# NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS (NEP) EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO: METODOLOGIAS E APLICABILIDADE NO CONTEXTO BRASILEIRO

**Robson Fontes da Costa (1)**
Doutorando em Administração e Sustentabilidade (FEI/SP), Mestre em Tecnologias Ambientais pelo Centro Paula Souza (CPS/SP), MBA em Eng. de Energias Renováveis (ESTACIO/SP), Eng. Civil pela Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL/SP), Eng. Sanitarista pela Faculdade de Saúde Pública de São Paulo (FSP/USP), Eng. Projetista de Válvulas Indústrias pela Faculdade de Mecatrônica da Politécnica (POLI/USP), Eng. de Segurança do Trabalho (ESTÁCIO/SP) e Tecnólogo em Obras Hidráulicas (FATEC/SP).

**Endereço(1):** FATEC/SP: Av. Tiradentes, 615 - Bom Retiro, São Paulo - SP, CEP - 01101-010 - Brasil - Tel.: +55(11) 3324 3434 - e-mail: robson.costa@cps.sp.gov.br

**RESUMO**
A gestão de perdas de água em sistemas de abastecimento constitui um dos principais desafios para a sustentabilidade econômica, ambiental e social do setor de saneamento no Brasil. O conceito de Nível Econômico de Perdas (NEP), ou Economic *Level of Leakage* (ELL), representa o ponto de equilíbrio onde o custo marginal de redução de perdas se iguala ao benefício marginal da água economizada. Este artigo realiza uma revisão sistemática das principais metodologias de cálculo do NEP disponíveis na literatura internacional, analisando sua aplicabilidade ao contexto brasileiro. São examinadas as abordagens de Pearson e Trow (2005) para perdas reais, de Wyatt (2010; 2021) adaptada para países em desenvolvimento, de Arregui et al. (2018) para perdas aparentes, e a proposta de incorporação de externalidades ambientais no cálculo do nível sustentável (*SELL*). Adicionalmente, avalia-se a Portaria MDR nº 490/2021, que estabeleceu metas mandatórias de redução de perdas no Brasil sem considerar as especificidades locais ou o conceito de NEP. Os resultados indicam que a aplicação direta de metodologias internacionais no Brasil enfrenta limitações significativas relacionadas à qualidade dos dados, à intermitência do abastecimento e à elevada magnitude das perdas aparentes. Conclui-se pela necessidade de desenvolvimento de metodologia adaptada à realidade brasileira que incorpore o custo de oportunidade da água, as externalidades ambientais e as particularidades socioeconômicas regionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nível Econômico de Perdas, Gestão de Perdas no Brasil, Eficiência Hídrica

## 1. INTRODUÇÃO

As perdas de água em sistemas de abastecimento representam uma das principais ineficiências do setor de saneamento brasileiro. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2024), o índice de perdas na distribuição atingiu 40,3% em 2023, patamar crítico que se mantém estagnado há mais de duas décadas. Este volume de água tratada desperdiçada anualmente no país poderia abastecer cerca de 54 milhões de brasileiros, evidenciando o colossal custo de oportunidade social e econômico da ineficiência (Instituto Trata Brasil, 2024).

Diante desse cenário, a questão que se coloca não é se as perdas devem ser reduzidas, mas até que ponto essa redução é economicamente justificável. O conceito de Nível Econômico de Perdas (NEP) ou *Economic Level of Leakage (ELL)* emerge como ferramenta fundamental para responder a essa questão, definindo o ponto ótimo onde o custo marginal das ações de redução de perdas se iguala ao benefício marginal da água economizada (Lambert, 2000; Pearson & Trow, 2005; Wyatt, 2010).

A literatura internacional oferece diversas metodologias para o cálculo do NEP, desenvolvidas predominantemente no contexto de países desenvolvidos onde a qualidade dos dados é elevada, a intermitência do abastecimento é inexistente e as perdas aparentes representam parcela reduzida do total de perdas (Mutikanga et al., 2013; Liemberger & Wyatt, 2019). No entanto, a aplicabilidade dessas metodologias ao contexto brasileiro permanece como questão em aberto, dadas as especificidades do setor nacional.

O arcabouço regulatório brasileiro passou por transformação significativa com a promulgação do Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020). A Portaria MDR nº 490/2021 estabeleceu metas mandatórias de redução de perdas para os prestadores de serviços, condicionando o acesso a recursos federais ao cumprimento de índices de desempenho. Contudo, estas metas foram definidas de forma linear e desagregada, sem considerar as condições locais, os custos de implementação ou o conceito de Nível Econômico de Perdas (Fagundes et al., 2024).

Este artigo tem como objetivos: (i) apresentar o referencial teórico-conceitual do Nível Econômico de Perdas; (ii) analisar criticamente as principais metodologias internacionais de cálculo do NEP; (iii) avaliar sua aplicabilidade ao contexto brasileiro; e (iv) discutir as implicações para a política regulatória nacional.

## 2. METODOLOGIA

O presente artigo constitui uma revisão sistemática da literatura sobre metodologias de cálculo do Nível Econômico de Perdas (NEP) em sistemas de abastecimento de água. A pesquisa foi realizada nas bases Google Scholar, Scopus, Web of Science, SciELO e no portal da *International Water Association* (IWA), utilizando os descritores "*Economic Level of Leakage*", "ELL", "*Economic Level of Losses*", "Nível Econômico de Perdas", "*water loss economics*" e "*NRW economic analysis*", no período compreendido entre 1995 e 2025.

Foram incluídos na análise artigos originais, revisões sistemáticas, teses, dissertações e publicações técnicas de órgãos reguladores e organizações internacionais (IWA, Banco Mundial, Comissão Europeia). Adicionalmente, foram consultados os relatórios do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e os diagnósticos setoriais do Instituto Trata Brasil e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

A análise concentrou-se em quatro metodologias principais: (i) a abordagem de Pearson e Trow (2005) para perdas reais, com distinção entre curto e longo prazo; (ii) o modelo de Wyatt (2010; 2021) adaptado para países em desenvolvimento; (iii) a metodologia de Arregui et al. (2018) para perdas aparentes; e (iv) as propostas de incorporação de externalidades ambientais (SELL) (Firat et al., 2022; Pearson, 2019). A avaliação da aplicabilidade ao contexto brasileiro considerou a disponibilidade e qualidade dos dados do SNIS, as características dos sistemas de abastecimento nacionais e o arcabouço regulatório vigente.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1Fundamentos do Nível Econômico de Perdas

O conceito de Nível Econômico de Perdas fundamenta-se na teoria econômica do equilíbrio marginal. Conforme definição da IWA, o NEP corresponde ao nível de perdas em que o custo de reduzir uma unidade adicional de água perdida se iguala (e é oposto) ao custo de produzir e distribuir uma unidade adicional de água (IWA *Water Loss Task Force*, 2022). Graficamente, representa o ponto de mínimo da curva de custo total, onde se cruzam a curva de custo da água perdida (crescente com o aumento do nível de perdas) e a curva de custo de detecção e reparo (decrescente com o aumento do nível de perdas).

A formulação clássica do NEP para perdas reais baseia-se na seguinte equação de equilíbrio:

**CMg(redução) = CMg(produção)** equação 01

Onde:

- CMg(redução): custo marginal de redução de uma unidade adicional de perdas (inclui atividades de pesquisa, reparo, controle de pressão)
- CMg(produção): custo marginal de produção de uma unidade adicional de água (inclui energia, produtos químicos, captação, tratamento)

Pearson e Trow (2005) propuseram uma distinção fundamental entre dois horizontes temporais de análise: o curto prazo (short run), período em que pelo menos um fator de produção é fixo e as ações de redução limitam-se a atividades táticas como controle ativo de vazamentos e reparos; e o longo prazo (long run), período em que todos os fatores podem ser variados, incluindo investimentos estruturais como setorização, controle de pressão e renovação de redes.

Posteriormente, Pearson (2019) expandiu essa classificação para três níveis hierárquicos: o Nível Econômico de Curto Prazo (SRELL), associado à qualidade e rapidez dos reparos; o Nível Econômico de Longo Prazo (LRELL), envolvendo decisões de capital intensivo; e o Nível Econômico Sustentável (SELL), que incorpora custos sociais e ambientais à equação econômica.

### 3.2 Metodologias Internacionais de Cálculo do NEP

#### 3.2.1 Metodologia de Pearson e Trow (2005)

A metodologia desenvolvida por Pearson e Trow (2005) no âmbito do Reino Unido é uma das mais consolidadas internacionalmente. Ela se baseia na comparação do custo marginal de quatro atividades

principais de controle de perdas reais com o benefício marginal da água economizada [citação:6]. As atividades são classificadas como:

- *Atividades de Curto Prazo:*
  - Controle Ativo de Vazamentos (CAV): frequência de pesquisas de vazamentos não visíveis
  - Reparo de Vazamentos (RV): qualidade e velocidade do reparo
- *Atividades de Longo Prazo:*
  - Gerenciamento de Pressão (GP): instalação de válvulas redutoras de pressão
  - Renovação de Infraestrutura (RI): substituição de trechos críticos da rede

A determinação do NEP pelo método de Pearson e Trow exige o cálculo do parâmetro ILI (Infrastructure Leakage Index), que relaciona as perdas reais atuais com as perdas inevitáveis (UARL). O ILI é expresso por:

**ILI = CARL / UARL** equação (2)

Onde:

- CARL (*Current Annual Real Losses* ou PRAC): perdas reais anuais correntes (m³/ano)
- UARL (*Unavoidable Annual Real Losses* ou PRAI): perdas reais anuais inevitáveis (m³/ano)

O UARL é calculado por meio de fórmula empírica que considera o comprimento da rede, o número de ligações e a pressão média operacional. A literatura estima que o ILI pode atingir valores entre 1 e 2 para sistemas com boas práticas de gerenciamento, enquanto sistemas ineficientes podem apresentar ILI superior a 8 (Lambert & McKenzie, 2002).

### 3.2.2 Metodologia de Wyatt (2010; 2021) para Países em Desenvolvimento

Reconhecendo as limitações das metodologias tradicionais para aplicação em países em desenvolvimento, Wyatt (2010) desenvolveu um modelo financeiro adaptado que requer menor volume de dados e considera as especificidades desses contextos, incluindo a presença significativa de perdas aparentes e a intermitência do abastecimento.

A abordagem de Wyatt (2010) baseia-se em três componentes principais:

- Curva de custo variável de produção de água (energia, produtos químicos)
- Curva de custo futuro de expansão do sistema (novas captações, ETAs)
- Curva de custo de controle de perdas (pesquisa, reparo, gestão de pressão)

A versão atualizada da metodologia (Wyatt, 2021) introduziu refinamentos significativos [citação:7]:

Adoção da unidade litros/ligação/dia em substituição aos percentuais

- Incorporação explícita das perdas por fraudes e ligações clandestinas
- Distinção entre submedição econômica (evitável) e não econômica (inevitável)
- Análise de sensibilidade com três cenários (otimista, pessimista, esperado)

O modelo de Wyatt recomenda a realização de análises de sensibilidade considerando três cenários distintos para mitigar o risco de decisão:

1) **Cenário superior**: coeficientes desfavoráveis, gerando o limite econômico máximo
2) **Cenário inferior**: coeficientes favoráveis, gerando o limite econômico mínimo
3) **Cenário esperado**: coeficientes mais prováveis, gerando o nível esperado

### 3.2.3 Metodologia de Arregui et al. (2018) para Perdas Aparentes

Arregui et al. (2018) propuseram uma metodologia específica para determinação do nível econômico de perdas aparentes, categorizando-as em três componentes:

- Submedição inicial (erros metrológicos em hidrômetros novos)
- Perdas por fraudes e ligações clandestinas
- Perdas por erros de leitura e processamento comercial

O nível econômico de substituição de hidrômetros é determinado quando o custo marginal do programa de substituição se iguala à receita marginal recuperada pela redução da submedição. A frequência ótima de substituição depende da curva de degradação metrológica dos equipamentos e da tarifa média praticada.

A metodologia permite flexibilidade na precisão dos resultados conforme a disponibilidade de dados, oferecendo três níveis de análise: básico (dados mínimos), intermediário e avançado (dados detalhados).

### 3.2.4 Nível Econômico Sustentável (SELL) e Incorporação de Externalidades

A evolução mais recente do conceito de NEP incorpora externalidades ambientais, dando origem ao conceito de Nível Econômico Sustentável (SELL - Sustainable Economic Level of Leakage) [citação:3]. Esta abordagem, promovida pela Comissão Europeia (2015) e pela Diretiva-Quadro da Água (2000/60/EC), reconhece que o valor econômico da água transcende seu custo marginal de produção, incluindo:

- **Custos de recurso**: valor da água como bem escasso, incluindo custos de oportunidade
- **Custos ambientais**: externalidades negativas associadas à extração excessiva
- **Custos de carbono**: emissões associadas à produção e distribuição da água perdida

Estudos recentes investigaram a inclusão de externalidades energéticas no modelo ELL. Os resultados indicam que, embora o impacto direto na elevação do NEP seja pequeno (da ordem de 0,4%), a quantificação das emissões se torna relevante para fins de reporte regulatório e alinhamento com metas de descarbonização

Firat et al. (2022) propuseram aprimoramentos no cálculo do NEP para melhor capturar questões ambientais, alertando que metodologias puramente financeiras podem não indicar claramente se a melhor estratégia é reduzir perdas ou expandir o sistema, podendo levar a decisões ambientalmente onerosas.

A Tabela 01, apresenta as principais metodologias desenvolvidas pelo NEP.

**Tabela 1 - Metodologias de Cálculo do Nível Econômico de Perdas (NEP)**

| Metodologia | Autores | Foco | Horizonte Temporal | Requisitos de Dados | Aplicabilidade Brasil |
|---|---|---|---|---|---|
| **Pearson & Trow (2005)** | IWA | Perdas reais | Curto/Longo prazo | Elevados | Limitada |
| **Wyatt (2010; 2021)** | RTI International | Perdas reais e aparentes | Contínuo | Médios | Moderada (com adaptações) |
| **Arregui et al. (2018)** | IWA | Perdas aparentes | Contínuo | Médios a elevados | Moderada |
| **SELL** | Comissão Europeia (2015) | Perdas reais + externalidades | Longo prazo | Elevados | Limitada |
| **Firat et al. (2022)** | Diversos | Perdas reais + ambientais | Longo prazo | Médios a elevados | Em desenvolvimento |

Fonte: do Autor.

## 3.3 Aplicabilidade ao Contexto Brasileiro

### 3.3.1 Características dos Sistemas de Abastecimento Brasileiros

O setor de saneamento brasileiro apresenta características que desafiam a aplicação direta das metodologias internacionais de NEP. De acordo com o SNIS (2024), o país registra, conforme a Tabela 02:

**Tabela 02: Características do Setor de Saneamento no Brasil**

| Indicador | Valor (2023) | Observação |
|---|---|---|
| **Índice de perdas na distribuição** | 40,3% | Estagnado há 20 anos |
| **Perdas em volume absoluto** | ~7 bilhões m³/ano | Equivale a 7 mil piscinas olímpicas/dia |
| **Número de prestadores de serviços** | 5.424 | Heterogeneidade técnico-operacional |
| **Índice de macromedição** | 71,7% | Mas com qualidade questionável |
| **Índice de micromedição** | 85,7% dos consumidores | Submedição significativa |

Fonte: do Autor.

A persistência dos índices de perdas em patamar elevado, mesmo após décadas de discussão do tema, evidencia o que economistas denominam de "armadilha de equilíbrio de baixo nível" - um ciclo vicioso onde a ineficiência é tolerada e repassada à tarifa, desestimulando investimentos em controle de perdas.

### 3.3.2 Desafios para Aplicação das Metodologias

A aplicação das metodologias de NEP no Brasil enfrenta cinco desafios principais:

a) A qualidade dos dados disponíveis no SNIS representa limitação significativa. Conforme apontado por Fagundes et al. (2024), o SNIS é uma plataforma auto declaratória, sem auditoria externa rigorosa em tempo real. Em 2021, 1.533 prestadores (28,3% do total de 5.424 prestadores atuantes no país) reportaram 0% de macromedição — um dado que, embora de 2021, evidencia a fragilidade histórica dos sistemas de medição no país, ou seja, não possuíam equipamentos de medição do volume de entrada, operando com estimativas.
b) A intermitência do abastecimento distorce todos os indicadores técnicos e econômicos. Como afirma Wyatt (2010), a operação em pleno abastecimento (ou muito próximo) é condição prévia para análise do nível ótimo de perdas. No Brasil, muitas regiões ainda operam com racionamento programado, situação que invalida as premissas das metodologias tradicionais.
c) A elevada magnitude das perdas aparentes no Brasil (estimada entre 30% e 50% do total de perdas) contrasta com os países desenvolvidos onde estas perdas são marginais (inferiores a 10%). As metodologias tradicionais, desenvolvidas nesses contextos, subestimam a complexidade do combate a fraudes e submedição.
d) Heterogeneidade regional brasileira impede a adoção de metas uniformes. As condições hidrológicas, socioeconômicas e de infraestrutura variam drasticamente entre Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste, exigindo abordagens diferenciadas.
e) Falta de padronização regulatória entre os estados brasileiros resulta em metodologias tarifárias diversas, dificultando o cálculo uniforme do benefício marginal da água economizada.

### 3.3.3 A Portaria MDR nº 490/2021: Avanços e Limitações

A Portaria MDR nº 490/2021, emitida pelo Ministério do Desenvolvimento Regional, estabeleceu metas progressivas de redução de perdas para os prestadores de serviços, condicionando o acesso a recursos federais ao cumprimento dos indicadores IN049 (percentual de perdas) e IN051 (litros/ligação/dia).
As metas estabelecidas são apresentadas na Tabela 03:

**Tabela 03: Metas Progressivas de Redução de Perdas**

| Período | Percentual da média nacional anterior |
|---|---|
| **2024** | 95% |
| **2025-2026** | 90% |
| **2027-2028** | 85% |
| **2029-2030** | 80% |
| **2031-2032** | 75% |
| **2033** | 70% |
| **A partir de 2034** | 65% |

Fonte: Portaria MDR nº 490/2021

A análise desta abordagem revela três limitações fundamentais:

a) As metas são lineares e uniformes para todo o território nacional, desconsiderando as condições de partida, os custos marginais de redução e as particularidades locais.
b) Não incorporam o conceito de Nível Econômico de Perdas, podendo levar a situações em que os custos de cumprimento das metas superem os benefícios da água economizada.
c) Focam exclusivamente em perdas reais (volume), desconsiderando o componente de perdas aparentes que, no Brasil, representa parcela significativa do problema.

Estudo recente avaliou o impacto potencial destas metas sobre a acessibilidade tarifária. Os resultados indicam que o volume potencial de água economizado com a redução de perdas físicas pode alcançar 16,6% da água consumida no país, e embora o impacto sobre a acessibilidade tenha sido modesto, os resultados positivos indicam que prestadores eficientes têm papel importante na garantia do acesso universal [citação:9].

### 3.3.4 Proposta de Metodologia Adaptada para o Brasil

Com base nas análises realizadas, propõe-se uma metodologia adaptada de NEP para o contexto brasileiro que incorpore:

1. **Modelo híbrido para perdas reais e aparentes**: combinando as abordagens de Wyatt (2021) para componentes ajustáveis (dados disponíveis) com a metodologia de Arregui et al. (2018) para perdas aparentes.
2. **Incorporação do custo de oportunidade da água**: utilizando o conceito de Preço Sombra (shadow price) proposto por Molinos-Senante et al. (2016; 2019) para refletir o verdadeiro valor econômico da água em cenários de escassez. Estudos no Chile demonstraram que a maioria das utilities tem incentivos econômicos para reduzir perdas considerando o limite regulatório de 15%, mas ainda não alcançaram tais reduções, sugerindo a necessidade de penalidades diretas.
3. **Ajuste para sistemas intermitentes**: desenvolvimento de fatores de correção para sistemas onde o abastecimento não é contínuo.
4. **Análise de sensibilidade regional**: incorporação de parâmetros ajustáveis por região hidrográfica e porte do prestador.
5. **Externalidades ambientais**: inclusão do custo de carbono e do valor ecossistêmico da água, alinhado ao conceito de SELL.

## 4. CONCLUSÃO

Este artigo analisou as principais metodologias internacionais de cálculo do Nível Econômico de Perdas (NEP) e sua aplicabilidade ao contexto brasileiro. As metodologias de Pearson e Trow (2005) para perdas reais, de Wyatt (2010; 2021) adaptada para países em desenvolvimento, e de Arregui et al. (2018) para perdas aparentes oferecem referenciais teóricos robustos, porém sua aplicação direta no Brasil enfrenta limitações significativas relacionadas à qualidade dos dados, à intermitência do abastecimento e à magnitude das perdas aparentes.

A Portaria MDR nº 490/2021 representa avanço institucional ao estabelecer metas mandatórias de redução de perdas, mas sua abordagem linear e uniforme desconsidera o conceito de Nível Econômico de Perdas, podendo gerar ineficiências alocativas onde os custos de cumprimento das metas superem os benefícios da água economizada.

Recomenda-se o desenvolvimento de metodologia adaptada para o Brasil que: (i) incorpore o custo de oportunidade da água via preço sombra; (ii) trate adequadamente as perdas aparentes; (iii) ajuste-se a sistemas com intermitência; (iv) inclua externalidades ambientais; e (v) seja calibrada por região hidrográfica e porte do prestador. Sugere-se que a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) lidere este desenvolvimento, em articulação com os órgãos reguladores subnacionais e a academia.

Pesquisas futuras devem concentrar-se na validação empírica da metodologia proposta em diferentes contextos regionais brasileiros, bem como na análise dos impactos distributivos da implementação de metas de redução de perdas sobre a acessibilidade tarifária das populações mais vulneráveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARREGUI, F.J.; COBACHO, R.; SORIANO, J.; JIMENEZ-REDAL, R. Economic level of apparent losses. In: **IWA Water Loss Conference**, 2018.

2. COMISSÃO EUROPEIA. **Guidance document on the application of water balances for water loss management**. European Union, 2015.

3. FAGUNDES, T.S.; MARQUES, R.C.; MALHEIROS, T.F. Impact of efficiency on affordability: A study of the Brazilian new water loss goals. **Water Supply**, v.24, n.5, p.1645-1657, 2024.

4. FIRAT, M.; YILMAZ, S.; ATES, A. Economic level of leakage assessment in water distribution systems: A review. **Water Resources Management**, v.36, p.1-25, 2022.

5. INSTITUTO TRATA BRASIL. **Perdas de água 2024: Desafios e perspectivas para o saneamento brasileiro**. São Paulo: Trata Brasil, 2024.

6. LAMBERT, A. What do we know about pressure-leakage relationships in distribution systems? In: **IWA Conference on System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management**, Brno, 2000.

7. LIEMBERGER, R.; WYATT, A. Quantifying the global non-revenue water problem. **Water Supply**, v.19, n.3, p.831-837, 2019.

8. MOLINOS-SENANTE, M.; MAZOTIS, A.; SALA-GARRIDO, R. Assessing the economic level of water losses in water supply systems. **Science of the Total Environment**, v.671, p.848-856, 2019.

9. MUTIKANGA, H.E.; SHARMA, S.K.; VAIRAMOORTHY, K. Methods and tools for managing water losses in water distribution systems: A review. **Water Science & Technology: Water Supply**, v.13, n.4, p.1080-1089, 2013.

10. PEARSON, D.; TROW, S. Calculating economic levels of leakage. In: **IWA Specialised Conference on Leakage**, Halifax, 2005.

11. PEARSON, D. The sustainable economic level of leakage. **Water Supply**, v.19, n.2, p.456-463, 2019.

12. WYATT, A. **Non-revenue water: Financial model for optimal management in developing countries**. RTI Press Publication, 2010.

13. WYATT, A. **Guidelines for the economic level of losses**. IWA Water Loss Task Force, 2021.

14. WYATT, A.; LIEMBERGER, R.; COUSINS, P. The future of leakage management. **Water e-Journal**, v.6, n.2, 2021.