresenta formulações simples e diretas para se calcular o nível econômico.
(ARREGUI, F. J. <i>et al.</i> , 2018)	Apresenta metodologia para perdas aparentes para submedição, consumo ilegal e falhas de cadastro. Necessita poucos dados de entrada em que, na falta de algum, podem ser utilizadas estimativas.	Não apresenta cálculo para perdas reais. Alguns dados podem não estar disponíveis com facilidade, sendo necessário iniciar um processo de registro dessas informações.
(WYATT, A. <i>et al.</i> , 2021)	Aplicação para perdas aparentes e reais. Fornece valores de referência para a maior parte das variáveis. O estudo é regionalizado para o Brasil.	O uso da componente de custo futuro da expansão deve ser avaliado criteriosamente. O cálculo do nível econômico de fraudes envolve um levantamento de dados mais trabalhoso. A componente de falha de cadastro é apenas um valor de referência.

Quadro 3 - Resumo de vantagens e desvantagens das metodologias

O que será definido agora é que o ponto que deve possuir mais atenção, não é o uso de uma metodologia de nível econômico em si, mas sim a qualidade dos dados de entrada para os modelos.

Quando há falta de dados, a tendência é que sejam realizadas estimativas ou utilizados valores de referência. Isso vai trazer menor confiabilidade nos resultados das metodologias (VERMERSCH *et al.*, 2016). Uma informação com um pequeno desvio de erro pode causar pouco impacto no resultado, mas se todos os dados necessários possuírem, de alguma forma, uma taxa de confiabilidade reduzida, esse impacto pode se tornar muito maior. Assim, garantir que os dados de entrada no modelo sejam de qualidade, é um importante passo no uso das metodologias. É proposto então um processo a ser seguido que visa tornar os resultados que serão obtidos com a aplicação dos cálculos mais confiáveis, de forma que se seja possível obter uma meta de redução de perdas e assim proceder com as estratégias que serão utilizadas para se atingir essas perdas. O processo é apresentado na Figura 29 – Processo para definição de metas de perdas .



Figura 29 – Processo para definição de metas de perdas

O primeiro passo é o levantamento dos dados. Algumas informações são relativamente fáceis de serem levantadas pelos prestadores de serviço, como número de ligações e tarifa média praticada. Porém algumas informações, apesar de estarem disponíveis no SNIS, podem não ter a qualidade necessária. Para exemplo, dados referentes a volumes em uma operação, geralmente não são levantados de maneira adequada. Neste primeiro passo então, é incluída a recomendação de que seja realizado o cálculo do balanço hídrico (ALEGRE *et al.*, 2016) como parte do processo de levantamento, de forma a trazer mais confiabilidade aos resultados.

O segundo passo é a auditoria dos dados levantados. Aqui, deve ser questionado se as informações que foram levantadas passaram por um processo que seja satisfatório de forma a garantir a confiabilidade. Neste passo também serão identificados os pontos de falha da operação em relação à base de dados. Será possível nesta auditoria, avaliar se algum dado tem baixa qualidade ou é inexistente, e assim preparar ações para que aquela informação passe a ser coletada. Alguns dados necessitam um histórico, então se um deles é inexistente, deve ser iniciado sua coleta o quanto antes, para que ele possa ser utilizado nos próximos cálculos assim que possível.

O cálculo do nível econômico poderá ser então realizado. Como a auditoria já terá sido feita no passo anterior, aqui já será possível ter uma noção da confiabilidade do resultado NEP. Se o primeiro cálculo de nível econômico for considerado de baixa qualidade, ainda assim seu resultado poderá ser utilizado, pois levará um tempo até atingir o nível econômico (na maior parte dos casos), e até lá, o cálculo já poderá ter sido refeito com dados melhores. Uma das premissas das metodologias de nível econômico é que os cálculos sejam realizados periodicamente, devido à constante mudança nas características físicas e financeiras das operações. Com a auditoria dos dados realizada, também será possível definir melhor, a amplitude mais adequada para o patamar econômico do nível de perdas. Se os dados forem de baixa qualidade, pode ser interessante manter uma amplitude de 5%, conforme recomendado por Wyatt *et al.* (2021). Porém com dados melhores, as operações podem reduzir essa amplitude.

O último passo é o motivo de se calcular o nível econômico de perdas. Para que seja possível uma redução de perdas direcionada, é necessário ter definida uma meta para que sejam elaboradas estratégias para se atingir a meta. Essa meta deverá ser o nível econômico de perdas, e com ela, outros estudos serão então necessários para que se possam definir quais atividades deverão ser priorizadas. Será redução de pressão? Reabilitação de redes? Troca de hidrômetros? Os cálculos de NEP devem ser vistos como estudos complementares dentro de uma visão macro de estratégias de redução de perdas, ou seja, essas metodologias sozinhas não possuem capacidade de promover a redução, mas são uma etapa importante na busca desse objetivo.

A recomendação é que sejam realizados os cálculos de perdas aparentes pelas duas metodologias, para que seja observado a discrepância entre os resultados. Como foi visto no estudo, na maior parte dos casos os resultados serão próximos. Porém podem ocorrer casos em que o estudo de Wyatt *et al.* (2021) apresenta resultados maiores. Assim, comparando os resultados é possível identificar quais sistemas necessitam maior atenção em relação a seus dados de entrada. Para perdas reais, é recomendado o cálculo disponibilizado de Wyatt *et al.* (2021) levando em consideração a condição proposta para aplicação da metodologia, em relação ao cálculo do custo futuro de expansão. Se após o cálculo do nível econômico for definido que não é possível reduzir as perdas para o resultado, antes de ser necessária uma expansão de capacidade do sistema, o cálculo deve ser realizado com uma simulação do sistema após a expansão, e após isso podem ser realizados os planos de ação. Essa recomendação é feita para que sejam reduzidas fortes variações nos resultados do NEP que podem atrapalhar as estratégias de redução de perdas definidas.

Geralmente a redução de perdas aparentes é priorizada sobre as perdas reais por prestadores de serviço, pois o retorno financeiro é melhor, visto que o ganho por metro cúbico

equivale à tarifa cobrada. Em perdas reais, o custo por volume de água perdida se refere ao custo de produção. Porém, mesmo assim é recomendado que as duas avaliações sejam realizadas, pois chegará um momento em que um tipo de perda não apresentará mais retorno sobre novos investimentos, e, portanto, a operação deverá focar no outro tipo de perda.

5. CONCLUSÕES

Com as aplicações realizadas foi possível observar que há um grande potencial no uso de metodologias de nível econômico de perdas em relação a otimização financeira de operações de abastecimento de água. Em testes realizados nos sistemas estudados, foi visto que quando são reduzidas as perdas nos sistemas de distribuição de água para os níveis econômicos calculados, as receitas aumentam para a avaliação de perdas aparentes, e o custo de operação diminuem para as perdas reais. É exatamente isso que é buscado pelo conceito de nível econômico de perdas, um ponto onde os gastos com as perdas de água estão em equilíbrio com os custos de controle.

Nos testes realizados, é visto que em praticamente todos os casos é necessário que exista um aumento nos gastos de controle de perdas. O retorno financeiro da diminuição de perdas de água faz com que os gastos incrementais sejam compensados no final.

Com isso, vários sistemas de distribuição de água poderiam incrementar suas receitas, o que poderia atrair novos investidores, e que ajudaria a elevar o nível de qualidade do serviço como um todo ao se ter disponível um capital mais elevado. Isso impactaria não apenas os prestadores de serviço, mas também o consumidor final, pois ele poderia dispor de água de maior qualidade, maior resiliência na disponibilidade dos serviços e inclusive ter os riscos de aumento de tarifas sobre a água reduzidos.

Além de contribuir para a otimização financeira das operações, com a redução de perdas de água, as prestadoras estarão contribuindo para a preservação de recursos hídricos, o que irá auxiliar os países a atingir alguns objetivos de sustentabilidade definidos pela ONU (Organização das Nações Unidas) em 2015 (UNITED NATIONS, 2015), sendo eles: água potável e saneamento, cidades e comunidades sustentáveis e produção e consumo sustentáveis.

Foi proposto no estudo algumas melhorias que podem ser levadas em consideração no cálculo dos níveis econômicos de perdas, visando melhores resultados. Para perdas reais, é recomendado considerações externas ao aplicar a metodologia de Wyatt *et al.* (2021) quando for tratada questões relacionadas à expansões futuras. Deve ser avaliado se a mesma ocorrerá independente de qualquer intervenção que possa ser feita para que o cálculo seja realizado de forma a não implicar em interpretações equivocadas dos resultados, ocasionado em delimitações de estratégias erradas. O modelo não tem capacidade de informar ao analista se é melhor reduzir as perdas ou expandir o sistema, e, portanto, essa avaliação deve ser feita externamente.

Para perdas aparentes é recomendado que sejam utilizados os cálculos propostos nas duas metodologias de Arregui *et al.* (2018) e Wyatt *et al.* (2021) para fins comparativos. A primeira se apresenta mais prática em relação as formulações para as três principais componentes de perdas aparentes. Comparações de resultados entre as duas metodologias apresentaram uma média de variação de 8%.

A maior preocupação em relação à essas metodologias são os dados de entrada. Especialmente no Brasil, maiores investimentos são necessários para que haja um processo que possua confiabilidade na coleta, tratamento e armazenamento de informações, de maneira que elas possam ser utilizadas para cálculos como esses. Quando as operações de distribuição de água possuírem dados de qualidade, aplicações de NEP como as descritas serão mais confiáveis e mais fáceis de serem realizadas, o que irá viabilizar seu uso, contribuindo para companhias de saneamento financeiramente, e indiretamente auxiliando na manutenção dos recursos hídricos.

Assim, como proposta para estudos futuros é apresentado a necessidade de identificar as fragilidades existentes na instrumentalização de dados no Brasil, a fim de trazer novos métodos para que sejam obtidos dados de maior qualidade e confiabilidade. Utilizar dados mais precisos faria com que os ganhos financeiros fossem até maiores, pois seriam trabalhados cálculos com dados que representam melhor a situação real de cada local, reduzindo o uso de estimativas que impactam no resultado através do acúmulo de erros.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 15.538: **Medidores de água potável — Ensaio para avaliação de eficiência.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014. p. 18.

AESBE. **Guia Prático para Estimação de Consumos Não Autorizados e Volumens Não Apropriados por Falhas de Cadastro.** [S.l.]: AESBE, 2015. V. 4.

ALEGRE, H. *et al.* **Performance Indicators for Water Supply Services: Third Edition.** Water Intelligence Online, 2016. v. 15, n. 0, p. 9781780406336–9781780406336.

ALKASSEH, J. M. A. *et al.* **Achieving an economic leakage level in Kinta Valley, Malaysia.** Water Utility Journal, 2015. v. 11, p. 31–47.

ARREGUI, F. J. *et al.* **Calculation proposal for the economic level of apparent losses (ELAL) in a water supply system.** Water (Switzerland), 2018. v. 10, n. 12.

DEPEXE, Marcelo D.; GASPARINI, R. R. **Determinação de taxas anuais de redução da eficiência da medição de hidrômetros.** XXIII Encontro Técnico AESABESP, 2012.

FANNER, P.; THORNTON, J. **The Importance of Real Loss Component Analysis for Determining the Correct Intervention Strategy.** Proceedings of the IWA Specialised Conference “Leakage 2005”, 2005. p. 1–11.

HAMILTON, S.; MCKENZIE, R.; SEAGO, C. **A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems.** UK House of commons Report, 2006. v. 36, n. 6, p. 15–24. Disponível em: <http://www.miyawater.com/user_files/Data_and_Research/miyas_experts_articles/2_NRW/01_A_Review_of_Performance_Indicators_for_Real_Losses_from_Water_Supply_Systems.pdf>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Características gerais dos domicílios e dos moradores : 2019.** Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua, 2019. p. 1–8.

KANAKOUDIS, V.; GONELAS, K. **Analysis and Calculation of the Short and Long Run Economic Leakage Level in a Water Distribution System.** Water Utility Journal, 2016. v. 12, p. 57–66.

KINGDOM, B.; LIEMBERGER, R.; MARIN, P. **The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries - How the Private Sector Can Help : A Look at Performance-Based Service Contracting.** Water Supply and Sanitation Sector Board

Discussion Paper Series. [S.l.]: [s.n.], 2006.

LAMBERT, A.; LALONDE, A. **Using practical predictions of Economic Intervention Frequency to calculate Short-run Economic Leakage Level , with or without Pressure Management.** Leakage Conference Proceeding, 2005. n. Ili, p. 1–12.

LAMBERT, A.; MCKENZIE, R. **Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index.** International Water Association Conference ‘Leakage Management: A Practical Approach’, 2002. p. 16.

LAMBERT, A. O. *et al.* **A Review of Performance Indicator for Real Losses from Water Supply Systems.** IWA/AQUA, 1999. p. 12.

LIEMBERGER, R. **Do you know how misleading the use of wrong performance indicators can be?** IWA Managing Leakage Conference, 2002. n. November, p. 17.

MUÑOZ-TROCHEZ, C.; SMOUT, I.; KAYAGA, S. **Economic level of leakage (ELL) calculation with limited data: An application in Zaragoza.** [S.l.]: [s.n.], 2011.

OLIVEIRA, G. *et al.* **Perdas de Água 2020 (SNIS 2018): Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento.** [S.l.]: [s.n.], 2020.

PEARSON, D. **Standard Definitions for Water Losses.** [S.l.]: [s.n.], 2019.

PEARSON, D.; TROW, S. **Calculating Economic Levels of Leakage.** Leakage 2005 Conference Proceedings, 2005. p. 1–16.

SINAPI – **Índices da Construção Civil.** Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-apartir-jul-2009-sp/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_SP_122020_NaoDesonerado.zip>. Acesso em 10 de janeiro de 2021.

THORNTON, J.; LAMBERT, A. **Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships.** ... of IWA Special Conference ‘Leakage, 2005. p. 1–10. Disponível em: <http://www.leakssuite.com/Research Papers/2005_ThorntonLambert IWA Halifax.pdf>.

UNESCO. **The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving no one behind.** [S.l.]: [s.n.], 2019.

UNITED NATIONS. **The 17 Goals.** United Nations, 2015. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

VERMERSCH, M. *et al.* **Guidance Notes on Apparent Losses and Water Loss Reduction Planning**. 2016. n. September, p. 1–77.

WYATT, A. *et al.* **Perdas de água - Guia para determinar o nível econômico e metas progressivas de controle para municípios, reguladores e prestadores de serviço**. 1. ed. [S.l.]: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2021.

WYATT, A. **Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries**. *Water science and technology: water supply*, 2010. v. 12, n. 4, p. 1–11.

WYATT, A.; ALSHAFFEY, M. **Non-revenue water: Financial model for optimal management in developing countries - Application in Aqaba, Jordan**. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2012. v. 12, n. 4, p. 451–462.

WYATT, A.; RICHKUS, J.; SKY, J. **Using performance-based contracts to reduce non-revenue water**. 2016. n. June, p. 28. Disponível em: <<https://library.pppknowledgelab.org/PPIAF/documents/3531>>.